

**INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR**

**LUCAS DE CASTRO MIGUEL**

**UTILIZAÇÃO DE UM AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAGEM COM  
REALIDADE VIRTUAL INTERATIVA NO AUXÍLIO DE ENSINO DE ENGENHARIA  
DE REATORES**

**Rio de Janeiro  
2017**

**LUCAS DE CASTRO MIGUEL**

**UTILIZAÇÃO DE UM AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAGEM COM  
REALIDADE VIRTUAL INTERATIVA NO AUXÍLIO DE ENSINO DE ENGENHARIA  
DE REATORES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Nucleares do Instituto de Engenharia Nuclear da Comissão Nacional de Energia Nuclear como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Nuclear – Acadêmico em Engenharia de Reatores.

Orientadores: Prof. Antônio Carlos de Abreu Mól, D. Sc.  
Mauro Vitor de Oliveira, D. Sc.

**Rio de Janeiro**

**2017**

**UTILIZAÇÃO DE UM AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAGEM COM  
REALIDADE VIRTUAL INTERATIVA NO AUXÍLIO DE ENSINO DE ENGENHARIA  
DE REATORES**

LUCAS DE CASTRO MIGUEL

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA NUCLEARES DO INSTITUTO DE  
ENGENHARIA NUCLEAR DA COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA  
NUCLEAR COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA  
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA  
NUCLEAR – ACADÊMICO EM ENGENHARIA DE REATORES

Aprovada por:

---

Prof. Antônio Carlos de Abreu Mól, D. Sc.

---

Mauro Vitor de Oliveira, D. Sc.

---

Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D. Sc.

---

Gerson Gomes Cunha, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2017

## **AGRADECIMENTOS**

Principalmente aos meus pais que também nos últimos dias antes da defesa me deram todo o suporte que alguém poderia precisar.

Agradeço também ao meu orientador Prof. Antônio Carlos de Abreu Mól, D. Sc por acreditar no meu potencial e me ajudar no desenvolvimento desse trabalho. Com muita serenidade, profissionalismo e paciência sempre me apontou os melhores caminhos com objetividade durante toda a duração do curso.

Evidentemente também agradeço ao meu coorientador Mauro Vitor de Oliveira, D. Sc. Por me municiar de todo o material que deu origem a esse projeto e por sempre me receber bem em sua sala nos maiores momentos de dúvidas colaborando com a fluidez desse trabalho.

Agradeço os excelentíssimos senhores que participaram da minha banca de defesa Gerson Gomes Cunha e Paulo Victor Rodrigues de Carvalho pelo seu tempo e interesse nesse trabalho.

Ao meu irmão mais velho Emílio de Castro Miguel por me guiar com toda sua experiência acadêmica nos momentos de estudo e pesquisa onde eu mais precisei.

Agradeço também aos meus amigos André Torres Madureira e Luã Spalla Braga por me ajudarem a aprender melhor algumas das ferramentas que foram usadas no desenvolvimento desse trabalho.

Não posso deixar de agradecer aos meus amigos insanos que cada um de sua forma sempre acharam um jeito maluco de me motivar e continuar seguindo firme até o dia da defesa da dissertação.

Por último, agradeço a CNEN pela bolsa concedida cuja qual me possibilitou realizar o curso.

### **Epígrafe**

“O mundo não é um mar de rosas; é um lugar sujo, um lugar cruel, que não quer saber o quanto você é durão. Ele vai botar você de joelhos e você vai ficar lá se se permitir. Ninguém bate tão forte como a vida, mas não se trata de bater forte de volta. Se trata de quanto você aguenta apanhar e seguir em frente, o quanto você é capaz de aguentar apanhar e continuar tentando. É assim que se consegue vencer. ”

(Discurso presente no filme – Rocky Balboa – 2006)

## RESUMO

Nas últimas décadas foram desenvolvidos diversos estudos a respeito da efetividade do uso da realidade virtual como ferramenta de ensino. Também foram desenvolvidas novas e cada vez mais complexas ferramentas de TIC (Tecnologias da Informação e Comunicação). Nesse contexto surgiram as AVA (Ambientes Virtuais de Aprendizagem) que são mídias que utilizam o ciberespaço para veicular conteúdo didático oferecendo aos discentes uma ferramenta de ensino alternativa antagonizando o problema da complexidade do tema da engenharia de reatores. Esse trabalho trata do desenvolvimento e da utilização de um Ambiente Virtual de Aprendizagem para auxílio do ensino do funcionamento do primeiro e segundo ciclo de um reator nuclear de água pressurizada, possibilitando ao discente uma melhor visualização dos componentes, através da realidade virtual interativa, a engenharia básica de uma usina nuclear geradora de potência. Além de dessa plataforma ser usada como ferramenta de ensino, outra funcionalidade apresentada, é a utilização da mesma pelos desenvolvedores de ambientes ou objetos virtuais como repositório online dos mesmos modelados pelos pesquisadores. Então, com esses objetos virtuais alocados em categoria, os discentes poderiam utilizar esse AVA em sala de aula como ferramenta de auxílio no ensino em matérias relacionadas a engenharia de reatores. Desse modo também, é possível que os pesquisadores utilizem a plataforma como uma alternativa prática para exibir seus modelos para outros pesquisadores e assim contribuir com a difusão do conhecimento sobre a energia nuclear dentro e fora de sua comunidade de pesquisa.

**Palavras chave:** Ambiente Virtual de Aprendizagem; Realidade Virtual; Engenharia de reatores nucleares

## ABSTRACT

In the last few decades, several studies have been conducted regarding the effectiveness of the use of virtual reality as a teaching tool. New and complex IT tools (Information and Communication Technologies) have also been developed. One such tool, is the Virtual Learning Environment (VLE). VLEs are internet media that use cyberspace to convey didactic content and can complement the orthodox teaching method, allowing students a new way of understanding complex content through digital interaction. This work aims to teach the operation of the first and second cycles of a pressurized water nuclear reactor through the development and use of a VLE. The VLE will use interactive virtual reality to demonstrate to the student the "anatomy" of a generating nuclear power plant. There are several possibilities for future work using this VLE. One is the use as a data repository and "virtual exhibition room" of each component of the nuclear reactor that researchers are modelling and developing. With these virtual objects allocated in a category, teachers could use this VLE in the classroom as a teaching tool while researchers could use the platform as a quick and practical way of viewing their online work and sharing it with other researchers. Thus, this VLE will be an effective tool for spreading knowledge of nuclear power more easily within, as well as outside of the research community.

**Keywords:** Virtual Learning Environment; Virtual reality; Nuclear reactor Engineering

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	14
1.2 PROBLEMA.....	14
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
1.4 TRABALHOS RELACIONADOS.....	16
<b>CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>18</b>
3.1 REALIDADE VIRTUAL .....	18
3.1.1 ORIGEM.....	19
3.1.2 APLICAÇÕES DA REALIDADE VIRTUAL .....	23
3.1.3 REALIDADE VIRTUAL NA EDUCAÇÃO.....	26
3.1.4 REALIDADE VIRTUAL NO BRASIL.....	27
3.2 FERRAMENTAS USADAS NA FASE DE PROTOTIPAÇÃO .....	27
3.2.1 AUTODESK AUTOCAD .....	28
3.3 A ENERGIA NUCLEAR .....	28
3.4 USINA NUCLEAR GERADORA DE POTÊNCIA .....	29
3.5 REATORES DE ÁGUA LEVE.....	30
3.5.1 REATORES DE ÁGUA PRESSURIZADA.....	30
3.6 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM REATOR DO TIPO PWR .....	31
3.6.1 PASTILHA DE ELEMENTO COMBUSTÍVEL .....	31
3.6.2 VARETA DE ELEMENTO COMBUSTÍVEL .....	31
3.6.3 ELEMENTO COMBUSTÍVEL .....	32
3.6.4 VASO DO REATOR .....	32
3.6.5 PRESSURIZADOR.....	32
3.6.6 GERADOR DE VAPOR .....	33

3.6.7 ESTRUTURA DE CONTENÇÃO .....	33
3.7 AMBIENTE WEB .....	33
3.7.1 AMBIENTES VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM .....	34
3.7.2 RESPONSIVIDADE E APLICAÇÕES EM DISPOSITIVOS MÓVEIS .....	36
<b>CAPÍTULO 4 - DESCRIÇÃO DO MÉTODO .....</b>	<b>37</b>
4.1 PESQUISA POR MODELOS DE REFERÊNCIA.....	38
4.2 PROTOTIPAÇÃO .....	38
4.3 MODELAGEM TRIDIMENSIONAL .....	41
4.4 CRIAÇÃO DO AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAGEM .....	42
4.5 INCORPORAÇÃO DA FERRAMENTAS DE REALIDADE VIRTUAL INTERATIVA NO AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAGEM .....	45
4.7 DISPONIBILIZAÇÃO DO AVA ONLINE.....	49
<b>CAPÍTULO 5 - RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>
5.1 AS PARTES MODELADAS DO REATOR DE ÁGUA PRESSURIZADA .....	50
5.1.1 PASTILHA DE ELEMENTO COMBUSTÍVEL.....	50
5.1.2 ELEMENTO COMBUSTÍVEL.....	52
5.1.3 VASO DO REATOR .....	53
5.1.4 PRESSURIZADOR .....	56
5.1.5 GERADOR DE VAPOR.....	58
5.1.6 ESTRUTURA DE CONTENÇÃO.....	59
5.2 COMPONENTES DO REATOR DO TIPO PWR MONTADOS.....	62
5.3 PLATAFORMA RESPONSIVA EM FUNCIONAMENTO .....	62
5.4 RESULTADO FINAL COM A PLATAFORMA ONLINE.....	66
<b>CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>
<b>APENDICE 1 - Disponibilização online do Ambiente Virtual de Aprendizagem</b>	<b>77</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração da peça Phantasmagoria (SALER, 2011).....	20
Figura 2 - Foto promocional de um protótipo do Sensorama (PIMENTEL et al., 1995) .....	21
Figura 3 - Piloto usando o capacete do projeto Super Cockpit (PIMENTEL, 1995). .	22
Figura 4 - Visão do usuário do Super Cockpit (PIMENTEL, 1995).....	23
Figura 5 - Fases da reconstrução do celeiro Freiria em Portugal do século V, com base nas paredes existentes (RUA e ALVITO, 2011) .....	25
Figura 6 - Modelo tridimensional texturizado do Celeiro de Freiria (RUA e ALVITO, 2011). .....	25
Figura 7 - Interface do Autocad 2015 – Acervo Pessoal .....	28
Figura 8 - Fluxograma sequencial completa da metodologia desse trabalho.....	37
Figura 9 - Protótipo de baixa fidelidade do vaso do reator utilizando papel e caneta – acervo pessoal. ....	39
Figura 10 - Protótipo de baixa fidelidade da vareta de elemento combustível utilizando papel e caneta – acervo pessoal.....	40
Figura 11 - Protótipo de alta fidelidade do vaso do reator utilizando o software Autocad. .....	40
Figura 12 - Painel administrativo do Wordpress – acervo pessoal.....	44
Figura 13 - Vista da interface de projetos do A360 Viewer - acervo pessoal .....	45
Figura 14 - Ferramenta régua sendo aplicada no A360 Viewer para se saber a altura de um gerador de vapor - acervo pessoal.....	47
Figura 15 - Obtenção do código iframe para incorporação em outros websites - acervo pessoal.....	47
Figura 16 - Inserção do código gerado pelo A360 na página do Wordpress fonte acervo pessoal.....	48
Figura 17 - Resultado final da visualização do A360 incorporada ao Wordpress - acervo pessoal.....	48
Figura 18 - Pastilhas de elemento combustível (em amarelo) dentro da vareta de combustível modeladas no SolidWorks - Acervo pessoal .....	50
Figura 19 - Vareta de combustível modelada no SolidWorks – vista completa -fonte: acervo pessoal. ....	51

Figura 20 - Vareta de combustível modelada no SolidWorks – vista da parte superior com transparência – fonte - acervo pessoal.....	51
Figura 21 - Vareta de combustível – vista da parte inferior - fonte: acervo pessoal..	52
Figura 22 - Elemento combustível modelado no SolidWorks- fonte - acervo pessoal.	52
Figura 23 - Grade espaçadora do elemento combustível modelada no SolidWorks- fonte: acervo pessoal .....	53
Figura 24 - Grade espaçadora do elemento combustível modelada no SolidWorks em vista superior – fonte - acervo pessoal.....	53
Figura 25 - Contenção do reator modelada no SolidWorks - vista lateral/frontal fonte: acervo pessoal. ....	54
Figura 26 - Vaso do reator modelada no SolidWorks - vista isométrica sem transparência fonte: acervo pessoal.....	54
Figura 27 - Vaso do reator - vista isométrica com transparência modelada no SolidWorks fonte: acervo pessoal. ....	55
Figura 28 - Vaso do reator - vista isométrica com corte vertical sem os elementos combustíveis - fonte: acervo pessoal .....	55
Figura 29 - Pressurizador- vista lateral modelada no SolidWorks - fonte: acervo pessoal.....	56
Figura 30 - Pressurizador- vista isométrica modelada no SolidWorks - fonte: acervo pessoal.....	57
Figura 31 - Pressurizador- vista isométrica com corte modelada no SolidWorks - fonte: acervo pessoal .....	57
Figura 32 - Gerador de vapor- vista isométrica modelada no SolidWorks - fonte: acervo pessoal.....	58
Figura 33 - Gerador de vapor- vista isométrica com corte modelada no SolidWorks - fonte: acervo pessoal .....	58
Figura 34 - Contenção do reator modelada no Solidworks- vista lateral/frontal fonte: acervo pessoal .....	59
Figura 35 - Contenção do reator modelada no Solidworks - vista superior fonte: acervo pessoal .....	60
Figura 36 - Contenção do reator modelada no Solidworks - vista isométrica fonte: acervo pessoal .....	60

Figura 37 – Contenção do reator modelada no Solidworks - vista isométrica com corte latitudinal fonte - acervo pessoal .....	61
Figura 38 - Visualização de um pressurizador em tela cheia em um notebook Windows de 14 polegadas.....	63
Figura 39 - Visualização do vaso do reator em um smarphone Iphone de 4 polegadas .....	64
Figura 40 - Visualização do Elemento Combustível em um smartphone Android de 5.3 polegadas.....	64
Figura 41 - Visualização de um gerador de vapor em um tablet simples de 7 polegadas .....	65
Figura 42 - Visualização do primeiro e segundo ciclo em um monitor de 23 polegadas na plataforma .....	65
Figura 43 - Vista final da plataforma já online .....	66

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Participação da energia nuclear globalmente.....	29
Tabela 2 – Aspectos didáticos e pedagógicos de um AVA .....	35
Tabela 3 – Alguns parâmetros usados do PWR para a fase de prototipação. ....	38

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A utilização crescente das tecnologias de informação e comunicação tem contribuído para a disseminação de ambientes virtuais de aprendizagem, que são resumidamente, softwares desenvolvidos para o gerenciamento da aprendizagem através da Web. (PINTO et al., 2002).

(ANZOLIN e CORRÊA, 2001) explicam que, a crescente quantidade de informações no mundo “vem desafiando tanto aqueles que precisam encontrá-las quanto os encarregados de organizá-las para que esse encontro seja possível”. Diante desse cenário, o papel dos profissionais da informação, tem-se adaptado para atender às crescentes necessidades dos usuários; os mesmos vêm tentando aperfeiçoar seus métodos, para que o problema de encontrar informação possa ser equacionado.

Inúmeros estudos recentes comprovam a eficiência da utilização da realidade virtual para o ensino, por exemplo, no ensino de engenharia, mostrou-se, como a tecnologia da realidade virtual pode ser utilizada na concepção de material didático de interesse educativo na área de processos de construção (SAMPAIO e MARTINS, 2013).

#### 1.2 PROBLEMA

O alvo principal desse trabalho é atacar a dificuldade de compreensão dos discentes e interessados sobre o básico da engenharia de reatores, seus componentes principais, as conexões que levam de um *looping* a outro, de um ciclo a outro, a escala de tamanho entre os componentes, etc.

Ainda de acordo com os autores supracitados, a realidade virtual é comprovadamente eficaz quando utilizada como ferramenta de ensino, entretanto, é detectável um grande problema no seu uso nos tradicionais motores de jogos. Normalmente 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, esse software é grande (seus arquivos de instalação 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 utilizar o software.

O uso da realidade virtual dentro de um AVA (Ambiente Virtual de Aprendizagem), possibilita que o usuário apenas acesse o endereço do AVA (endereço do site), usando um navegador web e a plataforma já irá se apresentar. Essa facilidade vem de encontro com o dinamismo demandado pelos usuários de computador da atualidade.

Trata-se de uma matéria complexa que quando lecionada das formas teóricas tradicionais pode-se comprometer a qualidade do ensino.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

Vinculando esses breves contextos apresentados: Da utilização do AVA (Ambiente Virtual de Aprendizagem) como ferramenta de aprendizagem, a necessidade de se organizar a informação digital para se disseminá-la e a comprovada efetividade da realidade virtual como ferramenta de ensino e, analisando uma ciência notoriamente complexa como a engenharia nuclear faz-se necessário a criação dessa plataforma para se atingir os objetivos, citados no capítulo seguinte em especial a melhora na qualidade de ensino de Engenharia de Reatores que é uma matéria extremamente complexa.

Além disso, instalações de pesquisa como o LABRV (Laboratório de Realidade Virtual) do IEN (Instituto de Engenharia Nuclear IEN), ainda não contam com uma plataforma unificada online de exibição e compartilhamento dos artefatos que foram modelados pelos seus pesquisadores para a criação de ambientes virtuais. O uso desse AVA para esse fim, possibilita aos pesquisadores trocarem conhecimento de uma forma mais simples e dinâmica.

Concluindo, o uso da realidade virtual dentro de um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), possibilita que o usuário apenas acesse um endereço do AVA, usando um navegador web e a plataforma já irá se apresentar. Essa facilidade vem de encontro com o dinamismo demandado pelos usuários de computador das mais diversas plataformas nos dias de hoje.

## 1.4 TRABALHOS RELACIONADOS

Hoje os estudos sobre o AVA estão bastante 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 Estadual de Campinas (UNICAMP). De acordo com (Barbosa, 2005 p.78) “Esse ambiente foi desenvolvido de forma participativa, ou seja, todas as suas ferramentas foram idealizadas, projetadas e depuradas segundo as necessidades relatadas por seus usuários”.

Embora não utilize a realidade virtual como ferramenta didática diretamente, um AVA muito popular entre docentes e discentes no mundo hoje é o Edmodo. Essa plataforma educativa, segundo (MARICATO, 2010, p.43), “no que tange a perspectiva didática-pedagógica contribui para o processo de ensino aprendizagem e propicia uma prática pedagógica dinâmica focada em uma construção do conhecimento interativa, colaborativa, cooperativa e de autoria entre seus participantes.”

Quanto ao utilizar a realidade virtual para treinamento e fins didáticos no campo da ciência e tecnologia nuclear, pode-se citar a tecnologia de acoplamento em suporte de aprendizagem de interface simulada para educação no Brasil desenvolvido no Instituto de Engenharia Nuclear (MÓL et al, 2012).

Também no campo da realidade virtual, o trabalho realizado por (RÓDENAS, 2004) possibilita o treinamento de operadores, criando uma simulação de operações para troca de combustível em usinas nucleares.

Entretanto, durante a pesquisa bibliográfica feita para a realização desse trabalho, não foram encontrados trabalhos relevantes que objetivamente utilizam a Realidade Virtual dentro de um AVA, como ferramenta auxiliar de ensino, para a compreensão básica do funcionamento de uma usina nuclear de água pressurizada como exatamente esse trabalho se propõe.

## CAPÍTULO 2

### OBJETIVOS

#### 2.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar a realidade virtual dentro de um ambiente virtual de aprendizagem como ferramenta de auxílio aos docentes em matérias relacionadas a engenharia de reatores, além de utilizar a web como plataforma de disseminação de conhecimento entre discentes e interessados no tema.

#### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Simular com fidelidade os principais componentes do primeiro e segundo ciclo de um reator de água pressurizada.
- Oferecer aos docentes, discentes e pesquisadores um ambiente virtual de ensino como ferramenta didática complementar nas disciplinas que envolvam a engenharia de reatores.
- Difundir o conhecimento básico sobre uma usina nuclear geradora de potência aos discentes e interessados de uma forma atrativa através da realidade virtual.

## CAPÍTULO 3

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 REALIDADE VIRTUAL

*“A maioria das pessoas pensam que a mente está localizada no cérebro humano, mas as últimas descobertas fisiológicas sugerem que a mente não realmente reside no cérebro mas viaja por todo o corpo em uma caravana de hormônios e enzimas e nos dão a sensação composta que nós catalogamos através toque, gosto, cheiro, audição e visão.”*

*A Natural History of the Senses - Diane Ackerman*

Nesse contexto afirmamos que a realidade virtual 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) Também afirma em seu livro que “70% dos receptores do sentido humano encontram-se nos olhos, tornando-os os grandes monopolistas dos sentidos”. Desta maneira a indústria de tecnologia inova a cada ano trazendo hardwares e softwares exploram o sentido da visão afim de maximizar a imersão do usuário.

A realidade virtual surgiu como uma nova interface de interação usuário, usando representações tridimensionais hoje próximas da realidade. Interação é o processo de comunicação entre pessoas e sistemas interativos (PREECE et al., 2002). A interface de uma aplicação computacional envolve todos os aspectos de um sistema com o qual mantemos contato (MORAN et al., 1981).

A Realidade Virtual pode ser classificada nas seguintes categorias (CASAS et al., 1996):

- Sistemas de imersão: aqueles que submergem ou introduzem o explorador de maneira estreita com o mundo virtual, mediante a utilização de sistemas visuais do tipo HMD (*head mounted display*):
- Realidade virtual em Segunda pessoa (*unencumbered systems*): envolve respostas em tempo real. O explorador vê a si mesmo dentro de cena, pois é colocado

em frente a um monitor no qual é projetada sua imagem somada a outra imagem utilizada como fundo ou ambiente (*chromayed*).

- Sistema de Telepresença ou sistema de projeção: a imersão é percebida através de sons e respostas aos movimentos realizados no mundo real.
- Sistema Desktop: englobam as aplicações que mostram uma imagem 2D ou 3D na tela plana de um monitor de computador

Logo de maneira simplificada podemos resumir realidade virtual como um conjunto de técnicas, tecnologias e interfaces destinadas a fornecer ao usuário a sensação de integração com o sistema computacional e a possibilitar a sua imersão no ambiente virtual (MÓL et al., 2013)

### 3.1.1 ORIGEM

Mesmo com o conceito difundindo nos dias atuais sobre realidade virtual é difícil precisar quando exatamente ela surgiu. Uma das primeiras documentações de acordo com (SALER, 2011) datam dos séculos XVII e XVIII.

Usando uma tecnologia conhecida como a lanterna mágica, foi feita uma peça de teatro chamada *Phantasmagoria*, durante o ato eram projetadas imagens brilhantes e translúcidas de fantasmas em uma tela escura quase não notada em um teatro sem luz. Essa tecnologia se tratava de uma vela, um espelho convexo, um tubo com uma lente convexa em cada extremidade e era segurada a mão uma imagem pequena pintada em um vidro que poderia ser refletida, ampliada e projetada na tela escura o que deixava a audiência muitas vezes em pânico. (SALER, 2011).



Figura 1 - Ilustração da peça *Phantasmagoria* (SALER, 2011)

Considerando a idade contemporânea, a Realidade Virtual 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.

Assim como os primeiros computadores eletrônicos como o ENIAC o advento da realidade virtual também surgiu para fins militares. Foram eles os percursores na indústria de simulação com os simuladores de voo que a força aérea do Estados

Unidos passou a construir logo após a Segunda Guerra Mundial (JACOBSON et al., 1994).

Em 1962 para fins de entretenimento, Morton Heilig desenvolveu o Sensorama que era uma espécie de cabine que combinava filmes 3D, som estéreo, vibrações mecânicas, aromas, e ar movimentado por ventiladores; tudo isso para proporcionar ao espectador uma viagem multisensorial (PIMENTEL E TEIXEIRA, 1995).



Figura 2 - Foto promocional de um protótipo do Sensorama (PIMENTEL et al., 1995)

Em 1965, Ivan Sutherland desenvolveu o primeiro vídeo-capacete totalmente funcional para gráficos de computador no projeto *The Ultimate Display*. Esse vídeo-capacete permitia ao usuário observar, movimentando a cabeça, os diferentes lados de um cubo representado em uma estrutura fio-de-aramo flutuando no espaço (FISHER, 1990).

Em 1975, Krueger criou o *Videoplace*, no qual uma câmera de vídeo capturava a imagem dos participantes e projetava-a em uma grande tela. Os participantes podiam interagir uns com os outros e com objetos projetados nessa tela, sendo que seus movimentos eram constantemente capturados e processados. Essa técnica tornou-se conhecida como Realidade Virtual de Projeção (JACOBSON, 1994).



Figura 3 - Piloto usando o capacete do projeto Super Cockpit (PIMENTEL, 1995).

Em 1982 a força aérea americana desenvolveu o VCASS (Visually Coupled Airborne Simulator) possuía alta qualidade de resolução nas imagens e era bastante rápido na atualização de imagens complexas. No entanto, o custo representava um problema: milhões de dólares eram necessários apenas para o capacete (PIMENTEL, 1995).

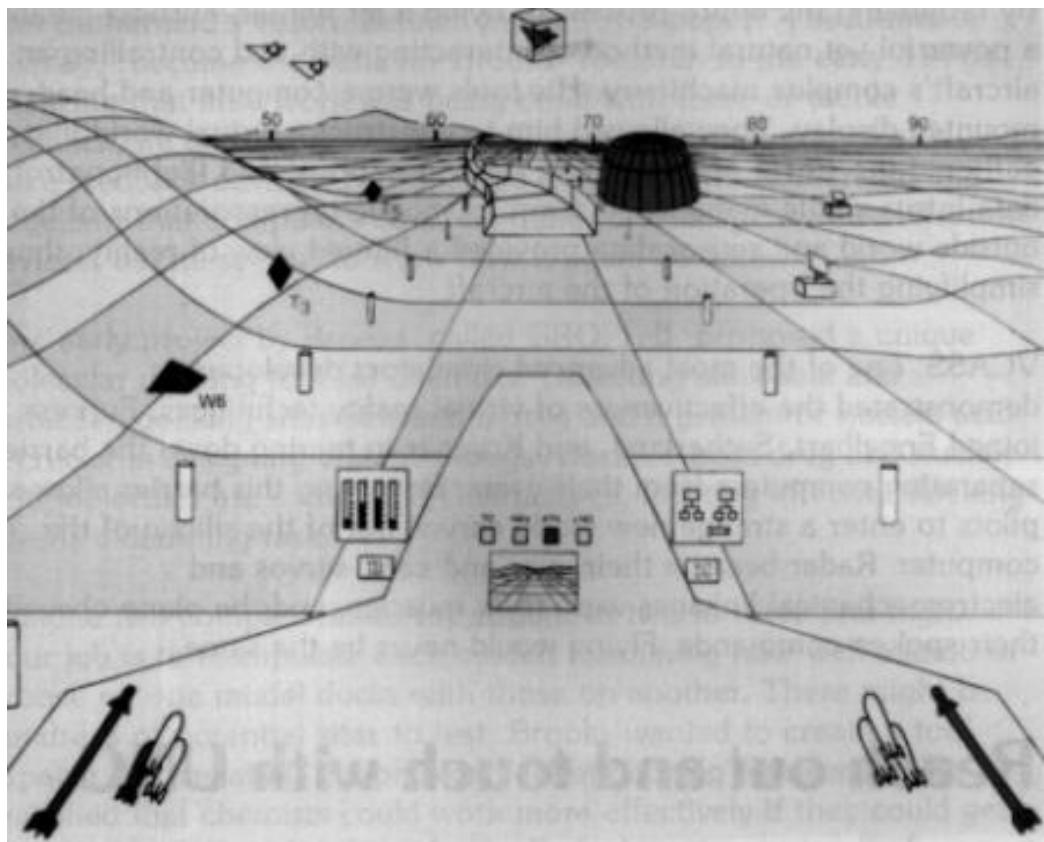


Figura 4 - Visão do usuário do Super Cockpit (PIMENTEL, 1995).

Em 1989 a AutoDesk apresentou o primeiro sistema de Realidade Virtual para computadores pessoais (JACOBSON, 1994) popularizando a realidade virtual para usuários domésticos.

### 3.1.2 APLICAÇÕES DA REALIDADE VIRTUAL

A realidade virtual é amplamente utilizada na medicina, no setor automotivo, indústria aeroespacial, educação e entretenimento (HAFNER et al., 2013).

A realidade virtual mostrou ser uma ferramenta útil para a terapia de pessoas com medo e fobia de dirigir porque permite simular cenários realísticos em que o desempenho da atividade de dirigir é modelada ao mesmo tempo em que se expõem 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).

Na Universidade Tecnológica de Munique estão sendo desenvolvidos estudos sobre a utilização da Realidade Aumentada em cirurgias. O médico utiliza um capacete para realidade virtual contendo um display (HMD – *Head Mounted Display*) para operar os pacientes com a menor incisão possível e com maior precisão, pois o periférico de realidade aumentada exiba virtualmente a posição em 3D virtual do órgão na posição real do operado. (ROMANO, 2010).

O uso de realidade virtual é útil no tratamento de exposição em pacientes com transtorno de pânico. Em ambientes virtuais, os pacientes experimentam alterações fisiológicas, psíquicas e somáticas similares aos sintomas em situações da vida real, facilitando o processo de habituação (CARVALHO et al 2008)

Na radioterapia, usando um (HMD – *Head Mounted Display*), o médico pode posicionar-se em qualquer lugar, inclusive na posição de onde os raios partem, e assim “ver” de fato por onde eles irão passar. A manipulação dos feixes, realizado com um dispositivo preso à mão do médico torna-se mais fácil e intuitiva devido à imersão no ambiente virtual. (SANTOS e HERMOSILLA. 2005)

Até no campo do estudo da arqueologia, é possível compartilhar e disseminar informações sobre um objeto, uma cidade ou uma civilização inteira. Por conseguinte, pode-se afirmar que os modelos 3D são muito mais do que um simples meio de exibição: eles são definitivamente fundamentais para a pesquisa arqueológica e, portanto, são uma nova maneira de olhar para a história. (RUA e ALVITO, 2011)

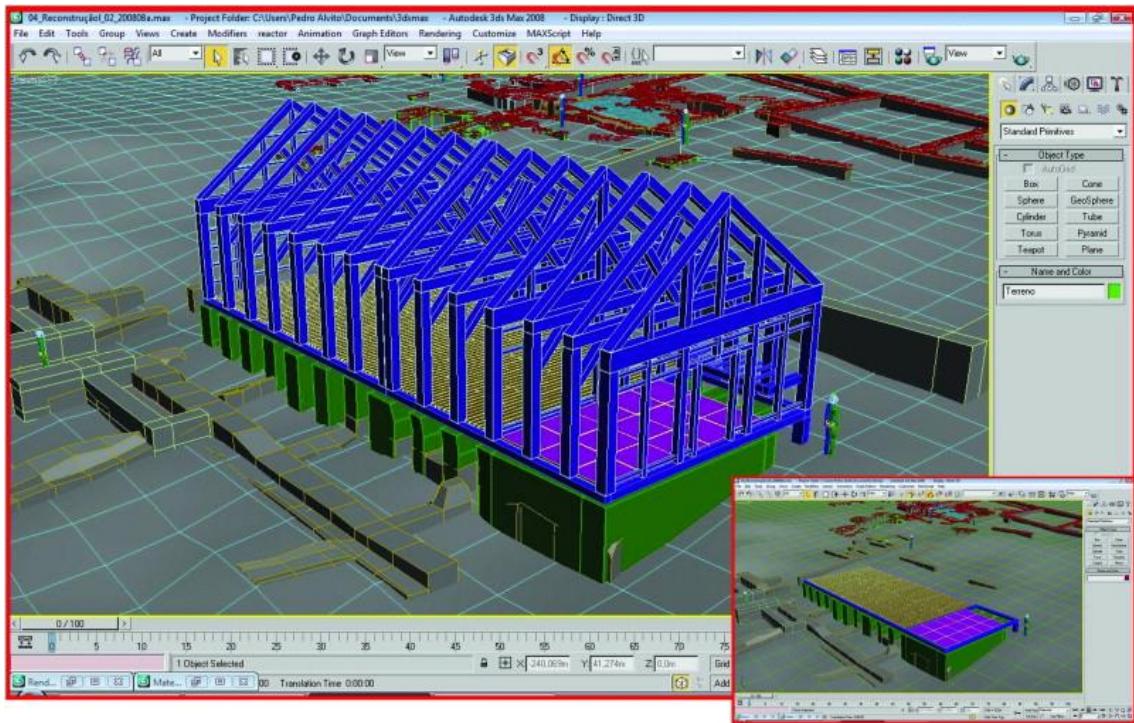


Figura 5 - Fases da reconstrução do celeiro Freiria em Portugal do século V, com base nas paredes existentes (RUA e ALVITO, 2011).

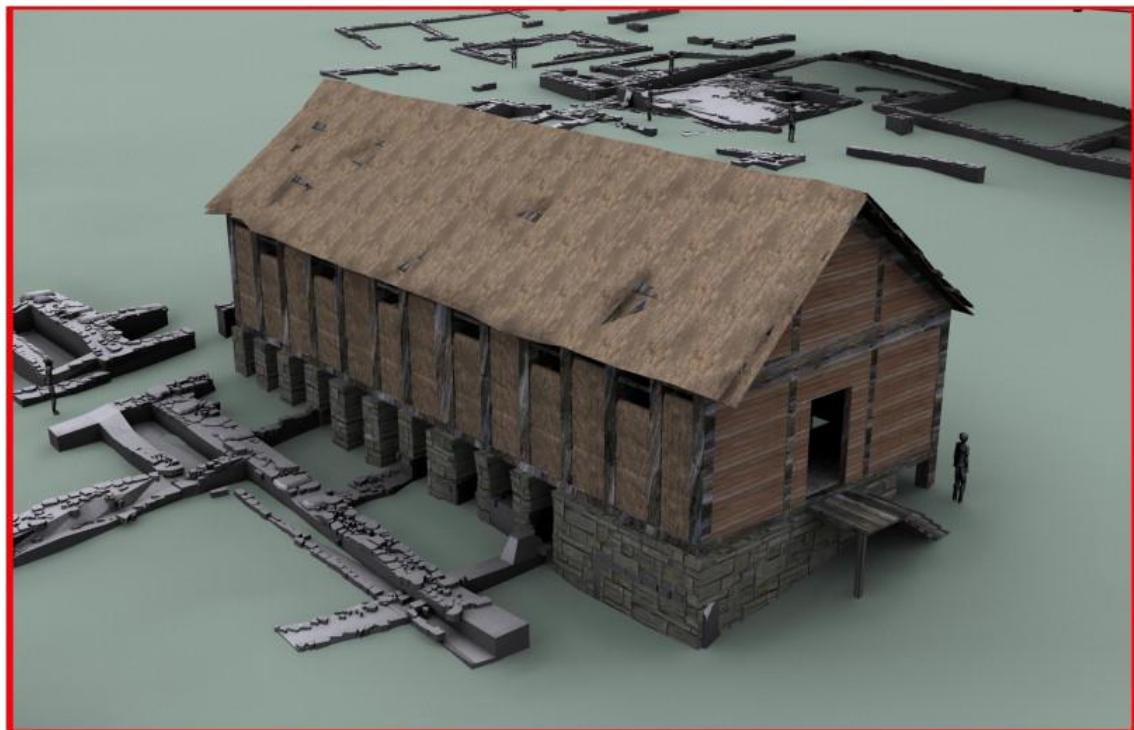


Figura 6 - Modelo tridimensional texturizado do Celeiro de Freiria (RUA e ALVITO, 2011).

### **3.1.3 REALIDADE VIRTUAL NA EDUCAÇÃO**

As novas modalidades de uso do computador na educação apontam para uma nova direção, ou seja, o uso desta tecnologia, não como máquina de ensinar, mas sim como uma nova mídia educacional em que o computador passa a ser uma ferramenta educacional, uma ferramenta de complementação, de aperfeiçoamento e de possível melhora no processo de ensino (BRAGA, 2001).

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 de alto nível. (SOUZA et al., 2011).

Isto implica que muitos estudantes que ingressam no ensino superior adquiriram a capacidade de articular novas ideias e de criar e interpretar artefatos digitais usando novas tecnologias. Sugere-se também que esses estudantes compreendem a entrega rápida de informações, preferem a multitarefa, acesso não linear à informação e aprendizagem experiencial ativa (OBLINGER et al 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 (SILVA E ROGADO, 2008).

No ensino de arte usando a Realidade virtual em Segunda pessoa na plataforma online Second Life, a introdução de estudantes em um ambiente de aprendizagem rica aumentou o grau de satisfação dos alunos. Eles relataram que estavam totalmente imersos em atividades de resolução de problemas que os permitiam individualmente e colaborativamente explorar, experimentar, pesquisar, improvisar, refletir, discutir, criticar e avaliar sua arte digital manipulada (GRENFELL et al.; 2012)

Até nos esportes, a tecnologia de realidade virtual pode ajudar o ensino de basquete, não só pode construir um ambiente de ensino novo, mas também pode fornecer um, ambiente interativo e intuitivo de aprendizagem com métodos de auto

exploração para os alunos estimulando seu interesse e melhorar a qualidade e a eficácia do ensino e da aprendizagem (YAO, et al., 2012).

A expansão da Internet, acessível a um número cada vez maior de estudantes devido a inclusão digital o que proporciona que novas tecnologias de educação sejam utilizadas, como o uso de laboratórios remotos e ferramentas de ensino a distância (EAD) que são uma alternativa para atender as demandas por mais laboratórios (Cooper, 2000).

### **3.1.4 REALIDADE VIRTUAL NO BRASIL**

No Brasil, poucos periódicos contemplam temas relacionados à RV aplicada à saúde. Entretanto, alguns eventos já consolidados publicam trabalhos dos diferentes grupos de pesquisa brasileiros que se dedicam a este assunto (NUNES et al., 2011).

A simulação de procedimentos cirúrgicos também está sendo objeto de estudo em grupos de pesquisa brasileiros. Foi desenvolvido um simulador virtual de coleta de medula óssea para treinar profissionais na coleta de material para transplante. (NUNES et al., 2011).

Na Universidade de São Paulo, as equipes de infraestrutura, de desenvolvimento de software, de hardware e de conteúdo do Núcleo de Realidade Virtual do Laboratório de Sistemas Integráveis desenvolveram os subsistemas do simulador de um Passadiço de Embarcação Militar em uma parceria entre a Marinha do Brasil e o Laboratório de Sistemas Integráveis (ZUFFO et al., 2012).

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

### **3.2 FERRAMENTAS USADAS NA FASE DE PROTOTIPAÇÃO**

Durante essa fase foram usados além de papel e caneta um software famoso entre desenvolvedores e pesquisadores, o Autodesk Autocad 2015.

### 3.2.1 AUTODESK AUTOCAD

AutoCAD é um programa de computador de CAD (nome genérico para especificar softwares de Desenho assistido por computador) criado e comercializado pela Autodesk desde 1982.

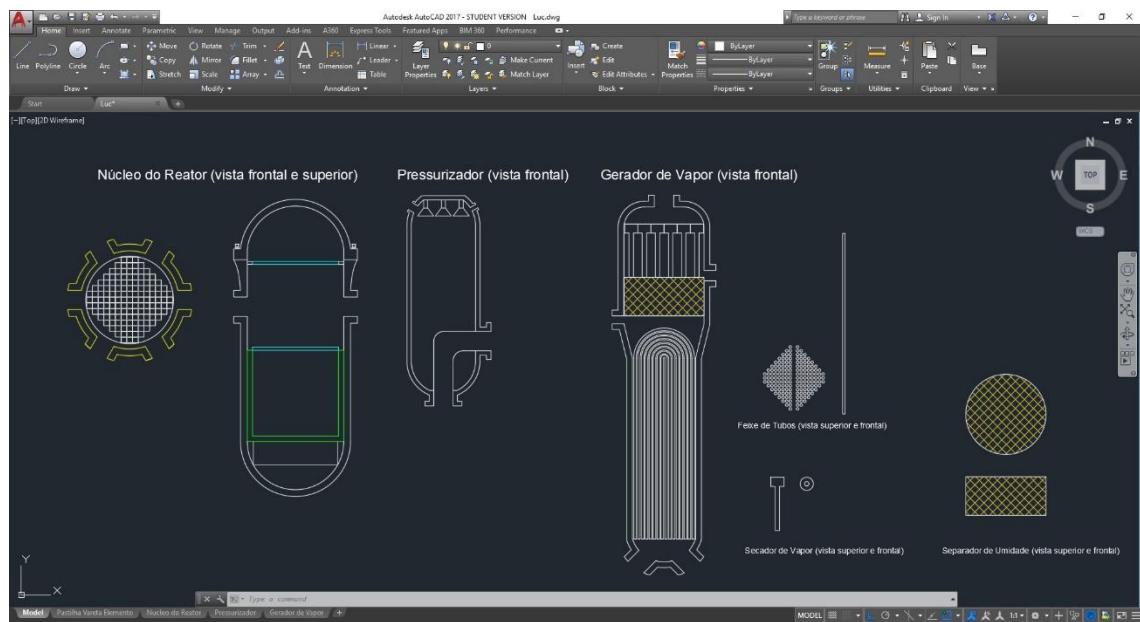


Figura 7 - Interface do Autocad 2015 – Acervo Pessoal

O AutoCAD é um software de desenho técnico muito usado por profissionais de engenharia civil, mecânica, metalúrgica entre outros (AUTOCAD, 2010).

A Autodesk vem desenvolvendo o software AutoCAD ao longo dos anos o incorporando correções sugeridas por profissionais de desenho técnico do mundo inteiro (AUTOCAD, 2010).

O Adobe Photoshop é um software de licença comercial, mas assim como o SolidWorks, ele fornece em seu site uma licença gratuita e temporária para estudantes mediante a um cadastro.

### 3.3 A ENERGIA NUCLEAR

A energia nuclear, produzida a partir do átomo de urânio, voltou à agenda internacional da produção de eletricidade como alternativa importante aos combustíveis fósseis.

As centrais nucleares não emitem dióxido de carbono enquanto geram eletricidade, mas produzem resíduos radioativos que devem ser eliminados de forma segura. A segurança também é um fator crucial porque um acidente em uma usina nuclear pode liberar material radioativo para o meio ambiente e isso pode ter consequências devastadoras. A energia nuclear cresceu a partir dos programas de armas nucleares do início e meados do século XX, essa tecnologia viu o seu maior crescimento entre o início da década de 1960 e início da década de 1980. Em 2013, a energia nuclear contribuiu com cerca de 11% da eletricidade global. BREEZE, 2016).

De acordo com as últimas estatísticas da AIEA, em 2006 responderam por 14,8% da produção total, conforme destacado na a seguir:

<b>Energia Nuclear no mundo (2006)</b>		
FONTE:	%	TWh*
Carvão	41	7.761,30
Petróleo	5,8	1.097,94
Gás Natural	20,1	3.804,93
Nuclear	14,8	2.801,64
Hidrelétrica	16	3.028,80
Outras	2,3	435,39
<b>TOTAL:</b>	<b>100</b>	<b>18.930</b>

Tabela 1 – Energia Nuclear no mundo - (\*) Um terawatt-hora equivale a um milhão de gigawatts-hora. Fonte: (AIEA, 2008)

### 3.4 USINA NUCLEAR GERADORA DE POTÊNCIA

Uma Usina Nuclear Geradora de Potência é uma instalação industrial responsável por gerar energia elétrica indiretamente através do processo de fissão nuclear que acontece no núcleo do reator.

De acordo com a AIEA em 2007 existiam 439 Usinas Nucleares Geradoras de Potência em todo mundo e mais 37 estavam em processo de construção.

### 3.5 REATORES DE ÁGUA LEVE

O tipo mais comum de usina nuclear usa o resfriamento de água dentro do núcleo do reator. A água é um bom moderador para os nêutrons rápidos gerados durante a fissão nuclear e combina tão facilmente a capacidade de retardar as partículas geradas durante as reações de fissão com a captura de calor. Foram desenvolvidos dois tipos de reator arrefecido a água. Em reatores de água fervente (BWR), a água é deixada ferver dentro do núcleo do reator, gerando vapor que pode ser usado diretamente para dirigir uma turbina a vapor. No segundo tipo, os reatores de água pressurizada (PWR), a água é circulada através do núcleo sob alta pressão para que não ferva. (BREEZE, 2017). De acordo com a AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica), os reatores do tipo PWR são os tipos de reator nuclear para geração de potência mais usados no mundo.

#### 3.5.1 REATORES DE ÁGUA PRESSURIZADA

Os reatores do tipo PWR são os reatores em operação no Brasil no complexo de Angra I e Angra II. O reator de água pressurizada é um reator de água leve

No reator PWR o refrigerante é mantido a alta pressão e circula pelo núcleo. A água flui através do espaço entre os elementos combustíveis retirando o calor produzido no combustível.

O reator do tipo PWR conta com 3 circuitos denominados primário, secundário e terciário. No circuito primário a água sai quente do núcleo do reator pela chamada perna quente do vaso do reator, passa pelo pressurizador e então para o gerador de vapor onde ela passa parte de seu calor, depois, com auxílio de bombas, essa mesma água retorna ao vaso do reator pela perna fria para receber calor novamente.

No circuito secundário o calor recebido no gerador de vapor pelo primeiro ciclo transforma a água em vapor que é usado para girar uma turbina e produzir eletricidade, após girar a turbina esse vapor é condensado pela água bombeada de uma fonte externa a usina, se torna água novamente e com o auxílio de bombas, retorna ao gerador de vapor concluindo o ciclo.

### **3.6 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM REATOR DO TIPO PWR**

Os componentes a seguir por serem os principais envolvidos no processo de geração de energia elétrica do primeiro e do segundo ciclo foram escolhidos para serem modelados tridimensionalmente para posteriormente serem alocados no Ambiente Virtual de Aprendizagem.

#### **3.6.1 PASTILHA DE ELEMENTO COMBUSTÍVEL**

Nos reatores do tipo PWR, as pastilhas de combustível nuclear são usadas para gerar calor para geração de energia como resultado do processo de fissão atômica. Essas pastilhas de combustível são cilindros feitos de dióxido de urânio enriquecido, u-235. (OTERKUS e MADENCI, 2017).

Nesse modelo tridimensional a pastilha de combustível é representada por um pequeno cilindro de 1,35 centímetros de altura por 0,41 de raio são levemente côncavas em sua base e seu topo para permitir uma eventual expansão vinda do seu centro proveniente do calor gerado pelo processo de fissão

Embora não seja a natureza específica desse trabalho é preciso salientar que existem diversos estudos sobre o comportamento mecânico das pastilhas de elemento combustível tais como rachaduras devidas a sua natural expansão decorrente da sua alta temperatura. À medida que a temperatura do combustível aumenta, as fissuras radiais ocorrem e propagam-se para o centro da pastilha de combustível (OTERKUS e MADENCI, 2017).

#### **3.6.2 VARETA DE ELEMENTO COMBUSTÍVEL**

As pastilhas de combustível são inseridas num tubo Zircaloy-4 (um material muito usado na indústria nuclear, devido a excelente resistência a corrosão e alta permeabilidade a nêutrons rápidos) e cada extremidade do tubo é selada hermeticamente para se formar uma barra de combustível resistente a pressão (WESTINGHOUSE, 2008).

### **3.6.3 ELEMENTO COMBUSTÍVEL**

Se define como elemento combustível o componente do núcleo do reator que contém de forma apropriada o material combustível e os seus materiais estruturais. É uma estrutura que contém varetas carregadas de urânio, estas varetas são fechadas, com o intuito de não deixar escapar o material radioativo, o elemento combustível é o núcleo do reator. (PERROTA, 1999).

### **3.6.4 VASO DO REATOR**

De acordo com (BREEZE, 2016), os materiais estruturais do vaso do reator propiciam barreira física, resistência mecânica e suporte estrutural para os componentes do núcleo do reator. As propriedades principais que os materiais que compõe o núcleo do reator são:

- Baixa seção de choque de absorção de nêutrons
- Alta resistência mecânica
- Alta estabilidade térmica
- Alta estabilidade a irradiação

### **3.6.5 PRESSURIZADOR**

Para fazer frente às mudanças constantes das condições de operação a que está sujeita, tanto na temperatura como na massa do refrigerante, a planta nuclear PWR é protegida pelo pressurizador, componente essencial para controlar a pressão do sistema primário dentro de valores seguros preestabelecidos. Essa peça trata-se de um cilindro que é normalmente construído em aço-carbono, com um revestimento interno de aço inoxidável para evitar uma possível corrosão. Na parte superior é conectada a linha do aspersor que fornece água fria ao sistema. (BRUEL, 1997).

### **3.6.6 GERADOR DE VAPOR**

É função do gerador de vapor produzir o vapor que movimenta a turbina do reator gerando energia elétrica. Também é função do gerador de vapor servir de fronteira separadora entre a água do circuito primário, que refrigera o núcleo do reator, e a água do circuito secundário, a qual por mudança de fase gera vapor que movimenta a turbina gerando a eletricidade. (GUIMARÃES e FLORES, 1997).

### **3.6.7 ESTRUTURA DE CONTENÇÃO**

A Contenção ou edifício do reator é a última barreira de proteção entre a radiação interna do núcleo do reator e o meio ambiente externo. Desde o acidente de Three Mile Island em 28 de março de 1979 nas proximidades de Harrisburg, capital da Pensilvânia, nos Estados Unidos, sendo esse o primeiro acidente nuclear do mundo ocidental de nível 5 na escala de desastres AIEA (Agência Internacional de Energia Atómica) se tornou necessário " realizar estudos e análises calcular a capacidade de pressão final da contenção do reator nuclear para a avaliação de segurança de usinas nucleares " (U.S. NUCLEAR REGULATORY COMISSION, 1987).

## **3.7 AMBIENTE WEB**

A potencialidade da realidade virtual está exatamente no fato de possibilitar a exploração de ambientes, processos e sistemas não através dos meios convencionais, como fotos, livros, filmes, aulas, mas através da manipulação e análise virtual do próprio conteúdo de estudo. O ambiente web é mais uma interface para se explorar essa potencialidade.

A World Wide Web ou simplesmente Web, foi criada no final dos anos 80 por Tim Berners-Lee No Centre European de Research Nucleaire (Laboratório Cern, disponível na internet [www.cern.ch](http://www.cern.ch)) como solução para problemas de intercâmbio de informações entre os pesquisadores da área nuclear. Não se imaginava-se que essa plataforma seria adotada por milhões de pessoas como método comum de comunicação.

Desde o surgimento da Web, a tecnologia para construção de sites de internet vem sendo incrementadas a fim de contemplar as mais complexas demandas dos usuários. A360 da Solidworks descrita adiante é um exemplo dessa evolução.

Entre as vantagens em se utilizar a web como plataforma para aplicações que exploram a realidade virtual está a acessibilidade. Na maioria dos casos quando o software está atualizado o usuário não precisa instalar novos softwares ou ter os requisitos de sistemas complexos para executá-lo, basta acessar um endereço (como por exemplo [www.ien.gov.br](http://www.ien.gov.br)) pelo navegador, navegadores que por sua vez estão presentes nativamente em qualquer sistema operacional para vários dispositivos como computadores pessoais, smartphones, tablets e até relógios de pulso.

### **3.7.1 AMBIENTES VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM**

Entende-se que um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) é caracterizado por um conjunto de ferramentas computacionais que permitem a criação e o gerenciamento de cursos a 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, p. 08).

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, um AVA refere-se ao uso de recursos digitais de comunicação, principalmente, através de softwares educacionais via web que reúnem diversas ferramentas de interação.

Dentre as principais propostas do AVA, destacam-se:

- A utilização de um ambiente virtual de aprendizagem para ampliar e enriquecer os espaços de convivência, privilegiando a atividade do sujeito na construção do conhecimento;
- A possibilidade de promover a interdisciplinaridade num ambiente de cooperação entre sujeitos de diferentes áreas de conhecimento;

- A disponibilização de um espaço de interação entre os sujeitos através de diferentes objetos de conhecimento possibilitados pelo ambiente.

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.

(SCHLEMMER e FAGUNDES, 2001) afirmam que todo e qualquer 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.

A tabela abaixo, apresenta os aspectos didáticos pedagógicos proposto no modelo interacionista construtivista, segundo (SCHLEMMER E FAGUNDES, 2001):

ASPECTOS	DESCRIÇÃO
Paradigma	Interacionista/construtivista
Foco do sistema	Na aprendizagem, na construção do conhecimento, na interação, na colaboração, na cooperação, na comunicação
Ambiente de aprendizagem	Flexível, ativo, participativo, interdisciplinar
Ensino	Baseado na comunicação, na interação, na colaboração, na cooperação. No desenvolvimento de projetos, desafios, casos e problemas
Curriculum	Interdisciplinar, do todo para as partes. Construído no processo, não havendo uma sequência única e geral.
Metodologia	Interativa e problematizadora. Centrada na pesquisa, na identificação e resolução de problemas e projetos.

*Tabela 2 – Aspectos didáticos e pedagógicos de um AVA (SCHLEMMER E FAGUNDES, 2001)*

### **3.7.2 RESPONSIVIDADE E APLICAÇÕES EM DISPOSITIVOS MÓVEIS**

A ideia de a informação estar disponível a qualquer hora e em qualquer lugar já foi realizada. Mas existe um terceiro passo, no qual a informação precisa estar disponível para qualquer dispositivo. Cada um deles tem formas diferentes de manipulação e experiência de uso, e isso deve ser levado em consideração. (BOSCO, 2012, p.25).

Design Responsivo é um princípio de desenvolvimento para Web cujo objetivo é adaptar o layout das páginas a qualquer dispositivo, tela e resolução, com objetivo de garantir a boa experiência do usuário, possibilitando navegação e leitura confortáveis sem comprometer o conteúdo. (SILVA, 2014) explica o conceito de Design Responsivo que antes de qualquer coisa, é necessário que fique muito claro que design responsivo não diz respeito simplesmente e somente à adaptação do layout ao tamanho da tela. Vai muito além disso, pois o conceito de design responsivo na sua forma ampla deve ser entendido como design capaz de responder às características do dispositivo ao qual é servido.

No contexto educacional, a utilização de dispositivos móveis representa uma revolução no processo de aprendizagem. Tal forma de acessibilidade é definida pelo termo mobile learning (ou simplesmente m-learning), que compreende a utilização de dispositivos móveis em salas de aula, laboratórios, entre outros ambientes, de forma a superar algumas limitações ainda existentes no processo educacional. (SABOIA E VARGAS, 2013).

## CAPÍTULO 4

### DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Segue abaixo um fluxograma descrevendo brevemente o método usado desde a busca por modelos de referência até a conclusão do trabalho para conclusão dos objetivos citados no segundo capítulo desse trabalho.

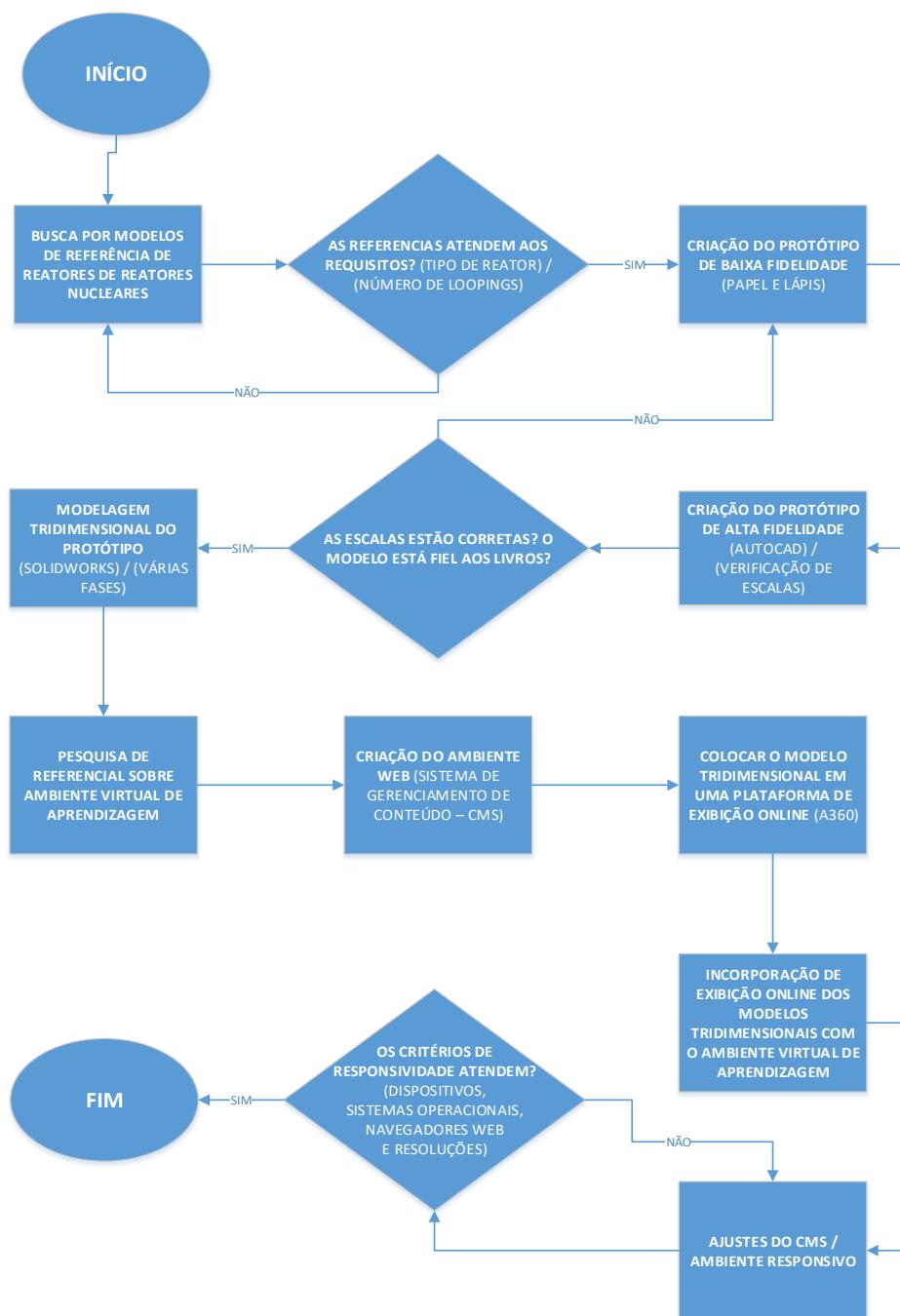


Figura 8 - Fluxograma sequencial completo da metodologia desse trabalho

#### **4.1 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 do mesmo.

O tipo de reator modelado foi um reator de água pressurizada com três pernas quentes e três pernas frias seguindo as orientações gerais de (WESTINGHOUSE, 1984). A tabela abaixo indica algumas das medidas que foram extraídas dessa publicação para a modelagem:

<b><u>PARÂMETROS SEGUIDOS PARA MODELAGEM - REATOR PWR DE 3 CICLOS</u></b>	
Diâmetro externo da vareta de elemento combustível	1.38cm
Espessura do revestimento	0.2cm
Espaçamento - Pastilha/vareta	0,08cm
Diâmetro da pastilha de combustível	0,82cm
Altura da pastilha de combustível	1.35cm
Arranjo ( <i>grid</i> ) do conjunto de varetas	17x17
Número de varetas de combustível por elemento combustível	264
Número total de barras de combustível no núcleo do reator	50,952

*Tabela 3 – Alguns parâmetros seguidos do reator PWR para a fase de prototipação.*

Essa arquitetura de reator foi escolhida para esse projeto por ser o tipo de reator presente virtualmente no LABHIS do IEN e de acordo com a AIEA os reatores do tipo PWR são os reatores mais presentes em todas usinas nucleares geradoras de potência em todo mundo, cerca de 65% dessas instalações utilizam reatores de água pressurizada (AIEA, 2017).

#### **4.2 PROTOTIPAÇÃO**

Seguindo as informações adquiridas sobre engenharia de reatores nos tópicos anteriores, foram feitos dois protótipos antes da modelagem final um de baixa fidelidade e outro de alta fidelidade.

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.

Existem dois tipos de protótipos, protótipos de baixa fidelidade e de alta fidelidade.

- Protótipos de baixa-fidelidade: não se assemelham a versão final, utilizando, por exemplo, materiais diferentes em sua confecção

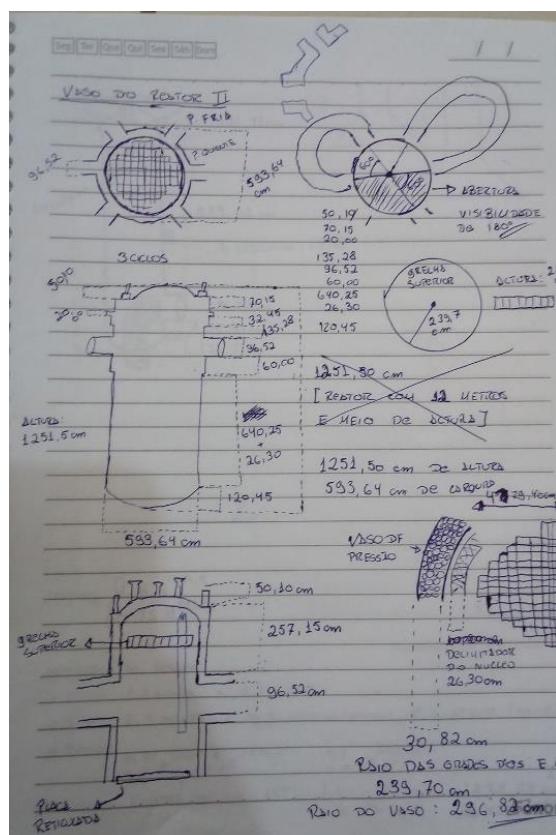


Figura 9 - Protótipo de baixa fidelidade do vaso do reator utilizando papel e caneta – acervo pessoal.

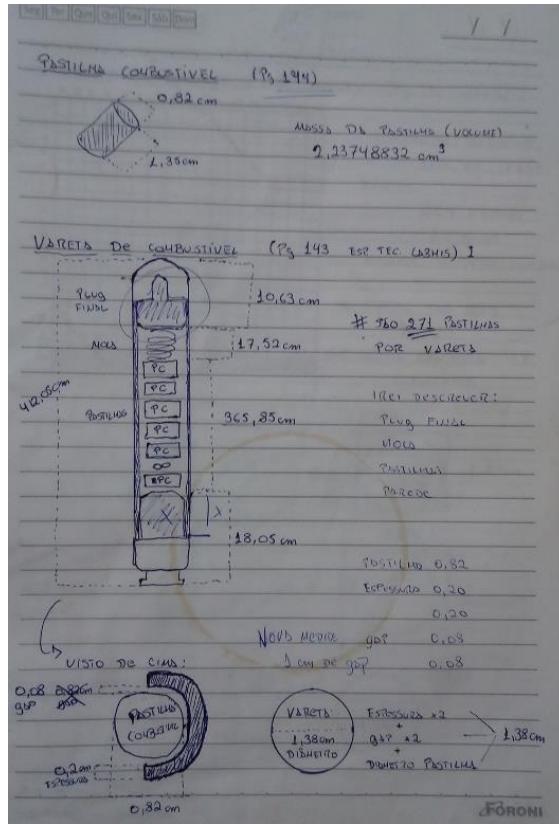


Figura 10 - Protótipo de baixa fidelidade da vareta de elemento combustível utilizando papel e caneta – acervo pessoal.

- Protótipos de alta-fidelidade: muito semelhantes à versão final, o material utilizado é aquele que espera ser utilizado na versão para produção.

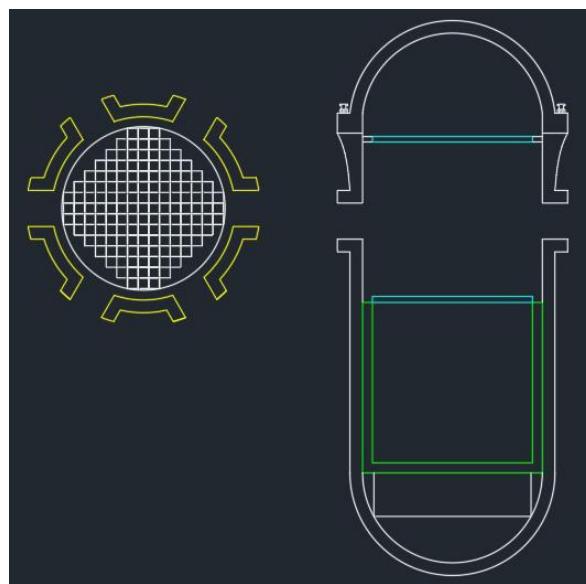


Figura 11 - Protótipo de alta fidelidade do vaso do reator utilizando o software Autocad.

### 4.3 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. (AZEVEDO 2005) em sua obra descreve o processo de modelagem dividindo-o em cinco fases: arte Conceitual, Modelagem Digital, Texturização e Iluminação, Rigging e Renderização.

**Arte Conceitual:** É a parte onde o artista ou engenheiro desenha bidimensionalmente em softwares de criação e edição de imagens e projetos ou até mesmo a mão livre estudando as formas medidas ou anatomia a fim de desenvolver um documento ilustrativo que será usado na fase posterior.

**Modelagem digital:** É o processo de construção digital da arte conceitual a fim de ser exportado posteriormente no ambiente de imersão proposto. Softwares comumente usados pelos desenvolvedores são 3DMax, Maya, Solidworks, Sketchup, entre outros. As técnicas utilizadas nesse processo são diversas e todas elas são realizadas através da criação de uma malha (*mesh*) complexa de segmentos que dão forma ao objeto. (TREVAS, et. al 2011).

**Textura e iluminação:** Com o modelo tridimensional pronto é preciso personaliza-lo compondo a textura ou texturas necessárias para aumentar a fidelização do objeto ou ambiente com a proposta e assim aumentar a imersão. As texturas também podem ser definidas durante o processo de elaboração da arte conceitual (CALCIOLARI, 2011).

**Rigging:** Caso se tratar de um objeto animado, essa fase se trata da montagem do esqueleto da animação do objeto composto por articulações (*joints*). No caso desse objeto tridimensional ser utilizado em um motor de jogos por exemplo, as animações e movimentos programados farão referência a essas articulações definidas durante o processo de modelagem (CALCIOLARI, 2011).

**Renderização:** É a última etapa do processo de construção de um objeto, ambiente ou personagem tridimensional com o objetivo de se obter o produto final. Dependendo da complexidade do objeto e dos recursos de hardware disponíveis no sistema o processo de renderização (*render*) pode durar horas ou até dias (CALCIOLARI, 2011).

Hoje, existem diversos Softwares que trabalham com modelagem 3d e seu uso está cada vez mais abrangente (TREVAS et al, 2011). Normalmente o desenvolvedor opta pelas ferramentas a serem utilizadas durante o desenvolvimento analisando a proposta completa do projeto e seu grau de afinidade com o software.

#### 4.3.1 FERRAMENTA USADAS DURANTE O PROCESSO DE MODELAGEM: SOLIDWORKS

O SolidWorks é um software muito difundido na comunidade da computação gráfica, sendo utilizado por diversos profissionais ligados as áreas de projetos de engenharia, design de tubulações e projetistas em geral.

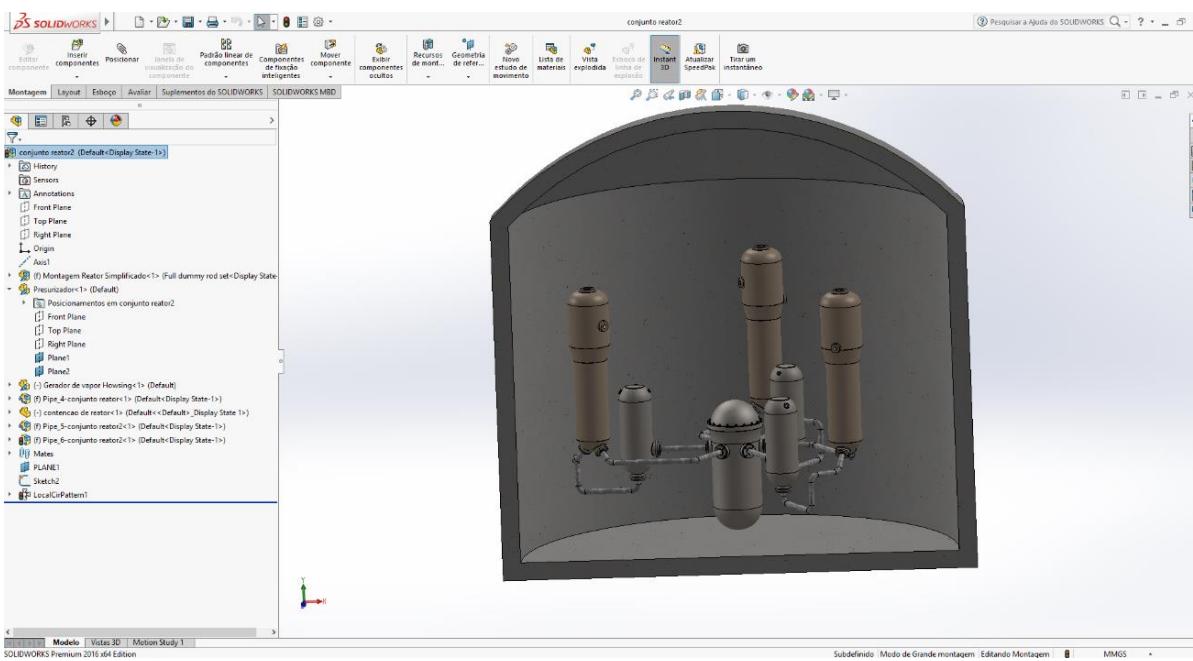


Figura 15 - Interface do Solidworks 2016 – Acervo Pessoal

O SolidWorks é um software de modelagem sólida, paramétrica, baseado em etapas e integrado ao Windows. É possível criar modelos totalmente associativos entre si ou sem relações (*constraints*), enquanto utiliza relações automáticas ou definidas pelo usuário na necessidade de criação da intenção do projeto (*design intent*).

O Solidworks é um software de licença comercial, ou seja, é aquele pelo qual o usuário paga uma taxa de licenciamento para poder utilizar. Entretanto o Solidworks possui uma versão gratuita para estudantes. Uma vez feito o cadastro do estudante e

da instituição de ensino no website do Solidworks é garantido uma licença de uso de dois anos além de acesso a uma biblioteca de apostilas e manuais.

#### **4.3.2 FERRAMENTA USADAS DURANTE O PROCESSO DE MODELAGEM: PHOTOSHOP**

O Photoshop talvez seja o software de edição de imagens mais famoso e escolhido pela maioria dos profissionais do ramo em todo mundo. Primeiramente foi desenvolvido pela empresa Estadunidense Macromedia e após a sua fusão com a empresa Adobe Systems em 2005, o Photoshop vem sido atualizado por ela.



*Figura 16 - Interface do Photoshop CS6 – Acervo Pessoal*

O Photoshop é um software de retoque de fotografias, pinturas e edição de imagens que roda em ambiente Macintosh e Windows. (ADOBE., ADOBE PHOTOSHOP Help and tutorials). O Adobe Photoshop é um software de licença comercial.

#### **4.4 CRIAÇÃO DO AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAGEM**

De acordo com (STERN et. al, 2010), gerir conteúdo na web exige uma estrutura técnica complexa. Ao 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 surgiram as CMS (Sistemas Gerenciadores de Conteúdo). Segundo (PARREIRAS e BAX, 2004). São ferramentas que proporcionam a criação e atualização de material digital em websites. Além de uma simples ferramenta para gestão de páginas na web suas funções podem incluir:

- 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 por ser uma plataforma gratuita e intuitiva.

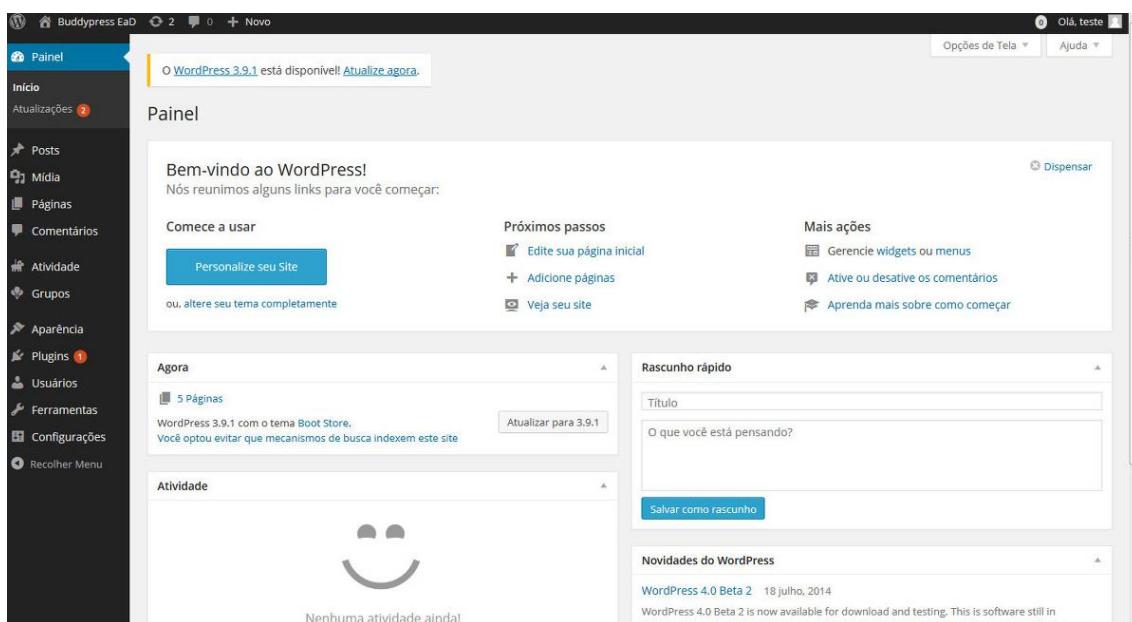


Figura 12 - Painel administrativo do Wordpress – acervo pessoal

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. De acordo com (STERN, et al. 2010) 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.

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.

## 4.5 INCORPORAÇÃO DA FERRAMENTAS DE REALIDADE VIRTUAL INTERATIVA NO AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAGEM

Uma vez criados os modelos tridimensionais no Solidworks 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 resposta está em uma plataforma online disponibilizada gratuitamente pela Autodesk, o A360 Viewer.

O A360 Viewer 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).

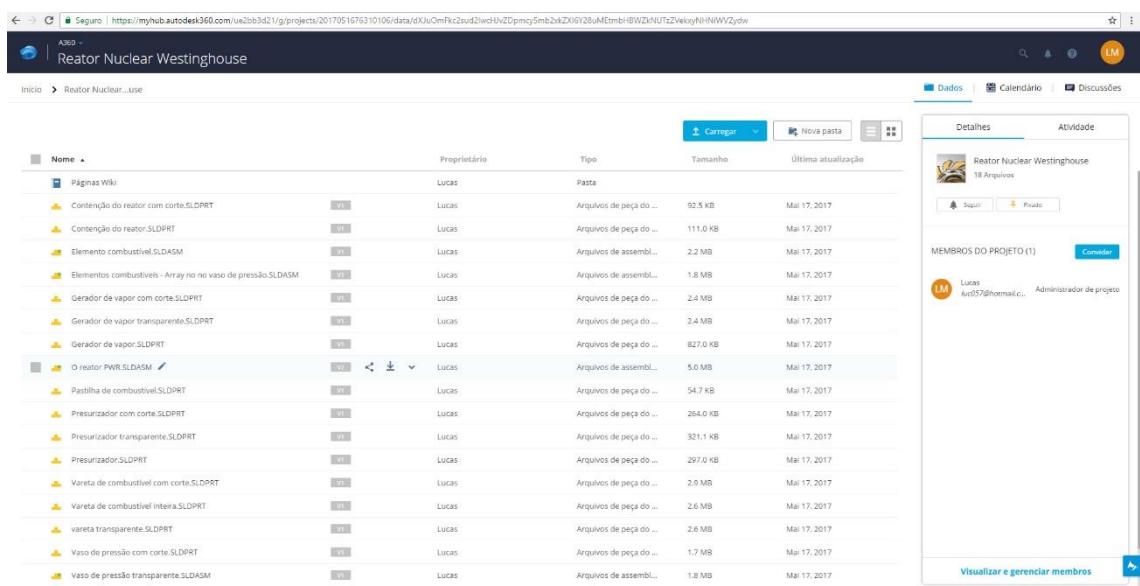


Figura 13 - Vista da interface de projetos do A360 Viewer - acervo pessoal

Entre suas características principais estão:

- Facilidade no compartilhamento de arquivos

É possível fazer o upload de qualquer arquivo compatível do A360 e criar um link para compartilhar instantaneamente modelos em 3D ou desenhos em 2D por e-mail ou inserir diretamente em um site.

- Revisão em tempo real

É possível informar e obter comentários de participantes do projeto em tempo real e os arquivos de projeto em espaços de trabalho inteligentes.

- Segurança

O A360 protege todos os projetos e os dados de projeto com os padrões, certificações e tecnologia de criptografia mais recentes da indústria.

- Armazenamento em nuvem

Os arquivos ficam armazenados em na nuvem e é possível carregar os dados a partir de qualquer dispositivo a qualquer momento.

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. 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.

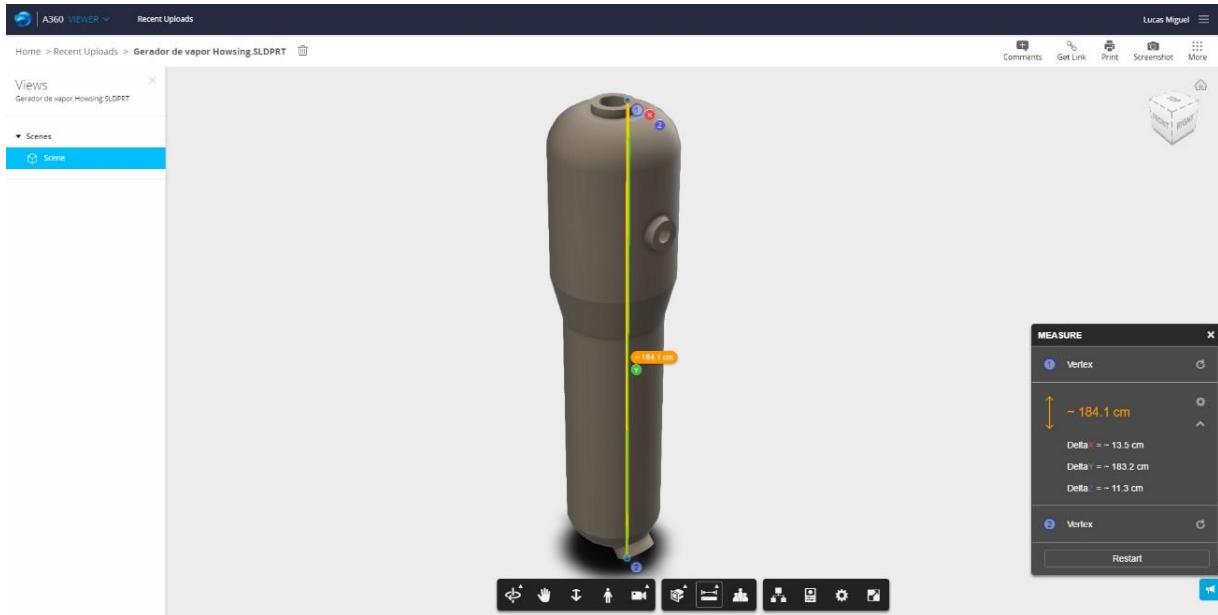


Figura 14 - Ferramenta régua sendo aplicada no A360 Viewer para se saber a altura de um gerador de vapor - acervo pessoal.

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.

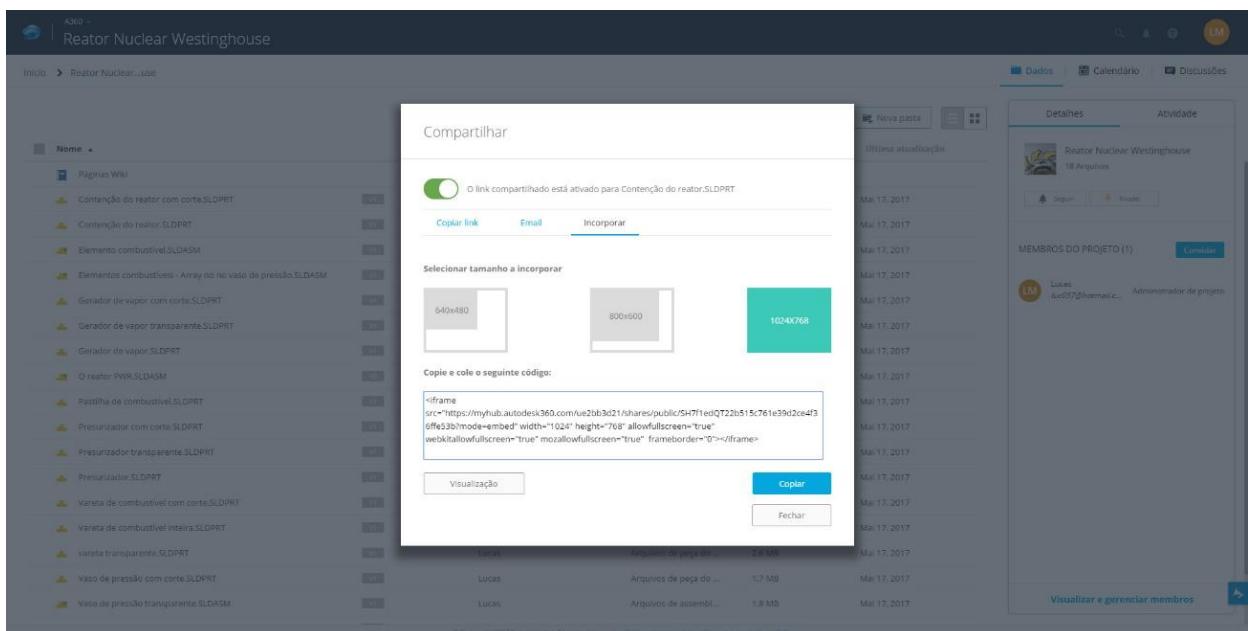


Figura 15 - Obtenção do código iframe para incorporação em outros websites - acervo pessoal.

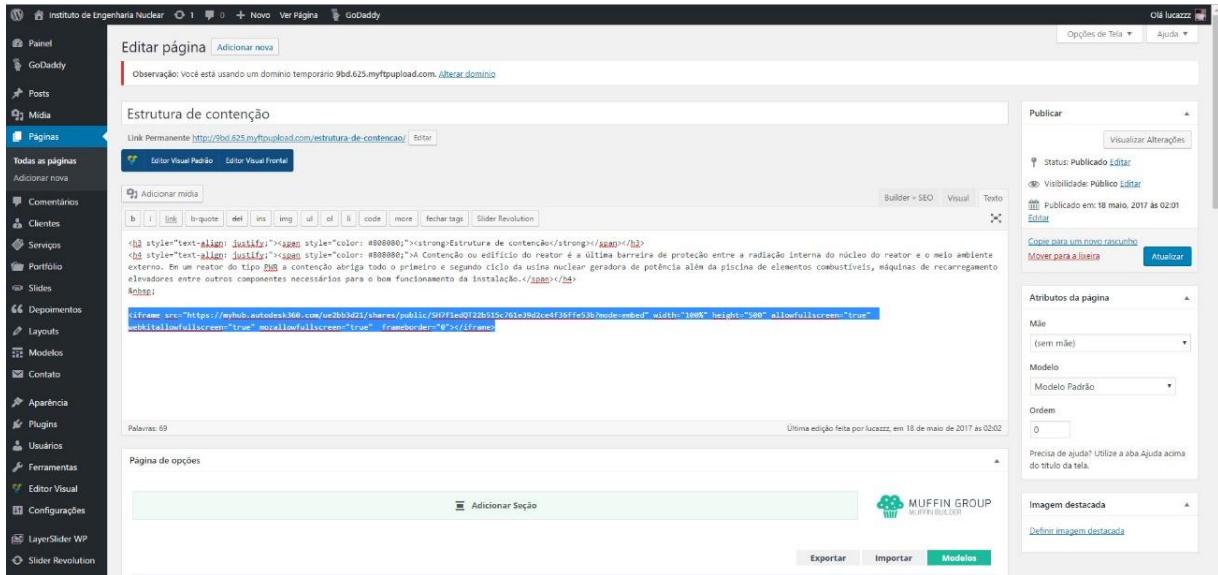


Figura 16 - Inserção do código gerado pelo A360 na página do Wordpress fonte acervo pessoal.



Figura 17 - Resultado final da visualização do A360 incorporada ao Wordpress - acervo pessoal.

#### **4.7 DISPONIBILIZAÇÃO DO 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
- Suporte para o protocolo HTTPS

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS

Após aplicada a metodologia descrita o resultado obtido foi um Ambiente Virtual de Aprendizagem utilizando a Realidade Virtual de forma interativa com a plataforma Autodesk A360 incorporada ao CMS. Em resumo uma plataforma com pleno potencial para cumprir os objetivos citados no capítulo 2 desse trabalho.

#### 5.1 AS PARTES MODELADAS DO REATOR DE ÁGUA PRESSURIZADA

Esse trabalho trata-se apenas da modelagem dos principais componentes envolvidos no circuito primário e secundário além da contenção como será disposto a seguir.

##### 5.1.1 PASTILHA DE ELEMENTO COMBUSTÍVEL

No tópico a seguir será descrito a vareta de elemento combustível que 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 da mesma, a engenharia vareta de elemento combustível prevê que deve haver um *gap* (espaçamento) entre a pastilha de elemento combustível e a parede interna da vareta para permitir a sua expansão lateral.

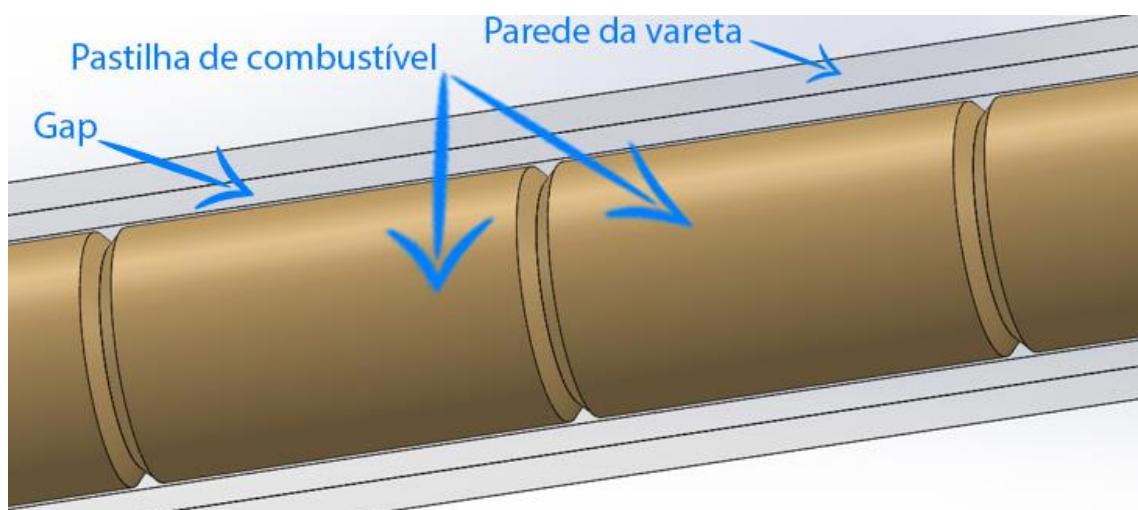


Figura 18 - Pastilhas de elemento combustível (em amarelo) dentro da vareta de combustível modeladas no SolidWorks - Acervo pessoal

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

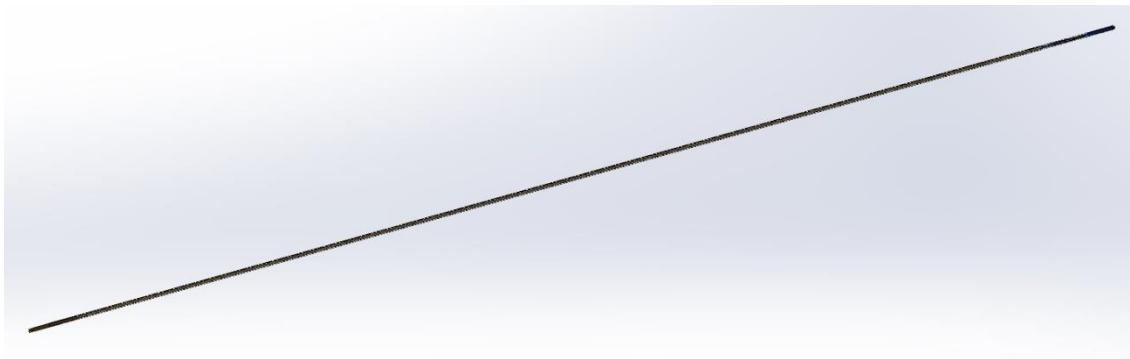


Figura 19 - Vareta de combustível modelada no SolidWorks – vista completa -fonte: acervo pessoal.

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)

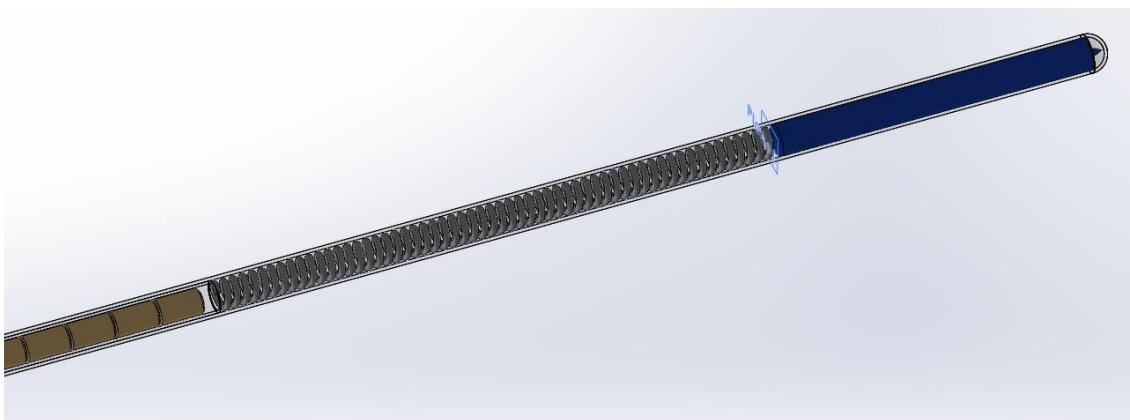


Figura 20 - Vareta de combustível modelada no SolidWorks – vista da parte superior com transparência – fonte - acervo pessoal

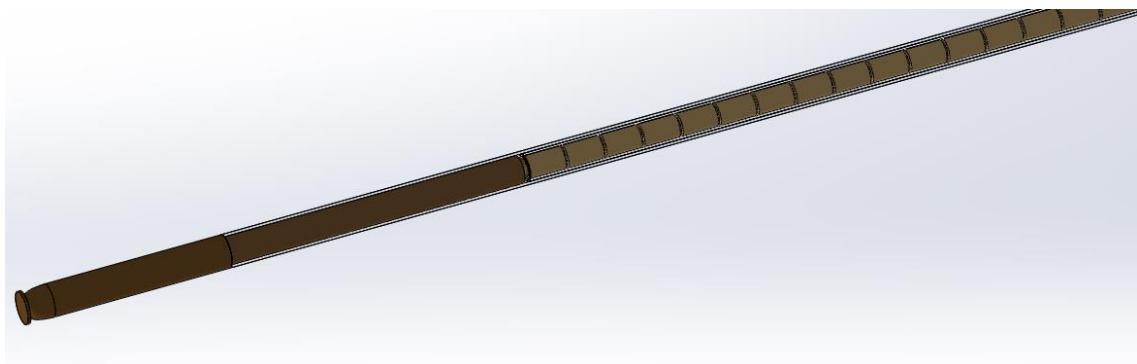


Figura 21 - Vareta de combustível – vista da parte inferior - fonte: acervo pessoal

### 5.1.2 ELEMENTO COMBUSTÍVEL

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 17x17 com um tubo guia central como pode ser notado nas figuras a seguir da grade espaçadora do elemento combustível modelado.

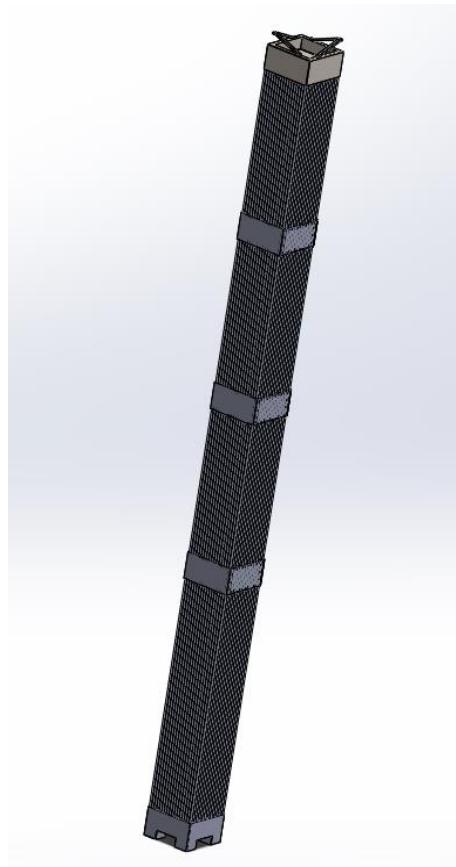


Figura 22 - Elemento combustível modelado no SolidWorks- fonte - acervo pessoal.

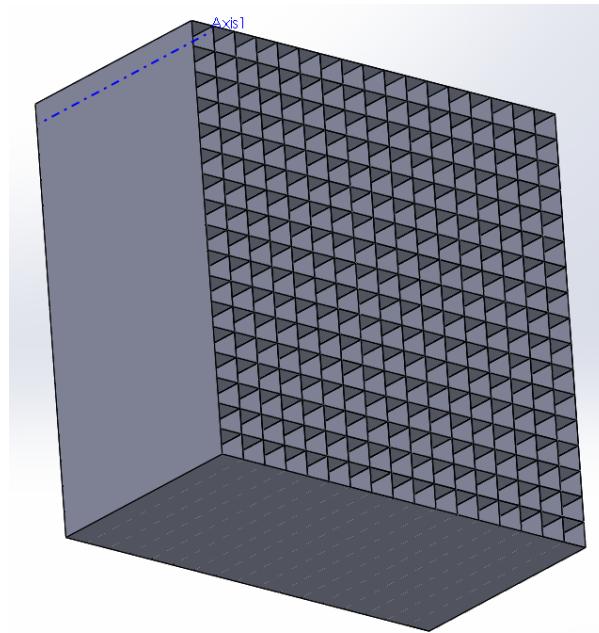


Figura 23 - Grade espaçadora do elemento combustível modelada no SolidWorks- fonte: acervo pessoal

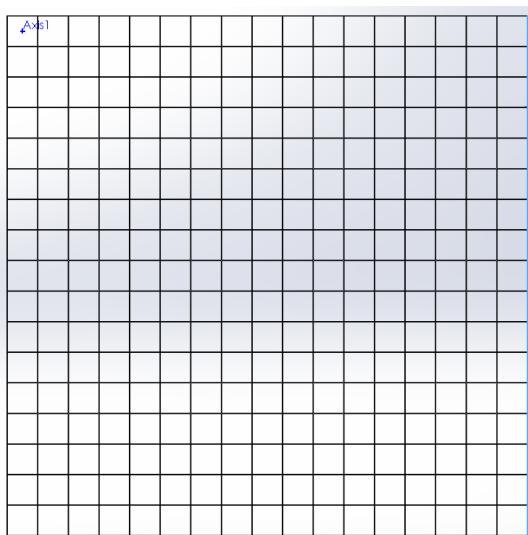


Figura 24 - Grade espaçadora do elemento combustível modelada no SolidWorks em vista superior – fonte - acervo pessoal

### 5.1.3 VASO DO REATOR

Entre outras, 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.



Figura 25 - Contenção do reator modelada no SolidWorks - vista lateral/frontal fonte: acervo pessoal.

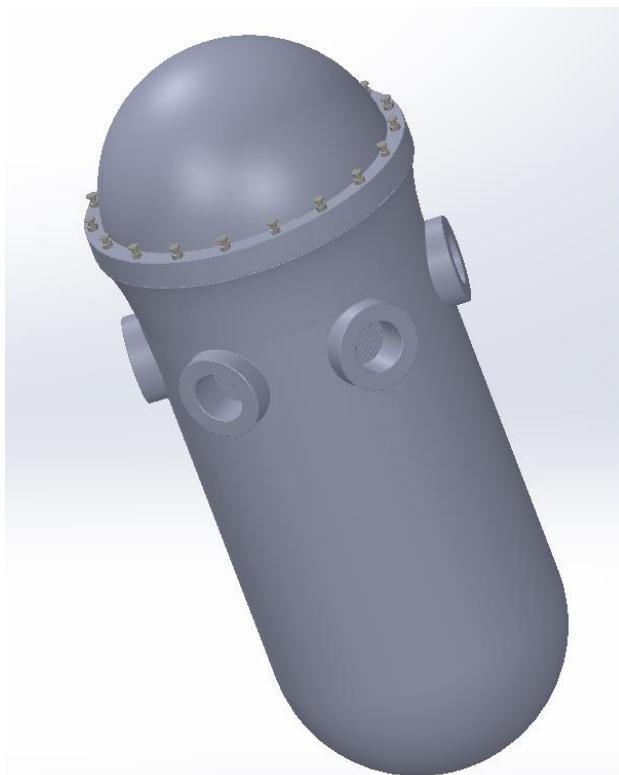


Figura 26 - Vaso do reator modelada no SolidWorks - vista isométrica sem transparência fonte: acervo pessoal.



Figura 27 - Vaso do reator - vista isométrica com transparência modelada no SolidWorks fonte: acervo pessoal.

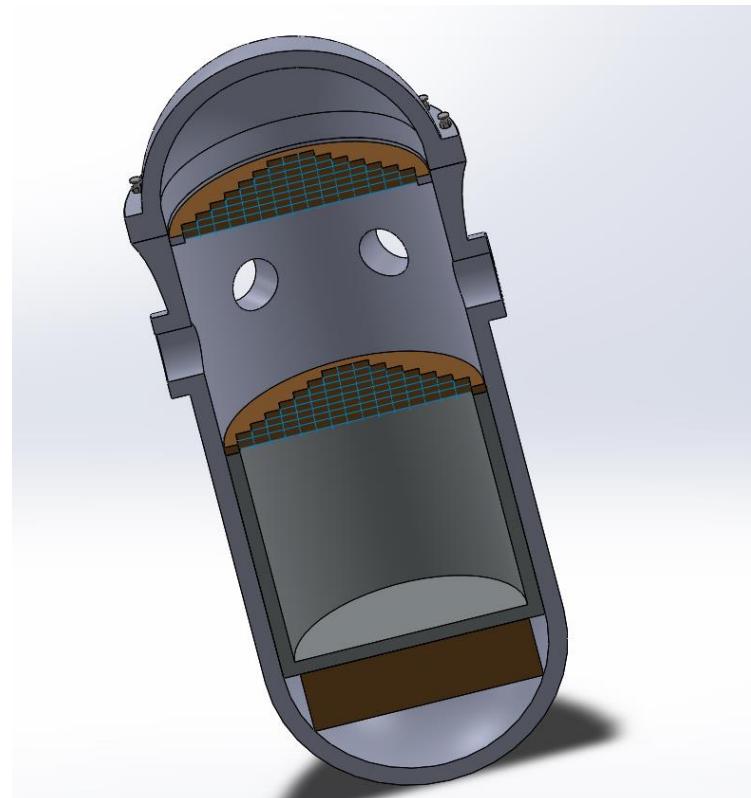


Figura 28 - Vaso do reator - vista isométrica com corte vertical sem os elementos combustíveis - fonte: acervo pessoal

Nessa última imagem é possível notar detalhes como a Placa de distribuição de fluxo, a Placa reticulada e o delimitador do núcleo.

#### 5.1.4 PRESSURIZADOR

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.

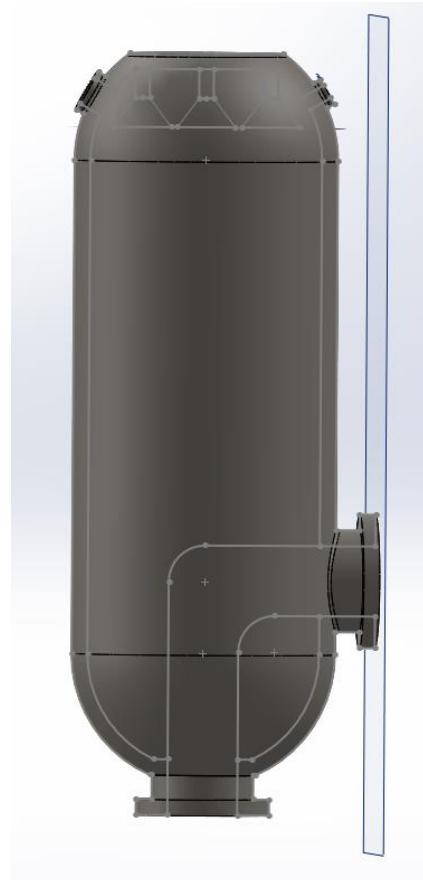


Figura 29 - Pressurizador- vista lateral modelada no SolidWorks - fonte: acervo pessoal

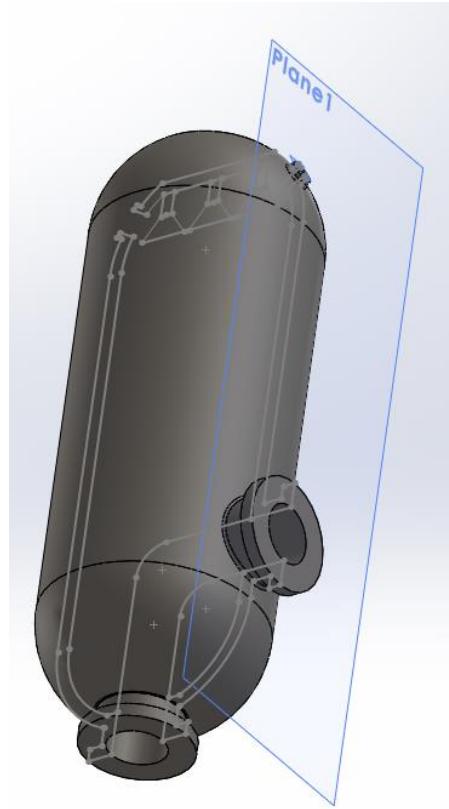


Figura 30 - Pressurizador- vista isométrica modelada no SolidWorks - fonte: acervo pessoal

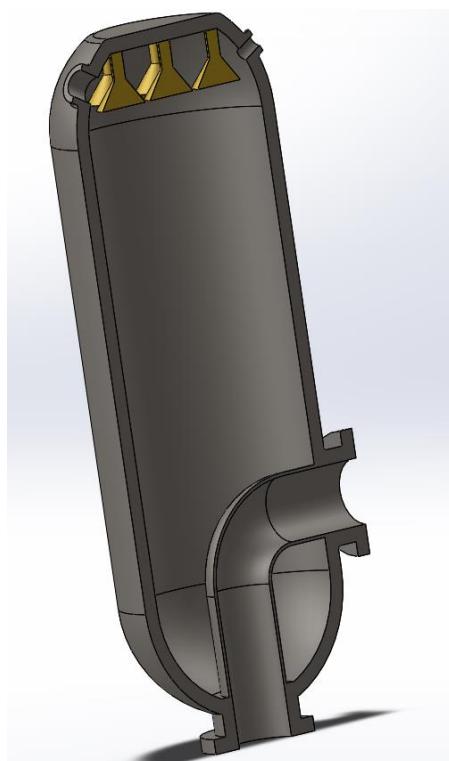


Figura 31 - Pressurizador- vista isométrica com corte modelada no SolidWorks - fonte: acervo pessoal

### 5.1.5 GERADOR DE VAPOR

Os geradores de vapor são componentes muito importantes dos sistemas nucleares geradores de potência.



Figura 32 - Gerador de vapor- vista isométrica modelada no SolidWorks - fonte: acervo pessoal

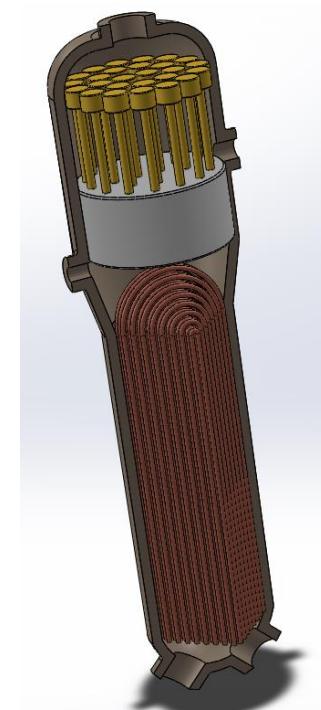


Figura 33 - Gerador de vapor- vista isométrica com corte modelada no SolidWorks - fonte: acervo pessoal

Durante a modelagem foi dada atenção especial na modelagem do feixe de tubos, do separador de umidade e do secador de vapor.

### 5.1.6 ESTRUTURA DE CONTENÇÃO

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 possui uma contenção em forma de cilindro com um domo semiesférico no topo.

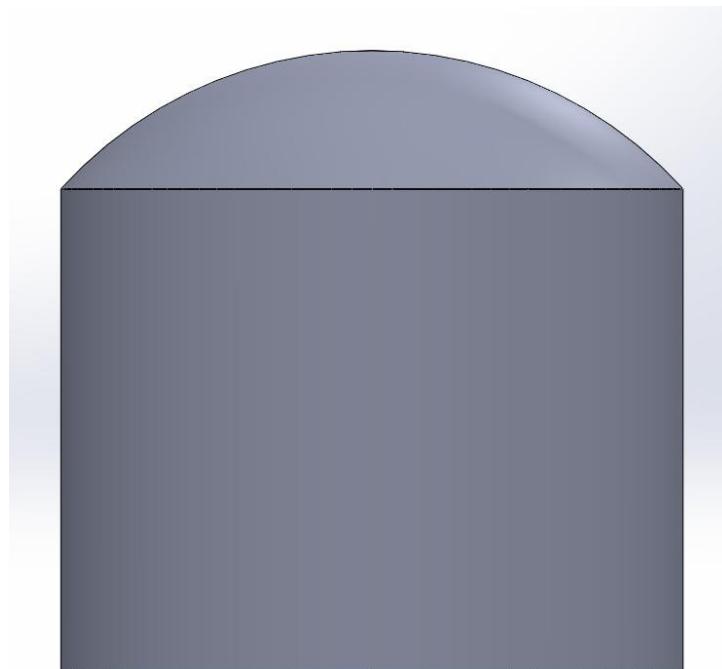


Figura 34 - Contenção do reator modelada no Solidworks- vista lateral/frontal fonte: acervo pessoal

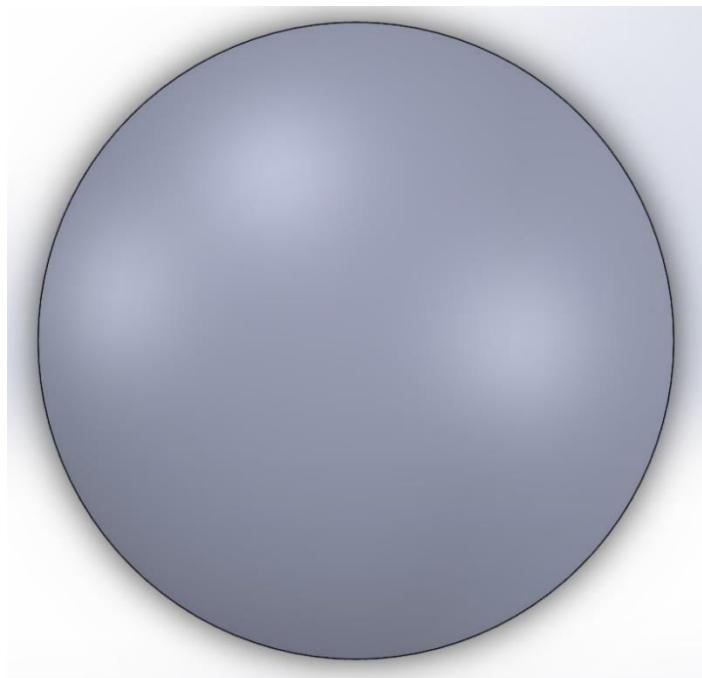


Figura 35 - Contenção do reator modelada no Solidworks - vista superior fonte: acervo pessoal



Figura 36 - Contenção do reator modelada no Solidworks - vista isométrica fonte: acervo pessoal

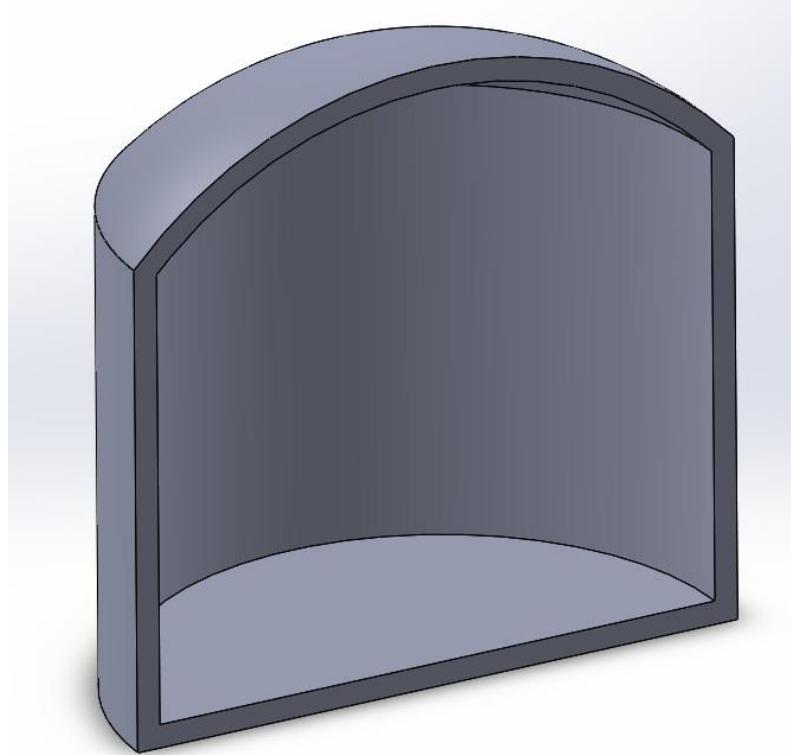


Figura 37 – Contenção do reator modelada no Solidworks - vista isométrica com corte latitudinal fonte - acervo pessoal

Desde o início de usinas nucleares de água leve, eles têm exigido contenções para proteger o público contra acidentes potenciais ou até mesmo ataques externos sobre o reator nuclear. No entanto, certos acidentes, tais como derretimento do núcleo e choque de grandes aviões comerciais na contenção foram considerados na base de projeto. (STEVENSON, 2007).

## 5.2 COMPONENTES DO REATOR DO TIPO PWR MONTADOS

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.

## 5.3 PLATAFORMA RESPONSIVA EM FUNCIONAMENTO

Responder, neste contexto, tem sentido de movimentar-se expandindo e contraindo. Em outras palavras, 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 onde é renderizado, seja um smartphone, um tablet, um leitor de tela, etc.

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.

A seguir é disposta uma coleção de imagens exibindo o AVA em diversos dispositivos e sistemas de diferentes tamanhos.

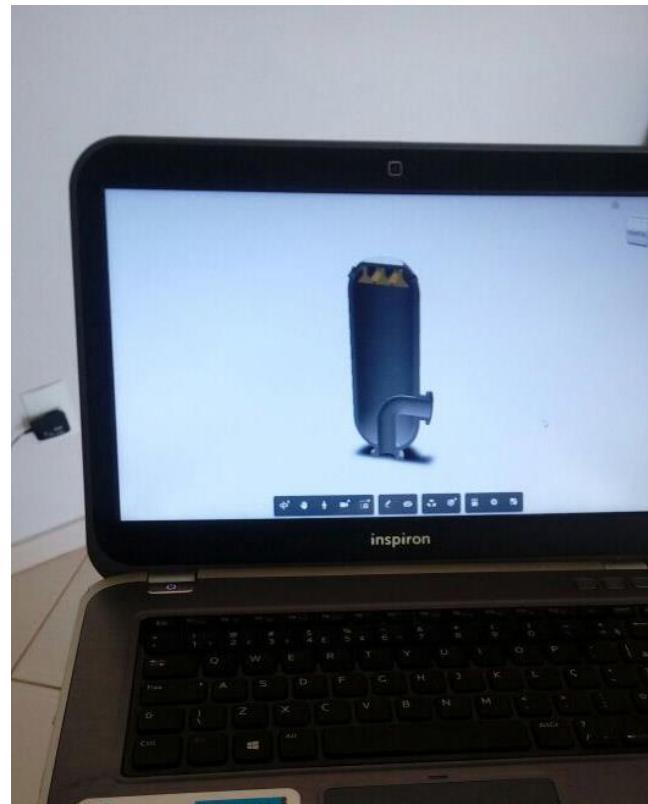


Figura 38 - Visualização de um pressurizador em tela cheia em um notebook Windows de 14 polegadas.

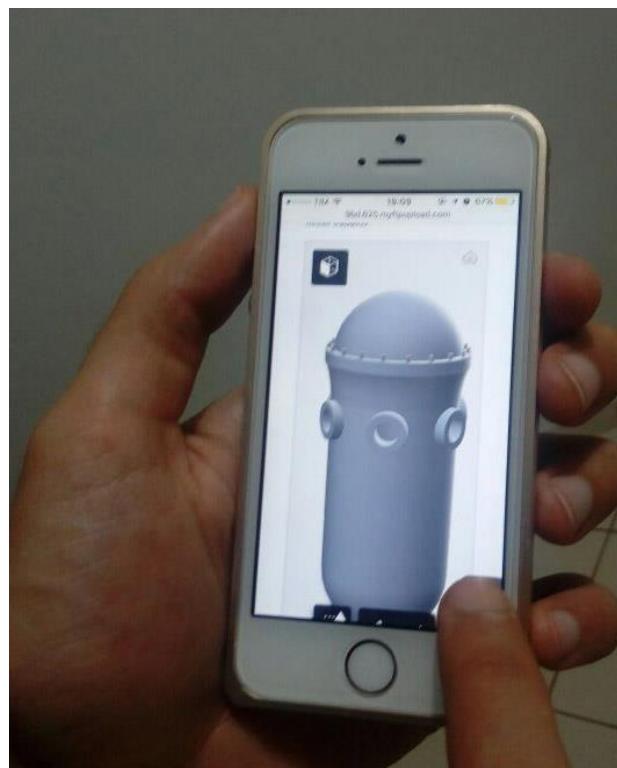


Figura 39 - Visualização do vaso do reator em um smartphone Iphone de 4 polegadas

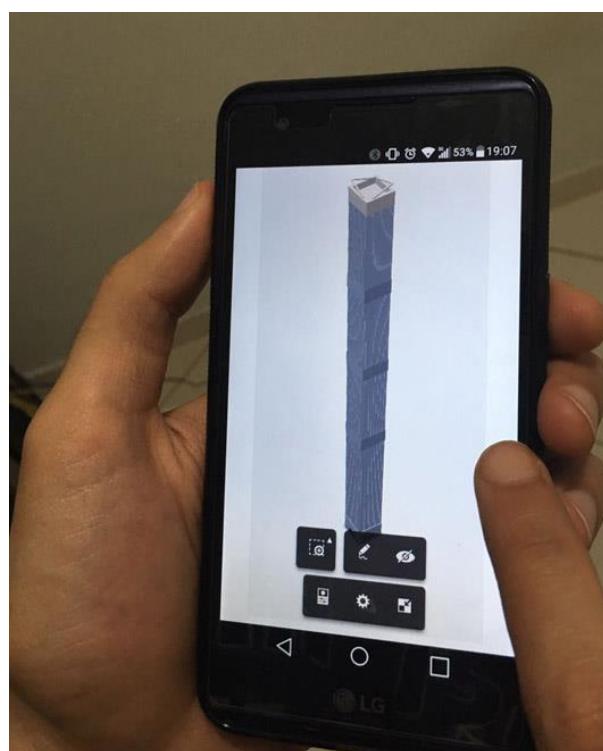


Figura 40 - Visualização do Elemento Combustível em um smartphone Android de 5.3 polegadas

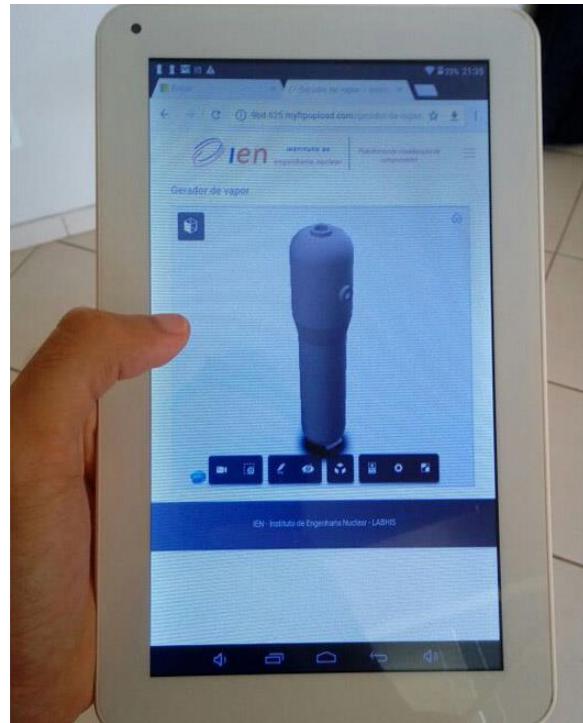


Figura 41 - Visualização de um gerador de vapor em um tablet simples de 7 polegadas

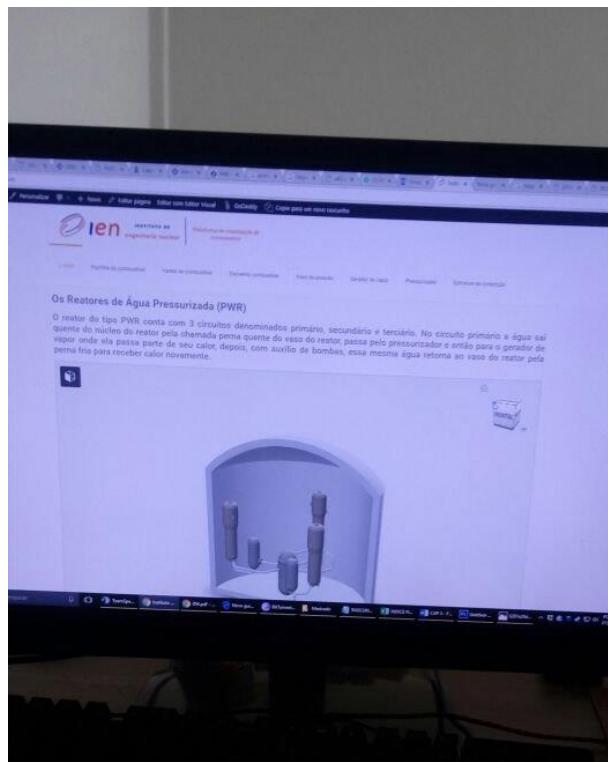
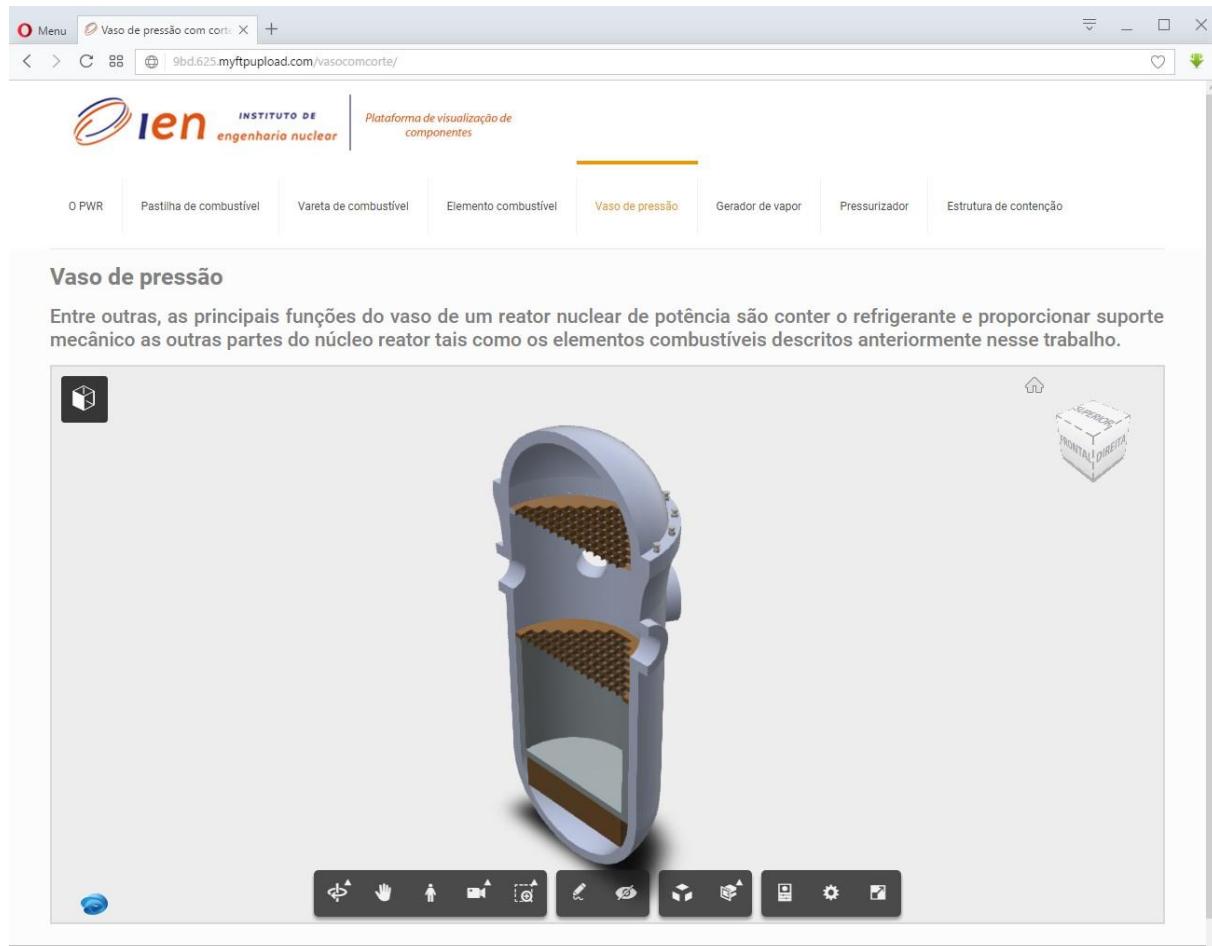


Figura 42 - Visualização do primeiro e segundo ciclo em um monitor de 23 polegadas na plataforma

## 5.4 RESULTADO FINAL COM A PLATAFORMA ONLINE

Abaixo, o resultado final após o processo de modelagem tridimensional, criação do Ambiente Virtual de Aprendizagem, incorporação dos modelos tridimensionais na plataforma de uma forma organizada e disponibilidade do Ambiente Virtual de Aprendizagem online (disponível para acesso via web).



*Figura 43 - Vista final da plataforma já online*

## CAPÍTULO 6

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das pesquisas de referências externas e analisando também os trabalhos realizados em uma das áreas temáticas do IEN, que é de Realidade Virtual Aplicada à Área Nuclear, torna-se clara a efetividade da realidade virtual quando aplicada como ferramenta de auxílio ao ensino e treinamento.

Quanto aos ambientes virtuais de aprendizagem, já não é possível ignorar a influência das novas tecnologias de informação e comunicação no processo cognitivo. Além disso, com a popularização do ensino a distância, os AVA ganharam o papel de protagonista nessa modalidade. Um dado simples que comprova a efetividade dos AVA é o crescente número de instituições de ensino que adotam essa tecnologia a cada ano no Brasil.

Esse trabalho aglutina essas duas tecnologias a fim de se tornar uma competente ferramenta no auxílio do ensino e treinamento indo de encontro ao objetivo do mesmo, e por utilizar a web como hospedeira, também se torna uma válida forma de divulgação científica ao público interessado.

Por último, por esse AVA desenvolvido 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 Realidade Virtual 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 precisar de instalar nenhum software específico acessando o AVA diretamente pelo celular ou tablet já que a plataforma é totalmente responsiva.

Tendo em vista os resultados desse trabalho descritos no capítulo anterior, foi possível notar que o método escolhido foi útil para conclusão do objetivo proposto.

Concluindo, uma característica importante desse trabalho é utilizar a plataforma web como alicerce. É de conhecimento geral é 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, seja compartilhando seu dia a dia, fazendo compras, transações bancárias ou simplesmente estudando. Seria muito bom se futuros pesquisadores sejam eles da área nuclear ou não, utilizem esse trabalho como inspiração para seus próprios utilizando também a web como tecnologia básica e

difusora de suas soluções científicas propostas seguindo crescente e normal esse “fluxo digital” do século XXI.

## 6.1 TRABALHOS FUTUROS

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.
- 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.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMAN D. A ***Natural History of the Senses***. New York Random House, 1990, p21.

ADOBE., ***ADOBE PHOTOSHOP Help and tutorials***. Disponível em: [https://helpx.adobe.com/pdf/photoshop\\_reference.pdf](https://helpx.adobe.com/pdf/photoshop_reference.pdf) . Último acesso em 3 de maio de 2017.

AIEA, ***World Energy Outlook***, ISBN: 978-92-64-04560-6. 2008

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=pb> acessado em 10 de maio de 2017.

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

AUTODESK, 2017. ***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, ***Learning AutoCAD 2010, Volume 1***. Using hands-on exercises, learn the features, commands, and techniques for creating, editing, and printing drawings with AutoCAD 2010 and AutoCAD LT - 2010 software. 2009

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.

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.

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

BERNERS, L. T.; **The World Wide Web**. Communication of the ACM, New York, V.37, n.8 p.76. 1994.

BOSCO, T. **Responsive Web Wide** n. 88 2012, p.24

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

BREEZE, P. **Nuclear Power** - Editora: ACADEMIC PRESS. 2016

BRUEL, R. N. **Análise de Sensibilidade de um Modelo Teórico do Pressurizador**. 1997.

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 Pós-Graduação em Psiquiatria e Saúde Mental do Instituto de Psiquiatria da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). 2008

CASAS L. A., BRIDI V, FIALHO F. ***Construção do Conhecimento por Imersão em Ambientes de Realidade Virtual.*** VII Simpósio Brasileiro de informática na Educação, Belo Horizonte, 1996, p29

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.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, ***Garantia da qualidade na aquisição, projeto e fabricação de elemnetos combustíveis.*** Resolução CNEN 02/95 Publicação: DOU 01.09.1995. Disponível online em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm127>, último acesso em 23 de abril de 2017. 1999.

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.

COUTINHO, G. S. ***Apostila: Introdução ao SolidWorks.*** Petromec/Jung Systems. 2006.

FISHER S. S.; Tazelaar J. M., ***Living in a virtual world,*** Byte, p. 215. 1990.

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, L., FLORES, P. T. ***Modelos Dinâmicos Simplificados de Gerador de Vapor como Ferramenta de Ensino.*** 1997.

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.

HU, J., HU, H. ***Ultimate Analysis of PWR Prestressed Concrete Containment Under Long-term Prestressing Loss.*** Annals of Nuclear Energy, National Cheng Kung University, Tainan 701, Taiwan. 2016.

IAEA – ***International Atomic Energy Agency. Operational & Long-Term Shutdown Reactors.*** Disponível em:  
[https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>](https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx).  
 Acessado em 11 de maio de 2017.

JACOBSON, L. ***Realidade Virtual em Casa.*** Rio de Janeiro, Berkeley, 1994.

KIRNER C. ***Apostila do ciclo de palestras de realidade virtual,*** Atividade do Projeto AVVIC- CNPq Protém - CC - fase III - DC/UFSCar, São Carlos. 1996.

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

MASCHE, G., ***The Westinghouse Pressurized Water Reactor, Westinghouse,*** Systems Summary: W PWR NPP, 1971 e PWR Description Jacopo Buongiorno, CANES – MIT 1984

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 ENGENHARIA BIOMÉDICA VOLUME 27 NÚMERO 4. DOI: 10.4322/rbeb.2011.020. 2011.

OBLINGER D. G.; OBLINGER, J. L. *Educating the Net Generation*. ISBN 0-9672853-2-1 EDUCAUSE. 2003.

OTERKUS, S., MADENCI, E., *Peridynamic modeling of fuel pellet cracking*. 2017.

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

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

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

PERROTA, J. A. *Curso de Introdução a Engenharia do Núcleo de Reatores*. 1999.

PIMENTEL K., TEIXEIRA K. *Virtual Reality - Through the New Looking Glass*. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1995.

PINHO, M. S. *UM modelo de interface para navegação em mundos virtuais*. 1999

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.

PREECE, J; ROGERS, Y; SHARP, H. *Design de Interação: além da interação homem computador*. Porto Alegre: Bookman, 2005

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 engine as tools for supporting archaeology and reconstruction of cultural heritage – the case-study of the Roman villa of Casal de Freiria* Architecture, Departament of Civil Engineering and Architecture, DECivil IST-TU Lisbon, 2011.

SABOIA, J.; VARGAS, P. L. VIVA, M. A. A. *O USO DOS DISPOSITIVOS MÓVEIS NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM NO MEIO VIRTUAL*. Revista Cesuca Virtual: Conhecimento sem Fronteiras. 2013

SALER M. *As If - Modern Enchantment and the literary Prehistory of Virtual Reality*. 2011. p31

SAMPAIO A., MARTINS O. *The application of virtual reality technology in the construction of bridge: The cantilever and incremental launching methods*. Automation in Construction, Technical University of Lisbon, Dep. of Civil Engineering and Architecture, 2013

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, 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.

SILVA, M.S. **Web Design Responsivo.** São Paulo : Novatec, 2014.

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.

STEVENSON, J. D. **Practical Nuclear Power Plant Containment Designed To Resist Large Commercial Aircraft Crash and Postulated Reactor Core Melt.** 2007.

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.

U.S. Nuclear Regulatory Commission, **Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Plants.** NUREG-0800, 1987.

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

WESTINGHOUSE. **Fuel Assembly Loading Guide.** NS-FS-0080. 2008

WOISKI, E. R. A. **Simulação do Modelo Termodinâmico de Pressurizador Típico de PWR em Regime Transiente.** PROGRAMA CSMP. 1981.

WORDPRESS. Página de guia de instalação e pré-requisitos de sistema.  
<https://wordpress.org/about/requirements/> último 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.

## **APENDICE 1**

### **Disponibilização online do Ambiente Virtual de Aprendizagem.**

**Observação 1:** Para a apresentação desse trabalho essa plataforma está online temporariamente no seguinte endereço: <http://9bd.625.myftupload.com/>

**Observação 2:** Foi usado o plugin duplicator do Wordpress para facilitar a migração e duplicação do site, o arquivo da plataforma compilado com esse plugin segue no CDROM e para disponibilizar a plataforma online em um novo servidor basta fazer uma instalação pura da plataforma Wordpress em um servidor compatível, instalar o plugin duplicator e fazer o upload do arquivo compilado. O plugin pode ser encontrado no endereço: <https://br.wordpress.org/plugins/duplicator/>