



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**PAULO RENATO FERREIRA TARGINO SOARES**

**REALIDADE VIRTUAL COMO FERRAMENTA DE TREINAMENTO PARA  
BRIGADA DE EMERGÊNCIA DE UMA REFINARIA**

Recife

2019

PAULO RENATO FERREIRA TARGINO SOARES

**REALIDADE VIRTUAL COMO FERRAMENTA DE TREINAMENTO PARA  
BRIGADA DE EMERGÊNCIA DE UMA REFINARIA**

Dissertação apresentada à UFPE para obtenção de grau de mestre, como parte dos requisitos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

**Área de Concentração:** Pesquisa Operacional.

**Orientadora:** Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Isis Didier Lins.

Recife

2019

Catálogo na fonte  
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

S676r Soares, Paulo Renato Ferreira Targino.  
Realidade virtual como ferramenta de treinamento para brigada de emergência de uma refinaria / Paulo Renato Ferreira Targino Soares. – Recife, 2019.  
69f., il., figs., tabs.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Isis Didier Lins.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2019.  
Inclui Referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Realidade virtual. 3. Brigada de emergência. 4. Refinaria. 5. Treinamento. I. Lins, Isis Didier (Orientadora). II. Título.

658.5 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2019-151

PAULO RENATO FERREIRA TARGINO SOARES

**REALIDADE VIRTUAL COMO FERRAMENTA DE TREINAMENTO PARA  
BRIGADA DE EMERGÊNCIA DE UMA REFINARIA**

Dissertação apresentada à UFPE para obtenção de grau de mestre, como parte dos requisitos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 27/02/2019

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup> Dra. Isis Didier Lins (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>º</sup> Dr. Márcio José das Chagas Moura (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>º</sup> Dr. João Marcelo Xavier Natário Teixeira (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

## AGRADECIMENTOS

Finalizar uma dissertação em um excelente programa como o PPGEP-UFPE é algo que não exige somente dedicação, mas também uma boa compreensão e apoio daqueles que nos rodeiam. Em muitos momentos, todo esse processo competiu com outras obrigações e a manutenção do foco no trabalho foi necessária.

Sendo assim, inicialmente gostaria de expressar profunda gratidão aos meus pais, Ladjane e João Paulo. Foram anos de investimento e de cuidado para que pudesse chegar até aqui. Outra pessoa fundamental nesse processo foi minha esposa Nayana Amâncio. Em tempos de incertezas, dúvidas e cansaço, foi ela que mostrou o quanto seria capaz de concluir essa fase com êxito.

Gostaria de agradecer a minha orientadora, a professora Isis Lins, pela sua atenção, compressão e confiança dirigida à mim para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também a todos os professores do programa pelos novos e relevantes ensinamentos repassados, e em especial, ao professor Márcio Moura pelo apoio e a disponibilidade prestada durante todo o tempo que estive no Programa.

Não podia deixar de agradecer também aos colegas do mestrado, em especial, àqueles do CEERMA-UFPE. Em muitos momentos, frequentar as aulas após uma sequência de horários de turno no trabalho não foi tarefa fácil. O apoio destes para que pudesse compreender melhor todos os conteúdos repassados, foi de fundamental importância para que obtivesse os conceitos necessários para a aprovação nas disciplinas.

Aproveito ainda para agradecer aos colegas da RNEST - Refinaria Abreu e Lima (Petrobras) que puderam realizar os experimentos e colaborar com as sugestões a melhoria desse projeto. Além disso, agradeço a todos que se disponibilizaram em realizar permutas de horário, para que pudesse frequentar as aulas e demais compromissos do mestrado. Agradeço ainda aos representantes da Gerência de Segurança Industrial (RNEST/SMS/SI) pelo apoio e divulgação.

Agradeço ao PPGEP-UFPE e ao CNPq pela oportunidade de cursar o mestrado.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente puderam apoiar na conclusão desse projeto. Serei eternamente grato a vocês. Muito obrigado!

## RESUMO

O ramo industrial de Petróleo & Gás é um dos mais importantes para o desenvolvimento da sociedade atual. Dele, é possível produzir materiais e insumos para outras indústrias, além de bens de consumo para os mais diversos tipos de segmentos. Apesar disso, devido às características físico-químicas dos produtos utilizados e das condições operacionais a que estes são submetidos, os riscos relacionados a acidentes como explosões, incêndios e emissões são altos. Dessa forma, criar meios de melhoria de treinamento das equipes de emergência que agem para a mitigação desses acidentes é necessário. Neste trabalho, foi criado um cenário em Realidade Virtual objetivando essa melhoria em uma refinaria de petróleo. O local da refinaria escolhido foi o Parque de Esferas de GLP, devido a sua importância no processo produtivo e características perigosas que o GLP pode apresentar. Após isso, de modo a verificar os possíveis eventos acidentais, foi realizado um estudo mais aprofundado. Primeiro, através da técnica Análise Preliminar de Riscos – APR, foram identificados os perigos, causas e consequências desses eventos. Através do software ALOHA, definiram-se as regiões e as concentrações de GLP que apresentam inflamabilidade e toxicidade, após a perda de contenção desse produto. Sabendo-se dos possíveis efeitos, o cenário virtual teve sua construção iniciada. Para isso, registrou-se, através de uma câmera de ação (GoPro®), um dos simulados de emergência no local de desenvolvimento do cenário. Após isso, utilizando o motor de jogo (game engine) Unreal Engine 4 (Epic Games®), a arquitetura do cenário e a dinâmica do jogo foram construídas. O objetivo do jogador foi de encontrar o local de vazamento e informar as regiões de maior segurança para aproximação da equipe de emergência. O jogo foi testado e validado por dez voluntários. Todos estes trabalham na refinaria na parte de emergência e puderam interagir com o cenário virtual. De modo geral, a ferramenta foi bem recebida por aqueles que participaram do experimento. Todos eles alegaram de forma clara que a realidade virtual pode incrementar o treinamento dos brigadistas da refinaria, aproximando estes a possíveis cenários reais que podem surgir durante a operação da planta industrial.

**Palavras-chave:** Realidade virtual. Brigada de emergência. Refinaria. Treinamento.

## ABSTRACT

The industrial branch of Oil & Gas is one of the most important for the development of the current society. From it it is possible to produce materials and inputs for other industries, as well as consumer goods for the most diverse types of follow-ups. Nevertheless, due to the physicochemical characteristics of the products used and the operational conditions to which they are exposed, the risks related to accidents such as explosions, fires and emissions are high. In this way, the creation of means of improving the training of the emergency teams that act to mitigate these accidents is necessary. In this work, a virtual reality scenario was created aiming at this improvement in an oil refinery. The location of the refinery chosen was the LPG Sphere's Park, due to its importance in the production process and dangerous characteristics that LPG can present. After that, in order to verify the possible accidental events, a more in-depth study was carried out. First, through the Preliminary Risk Analysis (APR) technique, the hazards, causes and consequences of these events were identified. Through the ALOHA software, the regions and concentrations of LPG that have flammability and toxicity were defined after the loss of containment of this product. Knowing the possible effects, the virtual scenario had its construction started. For this, it was registered through an action camera (GoPro®), one of the simulated emergencies at the stage development site. After that, using the game engine Unreal Engine 4 (Epic Games®), the architecture of the scenario and the dynamics of the game were built. The objective of the player was to find the leak site and inform the regions of greater safety for the emergency team to approach. The game was tested and validated by ten volunteers. All of them work at the refinery in the emergency part and were able to interact with the virtual scenario. Overall, the tool was well received by those who participated in the experiment. All of them clearly argued that virtual reality can increase the training of refinery brigades, bringing them closer to possible real scenarios that may arise during the operation of the plant.

**Keywords:** Virtual reality. Emergency brigade. Refinery. Training.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Fluxograma para aplicação de APR .....	26
Figura 2 –	Exemplo de Planilha de APR .....	26
Figura 3 –	Matriz de Tolerabilidade de Riscos .....	28
Figura 4 –	Categorias de Risco x Nível de Controle Necessário .....	29
Figura 5 –	Fluxograma de Simulação no ALOHA .....	30
Figura 6 –	Exemplo de saída do ALOHA .....	31
Figura 7 –	Exemplos de saída do EFFECTS .....	31
Figura 8 –	Visão geral de um cenário no UE4 .....	33
Figura 9 –	Etapas da Metodologia .....	34
Figura 10 –	Exemplo de escala de Likert para a satisfação com um determinado serviço prestado .....	36
Figura 11 –	Esquema simplificado de produção de GLP .....	37
Figura 12 –	Esfera da refinaria em estudo (detalhe) .....	38
Figura 13 –	Parque de Esferas de GLP da refinaria em estudo .....	42
Figura 14 –	Zonas de ameaça para nuvem tóxica .....	44
Figura 15 –	Zonas de ameaça para sobrepressão após explosão .....	45
Figura 16 –	Zonas de ameaça exportadas para o terreno da unidade industrial .....	46
Figura 17 –	Câmara de ação montada em um capacete de combate a incêndio .....	47
Figura 18 –	Imagens registradas durante exercício simulado de atendimento a emergência no Parque de Esfera de GLP .....	48
Figura 19 –	Registro em foto real x cenário virtual .....	49
Figura 20 –	Cenário visto em primeira pessoa pelo jogador .....	49
Figura 21 –	Bombeiros utilizando roupa de aproximação ao fogo e equipamento de respiração autônoma .....	51
Figura 22 –	Zonas de ameaça onde há a presença de gás no cenário simulado .....	51
Figura 23 –	HUDs exibidos na tela conforme posicionamento do jogador .....	52
Figura 24 –	Joystick utilizado .....	53
Figura 25 –	Óculos de realidade virtual .....	54
Figura 26 –	Software Trinus VR® em funcionamento no computador e no smartphone .....	54

Figura 27 – Instruções iniciais mostradas aos jogadores antes do início do experimento .....	55
Figura 28 – Jogador participando do experimento .....	56
Figura 29 – Gráfico sobre as respostas dos participantes ao experimento .....	58
Figura 30 – Visão geral do Parque de Esferas de GLP com identificação em cada uma das esferas .....	60
Figura 31 – Comparativo entre o real e o cenário virtual .....	61
Figura 32 – Visão em primeira pessoa do jogo após modificações .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Dados operacionais e de projeto das Esferas de GLP .....	38
Tabela 2 –	Análise Preliminar de Riscos – APR para a Esfera de Armazenamento de GLP .....	40
Tabela 3 –	Dados de entrada no ALOHA ligados a edificação e as condições atmosféricas .....	43
Tabela 4 –	Tempo de execução para a identificação e informação de aproximação de acordo com o vazamento .....	56

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	12
1.2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
1.3	JUSTIFICATIVA .....	16
1.4	OBJETIVO .....	17
<b>1.4.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>19</b>
2.1	PLANO DE RESPOSTA À EMERGÊNCIA.....	19
2.2	BRIGADAS DE EMERGÊNCIA .....	21
2.3	REALIDADE VIRTUAL NA INDÚSTRIA.....	23
2.4	ESTUDO DE CENÁRIOS EMERGENCIAIS.....	25
<b>2.4.1</b>	<b>Identificação de Perigos.....</b>	<b>25</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Análise das Consequências e Vulnerabilidade .....</b>	<b>29</b>
2.5	CONSTRUÇÃO DOS MODELOS VIRTUAIS .....	32
<b>2.5.1</b>	<b>Uso de Câmera de Ação.....</b>	<b>32</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Motor de Jogo.....</b>	<b>32</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
4.1	PARQUE DE ESFERAS DE GLP .....	37
4.2	ESTUDO DOS CENÁRIOS EMERGENCIAIS .....	38
<b>4.2.1</b>	<b>Identificação dos Perigos.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Estudo das Consequências e Vulnerabilidade.....</b>	<b>42</b>
4.3	CONSTRUÇÃO DO MODELO VIRTUAL.....	46

4.3.1	Uso de Câmera de Ação.....	46
4.3.2	Arquitetura do Cenário .....	48
4.3.3	Entendendo o Cenário Simulado.....	50
4.3.4	Dinâmica do Jogo.....	50
4.3.5	Dispositivos físicos e outros <i>softwares</i> utilizados.....	53
4.4	TESTE E VALIDAÇÃO PELA EQUIPE DE BRIGADA .....	55
4.4.1	Execução do Teste .....	55
4.4.2	Resultado do Teste .....	56
4.4.3	Impressão dos Jogadores Pós-jogo .....	58
4.4.3	Inclusões das Sugestões de Melhoria.....	60
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	63
5.1	CONCLUSÃO .....	63
5.2	LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	64
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A seguir, temos a Introdução deste trabalho, dividida nas seguintes partes: Considerações Iniciais, Revisão de Literatura, Justificativa, Objetivo e Estrutura do Trabalho.

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

De acordo com a Convenção nº 174 da Organização Internacional do Trabalho – OIT, esses acidentes são designados como “acidentes maiores”, envolvendo uma ou mais substâncias perigosas e que implicam grave perigo, imediato ou retardado, para os trabalhadores, a população e o meio ambiente (OIT, 1991). Conforme Chettouh (2016), acidentes maiores possuem uma natureza multidimensional, decorrente de uma ampla gama de fatores que interagem de forma aleatória e sofisticada para resultar em grandes desastres tecnológicos. Muitos desses fatores contribuintes são desenvolvidos desde a concepção do projeto, compreendendo questões técnicas e não técnicas e, finalmente, incluindo a influência de erros humanos.

Todos os anos, inúmeras emergências tecnológicas ocorrem, impactando o meio ambiente, comunidades e propriedades. Grande parte desses eventos são contabilizados em vidas e cifras monetárias. As organizações podem limitar as perdas, retomar de forma mais rápida a normalidade das operações e reduzir os efeitos negativos dos potenciais eventos desenvolvendo um adequado planejamento emergencial (PEREZ, 2016).

No Brasil, duas normas importantes são utilizadas para definir o treinamento bem como as ações das brigadas de emergência. A norma ABNT NBR 14276:2006 - Brigada de Incêndio estabelece, entre outros requisitos, a composição, formação e implantação de brigadas de incêndio, de modo a preparar as equipes para atuar na prevenção e no combate a incêndio, abandono de área e primeiros socorros, visando, em caso de sinistro, proteger vidas e patrimônio e reduzir as consequências sociais e danos ao meio ambiente. Já a norma ABNT NBR 15219:2005 - Plano de Emergência contra Incêndio estabelece os requisitos para a elaboração, implantação, manutenção e revisão de um plano de emergência contra incêndio. Nesse plano, devem constar os procedimentos básicos de emergência para os cenários identificados dentro da instalação.

De acordo com Yu & Guan (2016), o histórico de acidentes com produtos químicos perigosos requer frequentemente a mobilização de uma variedade de forças de emergência e de

resgate. Na maioria dos casos, a superfície externa de combate é grande, a distância é longa e a quantidade de viaturas de incêndio é grande. Exige-se também um grande número de brigadistas. O tempo de combate é longo e requer muitos recursos e proteção de equipamentos. Por esse motivo, a tática a ser utilizada para mitigar os sinistros deve ter boa eficácia.

Sendo assim, de forma a incrementar o treinamento tradicional, melhorando o suporte a decisão das equipes, a realidade virtual (RV) foi pensada como alternativa para esse trabalho. Por mostrar visualmente as consequências dos eventos acidentais, bem como promover a imersão dos treinandos nas simulações, pode-se aumentar a familiarização com o cenário emergencial.

De acordo com Monahan *et al.* (2017), com o desenvolvimento recente e inovador da RV, as tecnologias têm gerado interferências significativas entre estas e o homem, permitindo aos usuários atuais participarem do mundo reproduzido pelos computadores. A RV tem proporcionado inúmeras oportunidades de aprendizagem e é uma tecnologia que merece consideração e estudo (HUANG *et al.*, 2016).

Como exemplo de trabalhos realizados em indústrias, Manca (2013) desenvolveu um sistema de treinamento para operadores em uma indústria de processos químicos baseados em RV. A proposta principal foi de melhorar as ações relacionadas a comunicação, consciência da situação, prontidão e tomada de decisões. Hui *et al.* (2012) realizou uma pesquisa em plataforma de extração de petróleo. O sistema construído através de RV foi capaz de reproduzir toda a arquitetura dos equipamentos utilizados. Com o modelo criado, os usuários puderam obter no sistema uma consulta de informações do banco de dados dos equipamentos, os problemas dos componentes e o controle da produção.

Sendo assim, a presente dissertação irá desenvolver modelos em RV baseados em um cenário emergencial, mais especificamente, o cenário de vazamento em fundo de uma esfera de GLP – Gás Liquefeito de Petróleo. Esse cenário foi definido pelo Plano de Resposta à Emergência atualmente aplicado em uma refinaria de petróleo. Através desse modelo, busca-se melhorar o treinamento tradicional da equipe de emergência constituída na planta industrial, indo além das exposições em sala de aula e exercícios simulados. A ferramenta permite, entre outros benefícios, orientar as equipes quanto às tarefas definidas no Plano de Resposta à Emergência, podendo melhorar os procedimentos já existentes. Além disso, permite uma aproximação dos treinandos a situações críticas e a avaliação de suas reações em cada um dos cenários definidos.

## 1.2 REVISÃO DE LITERATURA

Observa-se já com uma certa frequência a publicação de trabalhos relacionando RV e seu uso em plantas industriais. As publicações em geral estão ligadas a treinamentos visando a melhoria de procedimentos operacionais ou de atuação em emergências.

Como exemplo, Cheng (2009) trabalhou sobre um modelo tridimensional (3D) de difusão de um gás tóxico com base no método de Monte Carlo considerando esse evento como um processo aleatório. Foram simulados vazamentos desse gás utilizando ferramentas de RV, dessa forma, mostrando visualmente a difusão, gerando dados relacionados à dispersão e à concentração. O trabalho forneceu referências para previsão de impacto de acidentes, avaliação e plano de emergência.

Lee (2010) desenvolveu um trabalho com RV para treinamento de operadores de postos de abastecimento de hidrogênio em funcionamento na Coreia do Sul. O programa consistiu em dois módulos: i) módulo de experiência de RV que fornece informações sobre instalações de estações de hidrogênio e equipamentos de segurança e ii) módulo de simulação de cenários de acidentes que representa vinte cenários possíveis nas estações de abastecimento de hidrogênio (explosões, vazamentos, incêndios, por exemplo), devido a causas diversas como corrosão, falha do operador ou ainda falha dos equipamentos. A ferramenta se mostrou útil para a formação de novos operadores e treinamento dos mais antigos, apoiando o Plano de Resposta à Emergência, bem como os procedimentos padrão operacionais nas estações de abastecimento.

Em mais um trabalho ligado à instrução, Chun (2011) criou um sistema integrado para treinamento de equipes de emergência instaladas em plataformas de perfuração de petróleo. Um modelo de banco de dados multi-estado foi usado imergindo o usuário em um ambiente virtual com interações detalhadas entre ele e o ambiente virtual. O trabalho realizou a combinação entre uma integração em rede e a RV em 3D, fornecendo suporte a decisão e melhorando as táticas da equipe no uso dos equipamentos de combate a incêndio e mudando o treinamento tradicional oferecido às equipes.

Trabalhos como o de Manca (2013) realizaram experimentos utilizando realidade aumentada em uma indústria de processamento de produtos químicos. O artigo discutiu os benefícios da integração e interligação de um simulador de processo dinâmico com um simulador de acidente dinâmico, a fim de treinar os operadores para responder eficazmente a situações anormais, permitindo-lhes assim reconhecer e recuperar anomalias e avarias, especialmente quando estas podem levar a acidentes.

Alguns trabalhos realizam a integração entre simuladores de RV com ferramentas computacionais de fluidodinâmica (CFD). Cha *et al.* (2012) desenvolveram um simulador para combate a incêndio baseado nas condições físicas do fogo em um sistema de atuação em tempo real. Os dados levantados continham informações sobre gases tóxicos e calor, que possuem impacto direto nas respostas à emergência e nas atividades de resgate, proporcionando uma visão mais realista do evento. O trabalho ajudou a melhorar o treinamento de combate a incêndio fornecendo conteúdo útil principalmente para bombeiros inexperientes.

Fanfarová & Mariš (2017), em parceria com o Serviço de Incêndio e Resgate da Eslováquia, projetaram, baseados em *software* do tipo motor de jogo, um modelo de simulação para educação de bombeiros. Os modelos de simulação foram construídos baseados em reuniões com as equipes, análise das respostas em um questionário piloto, além dos requisitos da corporação para incêndio e resgate. Foi a primeira vez que este tipo de trabalho foi realizado no local afetando positivamente a segurança no trabalho dos bombeiros, diminuindo o risco da ocorrência de falhas durante o processo de resposta a emergências.

Importante mencionar que todos os trabalhos mostrados nessa seção utilizaram RV basicamente com três objetivos: estabelecer as possíveis consequências dos acidentes, fornecer maior suporte a decisão de acordo com os cenários elencados nos Planos de Resposta à Emergência e melhorar o treinamento das equipes. Esses três objetivos também fazem parte desta dissertação.

Apesar disso, a forma que os trabalhos utilizaram como base para a construção dos modelos foi diferente. Trabalhos como Cha (2012) e Cheng (2009) utilizaram modelos de fluidodinâmica para determinação das condições físicas de simulação. Fanfarová & Mariš (2017) fizeram uma pesquisa junto aos membros da corporação-alvo para definir como os eventos deveriam ser desenvolvidos. Diferentemente, neste trabalho, é realizada uma análise de risco para identificação do possível cenário a ser simulado, assim como uma análise de vulnerabilidade buscando determinar o alcance do evento selecionado.

Ainda sobre os trabalhos, os cenários simulados apresentam diferenças. Cha (2012) realizou simulação de nuvem tóxica, levando em consideração características como concentração e dispersão. Lee (2010) e Manca (2013) realizaram simulações em RV tanto em atuações emergenciais propriamente ditas, como em situações relacionadas a condições operacionais adversas. Fanfarová & Mariš (2017), além de situações relacionadas a incêndios, também incluíram cenários relacionados a resgate de vítimas. Esta pesquisa utiliza RV num

Parque de Esferas de GLP presente em uma refinaria e o evento considerado é o vazamento desse composto químico pelo fundo de uma das esferas da unidade.

As pesquisas mostram como a RV vem sendo amplamente utilizada para treinamento de equipes de emergência, principalmente em eventos com características mais graves como incêndios, explosões e emissões tóxicas.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Devido às suas características de *design* e à presença do petróleo líquido sob a forma de petróleo bruto e seus produtos refinados, a indústria de refino de petróleo está propensa a uma série de acidentes graves como explosões, incêndios, emissões de materiais perigosos, entre outros. Esses eventos são raros e, quando ocorrem, causam grandes danos para pessoas, patrimônio, meio ambiente além de prejuízos para a imagem e continuidade operacional da organização afetada. Sendo assim, manter uma equipe de brigada de emergência bem treinada e um Plano de Resposta a Emergências que seja efetivo é fundamental para prevenção e proteção das unidades industriais petroquímicas.

De acordo com Yu (2016), com o avanço da industrialização, novos tipos de desastres e acidentes surgem constantemente. Emergências com produtos químicos perigosos apresentam maiores exigências quanto às habilidades dos bombeiros e resgatistas. Melhorar essas habilidades aumentando a competência profissional da equipe de incêndio e resgate tornou-se um dos tópicos importantes no trabalho de emergência.

Acidentes podem ser agravados se as medidas relacionadas ao atendimento emergencial não forem suficientes. Como exemplo, cita-se o acidente na plataforma de petróleo Piper Alpha, considerado o pior da história petrolífera ocorrido no ano de 1988. Conforme Boadribb (2014), o treinamento de emergência da Piper Alpha foi superficial e precisava ser muito mais completo. Foi observado que os gestores não garantiram sua conclusão conforme pretendido. Além disso, exercícios simulados ligados ao plano de emergência não foram realizados de acordo com a programação e os equipamentos utilizados tanto para a evacuação e resgate das vítimas, quanto aqueles usados para extinção de incêndio não foram projetados e mantidos de acordo com os cenários que poderiam ocorrer.

O GLP, assim como outros gases inflamáveis como o gás natural, é frequentemente produzido, armazenado e distribuído em unidades de refino de petróleo. Além de sua comercialização, ele também pode ser usado pela própria unidade industrial em seu processo, como por exemplo em fornos, mostrando ser uma boa alternativa na estratégia de produção.

Apesar disso, devido as suas condições físico-químicas e operacionais, o uso do GLP pode gerar riscos diversos como explosões, incêndios e grandes vazamentos. Como exemplo de grande tragédia, cita-se o acidente ocorrido em 1984 em um terminal de armazenamento de GLP em San Juan Ixhuatepec na Cidade do México. De acordo com o CCPS (2014), um grande incêndio seguido de uma série de explosões causou 600 mortes, 7000 feridos, 200 mil pessoas evacuadas e a destruição do terminal. As causas do acidente nunca foram definitivamente estabelecidas devido à destruição e à ausência de relatos de testemunhas, mas se acredita que o GLP vazou de um dos tanques formando uma nuvem de dois metros de altura. A nuvem foi inflamada causando o evento acidental. Exemplos como estes mostram o poder de destruição que plantas de GLP possuem.

Eventos acidentais como os citados possuem baixa frequência. Sendo assim, procurando dar maior familiarização aos possíveis cenários que possam existir durante a operação da planta, o uso de modelos de RV podem ser aplicados. Esses modelos permitem a simulação, avaliação e melhoria de vários cenários e os resultados podem ser posteriormente aplicados à vida real. A simulação é uma ferramenta eficiente para apoiar a preparação, educação e habilidades de tomada de decisão em vários contextos do mundo real. Uma tarefa extremamente importante no treinamento dos serviços de incêndio e resgate é ensinar a indivíduos e equipes de resgate como fazer seu trabalho de forma correta e segura (FANFAROVÁ; MARIŠ, 2017).

Assim, o foco desse trabalho é, através da RV, melhorar as abordagens relacionadas à brigada de emergência no tocante à preparação da estrutura de brigada de emergência de acordo com seu Plano de Resposta à Emergência.

## 1.4 OBJETIVO

A seguir, tem-se o objetivo geral e específicos deste trabalho.

### 1.4.1 Objetivo Geral

Com base em cenário emergencial definido, o objetivo geral deste trabalho é criar ambiente virtual capaz de reproduzir a realidade com intuito de complementar e melhorar os treinamentos oferecidos à brigada de emergência de uma refinaria.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, foram definidos como objetivos específicos:

- Estudo da ferramenta computacional selecionada para a construção do cenário emergencial definido no trabalho;
- Filmar com câmera de ação o exercício simulado relativo ao cenário selecionado.
- Análise entre o que foi realizado pela equipe durante a ação em campo e o que está registrado no Plano Resposta à Emergência para o evento considerado;
- Construção dos ambientes virtuais e do jogo propriamente dito de acordo com o evento emergencial escolhido;
- Teste e validação da ferramenta criada para complementação do treinamento de brigadistas.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação foi estruturada da seguinte forma:

- Introdução: são expostas as ideias iniciais, revisão da literatura, justificativa e objetivos da pesquisa;
- Fundamentação Teórica: são apresentados os conceitos ligados a Plano de Resposta à Emergência, Brigadas de Emergência e Realidade Virtual;
- Metodologia: neste capítulo é apresentado o método aplicado para o desenvolvimento do trabalho;
- Resultados e Discussão: são exibidos os resultados provenientes do uso da RV para melhoria dos treinamentos da Brigada de Emergência da unidade industrial;
- Conclusão: contém as principais contribuições, as limitações do trabalho e possíveis melhorias que podem ser agregadas ao trabalho no futuro.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir, segue Fundamentação Teórica levantada para a execução deste trabalho.

### 2.1 PLANO DE RESPOSTA À EMERGÊNCIA

Indústrias petroquímicas como refinarias, são classificadas como indústrias de processo. Esse tipo de planta oferece os mais diversos tipos de riscos de acidentes. Falhas de máquinas, problemas de processo, erros humanos, sistemas de gerenciamento inadequados e fatores externos podem causar acidentes como explosão, liberação química tóxica e incêndios que colocam muitas vidas em jogo. Esses acidentes têm o potencial de causar grande número de mortos, danificar os ativos e o meio ambiente, bem como causar interrupção dos negócios da indústria (Crowl et al., 2011).

De acordo com Broadribb (2014), as consequências decorrentes de tais acidentes podem ser gerenciadas adequadamente se a organização implementar um sistema de Plano de Resposta à Emergência efetivo. Segundo Joseph (2004), em vários acidentes investigados pelo *CSB – Chemical Safety Board* nos Estados Unidos, a maioria dos eventos de emergência causaram exposição perigosa ao meio ambiente. A falta de resposta de emergência à comunidade levou a atraso na evacuação, expondo mais vidas aos perigos associados à liberação química, incêndios ou explosões.

Segundo Zhou (2013), de modo a reduzir os danos à propriedade e a perda de vidas após o acidente, a eficiência da organização e operação da resposta de emergência é muito importante. Para garantir rapidez, implementação ordenada e eficaz de ações de emergência e salvamento, o plano de emergência é geralmente pré-estabelecido. Ele estrutura a organização de emergência, pessoal, tecnologia, equipamentos, materiais, ações, comandos e coordenação de antemão. A avaliação do plano de emergência tornou-se um requisito essencial para melhorar a execução e o planejamento do plano.

Diversas organizações, sejam governamentais ou não, orientam as empresas a estruturar Planos de Resposta à Emergência. No Brasil, a ABNT NBR 15219:2008 - Plano de Emergência Contra Incêndio orienta a elaboração de documento, formaliza e descreve o conjunto de ações e medidas a serem adotadas no caso de uma situação crítica, visando proteger a vida e o patrimônio, bem como reduzir as consequências. Situações críticas resultam em lesão a pessoas, danos ao meio ambiente, danos aos equipamentos e/ou estruturas e/ou paralisação de atividades. O plano de emergência deve ser elaborado formalmente por uma equipe multidisciplinar,

liderado por um ou mais profissionais especializados, levando-se em conta os seguintes aspectos:

- a) Tipo de ocupação, por exemplo, residencial, comercial, industrial, educacional etc.;
- b) Riscos específicos inerentes à ocupação;
- c) Construção, acabamento e revestimentos;
- d) Dimensões da área total construída e de cada uma das edificações, altura de cada edificação, número de pavimentos, se há subsolos, garagens e outros detalhes, por exemplo, compartimentação vertical e/ou horizontal;
- e) População fixa e/ou flutuante e suas características, por exemplo, crianças, idosos, pessoas com deficiência e/ou mobilidade reduzida, ou outras características;
- f) Característica de funcionamento, horários e turnos de trabalho, e os dias e horários fora do expediente;
- g) Acessibilidade para pessoas com deficiência e/ou mobilidade reduzida;
- h) Rotas de fuga e áreas de refúgio;
- i) Recursos humanos integrantes da equipe de emergência, por exemplo, brigada de emergências, bombeiros civis, grupos de apoio ou outros recursos humanos dedicados ao atendimento de emergências;
- j) Recursos materiais, sistemas e equipamentos existentes, por exemplo, extintores de incêndio, sistema de hidrantes, iluminação de emergência, escada para acesso à saída de emergência, portas corta-fogo, saídas de emergência, chuveiros automáticos, sistema de detecção e alarme de incêndio, sistema moto-gerador de incêndio ou outros sistemas e equipamentos;
- k) Localização e recursos externos, por exemplo, área urbana, área rural, características da vizinhança, distâncias de outras edificações e/ou riscos, tempo de resposta médio do corpo de bombeiros, do SAMU (Serviço de Atendimento Móvel de Urgência), defesa civil, policiais, remoção para os hospitais, existência de planos de auxílio mútuo, ou outros recursos dedicados para atendimento de emergências.

Após o levantamento das características da planta e da localidade, o profissional especializado deve realizar a análise da planta, com o objetivo de minimizar, controlar e/ou eliminar todos os riscos e perigos existentes. Com o levantamento das características e das análises de riscos e perigos, o profissional especializado deve realizar uma avaliação de conformidade e de compatibilidade quantitativa e qualitativa dos recursos materiais e humanos existentes na planta, bem como os recursos de apoio externo disponíveis para o atendimento das hipóteses acidentais. Dessa forma, observa-se como os Planos de Resposta à Emergência, se bem estruturados e efetivos, podem trazer proteção tanto para as organizações, quanto para a comunidade e o meio ambiente.

## 2.2 BRIGADAS DE EMERGÊNCIA

De acordo com a ABNT NBR 14276:2018 Brigada de Incêndio - Requisitos, brigada de incêndio é um grupo organizado de pessoas preferencialmente voluntárias ou indicadas, treinadas e capacitadas para atuar na prevenção e no combate a incêndio, abandono de área e primeiros-socorros, dentro de uma área preestabelecida na planta. Ela deve ser composta, considerando a divisão de ocupação, o grau de risco, a população fixa de cada setor da planta e a distância, o tempo de resposta e os recursos dos serviços públicos de emergências locais. Deve ser considerada também a quantidade necessária para o atendimento a todas as áreas, setores e/ou edificação, a quantidade de brigadistas deve ser compatível para efetuar as ações e procedimentos de prevenção e controle descritos no plano de emergência, estabelecidos conforme as hipóteses acidentais predeterminadas.

Situações de emergência possuem características bem peculiares e a ação humana nesses cenários pode trazer erros. A resposta à emergência traz desafios para a equipe pelas circunstâncias extremas e perigosas que ocorrem. De acordo com Au (2009), algumas dessas características são:

- Emergências industriais são eventos com baixa frequência. Mesmo que ainda haja treinamento, podem existir situações que são desconhecidas para os envolvidos que, de acordo com suas experiências, podem ter conhecimento limitado sobre o cenário.
- As ações que de fato podem impedir a propagação dos eventos devem ser tomadas no início em que estes ocorrem. Em grande parte dos acidentes as primeiras informações são incompletas e confusas, podendo gerar contradições e provocando efeitos diretos naqueles que vão responder ao sinistro.

- No momento da ocorrência da emergência é necessária a mudança do curso das atividades atuais que estão sendo realizadas pela equipe. Geralmente estas atividades são completamente diferentes. Ainda há a possibilidade de as pessoas resistirem em interromper sua atividade atual.
- A natureza urgente da situação pode pressionar os envolvidos durante a emergência. Em grande parte dos eventos, não haverá tempo hábil em pensar naquilo que deve ser feito e fazer a verificação.
- Devido aos danos provocados pela ocorrência, o ambiente pode ser fisicamente alterado, podendo dificultar ou atrasar as tarefas relacionadas à mitigação do evento. Sendo assim, é exigida uma maior capacidade de adaptação da equipe.

A partir desses aspectos, observa-se que o fator humano é importante na execução de um planejamento a emergências. De acordo com Woodcock & Au (2013), é importante ter em mente que, em situações de emergência, a capacidade de ação das pessoas, tanto física como cognitivamente, pode ser afetada pelo evento, as circunstâncias criadas por ele e os danos causados. Dependendo do cenário de emergência, as pessoas podem não ser capazes de se mover tão rápido ao ouvir um alarme, devido a obstruções em rotas de fuga, fumaça, ruído, entre outros.

Um outro aspecto importante a se observar nas brigadas de emergência está naqueles ligados ao comando, controle e comunicação. Em grande parte das brigadas, inclusive no organograma modelo definido pela ABNT NBR 14276 - Brigadas de Incêndio, existe a prescrição de um coordenador da estrutura de brigada. Este cuidará das tarefas necessárias aos membros para que haja sucesso no contingenciamento do evento emergencial, de acordo com aquilo que foi definido no plano de resposta. Mesmo assim, ainda há a possibilidade de o coordenador enfrentar problemas. Há a possibilidade de ele não estar no local da emergência ou ainda ter dificuldades para alcançar o melhor ponto para comando. Todas essas possibilidades devem ser levadas em consideração durante o planejamento de resposta.

O treinamento do pessoal é claramente importante para garantir que as pessoas saibam o que fazer em caso de emergência. Isso pode incluir treinamento de iniciação, além de treinamento de atualização e exercícios simulados. Os requisitos específicos de treinamento podem ser identificados usando técnicas de Fatores Humanos, como análise de tarefas. Mas para garantir que as pessoas se lembrem do que fazer quando sob pressão em emergências reais,

os procedimentos devem ser mantidos tão claros e simples quanto possível para que sejam fáceis de entender e lembrar (WOODCOCK & AU, 2013).

Em geral, as brigadas de emergência são avaliadas observando critérios específicos conforme o tipo de atendimento emergencial prestado (incêndio, explosão, resgate de vítimas, entre outros). Dentre eles, destacam-se:

- Comunicação: clareza no aviso de emergência; repasse adequado das informações para a equipe de emergência; atendimento à mensagem do comando; qualidade do áudio e funcionamento dos meios de comunicação.
- Coordenação da emergência: acionamento da brigada; coordenação dos meios de mitigação a serem utilizados; avaliação das condições de risco para aproximação da brigada; interrupção das fontes de energia e controle das fontes de ignição; orientações das ações da brigada de emergência.
- Resgate de acidentados e primeiros socorros: utilização dos equipamentos; deslocamento para local seguro; avaliação dos sinais vitais; imobilização e transporte.
- Tempo das ações: tempo entre a chamada e a chegada da brigada no local; tempo para controle da emergência no local; tempo de estabilização operacional.
- Recursos e equipamentos: disponibilidade dos recursos suficientes para atendimento; funcionamento dos equipamentos; controle, armazenamento e conservação dos equipamentos.

Alguns destes critérios podem ser incluídos na lógica do jogo em ambiente virtual para avaliação do brigadista, o que permite maior conhecimento sobre os possíveis cenários emergenciais e, assim, tende a diminuir a probabilidade de erros durante sua participação em um evento real.

### 2.3 REALIDADE VIRTUAL NA INDÚSTRIA

A RV pode ser definida como uma simulação computacional interativa, que monitora o estado e as atividades do usuário, substituindo ou aumentando os sentidos do operador por meio do conteúdo digital, trazendo uma sensação de estar imerso na simulação (MIHELJ; NOVAK; BEGUŠ, 2014).

De acordo com Mcmenemy (2007), a realidade virtual, que tem sido objeto de pesquisa desde a sua criação no final dos anos 1980 e início dos anos 1990, sempre teve sua usabilidade questionada principalmente pelos problemas de semelhança com a realidade e altas latências nas respostas. A tecnologia surge novamente com melhorias proporcionadas pelo aumento da capacidade de processamento de soluções de *hardware* que antes eram física e financeiramente inviáveis.

O recente e inovador desenvolvimento das tecnologias de RV deu origem à tecnologia de interação entre o computador e o humano, que permite que usuários reais participem de um mundo virtual reproduzido por computadores. Isso destaca a necessidade de simuladores de treinamento baseados em RV que possibilitam treinamentos repetitivos seguros, convenientes e planejados (CHA, 2012).

Os simuladores de treinamento, em geral, devem ter funções básicas como geração e controle de cenários, conteúdo de RV representando situações reais, dispositivos de interface de RV imersiva e a capacidade de avaliar o processo de treinamento e os resultados. Em particular, o conteúdo realístico de RV deve ser expresso em tempo real sob os cenários de treinamento fornecidos, dependendo dos locais e pontos de vista da escolha do usuário. O conteúdo é oferecido aos trainees por meio de dispositivos de interface imersivos, como o HMD (*Head-Mounted Display*), telões e rastreadores, para maximizar a sensação de presença e interatividade; as respostas dos treinandos e os dados de cumprimento da missão são registrados e analisados para a avaliação geral do treinamento (CHA, 2012).

Li (2016), em estudo baseado nas novas tecnologias aplicadas na indústria petroquímica, destacou o uso da RV como forma de treinar e educar seus funcionários. Sob novo contexto, a indústria petroquímica está em necessidade urgente de um modo inovador de gerenciamento de produção, bem como de recursos versáteis, pois os métodos de treinamento existentes e os canais de reservas de talentos não têm atendido a essas necessidades. Assim, é necessário primeiramente quebrar o modelo original de organização baseado em equipe com foco em técnicas especializadas e construir equipes com uma integração de talentos especializados em engenharia, computação, automação, processo de produção, gerenciamento de operações e assim por diante. Em segundo lugar, os métodos de treinamento mais efetivos são fornecidos aos funcionários, a fim de melhorar sua capacidade de aprendizado através de tecnologia de RV e plataforma de simulação, interação 3D e tecnologia de exibição, ajudando-os a se adaptarem ao ambiente de trabalho em constante mudança. Em terceiro lugar, avaliação dos funcionários não é restrita a um único campo profissional. Em vez disso, eles incluem a coordenação mútua

durante o processo de produção, bem como a avaliação quantitativa do conhecimento fornecido pelos funcionários. Isso é feito com o intuito de facilitar o desenvolvimento coordenado da capacidade inovadora dos funcionários e o espírito inovador das empresas petroquímicas.

## 2.4 ESTUDO DE CENÁRIOS EMERGENCIAIS

A seguir, tem-se as seções relacionadas ao Estudo dos Cenários Emergenciais consideradas para este trabalho.

### 2.4.1 Identificação de Perigos

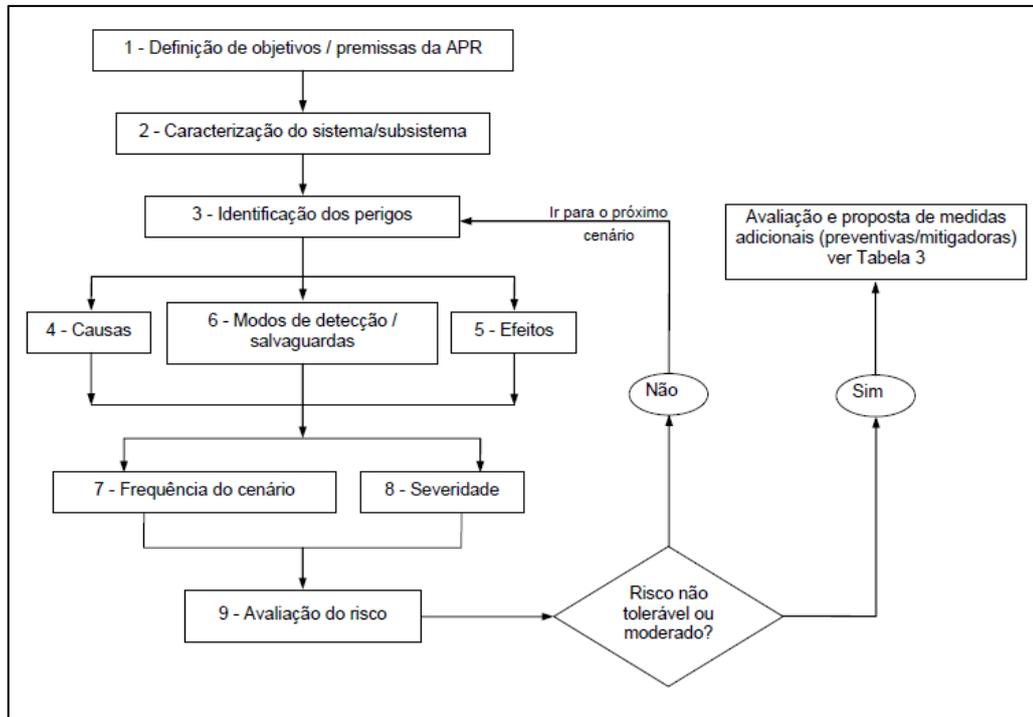
Para que os riscos possam ser controlados, é necessário identificá-los e avaliá-los. Isso pode ser realizado durante um estudo de análise de risco que também visa quantificar as frequências e seus efeitos físicos, avaliar a vulnerabilidade e estimar o risco qualitativa ou quantitativamente (SILVA, 2017).

Existem várias técnicas que podem ser empregadas de modo a desenvolver uma análise de risco. Pode-se citar APR (Análise Preliminar de Riscos - *Preliminary Hazard Analysis*), HAZOP (Estudo de Perigos e Operabilidade - *Hazard and Operability Study*) e *What-if* (NOLAN, 2015). De modo geral, essas técnicas são utilizadas para nas mais diversas fases de um projeto, através da definição do sistema e escopo, identificação dos riscos, modos de falha e os possíveis eventos acidentais que podem ser encontrados no empreendimento.

Uma das técnicas mais utilizadas é a Análise Preliminar de Riscos - APR. Conforme Kumamoto & Henley (1996), de forma sistêmica e estruturada, a APR tem como objetivo identificar os perigos presentes na instalação, os quais podem ser ocasionados por eventos indesejáveis. Conforme a norma Petrobras N-2782 (2015), a APR pode ser usualmente aplicada em todas as fases de uma instalação, desde do seu projeto conceitual e básico, como também nas suas fases de operação.

A metodologia visa, para cada perigo levantado, identificar suas causas, forma de detecção e seus efeitos para pessoas, meio ambiente, patrimônio, imagem empresarial e continuidade operacional. Os eventos estão ligados à perda de contenção de produtos ou energia, como incêndios, explosões ou vazamentos, por exemplo. Em uma APR, ainda são levantadas medidas preventivas e/ou de mitigação de modo a eliminar ou reduzir as consequências dos cenários para níveis aceitáveis. A Figura 1 apresenta um fluxograma com as etapas de aplicação de APR.

Figura 1 - Fluxograma para aplicação de APR



Fonte: Norma Petrobras N-2782 (2015)

O registro da APR é realizado em planilha padrão (Figura 2), onde é possível descrever o que foi levantado pela análise.

Figura 2 – Exemplo de Planilha de APR

ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR)											Nível de Proteção			
										Gerência Emitente				
Unidade:						Sistema:						Data:		
Subsistema:			Descrição:						Desenhos e Rev.:					
Perigo	Causas	Consequências	Detecções / Salvaguardas	Freq.	Pessoal		Instal.		MA		Imagem		Recomendações / Observações	Cenário
					S	R	S	R	S	R	S	R		
	-	-	-											
	-	-	-											

Legenda:  
 S = Severidade;  
 R = Risco.

Fonte: Norma Petrobras N-2782 (2015)

Para cada sistema analisado, o cabeçalho da planilha de registro da APR normalmente contém os seguintes campos:

- a) Unidade: unidade operacional, seguida da identificação da instalação de processo em análise;
- b) Sistema: identificação do sistema ou etapa que está em análise;
- c) Subsistema: identificação do subsistema que está em análise (quando aplicável);
- d) Identificação dos documentos utilizados na análise, incluindo revisão e data de emissão;
- e) Data de realização da APR.

Os termos e definições, de acordo com a norma supracitada, relacionados aos itens da planilha são listados a seguir:

- Perigo: condição ou propriedade inerente a uma substância, a uma atividade, a um sistema ou a um processo, com potencial para causar danos à integridade física das pessoas, meio ambiente, patrimônio ou perda de produção.
- Causas: podem advir de falhas de equipamentos, erro humano, uma condição de operação do processo não prevista, fatores externos etc.
- Consequências: são os resultados decorrentes da concretização do perigo identificado, incluindo efeitos físicos das possíveis perdas de contenção, tais como incêndio em poça, incêndio em jato, explosão, dispersão de produto tóxico ou inflamável, etc.
- Modos de detecção: são dispositivos, sistemas ou outros meios já existentes na instalação ou previstos no projeto utilizados para identificar a ocorrência do cenário acidental.
- Salvaguardas: meios existentes ou previstos em projeto que estejam adequadamente dimensionados e em condições operacionais que permitam a efetiva prevenção ou mitigação do cenário analisado.
- Frequência: visam permitir uma avaliação da frequência do cenário acidental e não do evento iniciador. Para a classificação da frequência do cenário acidental deve ser considerada a atuação das salvaguardas preventivas existentes ou previstas em projeto (Figura 2).

- Severidade: são atribuídas aos possíveis efeitos levantados para o cenário analisado, em relação às seguintes dimensões: segurança pessoal, patrimônio, meio ambiente e imagem da empresa (Figura 2).
- Riscos: são categorias de risco resultantes da combinação da frequência de ocorrência com a severidade do cenário analisado, em relação às dimensões consideradas no estudo (Figuras 2 e 3). Na Figura 4, tem-se a descrição de acordo com a combinação resultante.
- Recomendações/Observações: Medidas propostas para prevenir a ocorrência do evento acidental ou mitigar suas consequências sempre que as salvaguardas existentes forem consideradas insuficientes. Quando necessárias, as observações podem ser registradas nesta coluna a fim de esclarecer o cenário analisado.
- Cenário: número sequencial de identificação do cenário acidental.

Figura 3 – Matriz de Tolerabilidade de Riscos

		Descrição / características				Categorias de frequência					
						A Extremamente remota	B Remota	C Pouco provável	D Provável	E Frequente	
		Pessoas	Patrimônio / continuidade operacional	Meio ambiente (ver Nota 1)	Imagem	Possível mas sem referências na indústria	Não esperado ocorrer, apesar de haver referências em instalações similares na indústria	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil de um conjunto de instalações similares	Possível de ocorrer uma vez durante a vida útil da instalação	Possível de ocorrer muitas vezes durante a vida útil da instalação	
Categorias de Severidade das Consequências	V	Catastrófica	Múltiplas fatalidades intramuros ou fatalidade extramuros (ver Nota 2)	Danos catastróficos podendo levar à perda da instalação industrial	Danos catastróficos	Repercussão internacional	M	M	NT	NT	NT
	IV	Crítica	Fatalidade intramuros ou lesões graves extramuros (ver Nota 3)	Danos severos a sistemas / equipamentos (reparação lenta)	Danos severos	Repercussão nacional	T	M	M	NT	NT
	III	Média	Lesões graves intramuros ou lesões leves extramuros	Danos moderados a sistemas / equipamentos	Danos moderados	Repercussão regional	T	T	M	M	NT
	II	Marginal	Lesões leves	Danos leves a sistemas / equipamentos	Danos leves	Repercussão local	T	T	T	M	M
	I	Desprezível	Sem lesões ou no máximo casos de primeiros socorros	Danos leves a equipamentos sem comprometimento da continuidade operacional	Danos insignificantes	Repercussão insignificante	T	T	T	T	M

Fonte: Norma Petrobras N-2782 (2015)

Figura 4 - Categorias de Risco x Nível de Controle Necessário

Categoria de risco	Descrição do nível de controle necessário
<b>Tolerável (T)</b>	Não há necessidade de medidas adicionais. A monitoração é necessária para assegurar que os controles sejam mantidos.
<b>Moderado (M)</b>	Medidas adicionais devem ser avaliadas com o objetivo de obter-se uma redução dos riscos e implementadas aquelas consideradas praticáveis (região ALARP - "As Low As Reasonably Practicable")
<b>Não Tolerável (NT)</b>	Os controles existentes são insuficientes. Métodos alternativos devem ser considerados para reduzir a probabilidade de ocorrência ou a severidade das consequências, de forma a trazer os riscos para regiões de menor magnitude de riscos (regiões ALARP ou tolerável).

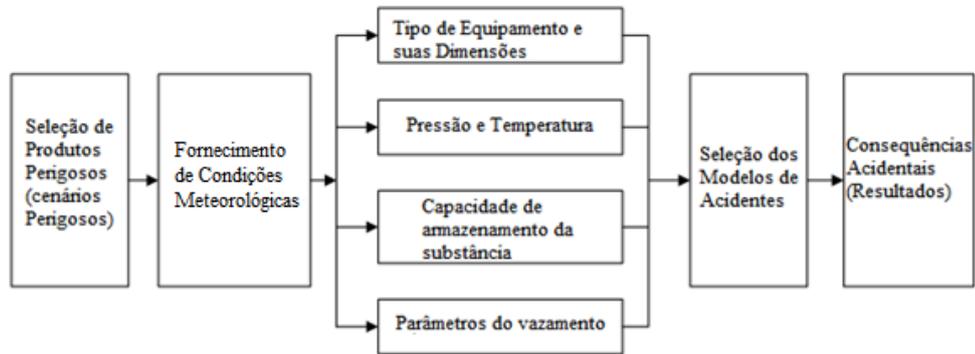
Fonte: Norma Petrobras N-2782 (2015)

## 2.4.2 Análise das Consequências e Vulnerabilidade

De acordo a CETESB (2014), a análise de vulnerabilidade é um estudo realizado por intermédio de modelos matemáticos para a previsão dos impactos danosos às pessoas, instalações e ao meio ambiente, baseado em limites de tolerância estabelecidos para os efeitos de sobrepressão advinda de explosões, radiações térmicas decorrentes de incêndios e efeitos tóxicos oriundos da exposição a uma alta concentração de substâncias químicas por um curto período de tempo. De modo a facilitar o estudo, existem no mercado diversos *softwares* que auxiliam na análise de vulnerabilidade dos mais diversos cenários.

Como exemplo, pode-se citar o *software* de domínio público, chamado ALOHA – *Areal Locations of Hazardous Atmospheres* editado pela NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration* (EUA). Sua finalidade principal é fornecer estimativas para o pessoal de resposta a emergências da extensão espacial de alguns perigos comuns associados a vazamentos de produtos químicos. A equipe de desenvolvimento reconhece que o ALOHA pode ser uma ferramenta apropriada para treinamento e planejamento de contingência, fornecendo estimativas da extensão espacial de alguns dos perigos associados à liberação acidental de curto prazo de produtos químicos voláteis e inflamáveis. O ALOHA lida especificamente com os riscos para a saúde humana associados à inalação de vapores químicos tóxicos, radiação térmica de incêndios químicos e os efeitos da onda de pressão das explosões de nuvens de vapor (NOAA, 2013). Na Figura 5 há um fluxograma de simulação do ALOHA.

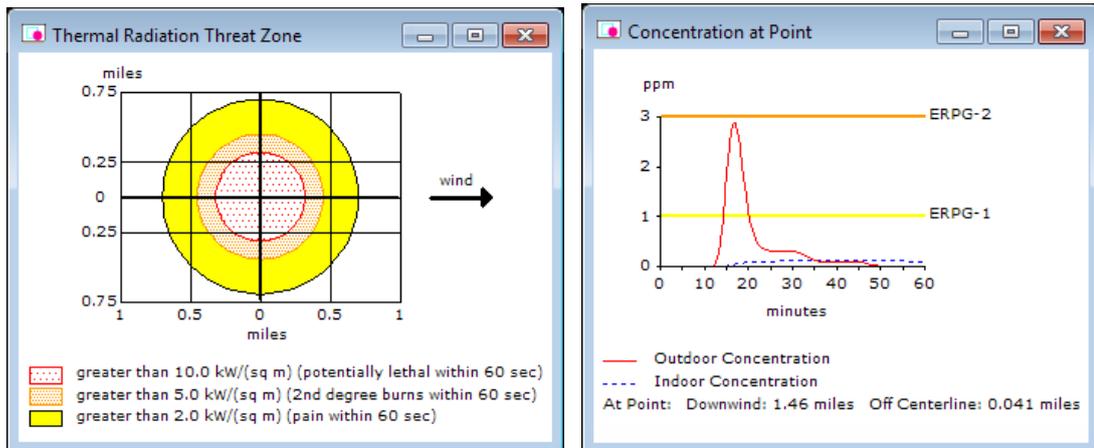
Figura 5 - Fluxograma de Simulação no ALOHA



Fonte: ZHOU; LIU (2011) adaptado

O ALOHA usa uma interface gráfica para entrada de dados e exibição de resultados. A área onde existe a possibilidade de exposição a vapores tóxicos, uma atmosfera inflamável, sobrepção de uma explosão de nuvem de vapor ou radiação térmica de um incêndio é representada graficamente como zonas de ameaça. As zonas de ameaça representam a área em que a exposição no nível do solo excede o nível especificado pelo usuário em algum momento após o início de uma liberação. Todos os pontos dentro da zona de ameaça experimentam uma exposição transitória excedendo o nível de preocupação em algum momento após a liberação; é um registro da exposição máxima prevista ao longo do tempo. Em alguns cenários, o usuário também pode visualizar a dependência de tempo da exposição em pontos especificados (NOAA, 2013). Na Figura 6, há exemplos de gráficos de saída do ALOHA. À esquerda, há um gráfico apresentando a zona circular de ameaça de radiação térmica estimada para um bleve (explosão do vapor de expansão de um líquido sob pressão, em português). Já à direita, o gráfico de ponto de ameaça mostra o nível de concentração tóxica ao longo do tempo em um local específico; as linhas horizontais mostram como a concentração se compara aos níveis tóxicos de preocupação escolhidos.

Figura 6 – Exemplo de saída do ALOHA.



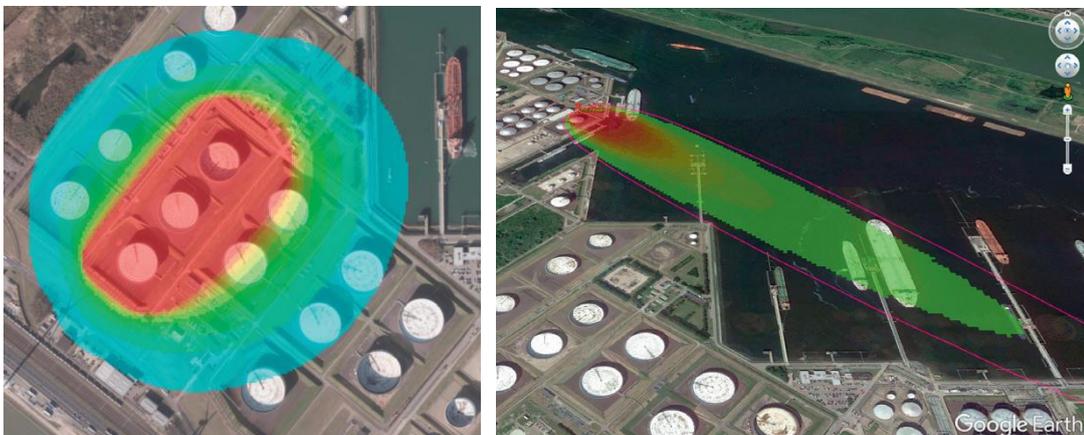
Fonte: NOAA (2015)

As saídas do ALOHA permitem maior conhecimento do cenário escolhido para a construção dos modelos virtuais a serem simulados, mostrando as zonas de ameaça geradas pelo evento acidental.

Outro software que também é utilizado para análises de vulnerabilidade é o EFFECTS®. Este foi desenvolvido pela organização TNO - Organização Holandesa para Pesquisa Científica Aplicada (em português), permite modelar o comportamento de gases tóxicos e inflamáveis. Da mesma forma que o ALOHA, calcula áreas de radiação de calor oriundas de incêndio, sobrepressão e explosão, calculando também as consequências relacionadas a letalidade e danos estruturais em empreendimentos (TNO, 2017).

Os resultados podem ser compartilhados em tabelas e gráficos como também exportados para outros *softwares* de georreferenciamento como o Google Earth® (Google Inc.). Na Figura 7 é possível ver um exemplo da ferramenta citada.

Figura 7 – Exemplos de saída do EFFECTS.



Fonte: TNO (2018)

## 2.5 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS VIRTUAIS

A seguir, seguem os subtópicos relacionados à Construção dos Modelos Virtuais definidos para a este trabalho.

### 2.5.1 Uso de Câmera de Ação

O registro de imagens por câmeras de ação vem sendo aplicado por diversas pesquisas. Zeuwts et al. (2017) realizaram um projeto de treinamento para crianças ciclistas. De acordo com o autor, estas estão mais propensas a se envolver em acidentes de trânsito. Parte do treinamento consistia em um teste de perigo, onde foram apresentados 14 vídeos de aproximadamente 30 segundos de duração, registrados com uma câmera de ação acoplada em um ciclista. Cada clipe continha ao menos uma situação perigosa desconhecida dos participantes, incluindo situações típicas de trânsito e projetos rodoviários. Concluiu-se que os ciclistas infantis desenvolveram um melhor processamento em relação a possíveis situações perigosas.

Em outro trabalho publicado por Moore et al. (2017), foi avaliada a possibilidade de uso de câmeras de ação utilizando suportes de cabeça em médicos residentes de cirurgia geral durante procedimentos de laparoscopia. Os objetivos principais eram avaliar as percepções dos médicos residentes em instruções operativas assistidas por vídeo e conduzir um sistema de classificação de desempenho operacional para avaliar a viabilidade do uso de revisão de vídeo, para melhoria nos procedimentos de operação. O uso da câmera de ação mostrou-se, nesse trabalho, uma ferramenta dinâmica que fornece vídeo de alta qualidade com potencial para melhorar o treinamento e a experiência dos residentes em cirurgia geral.

Entre as câmeras mais utilizadas, destaca-se a GoPro®. Conforme Vara (2016), os sistemas GoPro HERO (San Matea, CA) são câmeras de ação comercialmente disponíveis que se tornaram populares entre entusiastas do esporte de ação que desejam documentar sua participação. De acordo com Nicolaou (2016), elas podem fornecer até 4K de qualidade de gravação de vídeo oferecendo um grande número de montagens e acessórios que podem ser facilmente obtidos.

### 2.5.2 Motor de Jogo

Os motores de jogo (*game engines*) consistem em um conjunto de ferramentas de design de jogos agrupadas em um ambiente computacional exclusivo. A grosso modo, podem ser

comparados aos editores de texto, onde todas as ferramentas necessárias são implementadas no ambiente de software, por exemplo, módulos de impressão, ortografia e formatação. Nos motores de jogo, de forma análoga, as ferramentas necessárias desde a concepção até a saída final de uma aplicação são implementadas e são independentes do projeto (ANDRADE, 2017).

Estas aplicações são responsáveis por simplificar e abstrair elementos do desenvolvimento de aplicações gráficas ao prover um conjunto de ferramentas integradas, entre as quais: motores gráficos, de física e de conexão e rede (*network*, linguagens de *script*, *softwares* para o controle de som, gerenciadores de arquivos, etc.) (GREGORY, 2009).

Entre os motores de jogo mais utilizados atualmente, pode-se destacar o *Unreal Engine 4 - UE4*®, desenvolvido pela Epic Games (Maryland - USA). De acordo com Macedo (2015), esse motor de jogo se tornou popular devido a sua robustez e aprendizado mais acessível. Seu uso é gratuito, embora seja cobrado um valor de 5% sobre o lucro das aplicações que ultrapassam 3 mil dólares trimestrais, com exceção de aplicações para filmes, simulações, arquitetura e visualização (EPIC GAMES, 2018).

O UE4, entre seus principais recursos, possui uma interface de programação visual chamada *Blueprint*, que permite que quase todos os aspectos do ambiente sejam programados e controlados sem qualquer código escrito. Esse recurso é especialmente útil na perspectiva de pequenas equipes de pesquisa de engenharia. Esta *game engine* possui uma enorme base de usuários e excelente interoperabilidade com os principais pacotes de *software* 3D via *pipeline* de arquivos FBX (ANDRADE, 2017).

A Figura 8 mostra um exemplo dos cenários criados dentro do UE4 com um exemplo de seu *script* *Blueprint* correspondente.

Figura 8 – Visão geral de um cenário no UE4 à esquerda. À direita observa-se a programação respectiva do ambiente mostrado (*Blueprint*).

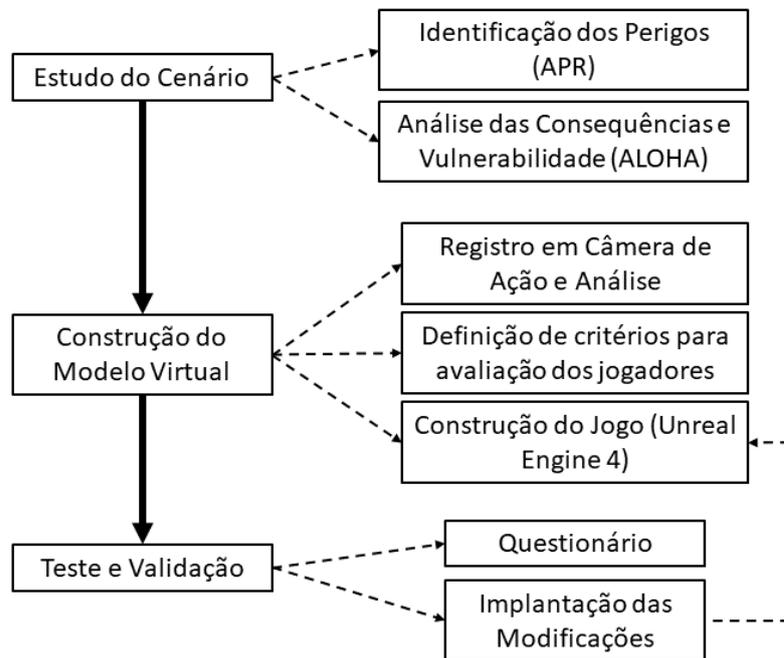


Fonte: Andrade (2017)

### 3 METODOLOGIA

O Parque de Esferas da indústria petroquímica considerada neste trabalho foi escolhido como unidade base para a construção do cenário a ser estudado utilizando RV em virtude das possíveis consequências que podem surgir em caso de acidentes (explosões, incêndio, grandes vazamentos), tais como fatalidades, perda de patrimônio, danos ao meio ambiente, prejuízo à imagem e à continuidade operacional. Na Figura 9, as etapas são apresentadas em formato de fluxograma.

Figura 9 – Etapas da Metodologia.



Fonte: O autor (2018)

Na primeira fase da pesquisa, foi realizado o Estudo do Cenário definido. Este, conforme mostrado no fluxograma, foi dividido em duas partes: Identificação dos Perigos e Análise das Consequências e Vulnerabilidade. Para a primeira parte, utilizou-se a técnica Análise Preliminar de Riscos (APR). Já no segundo, optou-se pelo uso do software ALOHA - *Areal Locations Hazardous Atmospheres*.

A construção do modelo virtual foi dividida em três etapas. Na primeira, de forma a entender melhor a dinâmica relacionada ao atendimento emergencial, foi utilizada uma câmera de ação (GoPro®), ver Seção 2.5.1. Alguns dos registros captados pela câmera e que auxiliaram na construção do cenário virtual, bem como na simulação dos eventos emergenciais, são:

- Comunicação empregada durante a evolução da emergência através dos rádios comunicadores utilizados pela equipe e pelo portador da câmera;
- Melhor entendimento sobre o que deve ser priorizado pela simulação virtual, baseado nas imagens em primeira pessoa registradas pela câmera;
- Funcionamento dos equipamentos durante a emergência;
- Percurso a ser realizado durante a simulação pelo jogador durante o uso da ferramenta.

A segunda etapa consistiu em definir quais critérios serão avaliados durante a interação dos jogadores com a ferramenta. O desempenho é avaliado de acordo com as tarefas a serem executadas pelo brigadista, conforme o tipo de cenário emergencial proposto e também são verificados em paralelo alguns critérios que contribuem para a execução bem sucedida da tarefa, como a comunicação, por exemplo. O estabelecimento desses critérios tem como base os utilizados em avaliações de desempenho de brigadistas, conforme comentado na Seção 2.2.

Já a terceira etapa foi a modelagem do jogo dentro do *software* UE4. Foram então definidos: arquitetura do cenário, lógicas do jogo e também inseridos na programação demais softwares e dispositivos físicos para a interação do jogador com o cenário emergencial.

Após a construção, o cenário foi testado e validado utilizando voluntários da própria refinaria. As equipes de atendimento a emergência da unidade industrial são compostas ao todo por 70 brigadistas, divididos em cinco grupos de 14 pessoas cada, trabalhando em regime de turno de revezamento de 8 horas cada grupo. Em cada grupo, há um profissional denominado Líder de Brigada. Este é responsável por garantir a gestão dos recursos humanos e materiais, bem como o comando tático para mitigação do evento acidental. A tática a ser adotada está no procedimento contido no Plano de Resposta a Emergências da refinaria. Dessa forma, a opinião desses cinco profissionais é importante para validar o jogo criado para treinamento dos brigadistas. Além desses, os seus substitutos fizeram os testes, resultando em 10 participantes.

Todos os líderes e seus substitutos fizeram o teste da proposta implementada de acordo com o cenário escolhido de modo que pudessem validar, bem como testar a ferramenta de simulação. As impressões foram registradas por meio de um formulário, utilizando escalas de Likert. Conforme Silva Junior (2014), a escala de verificação consiste em tomar um construto e desenvolver um conjunto de afirmações relacionadas à sua definição, para as quais os

respondentes emitirão seu grau de concordância. Na Figura 10 tem-se um exemplo de aplicação dessa escala mostrando a medição de satisfação com um serviço, em 5 pontos:

Figura 10 – Exemplo de escala de Likert para a satisfação com um determinado serviço prestado.

<b>ESTOU SATISFEITO COM O SERVIÇO RECEBIDO:</b>				
Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

Fonte: Silva Junior (2014)

As afirmações listadas em formulário para pesquisa junto aos líderes de brigada foram as seguintes:

- O cenário simulado representa de forma satisfatória um possível cenário real.
- A simulação em realidade virtual pode ajudar o treinamento dos brigadistas da refinaria.
- As táticas relacionadas à execução do Plano de Resposta a Emergência da refinaria podem ser melhoradas utilizando a realidade virtual.
- A empresa deveria investir em ferramentas de realidade virtual para treinamentos.
- Durante o uso não senti nenhum desconforto (náuseas, tonturas, etc.).

Além dos registros das impressões em relação às afirmações propostas, foi realizado ainda o registro de opiniões subjetivas de cada líder de brigada. Essas opiniões foram classificadas como elogios, sugestões de melhoria e outras observações. De modo a aprimorar o jogo criado, parte das sugestões de melhoria foram adaptadas e nele implantadas.

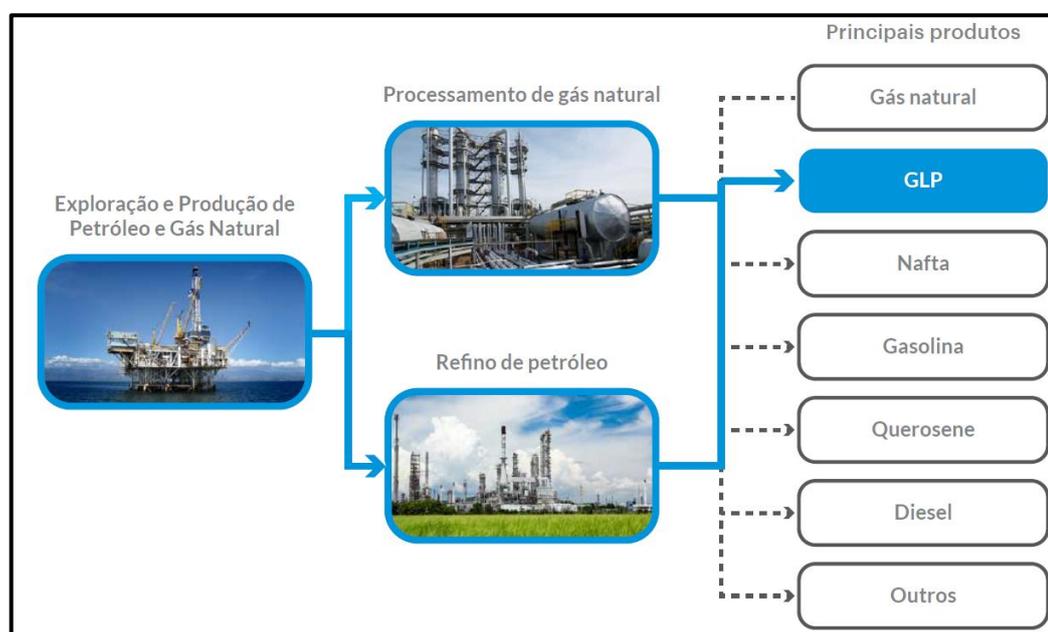
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, seguem os Resultados e Discussão deste trabalho, divididos em quatro subtópicos: Parque de Esferas de GLP, Estudo dos Cenários Emergenciais, Construção do Modelo Virtual e Teste e Validação pela Equipe de Brigada.

### 4.1 PARQUE DE ESFERAS DE GLP

De forma a entender como os possíveis cenários podem se desenvolver durante uma emergência, é necessário o estudo das condições operacionais e de projeto relacionadas à unidade. O Gás Liquefeito de Petróleo – Gás LP, GLP ou, como é popularmente conhecido, gás de cozinha – é produto resultante tanto do refino do petróleo quanto do processamento do gás natural. Formado por uma mistura entre moléculas de propano ( $C_3H_8$ ) e butano ( $C_4H_{10}$ ), o GLP é transportado e armazenado em forma de líquido sob pressão em tanques e botijões. Quando submetido à pressão atmosférica, o produto se transforma, rapidamente, em gás (SINDIGAS, 2017). Em resumo, na Figura 11, é apresentado um esquema de produção do produto.

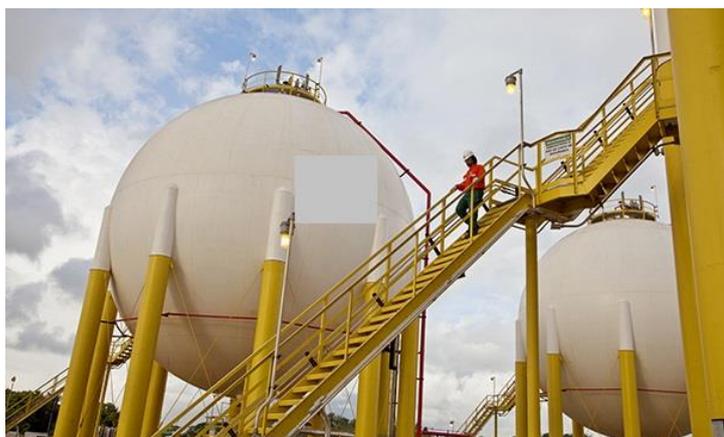
Figura 11 – Esquema simplificado de produção de GLP



Fonte: SINDIGAS (2017)

Na indústria em questão, o GLP é gerado em dois locais: na Unidade de Destilação Atmosférica (UDA) e na Unidade de Coqueamento Retardado (UCR). Após isso, é encaminhado para a Unidade de Tratamento Cáustico Regenerativo (TCR), onde são retiradas as impurezas de modo a ajustá-lo à qualidade final do produto.

Figura 12 – Esfera da refinaria em estudo (detalhe)



Fonte: Blog Fatos e Dados – PETROBRAS (2014)

Depois de tratado, o produto é armazenado no Parque de Esferas de GLP. Ao todo são quatro esferas com capacidade de 3180m<sup>3</sup> cada, conforme mostrado na Figura 12. Na Tabela 1 há outros dados operacionais e de projeto das esferas instaladas no parque.

Tabela 1 - Dados operacionais e de projeto das Esferas de GLP

<b>Esferas de GLP – Gás Liquefeito de Petróleo</b>	
Capacidade Nominal	3180 m <sup>3</sup>
Nível Máximo do Produto	14,68 m
Pressão Normal de Operação (manométrica)	8,5 kgf/cm <sup>2</sup>
Temperatura Normal de Operação	27,2 °C
Díâmetro Interno	18250 mm

Fonte: O autor (2018)

## 4.2 ESTUDO DOS CENÁRIOS EMERGENCIAIS

A seguir, seguem subtópicos relacionados com os Estudos dos Cenários Emergenciais definidos para este trabalho.

### 4.2.1 Identificação dos Perigos

Conforme a metodologia apresentada no Capítulo 3, a unidade industrial escolhida para desenvolvimento do modelo virtual foi o Parque de Esferas de GLP da refinaria. Para melhor conhecimento dos cenários e a escolha daquele a ser simulado virtualmente, foi realizada uma

análise de riscos. Utilizou-se a metodologia prevista na APR – Análise Preliminar de Riscos, orientada pela Norma Petrobras N-2782. Como resultado, tem-se a Tabela 2.

Tabela 2 - Análise Preliminar de Riscos – APR para a Esfera de Armazenamento de GLP

ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS – APR														
Unidade: Refinaria				Sistema: Parque de Esferas de GLP						Período: 2018.2				
Subsistema/Equipamento: Esfera 3				Descrição: Armazenamento de GLP – Gás Líquido de Petróleo para uso industrial										
Perigo	Causas	Consequências	Detecções/ Salvaguardas	Frequência	Pessoal		Instalações		Meio Ambiente		Imagem		Recomendações	Cenário
					S	R	S	R	S	R	S	R		
Grande vazamento de GLP	Perda de contenção em tubulação, acessórios e/ou equipamentos estáticos devido à sobrepressão ou à baixa espessura	Jato de fogo, incêndio em nuvem, explosão em nuvem, nuvem tóxica	Sistema de detecção de incêndio e gás instalado na unidade	C (pouco provável)	III	M	IV	M	IV	M	IV	M	Listadas no parágrafo abaixo	1, 2, 3, 4
	Rompimento de costado													

Fonte: O autor (2018)

Com base nas observações da APR apresentadas na Tabela 4.2, as recomendações propostas para prevenir a ocorrência do evento ou mitigar suas consequências são:

- Manter plano de inspeção preventiva focado nos níveis de corrosão e integridade física dos equipamentos;
- Realizar exercícios simulados e treinamentos de Brigada de Emergência;
- Manter plano inspeção para o sistema de aterramento contra descargas atmosféricas;
- Manter plano de inspeção para detectores de incêndio e gás presentes na unidade industrial;
- Restringir o acesso a terceiros;
- Em serviços de manutenção, realizar análise de risco específica para a atividade preconizando a não emissão de centelhas ou faíscas que possam causar ignição dos gases que podem estar presentes no local;
- Caso seja necessária a utilização de atividades à quente (solda, desbaste, corte, entre outras), realizar bloqueio das linhas (fechamento de válvulas e raqueteamento) e monitoração do ar atmosférico;
- Impedir o acesso de veículos e ou equipamentos que tenham motores à combustão nas proximidades do Parque de Esferas do GLP;
- Manter plano de manutenção e calibração dos medidores portáteis;
- Implementar controle de emissões fugitivas.

Realizada a análise, conforme já definido no escopo do trabalho, uma das possíveis consequências que pode ocorrer é de nuvem tóxica. Nesse tipo de evento, existe a possibilidade de grandes massas de produto vazado atingirem pessoas, podendo causar mortes. Ainda, caso estejam nas condições de inflamabilidade e entrem em contato com fontes de ignição da planta, há a possibilidade de incêndio e explosão em nuvem.

Em seguida, conforme a metodologia, foi realizado o estudo de vulnerabilidade buscando definir o alcance e as concentrações oriundas dos eventos citados; ele é apresentado na próxima subseção.

#### 4.2.2 Estudo das Consequências e Vulnerabilidade

De forma a entender o cenário a ser simulado em RV, orientado pela análise de riscos, realizou-se o estudo das consequências dos eventos citados. Para este trabalho, foi analisado o evento de nuvem tóxica, gerado a partir do vazamento de GLP.

As quatro esferas estão dispostas na unidade industrial duas a duas, formando pares como vértices de um quadrado. A Figura 13 mostra a disposição desses equipamentos no parque. Para facilitar o entendimento, as esferas foram numeradas de 1 a 4, obedecendo a ordem lógica empregada pela unidade industrial.

Figura 13 - Parque de Esferas de GLP da refinaria em estudo



Fonte: O autor (2018)

Inicialmente, é necessário identificar as condições importantes para o levantamento das possíveis consequências e as áreas vulneráveis de acordo com o cenário acidental. Essas condições foram baseadas no Plano de Respostas à Emergência da unidade industrial em questão, levando-se em conta que o cenário em RV a ser desenvolvido foi simulado com o vazamento de GLP ocorrendo durante o dia. Conforme a metodologia apresentada neste trabalho, utilizou-se o *software* ALOHA. Na Tabela 3 há os dados de entrada solicitados para início da análise ligados à edificação e às condições atmosféricas do local.

Também foram analisadas as condições atmosféricas para a noite, que são ligeiramente diferentes (por exemplo, velocidade do vento e temperatura do ar). Porém, não foram observadas alterações significativas nas possíveis consequências e vulnerabilidade em caso de um possível evento emergencial. Sendo assim, apenas as condições atmosféricas para o dia foram consideradas neste trabalho.

Tabela 3 - Dados de entrada no ALOHA ligados à edificação e às condições atmosféricas

<b>Dados sobre a Edificação e Condições Atmosféricas</b>	
Tipo de edificação	Prédio de andar simples
Ambiente ao redor	Ambiente exposto
Velocidade do vento	4,3 m/s
Direção do vento	NNE (nor-nordeste)
Medição de altura acima do solo	3 m
Rugosidade do terreno	Local aberto
Cobertura de nuvens	Sem nuvens
Temperatura do ar	25,8 °C
Classe de estabilidade	D
Altura da inversão do ar	Sem inversão
Umidade	78%

Fonte: O autor (2018)

Para o cenário descrito, foi simulada a dispersão da nuvem tóxica por perda de contenção devido a rompimento do medidor de temperatura da Esfera 3. Apesar de não ser frequente, pode ocorrer rompimento desse equipamento durante sua utilização, devido à fragilização da solda por corrosão. Este medidor está conectado à esfera através de tubo de 1,5 polegada de diâmetro nominal instalado na parte inferior da esfera.

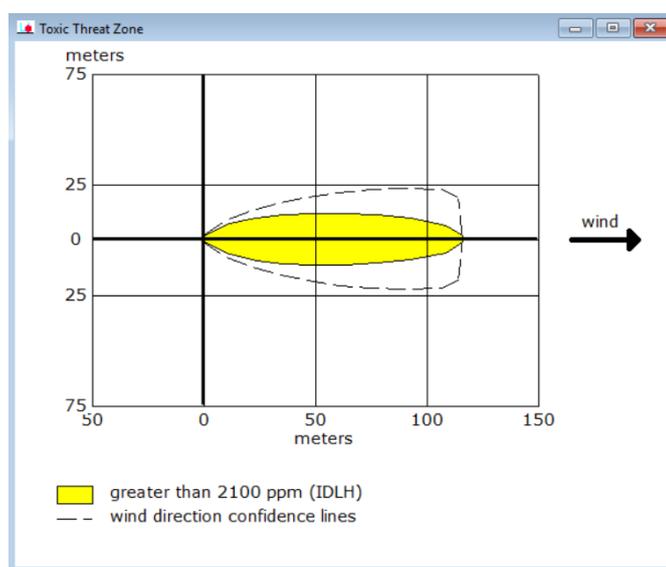
A simulação foi realizada utilizando como base o gás propano ( $C_3H_8$ ). De acordo com a NIOSH - *National Institute for Occupational Safety and Health* (2018), o propano é incolor e inodoro. Além disso, é classificado como asfixiante simples, podendo reduzir a quantidade de oxigênio presente no local. Sua concentração IPVS – Imediatamente Perigosa para a Vida e Saúde (IDLH - *Immediately Dangerous to Life or Health* em inglês) é de 2100 ppm (partes por milhão). Essa é a concentração máxima na qual um trabalhador pode ficar exposto sem prejudicar a saúde durante 30 minutos, segundo a NIOSH. Ainda de acordo com a instituição, uma concentração de 2,1% em volume no ar já pode tornar a atmosfera local inflamável e explosiva. Sendo assim, o propano possui três riscos: a toxicidade, a inflamabilidade e a explosividade.

Dessa forma, a simulação no ALOHA foi executada para entender como o cenário acidental deverá ser desenvolvido em RV sob os três aspectos a seguir:

- Identificar quais regiões podem apresentar concentração perigosa de propano (nuvem tóxica);
- Identificar quais regiões podem apresentar condições de explosividade desse gás;
- Identificar em quais regiões a nuvem pode se inflamar.

A Figura 14 contém o resultado da simulação para a primeira situação, utilizando os dados solicitados pelo *software*:

Figura 14 - Zonas de ameaça para nuvem tóxica



Fonte: O autor (2018)

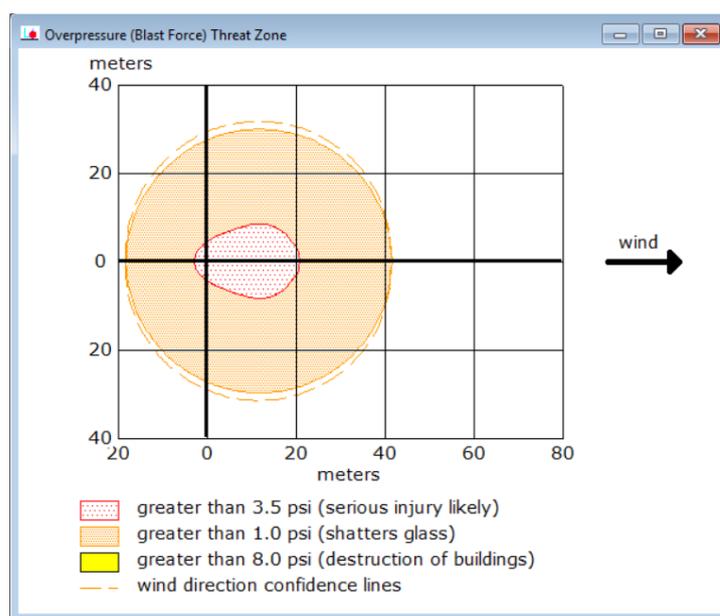
A nuvem tóxica alcançou uma região de 116 metros a partir do ponto de vazamento, respeitadas as condições de entrada informadas para a simulação. Nessa região há a possibilidade de concentrações IPVS de propano (2100 ppm).

Para a segunda situação, foi simulada em qual área pode-se encontrar nuvem de vapor inflamável com possibilidade de explosão a partir de uma fonte de ignição. Os danos relacionados a essas áreas estão ligados aos possíveis efeitos que a sobrepressão pode causar. Para esse tipo de análise o ALOHA divide a região considerada em 3 zonas:

- 8,0 psi – destruição de edificações
- 3.5 psi – lesões graves
- 1,0 psi – danos menores (estilhaçamento de vidros)

A Figura 15 apresenta o resultado da simulação levando em consideração os possíveis efeitos da sobrepressão, caso haja uma explosão do propano na área.

Figura 15 - Zonas de ameaça para sobrepressão após explosão.



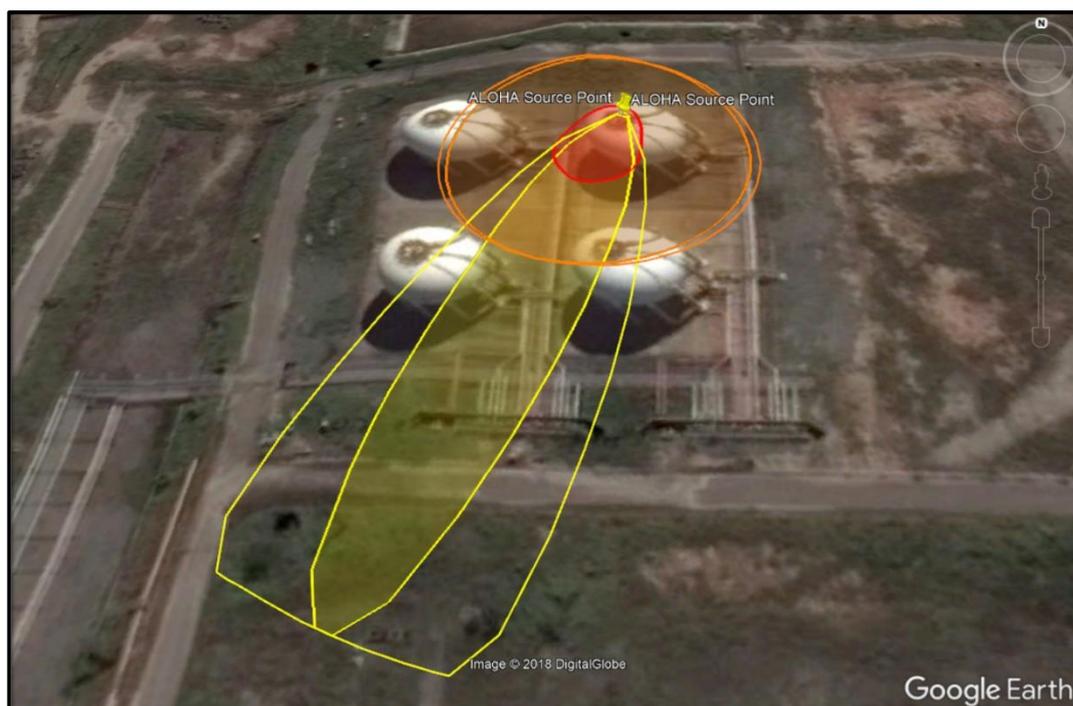
Fonte: O autor (2018)

Como resultado, não foi encontrada zona de ameaça com possibilidade de sobrepressão de 8,0 psi (destruição de edificações). Para a sobrepressão de 3,5 psi (danos graves), há uma zona de ameaça de 21 metros e para sobrepressão de 1,0 psi (danos menores), encontra-se uma zona de ameaça de 42 metros.

Para a terceira situação, realizou-se a simulação utilizando o limite inferior de inflamabilidade, que de acordo com a NIOSH (2018) é de 21000 ppm ou 2,1% de gás propano em volume no ar. Para essa situação, o software ALOHA não definiu graficamente uma zona de ameaça. Segundo informação gerada, para regiões pequenas as previsões de dispersão não são confiáveis. Mesmo assim, ele sugere um raio de 25 metros a partir do ponto de vazamento com possibilidade de haver concentração de propano em seu limite inferior de inflamabilidade.

O ALOHA permite que se exporte, através do uso das coordenadas geográficas, as zonas de ameaça identificadas na análise utilizando o software Google Earth Pro® (Google, EUA), oferecendo a possibilidade de avaliação dos efeitos no próprio terreno, podendo facilitar a análise de suas consequências. Dessa forma, a Figura 16 contém as zonas de ameaça exportadas para o software citado, levando em consideração as coordenadas da Esfera 3.

Figura 16 – Zonas de ameaça exportadas para o terreno da unidade industrial



Fonte: O autor (2018)

A partir desses resultados, tem-se ideia de como o cenário virtual deverá se desenvolver. O jogador terá como um dos objetivos, com base em informações da atmosfera local, encontrar o ponto de vazamento de GLP. Serão observadas ainda questões ligadas à comunicação, ao percurso e à execução das tarefas.

### 4.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO VIRTUAL

A seguir, seguem os subtópicos relacionados a Construção do Modelo Virtual.

#### 4.3.1 Uso de Câmera de Ação

Conforme descrito na metodologia deste trabalho, utilizou-se uma câmera de ação (GoPro® - modelo Hero 4), de forma a melhorar o entendimento sobre o cenário, com foco naquilo que foi registrado em primeira pessoa durante o seu uso.

As câmeras desse modelo podem ser usadas com diversos suportes (*mounts*) que permitem fixá-las em diversos locais inclusive presas ao usuário. Para este trabalho, foi utilizado um suporte autoadesivo acoplado em um dos capacetes utilizados pela equipe de brigada de emergência da refinaria, durante a execução de exercício simulado de atendimento emergencial ocorrido no Parque de Esferas do GLP. O cenário alvo foi semelhante ao que foi

construído para esse trabalho, conforme Seção 3 Metodologia. A seguir, na Figura 17, observa-se como a câmera foi montada.

Figura 17 – Câmera de ação montada em um capacete de combate a incêndio.



Fonte: O autor (2018)

Entre os pontos que puderam ser observados e que serviram de base para a construção do cenário virtual de emergência, citam-se:

- Ações: tarefas a serem realizadas pelos brigadistas; posicionamento em campo; sequência das tarefas;
- Comunicação: informação repassada pelo comando, observando o tipo e a sua frequência; resposta do brigadista de acordo com a orientação do comando e desenvolvimento do cenário; informações repassadas ao comando e aos demais brigadistas sobre as situações vistas em campo.
- Recursos e equipamentos: equipamentos de proteção individual utilizados; recursos disponibilizados para o atendimento a emergência; acionamento e disposição dos equipamentos em campo; funcionamento dos equipamentos.
- Tempo das ações: tempo entre a comunicação do comando e a execução da tarefa; tempo de deslocamento até as proximidades do local de ocorrência.

A partir dessas informações, foi possível entender melhor a dinâmica do cenário simulado, estabelecendo aquilo que deve ser foco no cenário de RV a ser construído. A seguir, na Figura 18, são mostradas algumas imagens registradas nesse cenário simulado.

Figura 18 – Imagens registradas durante exercício simulado de atendimento à emergência no Parque de Esferas de GLP



Fonte: O autor (2018)

### 4.3.2 Arquitetura do Cenário

O cenário virtual utilizado para a criação do jogo foi construído por Andrade (2018). Em seu trabalho intitulado “*A Data Collecting Framework for Human Reliability Analysis via Game Engine based Simulators*”, o pesquisador através de um modelo virtual de uma refinaria, submeteu um grupo de voluntários a um experimento baseado em um jogo. Um dos principais objetivos era avaliar o comportamento humano em situação de evacuação após a ocorrência de um grande vazamento de ácido sulfídrico.

Do trabalho de Andrade (2018), foi utilizada apenas a construção referente ao Parque de Esferas de GLP. Os modelos desse e dos outros locais foram implementados utilizando repositórios virtuais, como por exemplo o 3D Warehouse (<https://3dwarehouse.sketchup.com/>), onde é possível encontrar modelos 3D pré-construídos de diversos tipos, inclusive ligados à indústria de Petróleo e Gás. Na Figura 19, há a construção real representada dentro do motor de jogo.

Figura 19 – Registro em foto real x cenário virtual.



Fonte: O autor (2018)

O modo de câmera utilizado foi em primeira pessoa, onde o jogador está cercado pelo cenário. Este modo oferece boa sensação visual ao jogador, melhorando sua imersão dentro do jogo. Na Figura 20, pode-se ver um exemplo do cenário na visão do jogador.

Figura 20 – Cenário visto em primeira pessoa pelo jogador



Fonte: O autor (2018)

### 4.3.3 Entendendo o Cenário Simulado

As ações a serem realizadas durante um acidente industrial são definidas de acordo com o PRE – Plano de Respostas à Emergência. O PRE orienta o que fazer e qual o responsável pela execução de determinada tarefa. Em consulta ao PRE da refinaria em questão, para situações de grande vazamento de gases a primeira tarefa a ser realizada é identificar qual o local de vazamento assim como definir a melhor região para aproximação. Essa região deve ser a mais segura em relação à possibilidade de conter gases, que devido as suas características, podem apresentar perigos quanto a inflamabilidade ou toxicidade, por exemplo. A aproximação pode ser necessária para a execução de manobras operacionais (drenagens, abertura ou fechamento de válvulas, interrupção de funcionamento de equipamentos, entre outras) ou ainda para atuação da equipe de emergência. Dessa forma, criou-se um cenário com esse objetivo. O profissional responsável por essa tarefa é o Líder da Brigada de Emergência ou alguém que ele designar.

Para conseguir identificar o local de vazamento, bem como informar qual o melhor posicionamento das equipes de intervenção ou de emergência, o Líder precisa basicamente de três informações: a unidade onde o vazamento está ocorrendo, a direção do vento e se há a presença de contaminantes. A primeira informação ele recebe geralmente via rádio, através de comunicação vinda da operação da unidade; a segunda através das birutas (indicador de direção do vento) instaladas na área industrial ou pelas emissões atmosféricas visíveis (chaminés, tocha); e a terceira através de um medidor portátil de gás, popularmente conhecido como medidor multigás ou multigás.

### 4.3.4 Dinâmica do Jogo

Conforme apresentado na Seção 4.2.2, foi realizada uma simulação de dispersão para o gás propano, visando identificar as regiões possíveis de conter o contaminante. Apesar da toxicidade, o grande risco associado a este produto é sua inflamabilidade. Nas atuações emergenciais em locais com vazamento de inflamáveis, é orientado que os profissionais somente façam o acesso utilizando vestimenta de aproximação ao fogo com uso de equipamento de respiração autônoma. Caso o gás entre em combustão, estes estarão protegidos podendo evacuar do local em segurança e iniciar o controle das chamas. Na Figura 21, há exemplo de vestimenta utilizada para este trabalho.

Figura 21 - Bombeiros utilizando roupa de aproximação ao fogo e equipamento de respiração autônoma.



Fonte: Banco de Imagens PXhere (2018)

Para criar as regiões contendo gás, implementou-se dentro do cenário as chamadas Caixas de Colisão (Trigger Box). No UE4, é possível realizar a programação dos mais diversos tipos de eventos interativos quando o jogador “entra” nestas regiões.

No cenário descrito foram construídas basicamente duas zonas, uma de maior concentração e outra de menor concentração. Conforme descrito na Seção 4.2.2, o vazamento ocorre na esfera 3 do Parque de Esferas do GLP. As concentrações de gás tendem a ser menores à medida que se afasta do ponto onde houve a perda de contenção. Sendo assim, espera-se que na Zona 2 se tenha maior possibilidade de concentração de gás do que na Zona 1. A seguir, na Figura 22, é apresentado um esquema com a vista superior dessas zonas de acordo com construção realizada para o jogo.

Figura 22 – Zonas de ameaça onde há a presença de gás no cenário simulado.



Fonte: O autor (2018)

Essas zonas são fundamentais para a interação do jogador dentro do cenário. Conforme descrito na Seção 4.3.3, a tarefa de encontrar o local de vazamento e a definição da região segura para aproximação é realizada utilizando medidor de gás portátil. Em uma situação real, ao entrar em uma zona com gás, é possível visualizar de forma instantânea no visor do equipamento se há contaminação naquele ambiente. Dessa forma, para o cenário simulado foi construída em paralelo a cada caixa de colisão, um HUD – *Head-up Display* ou Monitor de Alerta. Esse HUD é apresentado na tela de acordo com a região em que o jogador está. Os medidores de gás portáteis utilizados na unidade industrial apresentam cinco dados de medição: Oxigênio (Oxy), Limite Inferior de Explosividade (LEL), Monóxido de Carbono (CO), Sulfeto de Hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e Compostos Orgânicos Voláteis ou Vapores Orgânicos (VOC).

Conforme descrito anteriormente, em cenários de grande vazamento, recomenda-se usar equipamento de proteção respiratória autônoma. Logo, o mais importante é o monitoramento da explosividade (LEL), devido às características inflamáveis que o GLP pode apresentar. Na Figura 23, há os dados apresentados em tela, de acordo com posicionamento do jogador dentro do cenário.

Figura 23 –HUDs exibidos na tela conforme posicionamento do jogador.

ZONA	HUD CORRESPONDENTE
Zona Limpa	
Zona 1	
Zona 2	

Fonte: O autor (2018)

É possível perceber que, de acordo com a aproximação do jogador do ponto de vazamento (fundo da Esfera 3), os valores referentes a explosividade e vapores orgânicos aumentam.

Como neste trabalho também será avaliada a similaridade de um possível evento real em comparação a um cenário virtual correspondente, criou-se um segundo evento posterior ao vazamento. Caso o jogador adentre na Zona 2, o cenário evoluirá para um incêndio. Como o fogo também pode estar presente após um vazamento de GLP conforme evidenciado pela análise de riscos, a ideia foi aproximar o jogador a um possível evento real, observando sua reação ao visualizar a combustão do produto no fundo da esfera.

#### 4.3.5 Dispositivos físicos e outros *softwares* utilizados

De modo que jogador pudesse interagir dentro do cenário virtual, foi necessária a conexão de um *joystick* (Figura 24). Para este trabalho, foi utilizado um modelo sem fio disponível para o console PS4 (Playstation Sony 4®). Através de conexão Bluetooth®, foi possível interligá-lo ao computador e conseqüentemente ao motor de jogo UE4. O único comando habilitado para uso no *joystick* foi o direcional. Com ele, o personagem é capaz de realizar movimentos de translação (para frente, para trás e para os lados). Também foi configurada a vibração do *joystick* no momento em que o personagem adentrar alguma zona de ameaça.

Figura 24 – Joystick utilizado.



Fonte: O autor (2018)

Para os movimentos de rotação, foi utilizado óculos de realidade virtual da marca VRBox 2.0® (ver Figura 25). Ele apresenta baixo custo e seu uso é feito através do encaixe de

um *smartphone* no seu interior. A tela do *smartphone* exibe o conteúdo em 3D a ser visto pelo jogador. Com ele foi possível melhorar a imersão do jogador no cenário virtual.

Figura 25 – Óculos de realidade virtual



Fonte: O autor (2018)

Para conectar o *smartphone* ao computador, utilizou-se um *software* chamado Trinus VR®. Ele possui dois módulos: um que deve ser instalado no computador (Trinus Cardboard) e outro a ser instalado no *smartphone* (Trinus CBVR Lite). Ao executá-lo em ambos os dispositivos, é possível transformar as imagens exibidas no computador em tela duplicada para uso em realidade virtual no *smartphone* (ver Figura 26), podendo-se configurar os comandos de rotação necessários.

Figura 26 – Software Trinus VR® em funcionamento no computador e no *smartphone*.



Fonte: O autor (2018)

Com essas aplicações foi possível iniciar os testes e realizar experimentos de modo a avaliar o cenário criado.

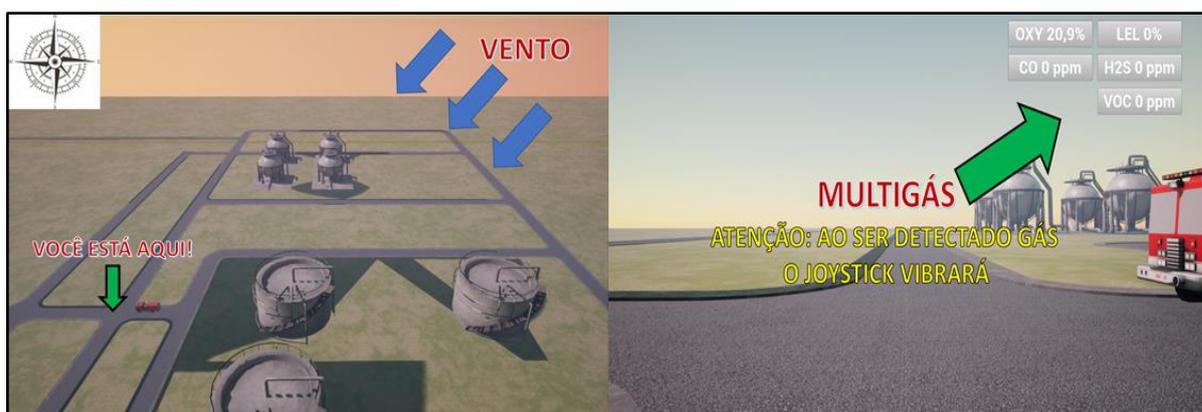
#### 4.4 TESTE E VALIDAÇÃO PELA EQUIPE DE BRIGADA

De acordo com a metodologia empregada no trabalho, os líderes e seus substitutos fizeram o uso da ferramenta. Ao todo, 10 (dez) profissionais fizeram o teste e deixaram suas impressões sobre o cenário virtual criado para treinamento.

##### 4.4.1 Execução do Teste

Antes de iniciar, todos os jogadores passaram por um breve treinamento em que eram mostrados os comandos do *joystick* e os óculos de realidade virtual. Estes também receberam um *briefing* do cenário emergencial de grande vazamento de GLP mostrando o seu posicionamento, a direção do vento e os dados referentes ao medidor de gás portátil (ver Figura 27).

Figura 27 – Instruções iniciais mostradas aos jogadores antes do início do experimento.



Fonte: O autor (2018)

Durante a execução do teste também foi simulada a comunicação entre o jogador (Líder da Brigada) e o Coordenador de Turno da unidade industrial. Este último é o profissional responsável pelas demandas operacionais da refinaria e, durante a emergência, orienta junto com os supervisores das unidades de produção as ações de mitigação relacionadas a possíveis intervenções.

Buscando-se uma maior aproximação ao cenário virtual, os testes foram realizados com os jogadores utilizando a vestimenta de aproximação e equipamento de proteção respiratória autônoma. Foi necessário fazer uma adaptação na máscara de respiração, retirando seu visor frontal para encaixar os óculos de realidade virtual (ver Figura 28).

Figura 28 – Jogador participando do experimento.



Fonte: O autor (2018)

#### 4.4.2 Resultado do Teste

Conforme a Seção 4.3.3, o jogador deve identificar o vazamento e informar qual a melhor região para aproximação. Sendo assim, foram avaliados os tempos de execução dessas duas tarefas. Duas situações eram possíveis: a identificação do vazamento com ou sem a ocorrência de incêndio, de acordo com a aproximação do Líder nas zonas de ameaça. Caso o jogador entrasse na zona 2, o vazamento se transformaria em um incêndio. Na Tabela 4, há os tempos de execução das tarefas descritas.

Tabela 4 – Tempo de execução para a identificação e informação de aproximação de acordo com o vazamento

Jogador	Detectou Vazamento	Informou melhor local para aproximação	Deteção sem incêndio	Deteção com incêndio	Tempo total
Jogador 1	0:07	0:08		X	0:08
Jogador 2	0:04	0:09	X		0:09
Jogador 3	0:09	0:12	X		0:12
Jogador 4	0:06	0:10	X		0:10
Jogador 5	0:08	0:10	X		0:10
Jogador 6	0:08	0:12	X		0:12
Jogador 7	0:07	0:08		X	0:08
Jogador 8	0:06	0:07		X	0:07
Jogador 9	0:07	0:08		X	0:08
Jogador 10	0:08	0:09		X	0:09
				<b>Tempo Total Médio</b>	<b>0:09:18</b>

Fonte: O autor (2018)

Nos casos em que o vazamento foi detectado sem incêndio, o jogador permaneceu fora da zona 2, conseguindo perceber visualmente a saída de gás pelo fundo da Esfera 3. Já outros precisaram se aproximar um pouco mais entrando na zona 2.

Devido às características que um grande vazamento de GLP pode apresentar, a conduta do profissional responsável pela avaliação ambiental pode apresentar erros. Esses erros podem ser prejudiciais para o desenvolvimento das tarefas de mitigação, podendo por em risco a vida dos brigadistas e prejuízos ao patrimônio. Sendo assim, para a execução do experimento, foram definidos critérios para avaliar a ação dos jogadores. As perguntas e respostas a seguir os resumem e contêm as observações relacionadas ao desempenho dos jogadores:

a) Durante o deslocamento, o jogador procurou evitar o contato com uma possível nuvem de GLP?

A possibilidade de combustão do GLP após a ocorrência de vazamento é grande, visto as características inflamáveis que esse gás possui. Logo, mesmo que equipado, é importante que durante o percurso até o local de vazamento o jogador evite o contato com uma possível nuvem de GLP. Todos os jogadores procuraram “cercar” o vazamento, mantendo-se fora da direção do vento.

b) O jogador informou com clareza a situação vista em área?

As decisões operacionais muitas vezes são tomadas de acordo com aquilo que se visualiza em área. Logo, a qualidade da informação passada pelo profissional responsável pelo monitoramento do vazamento é importante. Sendo assim, observou-se que todos os jogadores procuraram informar ao Coordenador de Turno as condições vistas no cenário de forma clara e concisa, sejam em relação ao vazamento e como também ao incêndio posterior.

c) O tempo para as ações de identificação do vazamento foi satisfatório?

O tempo de resposta é uma das variáveis mais importantes durante o atendimento emergencial. Sendo assim, após avaliar o registro dos vídeos da câmera de ação, conforme metodologia deste trabalho, observou-se que os tempos considerados para cada jogador durante o experimento foram satisfatórios. Importante ressaltar que todos os jogadores que visualizaram o incêndio informaram no minuto seguinte a melhor região de aproximação, de acordo com a Tabela 4.

Todos os jogadores apresentaram o comportamento esperado, evidenciando a boa percepção de riscos e conduta em relação ao cenário virtual simulado. Pode-se também verificar o potencial dessa ferramenta baseada em RV para estudos de confiabilidade humana.

#### 4.4.3 Impressão dos Jogadores Pós-jogo

De acordo com a metodologia, após o teste da ferramenta, as impressões foram registradas de modo a levantar possíveis pontos positivos e de melhoria. Recapitulando, os participantes do teste deixaram suas impressões através das seguintes informações abaixo:

I. O cenário simulado representa de forma satisfatória um possível cenário real.

II. A simulação em realidade virtual pode ajudar o treinamento dos brigadistas da refinaria.

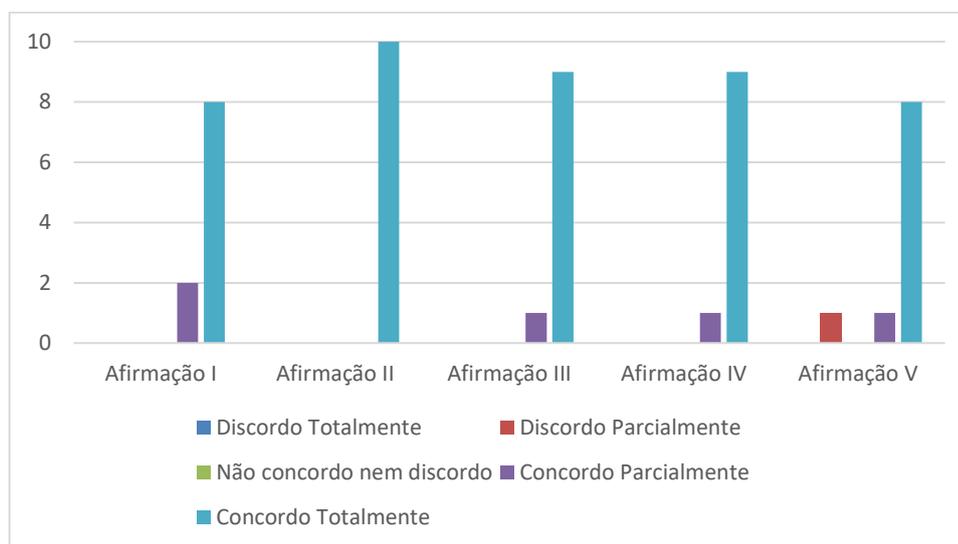
III. As táticas relacionadas à execução do Plano de Resposta à Emergência da refinaria podem ser melhoradas utilizando a realidade virtual.

IV. A empresa deveria investir em ferramentas de realidade virtual para treinamentos.

V. Durante o uso não senti nenhum desconforto (náuseas, tonturas, etc).

Sendo assim, as respostas foram agrupadas e mostradas na Figura 29:

Figura 29 – Gráfico sobre as respostas dos participantes ao experimento



Fonte: O autor (2018)

De forma geral, é possível observar que tanto o cenário virtual criado como o jogo desenvolvido tiveram uma boa recepção após os testes. É possível perceber também que os jogadores consideram importante a inclusão da RV para melhoria dos treinamentos realizadas

na refinaria. O jogo pode tanto ser utilizado para treinamento da brigada de emergência, quanto para apoiar as decisões referentes ao Plano de Resposta à Emergência da refinaria.

Além das respostas objetivas, os jogadores foram estimulados a deixar opiniões subjetivas em relação ao jogo. Dessa forma, as considerações foram divididas em elogios e sugestões de melhoria. Também foram registradas outras observações não relacionadas diretamente com o jogo, mas que podem ajudar no desenvolvimento da ferramenta após esse projeto piloto.

#### Elogios:

- “O treinamento em realidade virtual pode substituir o exercício simulado em *table-top* (simulado de mesa), já que é mais dinâmico e interativo.”
- “Ferramenta excelente para o entendimento de como as consequências de um acidente podem ser vistas na área industrial.”
- “Fisicamente o jogo virtual lembra a arquitetura real.”
- “A ferramenta pode contribuir com o treinamento da brigada de emergência.”

#### Sugestões de Melhoria:

- “Poderia ser incluso no corpo da esfera o seu *tag* (nº de identificação), semelhante aos equipamentos que temos instalados em área.”
- “Poderiam ser incluídas mais interferências que podem ocorrer no caminho das esferas, como escadas, tubulações e outros equipamentos.”
- “Uma biruta instalada nas proximidades da esfera, assim como temos aqui poderia ajudar na orientação do jogador.”
- “Em grande parte dos cenários, temos que utilizar o equipamento de respiração autônoma e ficar atentos à quantidade de ar que há no cilindro. Se na tela aparecesse essa informação, acredito que ficaria mais próximo da nossa realidade”.

#### Outras Observações:

- “Os óculos de realidade virtual deveriam ter adaptações para pessoas que usam óculos de grau.”
- “Podemos no futuro criar ferramentas *online*, onde o jogador independentemente do local que esteja na empresa possa treinar”.

- “Como em eventos industriais temos várias ações ocorrendo ao mesmo tempo, poderíamos criar cenários *multiplayer* onde várias pessoas podem interagir ao mesmo tempo”.

Sendo assim, com o objetivo de atender às sugestões de melhoria citadas pelos Líderes de Brigada e seus substitutos, foram feitas novas implementações dentro do jogo. Na seção a seguir são apresentadas as melhorias realizadas.

#### 4.4.3 Inclusões das Sugestões de Melhoria

De modo a atender as sugestões de melhorias formuladas pelos jogadores que se dispuseram a testar a ferramenta, foram realizadas alterações no cenário virtual criado. Entre as sugestões citadas, a inclusão da identificação do equipamento em campo foi levantada por grande parte dos jogadores. Esse tipo de identificação existe no equipamento real instalado na refinaria e é importante para o referenciamento espacial, para a comunicação entre as equipes e para definição da estratégia de mitigação do evento. Sendo assim, utilizando a ferramenta de texto disposta na própria UE4, foi realizada a identificação no equipamento. Utilizando como base o posicionamento real das esferas, elas foram numeradas de 1 a 4, acompanhadas do nome “ESFERA” (ver figura 30).

Figura 30 – Visão geral do Parque de Esferas de GLP com identificação em cada uma das esferas.



Fonte: O autor (2018)

Outra sugestão importante para melhorar o cenário virtual e a imersão do jogador durante a interação foi a inclusão de interferências (tubulações, equipamentos, acessos, etc.), conforme sugerido na Seção 4.4.3. Nesse caso, a inclusão de equipamentos como tubulações, válvulas e plataformas atingem o objetivo de melhoria. Na Figura 31 a seguir, é apresentada a montagem comparativa entre o cenário virtual e uma imagem aérea do Parque de Esferas de GLP na época de sua construção.

Figura 31 – Comparativo entre o real e o cenário virtual.



Fonte: O autor (2018)

Além das duas sugestões de melhoria citadas anteriormente, outras duas também apontadas na Seção 4.4.3 foram implementadas de maneira adaptada: a inclusão de biruta para indicação da direção do vento e a indicação da quantidade de ar contida no equipamento de respiração autônoma. Para ambas, foram usados HUDs específicos apresentados em tela.

Para a indicação do vento, é mostrada uma rosa dos ventos com uma seta indicando para onde o vento está se dirigindo. Os brigadistas e demais profissionais da planta conhecem o posicionamento das unidades e dos equipamentos dentro da unidade industrial conforme os pontos cardeais (N-Norte, S-Sul, L-Leste e O-Oeste) e os colaterais (NO-Noroeste, NE-Nordeste, SO-Sudoeste e SE-Sudeste). O posicionamento deste HUD está na parte inferior esquerda na tela do jogador. Ver Figura 32.

Já para a indicação do ar disponível no cilindro do equipamento de respiração, utilizou-se uma barra de progresso, graduada de 0 a 300 bar. Os cilindros utilizados em emergências reais possuem ar respirável pressurizado. Nesse caso, quanto maior a pressão mais ar há dentro do cilindro. Na unidade industrial em questão, são utilizados cilindros com capacidade de 6,9 litros de ar, que em média duram em torno de 30 minutos, de acordo com a atividade exercida e a capacidade física do usuário. Ver na Figura 32 o HUD correspondente.

Figura 32 – Visão em primeira pessoa do jogo após modificações.



Fonte: O autor (2018)

Além das melhorias sugeridas, foram incluídas outras que puderam aproximar o cenário real do cenário virtual. Citam-se os modelos das esferas, levando em consideração critérios como texturas, dimensões e formatos como também a nitidez do cenário, proporcionando uma melhor experiência ao jogador.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seguir, seguem as Considerações Finais deste trabalho, divididas em duas partes: Conclusão e Limitações e Trabalhos Futuros.

### 5.1 CONCLUSÃO

Para alcançar os objetivos propostos, inicialmente foi necessário escolher dentre as unidades de produção da refinaria, aquela que teria suas instalações simuladas em realidade virtual. Escolheu-se o Parque de Esferas do GLP em virtude da sua importância para os processos produtivos como também devido aos possíveis eventos que podem ocorrer em função das características físico-químicas do produto químico armazenado neste local.

De modo a conhecer os eventos emergenciais que podem surgir durante a operação dessa instalação, realizou-se um estudo dos possíveis cenários. Inicialmente, através da técnica Análise Preliminar de Riscos, pode-se se conhecer melhor os perigos, as causas e as consequências desses eventos, podendo ainda categorizar os riscos de acordo com a sua frequência e severidade para pessoas, patrimônio/continuidade operacional, meio ambiente e imagem da empresa. Após isso, foi necessário definir o alcance dos eventos levantados, de modo a compreender suas consequências caso venham ocorrer. Para isso, utilizou-se o *software* ALOHA. O evento iniciador foi a perda de contenção através do rompimento de um medidor de temperatura instalado na parte inferior de uma das esferas de GLP.

De posse dos possíveis eventos que podem ocorrer e das dimensões que estes podem alcançar, o cenário virtual começou a ser construído. Inicialmente realizou-se um registro em vídeo em primeira pessoa utilizando uma câmera de ação em um simulado de emergência no local escolhido, com o objetivo de entender melhor a dinâmica do cenário, a comunicação empregada e o foco visual a ser dado na construção do jogo. Após isso, baseado na arquitetura construída por Andrade (2018), a dinâmica do jogo foi construída. A principal missão do jogador foi dividida em duas partes: identificar o vazamento de GLP e informar quais as regiões mais seguras para aproximação. Para isso, ele recebeu informações da direção do vento e das concentrações dos possíveis gases que estavam dispersos no local.

Com o jogo construído, realizou-se o teste com dez participantes que trabalham na planta industrial. Todos possuem experiência e conhecimento sobre os possíveis cenários que podem ocorrer no Parque de Esferas de GLP. Durante a interação com o jogo, foram registrados os tempos de atuação para a conclusão das duas tarefas listadas. Também foram registradas as

impressões dos jogadores quanto ao jogo e também as opiniões subjetivas em relação ao cenário criado. A partir das sugestões de melhoria, o cenário foi reconstruído com foco nessas opiniões.

De modo geral, a ferramenta foi bem recepcionada pelos participantes. As características que os grandes acidentes industriais possuem trazem grandes desafios para as equipes de atendimento a emergências. Sendo assim, a RV pode aproximar os envolvidos a possíveis eventos. Todos aqueles que fizeram o teste da ferramenta acreditam que ela pode complementar e melhorar os treinamentos da brigada de emergência da refinaria, bem como as táticas empregadas para a mitigação de acidentes.

## 5.2 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento do estudo foram observadas algumas limitações. A primeira e mais visível esteve ligada aos *hardwares* utilizados, principalmente em relação aos óculos de RV. Devido à característica de ser um projeto-piloto, neste trabalho foi considerada uma opção de baixo custo, utilizando um *smartphone* comum acoplado a um outro dispositivo (VRBox). Este equipamento não apresenta as mesmas características que um óculos de RV de custo mais elevado possui, como por exemplo maior capacidade de imersão e nitidez. Lembra-se ainda que estes óculos também acompanham *joysticks* específicos, com funções mais intuitivas do que o *joystick* utilizado neste trabalho.

Entretanto, este trabalho em RV mostrou muitas outras possibilidades. Elas tanto estão ligadas aos possíveis cenários a serem simulados, quanto também às ferramentas de jogabilidade que podem ser aplicadas. Ainda, variações nas condições climáticas, atmosféricas e operacionais referentes aos eventos de interesse podem ser aplicadas para a criação de diferentes cenários, aumentando assim o número de situações emergenciais consideradas. Ainda, é possível explorar cenários que ainda nem possuam histórico de ocorrência, promovendo maior aprendizado para as equipes.

Apesar de o ALOHA ter se mostrado uma boa alternativa para o estudo das possíveis consequências e áreas vulneráveis ligadas ao vazamento de GLP, o uso de softwares de análise em CFD (Fluidodinâmica Computacional em português) permitem a construção de cenários e dinâmicas de jogo mais próximos da realidade. Como CFD modela a dispersão de fluidos no espaço e no tempo, é possível por exemplo, analisar de forma transiente o vazamento relacionando-o às áreas atingidas ao longo do tempo.

O trabalho apresenta, de forma preliminar, critérios importantes para a atuação dos jogadores durante a simulação. Porém, a ferramenta também pode servir como base para a

captação de dados relacionados a erro humano e, portanto, ser parte de metodologias envolvendo Confiabilidade Humana. Além disso, os experimentos podem abranger outras tarefas orientadas pelo Plano de Resposta à Emergência, como manobras de abertura e fechamento em válvulas, como também a atuação em outros equipamentos como hidrantes, canhões monitores e sistemas de dilúvio.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. V. P. DE; MOURA, M. DAS C.; LINS, I. D.; DROGUETT E. L.; RAMOS, M. A.; A Proof-of-Concept of a Game Engine-based Simulator for Human Reliability Analysis (HRA). **Congresso Abrisco 2017 – Associação Brasileira de Análise de Risco, Segurança de Processo e Confiabilidade**. Rio de Janeiro, Brasil (2017).

ANDRADE, M. V. P. **Data Collecting Framework For Human Reliability Analysis Via Game Engine Based Simulators**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de Pernambuco, Recife, 2018.

AU, S. Y. Z.; How well will your emergency plan work? A technique to assess human errors and human behaviour in emergency response. In 4th **International symposium on human behaviour in fire conference proceedings**. Robinson College, Cambridge UK, July 2009 (pp. 433e445). London, UK: Interscience Communications.

BROADRIBB, M. P. What Have We Really Learned? Twenty Five Years after Piper Alpha. **Process Safety Progress**, v. 34, n. 1, p. 16–23, 2014. Elsevier B.V.

CCPS – Center for Chemical Process Safety. CCPS – **Há Trinta Anos – Uma tragédia com GLP** (Portuguese Version). Process Safety Beacon/AICHE, nov/2014.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Norma Técnica P4.261: Risco de Acidente de Origem Tecnológica – Método para decisão e termos de referências**. 2 ed. São Paulo, 2014.

CHA, M.; HAN, S.; LEE, J.; CHOI, B. A virtual reality based fire training simulator integrated with fire dynamics data. **Fire Safety Journal**, v. 50, p. 12–24, 2012. Elsevier. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.01.004>. Acesso em: 10 ago. 2018.

CHENG, S.; CHEN, G.; CHEN, Q.; XIAO, X. Research on 3D dynamic visualization simulation system of toxic gas diffusion based on virtual reality technology. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 87, n. 3, p. 175–183, 2009.

CHETTOUH, S.; HAMZI, R.; BENAROUA, K. “Examination of Fire and related accidents in Skikda Oil Refinery for the period 2002-2013”, **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, V. 41, maio 2016, p. 186 (2016).

CHUN, W., LEI, L., JIWU, Y., LIANGYUN, Z. GANG, L. (2011). Development of Emergency Drills System for Petrochemical Plants Based on WebVR. **Procedia Environmental Sciences**, 10, 313–318. Disponível em: <http://doi:10.1016/j.proenv.2011.09.051>. Acesso em: 20 jun. 2018

CROWL, D. A.; A., C. **Process Safety : Fundamentals with Applications**. 3R. ED.; CM, P. Chemical Process Safety Fundamentals with Applications. 2011.

EPIC GAMES, “Unreal Engine,” Unrealengine.Com, 2018. [Online]. Disponível em: <https://www.unrealengine.com/what-is-unreal-engine-4>. Acesso em: 10 mar. 2018

FANFAROVÁ, A.; MARIŠ, L. Simulation tool for fire and rescue services. **Procedia Engineering**, v. 192, p. 160–165, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.028>. Acesso em: 15 nov. 2018.

GREGORY, J. **Game Engine Architecture**. A K Peters, Ltd. Wellesley, Massachusetts – EUA. 2009.

H. KUMAMOTO & E. J. HENLEY, Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists. **New York: IEEE Press**, 1996.

HUANG, H. M.; LIAW, S. S.; LAI, C. M. Exploring learner acceptance of the use of virtual reality in medical education: a case study of desktop and projection-based display systems. **Interactive Learning Environments**, v. 24, n. 1, p. 3–19, 2016. Taylor & Francis. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10494820.2013.817436>. Acesso em: 22 jan. 2018.

HUI, L.; YUNMIN, Z.; YUHONG, D. The Research of Oil Extraction Engineering Based on Virtual Reality. **AASRI Procedia**, v. 1, p. 189–195, 2012. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212671612000315>>.

JOSEPH, G. (2004). Chlorine transfer hose failure. **Journal of Hazardous Materials**, 115(1-3), 119–125. Disponível em <http://dx.doi:10.1016/j.jhazmat.2004.06.010>. Acesso em: 10 mar. 2018

LEE, Y., KIM, J., KIM, J., KIM, E. J., KIM, Y. G., MOON, I. Development of a web-based 3D virtual reality program for hydrogen station. **International Journal of Hydrogen Energy**, 35(5), 2112–2118. (2010) <http://dx.doi:10.1016/j.ijhydene.2009.12.065>. Acesso em: 13 mar. 2018.

MANCA, D.; BRAMBILLA, S.; COLOMBO, S. Bridging between Virtual Reality and accident simulation for training of process-industry operators. **Advances in Engineering Software**, v. 55, p. 1–9, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2012.09.002>. Acesso em: 23 abr. 2018.

MCMENEMY, K. **A Hitchhiker's Guide to Virtual Reality**. Wellesley: A K Peters, Ltd., 2007.

MIHELJ, M.; NOVAK, D.; BEGUŠ, S. **Virtual Reality Technology and Applications**. 2014. v. 68

MONAHAN, T; GAVIN MCARDLE, M. B. Virtual reality for collaborative e-learning. **Computers and Education**, v. 50, n. 14, p. 1339–1353, 2008. Elsevier Ltd. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2017.03.003>. Acesso em: 23 abr. 2018.

MOORE, M. D.; ABELSON, J. S.; O'MAHONEY, P.; et al. Using GoPro to Give Video-Assisted Operative Feedback for Surgery Residents: A Feasibility and Utility Assessment. **Journal of Surgical Education**, , n. 212, p. 1–6, 2017. Elsevier. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsurg.2017.07.024>. Acesso em: 30 jul. 2018

NICOLAOU, M.; ROWE-JONES, J. M. Modifying the GoPro Hero 4 for recording high definition video in the operating room. **Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic**

**Surgery**, v. 69, n. 11, p. e225–e226, 2016. British Association of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgeons.

NIOSH. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. **Propane**. 2018. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0524.html>. Acesso em: 10 fev. 2018

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 43 ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4 Technical Documentation**. Seattle, Washington. November 2013.

NOLAN, D. P.. Objective and Description of PHA, What-If, and HAZOP Reviews. **Safety And Security Review For The Process Industries**, [s.l.], p.8-13, 2015. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-323-32295-9.00003-3>. Acesso em: 23 abr. 2018.

OIT – Organização Internacional do Trabalho. **Convenção nº 174 – Convenção sobre a Prevenção de Acidentes Industriais Maiores**, 1991, 8 p.

PEREZ, R. C. **Emergências Tecnológicas**, Editora Cidade, Sorocaba, Brasil (2016).

PETROBRAS. Norma N-2782 – Revisão D. **Técnicas Aplicáveis à Análise de Riscos Industriais**. Rio de Janeiro, Petrobras, 2015.

SILVA JUNIOR, S. D.; COSTA, F. J.; Mensuração e Escalas de Verificação: uma Análise Comparativa das Escalas de Likert e Phrase Completion. **PMKT – Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing, Opinião e Mídia**. Jun/2014.

SILVA, G. T. **Aplicação do Algoritmo de Dijkstra na Otimização Multiobjetivo de Rotas de Evacuação em Cenários de Nuvem Tóxica**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

SINDIGAS. Situação do gás liquefeito de petróleo no Brasil. **Relatório**. 2017. Disponível em: <http://www.sindigas.org.br/uploads/situacaodoglpnobrais.pdf>. Acesso em 13 ago. 2018.

TNO - Netherlands Organization for Applied Scientific Research – **Effects Advanced, Easy-To-Use Consequence Analysis**, 2017. Disponível em: <https://www.tno.nl/media/10741/effects-brochure.pdf>. Acesso: 12 mar. 2018.

VARA, A. D.; WU, J.; SHIN, A. Y.; SOBOL, G.; WIATER, B. Video Recording With a GoPro in Hand and Upper Extremity Surgery. **Journal of Hand Surgery**, v. 41, n. 10, p. e383–e387, 2016. Elsevier Inc.

WOODCOCK, B., & AU, Z. Human factors issues in the management of emergency response at high hazard installations. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, 26(3), 547–557, (2013). <http://dx.doi:10.1016/j.jlp.2012.07.002>. Acesso em: 10 jan. 2018.

YU, ZUO-FU.; GUAN, JIA-LIN, K. “Fire and Rescue Combat Technical Training System Construction for Dangerous Chemicals”, **Procedia Engineering**, V. 135, p. 655 (2016).

ZEUWTS, L. H. R. H.; VANSTEENKISTE, P.; DECONINCK, F. J. A.; CARDON, G.; LENOIR, M. Hazard perception in young cyclists and adult cyclists. **Accident Analysis and**

**Prevention**, v. 105, p. 64–71, 2017b. Elsevier Ltd. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2016.04.034>. Acesso em: 10 jan. 2018.

ZHOU, J.; Petri net modeling for the emergency response to chemical accidents. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, 26(4), 766–770. (2013) <http://dx.doi:10.1016/j.jlp.2013.02.002>. Acesso em: 13 jan. 2018.