

Pós-Graduação

Segurança de Processos



ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE INCÊNDIO. PROBLEMA: CONSEQUÊNCIAS E MITIGAÇÕES

**João Phelipe M. Barcelos, Alessandro C. V. da Silva, Maurício G. V. Maturana,
Bruno E. S. Lagrotta, Ericson D. Romano**

RESUMO ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE INCÊNDIO. PROBLEMA: CONSEQUÊNCIAS E MITIGAÇÕES

As plataformas de petróleo, ao longo de sua vida útil, experimentarão diversos cenários de vazamentos de gás ou óleo, os quais, em sua maioria, serão vazamentos pequenos e com consequências reduzidas. Entretanto, não se pode desprezar os médios e grandes vazamentos que apresentam frequências de ocorrência relevantes e que podem gerar consequências catastróficas na unidade. Tendo em vista que cenários de incêndio representam uma grande parte do risco total em plataformas offshore, diversas metodologias foram desenvolvidas com o intuito de quantificar estes riscos, unindo o cálculo de frequência de vazamento com o cálculo da consequência do incêndio. O presente trabalho tem o objetivo de abordar as metodologias existentes e propor uma estratégia a ser seguida para a análise das consequências. Como resultado foi gerado um guia técnico (guideline) indicando os passos a serem seguidos, juntamente com as referências aplicáveis, para a execução de uma análise de incêndio visando a recomendação de medidas como proteção passiva e adequação das barreiras mitigadoras. Contudo, seguindo a tendência mundial do setor de Óleo e Gás, o presente trabalho irá focar em unidades de processamento offshore que possuem alto grau de congestionamento, localizadas em ambientes hostis, com layouts reduzidos e que possuem características próprias, não limitando a aplicação a este tipo de unidade.

Palavras-chave: *Análise de Risco, Instalação Offshore, Óleo & Gás, Incêndio, Proteção Passiva contra incêndio*

ABSTRACT FIRE PROPAGATION STUDY. ISSUE: CONSEQUENCES AND MITIGATIONS

Oil platforms, throughout their useful life, will experience different scenarios of gas or oil leaks, which, for the most part, it will be small leaks with minor consequences. However, one cannot ignore medium and large leaks that have relevant frequencies of occurrence and that can have catastrophic consequences in the unit. Bearing in mind that fire scenarios represent a large part of the total risk on offshore platforms, several methodologies have been developed in order to quantify these risks, combining the calculation of leak frequency with the calculation of the consequence of the fire. The present work has the objective of approaching the existing methodologies and proposing a strategy to be followed for the analysis of the consequences. As a result, a technical guide (guideline) was generated, indicating the steps to be followed, together with the applicable references, for the execution of a fire analysis aimed at recommending measures such as passive protection and adequacy of mitigating barriers. However, following the world trend of the Oil and Gas sector, this work will focus on offshore processing units that have a high degree of congestion, located in hostile environments, with reduced layouts and that have their own characteristics, not limiting the application to this unit type.

Keywords: Risk Assessment, Offshore unit, Oil & Gas, Fire, Passive Fire Protection.

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO E OBJETIVO

Desastre industrial designa qualquer tragédia causada por companhias industriais, independente da causa da tragédia ou do ramo de atuação da empresa. Explosões, incêndios, vazamentos de resíduos tóxicos e ocorrências afins são desastres comuns. Enquanto uns não são considerados graves, outros marcaram história pelo alto número de pessoas mortas, feridas ou indiretamente prejudicadas (BIGI, 2019).

Alguns acidentes emblemáticos como o acidente de Bhopal, Piper Alpha, Plataforma P36, Seveso, Minamata, Chernobyl, Deepwater Horizon, Fukushima entre outros geraram lições aprendidas que são estendidas como um conjunto de conhecimentos adquiridos durante a execução de projetos ou de rotinas operacionais. Elas revelam conhecimentos derivados da experiência humana bem ou mal sucedidas de forma a serem reutilizadas pela indústria. A partir dos acidentes de Bhopal e Piper Alpha a gestão de riscos tornou-se mais profissional e efetiva, pois métodos, técnicas, regulamentos, normas, conceitos e teorias foram sendo criados e aperfeiçoados levando em conta barreiras para prevenção e mitigação dos acidentes (BIGI, 2019).

Na atividade industrial que envolve processamento, transporte e estocagem de fluidos combustíveis e inflamáveis há sempre o risco associado à liberação das substâncias envolvidas no processo. A disposição física dos equipamentos e a arquitetura geral da unidade devem ser projetadas de maneira a determinar um arranjo mais seguro mantendo as condições de operabilidade nas especificações desejadas. Por sua vez, a disciplina de automação e instrumentação é responsável pelo controle dos intertravamentos que conduzirão a unidade a uma parada, total ou parcial, objetivando retornar ao estado seguro conforme projeto conceitual (BARCELOS, 2018).

O possível acidente que pode ser gerado é um evento probabilístico multicausal resultado de uma combinação de falhas latentes que vão se consolidando ao longo do tempo. A implantação de barreiras é, então, fundamental para minimizar as vulnerabilidades dos sistemas integrados existentes. Quando todas as barreiras de segurança são transpostas e o evento, como vazamento, ou o acidente, como incêndio ou explosão, ocorrem, os sistemas de segurança são as ferramentas responsáveis a serem utilizadas na tentativa de se evitar, ou ao menos mitigar, danos à vida humana, ao meio ambiente, aos ativos e a continuidade operacional e também a reputação de companhia (MORAES, 2013).

Os vazamentos ocorrem por falhas relacionadas às condições internas e externas ao processo. As condições internas estão relacionadas ao *design* do processo/equipamentos, erros operacionais (condição humana), corrosão e falta de manutenção. Já as condições externas estão relacionadas às falhas provocadas por impactos mecânicos, condições naturais e diversos eventos que são cascadeados e que afetam a planta indiretamente (TNO YELLOW BOOK, 2005).

Os modelos de cálculos de consequência disponíveis na literatura podem expressar uma estimativa dos danos provocados pelos cenários acidentais. O desenvolvimento sistemático de estimativa numérica da frequência esperada e das consequências de acidentes potenciais associados a uma instalação industrial determinam o seu grau de vulnerabilidade. Com isso auxiliam o projeto na instalação de medidas adicionais para preservação geral do empreendimento.

O critério de aceitabilidade (tolerabilidade) expressa o nível de risco considerado limite para a atividade em questão. Esse nível seria o limite tolerado para a atividade e o ponto de partida para redução do risco. Logo, a avaliação das cargas acidentais promove o direcionamento para a tomada de decisão em relação a redução dos riscos e distribuição das medidas de controle na instalação (ISO 13702, 2015).

Dentre as cargas acidentais identificadas em instalações industriais, a carga gerada por cenários de incêndio representa uma extensa faixa de cenários críveis, com potencial de se materializar com efeitos severos para a unidade. A alta severidade deste tipo de acidente e a carência de um guia que abranja todas as etapas de uma análise de incêndio reunidos em um só documento motivou a execução deste trabalho (ISO 13702, 2015).

Desta forma, o presente trabalho objetiva abordar as metodologias existentes de forma a identificar prós e contras de cada estratégia. Como resultado será gerado um guia técnico (*guideline*) indicando os passos a serem seguidos, juntamente com as referências aplicáveis, para a execução de uma análise de incêndio visando a recomendação de medidas como proteção passiva e adequação das barreiras mitigadoras.

1.2 HISTÓRICO DE ACIDENTES

Por se tratar de unidades com elevado grau de congestionamento, o trabalho em plataformas oferece riscos e dificuldades de resgate e socorro. Por meio dos relatos históricos, é possível identificar exemplos de acidentes na atividade offshore. A Tabela 1 apresenta alguns dos mais relevantes acidentes registrados.

Quadro 1 – Acidentes registrados na atividade *offshore*

Ano	Local	Descrição	Efeitos
1980	Mar do Norte	Plataforma Keillan naufraga	123 mortos
1981	Mar da China	Um navio de perfuração naufraga	81 mortos
1982	Atlântico Norte	Ocean Ranger aderna	84 mortos
1984	Campos Brasil	Explosão da plataforma de Enchova	37 mortos
1988	Campos Brasil	Incêndio da plataforma de Enchova *	Apenas feridos
1988	Mar do Norte Escócia	Explosão da Plataforma Piper Alpha	167 mortos
1991	São Paulo Brasil	Explosão de um navio petroleiro	1 morto
1992	Mar do Norte	Queda de helicóptero	11 mortos
1995	Nigéria	Explosão de uma plataforma da Mobil	13 mortos
1996	Golfo de Suez	Explosão de plataforma (campo de Morgan)	3 mortos
1998	Mar do Norte	Explosão na plataforma Glomar Artic	2 mortos
2001	Campos Brasil	Incêndio na P-37	2 mortos
2001	Campos Brasil	Incêndio e Explosão na P-36	11 mortos
2006	Índia	Incêndio e explosão	10 mortos
2010	Golfo do México (EUA)	Incêndio, explosão e vazamento de petróleo na plataforma Deepwater Horizon	7 mortos
2015	ES Brasil	Explosão no FPSO Cidade de São Mateus	6 mortos

Fonte: BSEE – *Comparação de Simulações CFD em Regimes Estacionário e Transiente para Alocação de Sensores de Gases Inflamáveis em Unidade de Processamento de Petróleo Offshore*. Dissertação de Mestrado, Barcelos, João Phelipe Martins, 2018.

* Apesar de não apresentar mortos, o incêndio da plataforma de Enchova em 1988 teve uma perda material muito significativa, sendo um acidente muito representativo do ponto de vista de complexidade de cenários, das perdas envolvidas e também do êxito no controle dos riscos ambientais decorrentes do acidente.

De acordo com a BSEE (*Bureau of Safety and Environmental Enforcement*, 2016), agência federal responsável pelos relatórios da atividade offshore na Plataforma Continental Externa dos Estados Unidos, OCS (*U.S. Outer Continental Shelf*), que corresponde ao Alaska, Golfo de México e Região do Pacífico são relatados diversos acidentes que ocorreram entre os anos de 2009 e 2016, considerando cada categoria. A Tabela 2 apresenta um resumo dos dados registrados.

Quadro 2 – Acidentes na atividade *offshore*

OCS Acidentes/Derramamentos por Categoria								
Tipo	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Fatalidade	4	12	3	1	4	2	1	2
Ferimento	260	253	221	280	276	285	206	151
Perda de Controle do Poço	7	4	5	3	8	5	3	2
Fogo/Explosão	148	134	113	132	116	135	105	86
Colisão	26	14	11	13	21	16	9	9
Derramamento	7	9	4	5	10	5	7	3
Íçamento	243	118	110	167	197	210	161	155
Vazamento de Gás	33	20	17	27	21	21	21	17
Evacuação	55	31	36	48	68	52	70	50
TOTAL	783	595	520	676	721	731	583	475

*Um mesmo acidente é contabilizado em mais de uma categoria, como por exemplo: fogo resultando em ferimento é contabilizado tanto em fogo quanto em ferimento.

Fonte: BSEE - *Bureau of Safety and Environmental Enforcement*. Washington D.C., EUA, 2016.
Disponível em: <https://www.bsee.gov/stats-facts/offshore-incident-statistics>

A partir dos dados é possível perceber a grande contribuição dos eventos de vazamento que levaram ao incêndio e/ou explosão nessas instalações.

1.3 UNIDADES DE PROCESSAMENTO *OFFSHORE*

Dentre os diferentes tipos de unidades de processamento de petróleo *offshore*, este trabalho dará maior ênfase para as unidades flutuantes de produção, armazenamento e descarga, conhecidas como FPSO (*floating, production, storage and offloading*). Além de estocar e transferir o petróleo, um FPSO tem a função de processá-lo, retirando do óleo encontrado nos reservatórios, a água e o gás. Periodicamente, o óleo produzido é transferido, processo denominado *offloading*, para um navio aliviador. Devido a sua característica estacionária, essas unidades ficam ancoradas e posicionadas em locais de produção distantes da costa com limitação de recursos, atividades e disponibilidade de mão de obra.

O arranjo típico de um FPSO é composto por módulos de processamento de óleo, desidratação e compressão do gás, tratamento da água produzida, injeção de gás e/ou água, utilidades, produtos químicos, distribuição de gás combustível, equipamentos elétricos, geração de energia e despressurização para o flare (sistemas de alívio). Outros processos podem fazer parte do arranjo dessas instalações, como remoção de gases ácidos como CO₂ e H₂S (BARCELOS, 2018).

De forma resumida, o petróleo é elevado do piso marinho até a superfície da plataforma por tubulações especiais chamadas de *risers*, passa pelo *manifold*, conjunto de válvulas que permitem flexibilidade operacional, até os separadores de produção, vasos de processo com a finalidade de separar óleo, água e gás. O óleo passa por processos de

estabilização em condições mais próximas da atmosférica, separando água e gás restantes, até ser armazenado nos tanques de carga da embarcação. Por fim, realiza-se o *offloading*, por meio de bombas, para um navio aliviador. O gás passa por processo de desidratação e liberação de condensado, sendo comprimido em diferentes estágios de compressão até ser exportado para terra ou injetado como método de recuperação e estímulo dos poços produtores. A água oleosa passa pelo sistema de tratamento de água, como hidrociclones e flotor, equipamentos responsáveis pelo tratamento e retirada do óleo residual, sendo descartada no mar dentro dos parâmetros requeridos (BARCELOS, 2018).

1.4 PREMISSAS E LIMITAÇÕES

O presente trabalho pode apresentar limitações de acordo com o banco de dados utilizado. Além disso, considerou-se que não há diferenças substanciais em relação ao comportamento do sistema independente dos regimes operacionais e da localidade da operação. Ou seja, equipamentos na localidade do Mar do Norte, por exemplo, teriam o mesmo comportamento que equipamentos em cenário nacional. Essa é uma consideração usual na indústria, que foi também considerada no presente trabalho.

2 METODOLOGIA

2.1 VISÃO GERAL

As empresas competitivas inserem em seus processos a valorização e a preservação ambiental como parte da conduta organizacional e social. A demonstração de uma implementação bem-sucedida pode ser utilizada para assegurar às partes interessadas que a organização possui um sistema de gestão ambiental eficaz em operação (ABNT NBR ISO 14001, 2015). Neste sentido, todas as companhias associadas a produção / recuperação de hidrocarbonetos *offshore* devem conduzir suas atividades de maneira a garantir um sistema de gerenciamento efetivo considerando questões ambientais, de segurança e saúde avaliando e gerenciando os riscos identificados sistematicamente neste processo. O processo de identificação deve ser aplicado em todas as fases do ciclo de vida da instalação e a todos os tipos de perigos encontrados como consequência do desenvolvimento do processo e seus recursos (ISO 13702, 2015).

Os resultados do processo de identificação devem ser utilizado tanto para a avaliação da consequência dos eventos perigosos quanto para determinação da redução de risco apropriada. Medidas de redução do risco incluem medidas preventivas (redução

da probabilidade de ocorrência do evento), medidas mitigadoras dos efeitos (redução da consequência do evento) e medidas de controle (limitação da duração do evento).

Os resultados do processo de avaliação e de decisão devem fazer parte da estratégia a ser adotada pela companhia em resposta ao evento acidental. Como parte do gerenciamento de todos os riscos, informações relevantes devem ser incluídas fornecendo insumos importantes na estratégia a ser adotada pela companhia.

Em unidades industriais as estratégias se resumem aos principais eventos acidentais, como fogo e explosão, e a pronta resposta a esses eventos de maneira a garantir a disponibilidade, integridade, confiabilidade e funcionalidade dos sistemas essenciais de controle que irão permitir a segurança pessoal durante o evento perigoso. Portanto o conhecimento dos desvios que podem desencadear cenários perigoso bem como a definição das barreiras que serão demandas focando na prevenção ou até mesmo na mitigação do evento acidental é de suma importância para garantir a vida humana, a preservação do meio ambiente, a integridade do ativo e do empreendimento mantendo a corporação saudável e os processos sustentáveis.

2.2 EVENTOS DE INCÊNDIO

Algumas das características principais do cenários de incêndio são demonstradas abaixo (ISO 13702, 2015).

Incêndio em Poça: Ocorre a partir da liberação de líquidos inflamáveis (hidrocarbonetos) que ignitam por fonte de ignição externa provocando a difusão turbulenta do material em condições de quantidade de movimento zero ou muita baixa. Existe uma relação entre o fogo e o combustível que controla a taxa de evaporação (alimentação da chama) e consequentemente o tamanho da poça de incêndio formada bem como as características da chama (altura das chamas e taxa de produção de fumaça). A poça não é necessariamente estática, podendo espalhar ou contrair dependendo da taxa de vazamento do líquido inflamável. O esgotamento do líquido pode ocorrer devido ao sistema de drenagem ou transbordamento para outras áreas.

Sistemas de dilúvio e espuma podem ser efetivos no controle de poças de incêndio e na mitigação das consequências. O filme de espuma forma uma camada superficial protetora entre o ar e o combustível agindo na redução e supressão das chamas.

Incêndio em Jato: Ocorre a partir da liberação de gases pressurizados que ignitam por fonte de ignição externa. A difusão turbulenta da chama resulta na combustão contínua do vazamento de gás com quantidade de movimento significativa em uma

direção particular. O comportamento das chamas vai depender do grau de confinamento que essa está submetida. Quando a ingestão de ar no interior da frente de chama não é suficiente para a combustão completa do fluido, geralmente há um aumento da temperatura da chama nas regiões próximas do teto do ambiente provocando altos fluxos térmicos em objetos e superfícies no compartimento comparado a chamas não confinadas. As condições de ventilação controlada podem levar a chamas externas com efeitos em outras áreas. O dilúvio tem pouco efeito na redução do tamanho, formato e características térmicas das chamas na região próxima ao ponto de liberação. O grande benefício do dilúvio é o resfriamento dos equipamentos e áreas adjacentes diminuindo os efeitos térmicos da radiação incidente.

Jatos de fogo impingentes em vasos pressurizados contendo hidrocarbonetos líquidos eleva a pressão no interior do vaso pela mudança de fase do fluido interno aumentando as tensões internas que os materiais estão submetidos. Mesmo em pouco tempo, o aumento da pressão interna pode levar a uma perda de resistência mecânica do material do vaso podendo acarretar na falha e consequente liberação do conteúdo de forma catastrófica. As liberações nessas condições são caracterizadas como BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapour Cloud Explosions*) e geram extensas bolas de fogo, ondas de choque e fragmentos sólidos que podem causar danos e escalonamento do cenário acidental.

2.3 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS ACIDENTAIS

O primeiro passo para a realização de um estudo de propagação de incêndio é conhecer os potenciais riscos que a instalação está submetida. Técnicas para avaliação e identificação de perigos qualitativas devem ser empregadas para identificação dos cenários perigosos, identificação das principais consequências e classificação do risco inerente (antes de considerar a existência das salvaguardas) e do risco residual (considerando as salvaguardas existentes) com base na matriz de risco da companhia. Técnicas de identificação de perigos como APP, APR, HAZID, *What-if*, FMEA, FMECA, HAZOP entre outras podem ser empregadas para a identificação desse perigos. Os eventos que geram incêndio como consequência devem ser descritos classificando o potencial incêndio /como incêndio em jato, incêndio em poça, incêndio em nuvem e etc.

Os eventos perigosos maiores, *Major Accident Hazard*, são definidos como os perigos potenciais que, ao se materializarem, resultam nos acidentes maiores. Dentre todos os perigos identificados, os eventos perigosos maiores devem ser listados e

destacados como produto da avaliação e identificação dos perigos. A definição leva em consideração a possibilidade de múltiplas fatalidades ou danos severos para pessoas, danos severos ao meio ambiente que necessitem de medidas de restauração e/ou danos extensivos a estruturas e a continuidade operacional da planta de processo (ISO 17776, 2016). A partir dessa lista são definidos os cenários de incêndio elegíveis para serem avaliados no estudo de propagação de incêndio. Em geral, os cenários que constituem a lista de eventos perigosos maiores situam-se na região do ALARP, *As Low As Reasonably Practicable*, possibilitando que o estudo de propagação de incêndio justifique e demonstre, com a necessidade ou não de medidas adicionais, que esses cenários estão localizados na região do ALARP.

Logo, a lista abaixo resume o primeiro passo:

- [1] Identificação dos Perigos (aplicação de técnicas qualitativas);
- [2] Definição dos Eventos Perigosos Maiores;
- [3] Definição do Eventos Perigosos Maiores com potencial incêndio.

2.4 MODELAGEM DO LAYOUT

De posse da lista dos principais cenários acidentais de incêndio que podem comprometer a atividade significativamente, o segundo passo destina-se a representação da instalação em termos dos aspectos físicos dos equipamentos, tubulações, estruturas, salas habitadas e distribuição das funções de segurança que devem ser garantidas em termos de disponibilidade e funcionalidade durante um evento emergencial. Os pontos de interesse devem ser bem representados, considerando as limitações e precisões dos *softwares* de apoio, de forma que o fenômeno físico do incêndio seja bem representado e seus efeitos sejam quantificados nas regiões de interesse. Os modelos tridimensionais devem representar a disposição física dos principais itens da instalação de forma que o comportamento das chamas seja capturado nos resultados. Cabe salientar que o detalhamento excessivo pode gerar custos computacionais que inviabilizam o estudo, além dos demais recursos podendo impactar diretamente nos tempos computacionais para obtenção das respostas.

A confecção da geometria é um caso particular da precisão a ser capturada no estudo. Representações em fluidodinâmica computacional (*Computational Fluid Dynamics*) tendem a ser mais precisas e fidedignas, entretanto, geram custos computacionais mais elevados. Modelos empíricos podem levar a respostas mais

conservadoras e menos precisas com ganho no tempo de execução da estimativa dos efeitos físicos dos cenários de incêndio.

Logo, a lista abaixo resume o segundo passo:

- [1] Modelagem da instalação, *layout* e fronteiras;
- [2] Modelagem das principais estruturas de módulos, pisos gradeados e *pipereacks*;
- [3] Modelagem dos equipamentos;
- [4] Modelagem de tubulações e grandes estruturas como salas de máquinas;
- [5] Modelagem das funções de segurança como rotas de fuga, pontos de encontro, acomodações, refúgios temporários, estações de abandono, etc.

2.5 DEFINIÇÃO DAS FUNÇÕES MONITORADAS

Um dos objetivos do estudo de propagação de incêndio é a demonstração de que os equipamentos e sistema essenciais que garantem a parada segura da instalação, o escape seguro da tripulação e a contenção dos produtos estarão disponíveis durante um evento acidental de fogo. Os sistemas de segurança críticos devem estar íntegros e serem capazes de combater efetivamente o evento acidental, conter os inventários em regiões seguras e estarem disponíveis para evacuação segura da instalação. Abaixo são relacionais algumas funções consideradas críticas e essenciais para manter a instalação segura em caso de evento de incêndio:

- [1] Salas de controle (*Central Control Room*);
- [2] Painéis de controle essenciais;
- [3] Sala de geradores de emergência;
- [4] Refúgios temporários;
- [5] Áreas de encontro e reunião;
- [6] Acomodações;
- [7] Rotas de fuga;
- [8] Meios de escape e abandono (baleeiras e heliponto);
- [9] Bombas de combate a incêndio (proteções ativas);
- [10] Anéis de água e espuma de combate a incêndio;
- [11] Botoeiras de acionamento manuais das válvulas de dilúvio (ADV);
- [12] Suporte de módulos de processo (estruturas primárias);
- [13] Suporte de equipamentos com grande inventário inflamável;
- [14] Vasos de processo contendo grande inventário inflamável;
- [15] Sistemas de despressurização e seus suportes;

- [16] Suporte e estruturas do *Flare*;
- [17] Suporte e estruturas de *Vent*;
- [18] Regiões críticas com alto potencial de escalonamento (linhas de produção);
- [19] Linhas de amarração (*mooring lines*);

A lista de funções críticas a serem monitorados é um exemplo e não está limitada aos itens citados. Cada instalação de processo possui elementos essenciais para a atividade que servem como garantia da segurança do ativo, segurança dos funcionários e preservação do meio ambiente.

2.6 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE TOLERABILIDADE

O uso de dados relevantes é essencial para assegurar que os estudos quantitativos possam ser comparados aos critérios de tolerabilidade aplicados na indústria. A probabilidade de uma função principal de segurança ser impedida (danificada) é calculada de maneira a garantir que o projeto da instalação não implique em um risco inaceitável e seja capaz de promover a definição das cargas acidentais relevantes para a planta. Os requisitos de funcionalidade de uma função principal de segurança deve ser definido separadamente para cada instalação.

A frequência de 1×10^{-4} ocorrências por ano para cada tipo de carga acidental (fogo, explosão, colisão, queda de objetos) é utilizada como limite de tolerabilidade para o impedimento de cada função de segurança. Algumas indústrias definem a soma de todas as cargas acidentais no limite de 5×10^{-4} ocorrências por ano como limite de impedimento total da instalação (NORSOK Z-013, 2001).

Adotando a frequência de 1×10^{-4} ocorrências por ano temos que, para cada função de segurança conforme item 2.5, a soma da frequência de todos os cenários de incêndio que atingem determinada função não podem ultrapassar o valor limite estabelecido como limite de tolerabilidade (1×10^{-4} oc./ano). Logo, de uma forma prática, o exemplo abaixo pode ser seguido:

- Função de Segurança: Estrutura primárias de um módulo de processo
- Critério de tolerabilidade: 1×10^{-4} oc./ano

Estimar o número de cenários com potencial de impedir a função

Somar as frequências de ocorrência dos cenários

- O somatório deve ser inferior ao critério de tolerabilidade
- Caso contrário, medidas de controle devem ser adotadas para:
 - Minimizar a frequência de ocorrência

- Minimizar a severidade dos cenários de incêndio

- Refinamento dos Resultados:

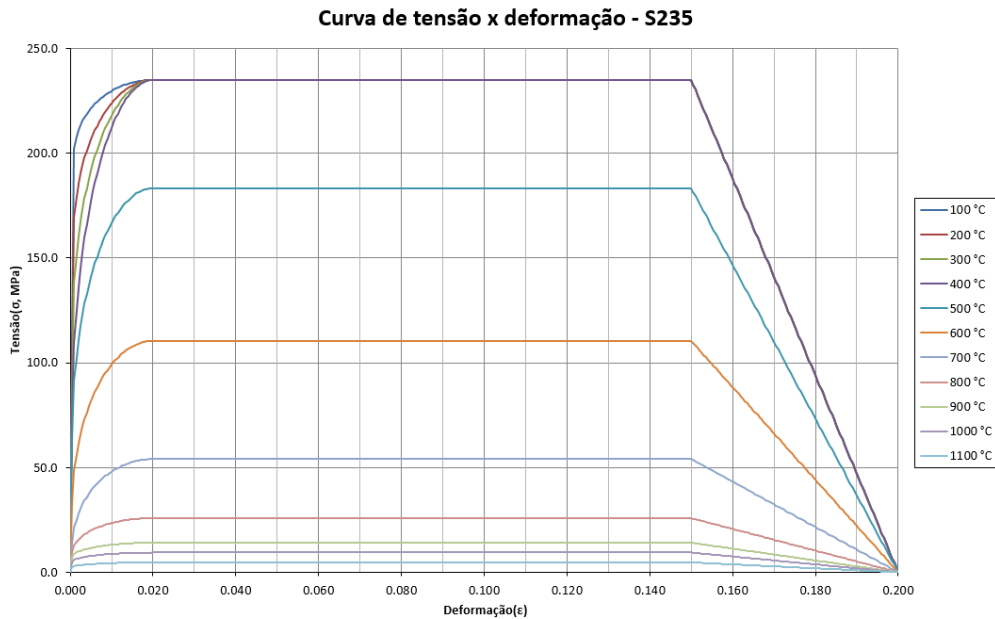
Neste caso pode se refinar os resultados por meio de análises estruturais por meio do Modelo de Elementos Finitos (*Finite Element Model*) estimando a deformação mecânica das estruturas (vigas) sob efeito das cargas térmicas, considerando sua duração, cargas mecânicas (peso próprio e demais cargas), efeitos de movimento (posição e ângulos da embarcação), condições ambientais (ventos) e características dos materiais. Neste caso, critérios de deformação devem ser estabelecidos para os regimes de deformação elástico e plástico.

Medidas para determinação do impedimento devem ser fornecidas para definir quais cenários devem ser somados e comparados com a critério de frequência. Para a indisponibilidade de algumas funções de segurança pode ser aplicado valores aceitos na indústria. Por exemplo, as ADVs (*Automatic Deluge Valve*), para acionamento manual do dilúvio, e as rotas de fuga, para escape, a aceitabilidade pode ser definida com um critério de $4,73 \text{ kW/m}^2$. Já para permanência nas estações de embarque, para abandono, a aceitabilidade pode ser definida com um critério de $1,58 \text{ kW/m}^2$. Esses limites de fluxo radiativo são definidos conforme valores de exposição humana de 2 a 3 minutos, já considerando radiação solar, indicados na API STD 521 (2020). Outro exemplo seria a temperatura nas estruturas de $450 \text{ }^\circ\text{C}$ o qual a estrutura, em média, perde 50% de sua resistência mecânica.

Na realização de análises de respostas estrutural sob condição de incêndio, deve-se definir um critério aceitável para a deformação do elemento de viga. Para isto pode-se utilizar como referência a norma EN1993-1-2 – Eurocode 3 (2005) onde são apresentadas curvas tensão x deformação para diversos aços estruturais, a exemplo a curva da Figura 1 para o aço carbono estrutural S235. A depender dos critérios da companhia, pode-se definir como aceitável os valores de deformação abaixo:

- 2% ($\epsilon = 0.02$): Limite para o início do comportamento perfeitamente plástico do material considerando a curva do material conforme EN1993-1-2 – Eurocode 3 (2005).
- 15% ($\epsilon = 0.15$): Limite de escoamento do material considerando a curva do material conforme EN1993-1-2 – Eurocode 3 (2005).

Figura 1 - Curvas de tensão x deformação de aço carbono estrutural S235 em função da temperatura



EN1993-1-2 – Eurocode 3 (2005)

2.7 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS E CONDIÇÕES EXTERNAS

Condições de Processo

A determinação correta das condições de processo é de suma importância para a predição dos efeitos e consequências dos cenários acidentais elegíveis para o estudo de incêndio. Neste sentido deve ser indicado os modos de operação comuns na planta de processo. De forma geral a condições normais de processamento dos equipamentos é utilizada como entrada no cálculo das consequências, entretanto, abordagens mais conservadoras podem ser empregadas com o intuito de prever desvios do processo. Condições de nível de equipamentos podem ser aplicados (nível normal ou nível alto de operação) ou até mesmo modos de operação (demanda normal ou alta demanda) de forma a garantir que não existam condições que possam comprometer uma determinada função de segurança. Desta forma os parâmetros de processo relevantes para os cálculos de modelo de fonte que especificam as condições de vazamento conforme Crawl e Louvar (2002) são destacados abaixo:

- [1] Pressão (interna e externa)
- [2] Temperatura (interna e externa)
- [3] Composição
- [4] Vazão

[5] Densidade do fluido

Cálculo do Vazamento

Para representar o processo de liberação desse material são utilizados modelos de fonte. Tais modelos fornecem informações úteis para se determinar as consequências de um acidente. Por meio desses modelos, determinam-se estados físicos, quantidade de material liberado, taxas de liberação, e assim, descrevem o comportamento do material transportado e dispersado no ambiente.

Mecanismos de liberação podem ser classificados em grandes ou pequenos. Na liberação de grandes proporções, desenvolve-se uma abertura de grandes dimensões em um equipamento na unidade de processo, liberando uma quantidade substancial de material em um período de tempo muito curto. Na liberação por orifício, o material sai a uma taxa suficientemente baixa de modo que as condições a montante, isto é, no interior do equipamento, não são imediatamente afetadas, sendo a hipótese de pressão constante a montante de emprego comum.

Existem diversos modelos de fonte que representam as liberações por orifício, de acordo com o estado físico do material e suas condições de armazenamento ou manuseio.

O intuito desse trabalho não é detalhar o cálculo da liberação e sim orientar a execução do estudo de incêndio como um todo. Desta forma o foco será destinado nos tipos de abordagem que podem ser desenvolvidas. Sendo assim, pode-se desenvolver de dois modos distintos:

[1] Taxa de Vazamento:

Pode empregar taxas fixas de vazamento que representam cada categoria analisada (pequeno, médio e grande). Como exemplo o típico utilizado na indústria brasileira.

- Pequeno Vazamento: 0,1 a 4,0 kg/s
- Médio Vazamento: 4,0 a 32,0 kg/s
- Grande Vazamento: Superior a 32,0 kg/s

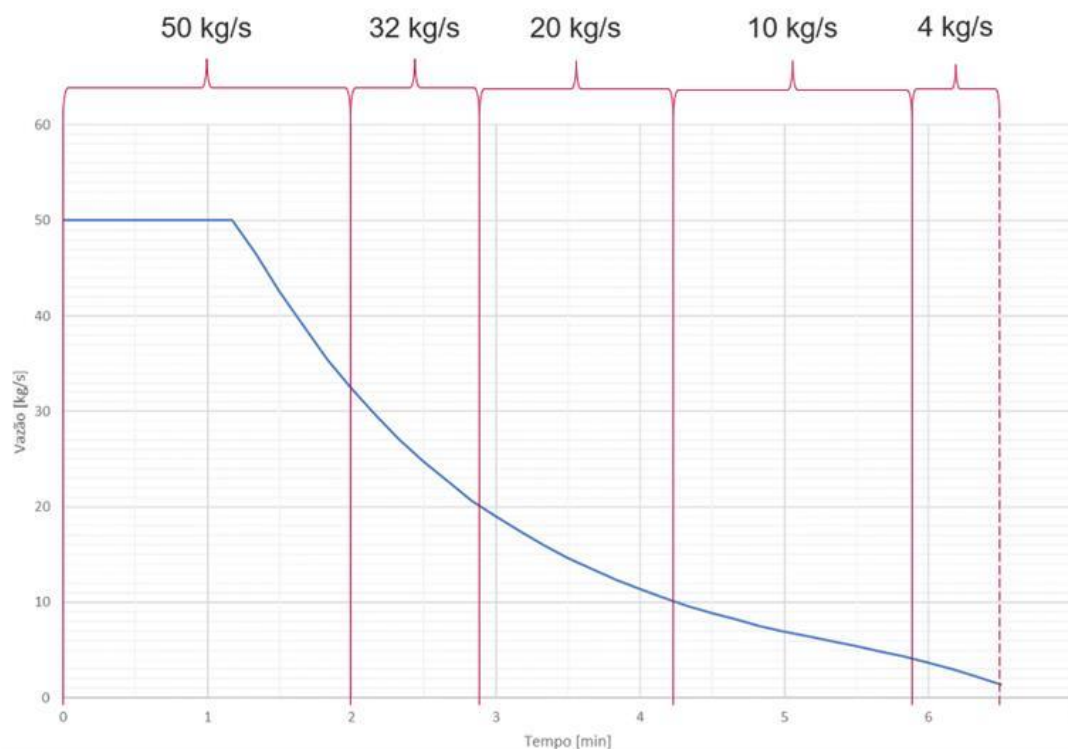
[2] Diâmetro de Orifício:

Pode empregar diâmetro de orifício para calcular os vazamentos que representam cada categoria analisada (pequeno, médio e grande). Neste tipo de abordagem também pode ser considerado um fator de formato do orifício, restringindo ou não a taxa de vazamento. Como exemplo o típico utilizado na indústria brasileira.

- Pequeno Vazamento: Menor que 10 mm
- Médio Vazamento: 10 a 50 mm
- Grande Vazamento: Superior a 50 mm

Outros tipos de modelagem por vazão são amplamente utilizadas de forma a representar e determinar uma vazão representativa para diferentes faixas de vazamento. A modelagem tende a representar faixas de vazamento de forma conservadora sem precisar calcular os efeitos da despressurização do sistema pelo eventual vazamento. São determinadas, por exemplo, taxas de vazamento fixas como 50 kg/s, 32 kg/s, 20 kg/s, 10 kg/s e 4 kg/s para representar uma faixa maior de vazamentos. A Figura 2 apresenta o comportamento típico para essa abordagem.

Figura 2 – Comportamento típico para da taxa de vazamento ao longo do tempo considerando efeitos da depressurização do sistema



Fonte: Elaboração dos autores

Definição dos Pontos de Vazamento

De posse da lista de cenários de incêndio, das condições de processo nos quais esses sistemas estão submetidos e dos valores típicos de vazamento críveis que podem ocorrer nesses sistemas devem ser definidos os pontos mais prováveis em que a falha pode ocorrer. Os pontos de vazamento mais prováveis são em entradas e saídas de equipamentos, flanges de tubulações, conexões e juntas, instrumentos, válvulas e outros itens. Os pontos devem ser definidos considerando a densidade dos itens suscetíveis ao vazamento. Em regiões com muitos itens que abrangem grandes áreas, diversos pontos de vazamento podem ser considerados ou apenas alguns pontos representativos considerando métodos para extrapolação dos efeitos.

Condições Externas

As condições meteorológicas estabelecem a velocidade média mais frequente dos ventos e a porcentagem de ocorrência para cada direção. O valor de porcentagem para cada direção faz-se necessário quando se deseja calcular a probabilidade de ocorrência de determinado cenário dentro dos listados. A direção e a velocidade do vento influenciam

diretamente no desenvolvimento da chama e diferentes situações devem ser consideradas para previsão dos efeitos provocados.

De forma geral, em estudos de incêndio são consideradas as velocidades de vento abaixo:

- Velocidade mais frequente para cada direção;
- Velocidade na condição de calmaria, por exemplo 0,5 m/s.

A direção de vento é proveniente da direção cardinal selecionada, por exemplo, ventos de Leste são direcionados de Leste para Oeste e vento de Sudoeste são direcionados de Sudoeste para Nordeste.

De forma geral, em estudos de incêndio são consideradas as direções de vento abaixo:

- Para incêndio em jato, considerar a direção mais frequentes. Neste caso a quantidade de movimento do jato de fogo prevalece em relação a velocidade do vento sendo a direção menos significativa para os efeitos. Também são usados ventos na mesma direção, perpendicular e oposto a direção do jato de fogo.
- Para incêndio em poça, considerar as direções que inclinam as chamas para o interior da plataforma ou para a função de segurança de interesse.

2.8 INTERTRAVAMENTO, DESPRESSURIZAÇÃO, DRENAGEM E DILÚVIO

Os sistemas de intertravamento e despressurização que são geralmente acionados em casos de emergência (*ESD Emergency Shutdown / EDP Emergency Depressurization*) devem ser considerados para contribuição na duração do cenário acidental.

O desligamento de emergência atua no isolamento do inventário de determinado sistema atuando no fechamento de válvula conhecidas como SDV (*shutdown valve*) limitando assim o conteúdo que pode ser liberado durante o vazamento. A contribuição dessa operação nos cálculos está relacionada com o tempo de fechamento completo da válvula (garantindo estanqueidade). Durante a modulação da válvula da posição aberta para a posição fechada o trecho em falha é alimentado com a vazão de processo até o fechamento completo da válvula. O cálculo do fluxo não é trivial e premissas conservadoras são geralmente adotadas. Abaixo são apresentadas as premissas típicas que podem ser utilizadas.

- Tempo de fechamento total da válvula SDV: 45 segundos (API RP 14C, 2001).

Nota: Tempo máximo para isolamento do trecho. Tempo considera identificação do cenário, comunicação entre sistemas, identificação da função de fechamento e fechamento total da válvula. Em projetos considera-se que a válvula (elemento final) fecha em velocidade de modulação de 1 polegada/segundo.

- Vazão durante fechamento: Vazão de operação considerando a válvula 100% aberta até o fechamento completo da válvula.

A despressurização de emergência atua na retirada segura do inventário de determinado sistema atuando na abertura de válvula conhecidas como BDV (*blowdown valve*) limitando assim o conteúdo que pode ser liberado durante o vazamento. A contribuição dessa operação nos cálculos está relacionada com o tempo de isolamento completo do sistema e abertura total das válvulas que de despressurização. Durante a modulação da válvula da posição fechada para a posição aberta o trecho em falha é aliviado com a vazão dinâmica para a tocha ou local seguro até a abertura total da válvula. O cálculo do fluxo não é trivial e premissas conservadoras são geralmente adotadas. Abaixo são apresentadas as premissas típicas que podem ser utilizadas.

- Tempo de abertura total da válvula BDV: 15 segundos (API STD 521, 2020).

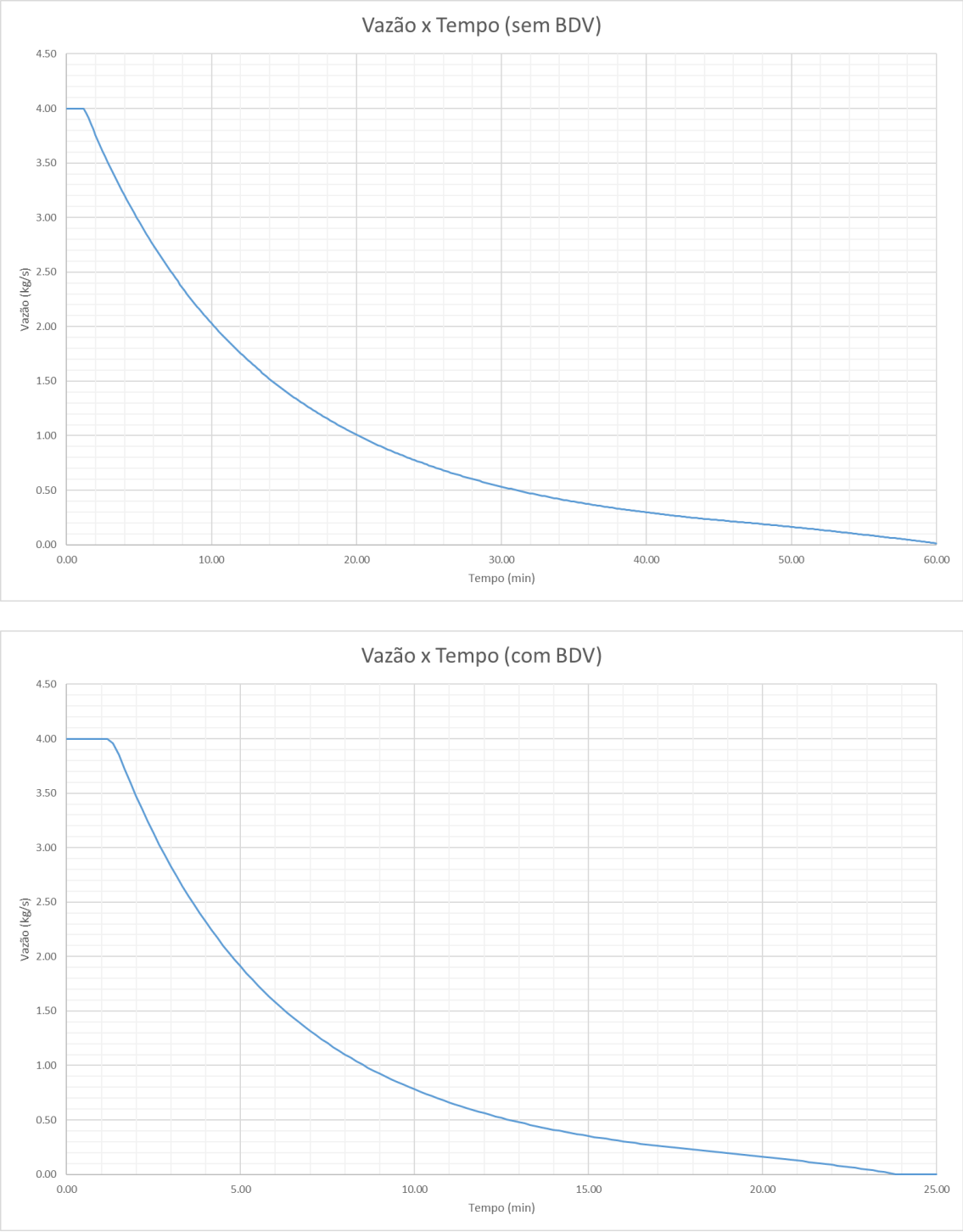
Nota: Deve-se considerar tempo de isolamento do sistema mais tempo de abertura completa da válvula (45 *shutdown* + 15 *blowdown*). Logo, pode-se aplicar um retardo de até 45 segundos para iniciar a abertura da BDV, totalizando 60 segundos no total. Em projetos considera-se que a válvula (elemento final) abre em velocidade de modulação de 1 polegada/segundo.

- Vazão durante abertura: Vazão zero durante modulação e vazão conforme orifício da válvula após abertura concluída (100% aberta).
- Não deve ser incluída temporização superior a 45 segundos. Temporização deve ser incluída caso a válvula seja certificada ou tenha proteção passiva que garante modulação diante de exposição a chama direta após temporização.

A definição correta do comportamento da despressurização levando em consideração possíveis estagiamentos e tempos totais para atingir os critérios da indústria, por exemplo critérios de despressurização da API STD 521 (2020), servem para diminuir significativamente o tempo de exposição ao fogo. As curvas da Figura 3 abaixo exemplifica o comportamento típico do efeito sem BDV e com BDV reduzindo o tempo de queima em até 35 minutos para jatos de fogo baseado nos cálculos expressos na API

STD 521 (2020) e TNO Yellow Book (2005) em condições de pressão de 60 bar a, temperatura 40 °C e inventário de 57 m³.

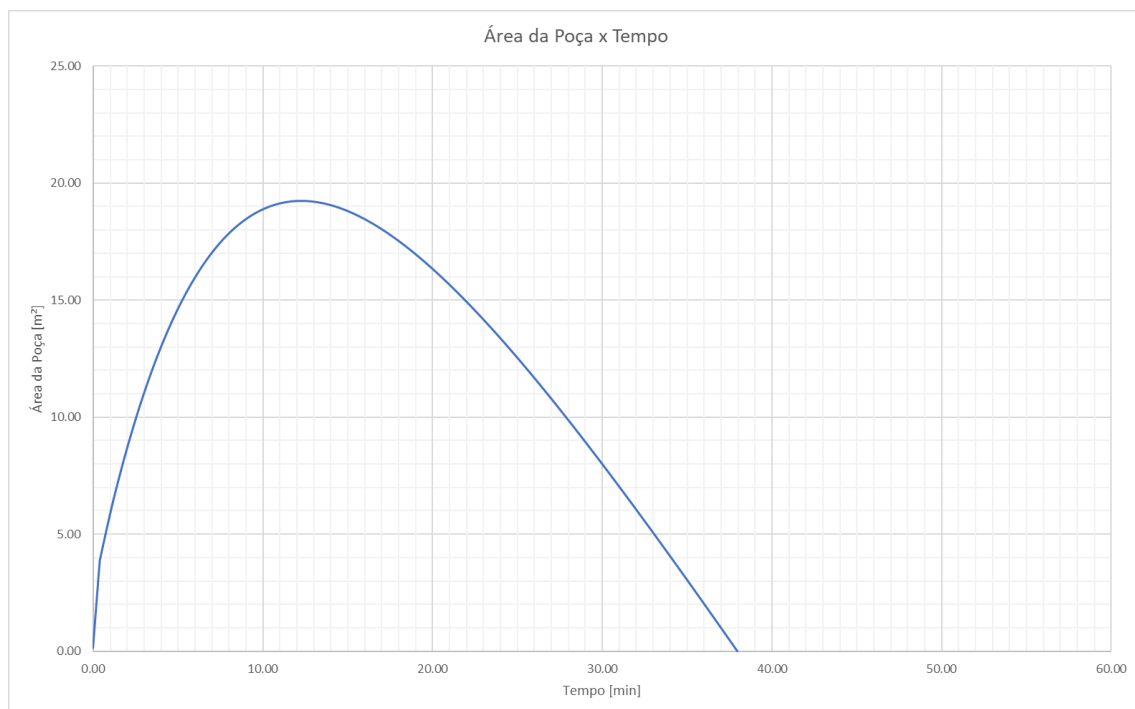
Figura 3 – Comportamento típico para da taxa de vazamento ao longo do tempo considerando efeitos da a falta e atuação do sistema de despressurização com BDV



Fonte: Elaboração dos autores

O sistema de drenagem contribui para limitar os efeitos das chamas em um incêndio em poça. A restrição física permite que o incêndio em poça fique contido em uma determinada região da unidade. A drenagem efetiva calculada para lidar com os vazamentos críveis somados a contribuição do dilúvio, chuva forte e um hidrante atende os requisitos da ISO 13702 (2015) de controle de vazamentos. O sistema de dilúvio tem a função de resfriamento dos equipamentos adjacentes enquanto sistema de espuma tem a função de abafamento e supressão das chamas, entretanto, seus efeitos não são considerados significativos em estudos de incêndio. A curva da Figura 4 abaixo demonstra um comportamento típico de incêndio em poça considerando parâmetros de processo, tipo do fluido, inventário, bacia de contenção e taxa de queima mássica.

Figura 4 – Comportamento típico da área de formação da poça de incêndio no tempo



Fonte: Elaboração dos autores

2.9 DEFINIÇÃO DO INVENTÁRIO

Na etapa do cálculo de inventário é realizada uma análise detalhada do processo. São identificadas e avaliadas as características dos trechos em análise, das correntes e as variáveis de processo, conforme abaixo:

- Tipo de fluido: O escopo da análise de propagação de incêndio envolve fluidos inflamáveis, no estado líquido ou gás. Portanto, são descartadas correntes onde o componente predominante é a água;
- Volume do trecho isolável: Denomina-se como trecho isolável partes de um sistema composto por tubulação e equipamentos entre válvulas de bloqueio de segurança que contém fluidos inflamáveis. Portanto, o volume do trecho isolável é calculado somando-se os volumes das tubulações e dos equipamentos que o compõem.
- Variáveis de processo: As principais variáveis de processo a serem avaliadas durante a definição de inventário são temperatura e pressão. Tais variáveis influenciam a quantidade de massa inflamável contida no interior do trecho isolável.
- Despressurização automática: As BDVs (*Blowdown Valves*) são válvulas de segurança que fazem parte do sistema automático de despressurização. Tais válvulas são eficientes em trechos que possuem grandes quantidades de gás e agem no sentido de direcionar para a tocha a massa de gás aprisionada no trecho isolável. Sendo assim, a quantidade de massa inflamável disponível para alimentar o incêndio é reduzida.

O inventário mássico disponível para vazamento pode ser definido em inventário estático e inventário dinâmico.

Inventário estático: fluido está contido no volume de controle, no interior da tubulação e equipamento, limitados pelas SDVs.

Inventário dinâmico: fluido de entrada no volume de controle. Relação entre a vazão de vazamento e o tempo de fechamento da SDV.

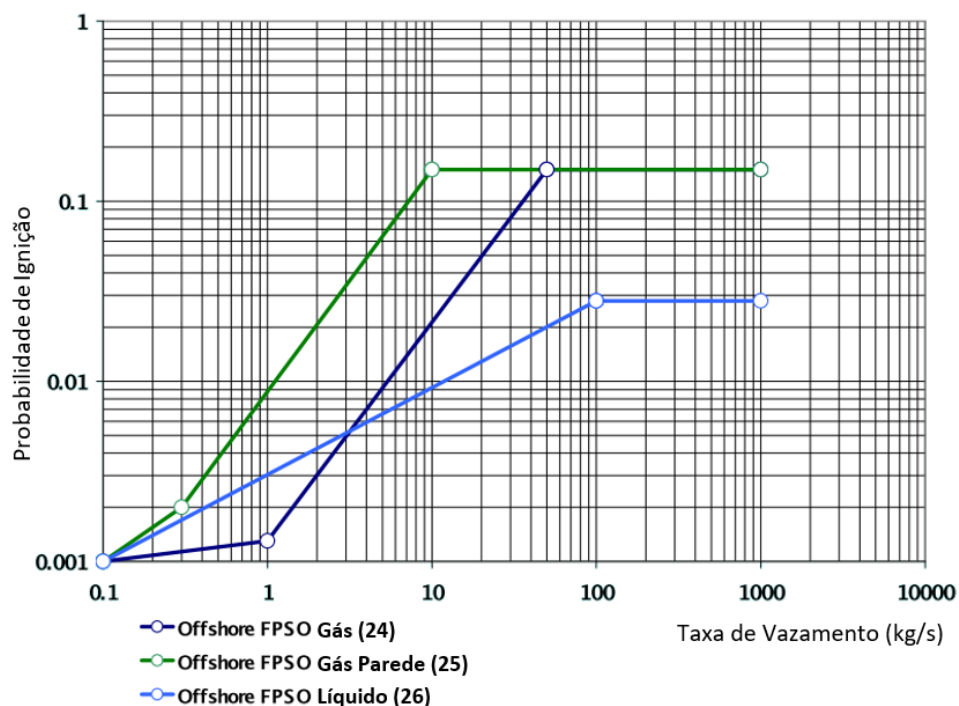
A partir dos dados levantados e cálculo da massa de produto inflamável, é possível determinar a duração do acidente. Para incêndios em poça, determina-se, também, o diâmetro da poça que pode ser formada e para incêndios em jato, determina-se o perfil de vazão mássica do vazamento ao longo do tempo considerando, caso exista, o sistema de despressurização automática.

2.10 DEFINIÇÃO DA FREQUÊNCIA ACIDENTAL

A análise de frequência é realizada com objetivo de avaliar e quantificar a probabilidade de ocorrência de um cenário de vazamento de gás ou líquido inflamável, conforme os passos descritos a seguir:

- [1] Identificação do trecho de frequência: É necessário identificar, através dos fluxogramas de engenharia, o trecho que será considerado no cálculo de frequência. Esta tarefa tem o objetivo de distinguir os itens presentes no trecho selecionado, tais como equipamentos, instrumentos, válvulas, flanges e etc.
- [2] Quantificação: Neste passo são contabilizados cada item identificado no passo anterior, diferenciando-os por tipo e tamanho.
- [3] Cálculo da frequência de vazamento: Tendo em mãos a quantidade de cada item no trecho a ser avaliado, através de bancos de dados disponíveis (e.g. *Health and Safety Executive*, HSE) é possível estimar a frequência de vazamento de cada item contido no trecho. A frequência de vazamento total dá-se pelo somatório da frequência de vazamento de cada item contido no trecho a ser avaliado.
- [4] Cálculo da frequência de incêndio: A frequência de incêndio é obtida pelo produto da frequência de vazamento pela probabilidade de ignição (OGP Report N° 434-6.1, 2010). Tal probabilidade depende do tipo de instalação e da taxa de vazamento do cenário. O gráfico da Figura 5 abaixo apresenta as curvas de probabilidade de ignição de líquido e gás por taxa de vazamento para plataformas do tipo FPSO.

Figura 5 – Curvas de probabilidade de ignição de líquido e gás por taxa de vazamento para plataformas do tipo FPSO



Adaptado de OGP Report N° 434-6.1, 2010

2.11 IDENTIFICAÇÃO DO CENÁRIO CARACTERÍSTICO

É notável que a quantidade de possíveis pontos de vazamento em uma unidade *offshore* de produção de gás e óleo tende ao infinito. Pois cada flange, instrumento ou válvula torna-se elegível para que um vazamento ocorra com possibilidade de tornar-se um incêndio caso exista um ponto de ignição próximo.

Os métodos computacionais atuais conseguem descrever com boa precisão as consequências dos cenários de incêndio. Entretanto são limitados pelo custo computacional ou tempo de simulação. Dessa forma, é necessário desenvolver estratégias para que este tipo de análise seja viável, ou seja, realizar o menor número de simulação possível de maneira que estas simulações sejam representativas para diversos cenários acidentais de incêndio.

A identificação do cenário característico tem como objetivo classificar, do mais crítico para o menos crítico, os cenários contidos em uma dada região/módulo da plataforma, levando-se em consideração a frequência de ocorrência e sua consequência. É importante destacar que esta classificação deve ser feita separadamente para incêndios em jato e incêndios em poça.

A criticidade de um cenário de incêndio pode ser calculada pelo resultado da multiplicação entre a frequência de ocorrência do cenário e sua consequência, o qual será nomeado de Fator de Risco. O primeiro termo da multiplicação é descrito com base na sua frequência total de incêndio associada ao gás ou óleo e o segundo é dado pelo seu inventário disponível para vazamento. Portanto, cenários com alta frequência de incêndio e com grande inventário são considerados mais críticos (FABIG, 2003).

Na Tabela 3 são apresentados sete cenários de incêndio genéricos com seus respectivos inventários, frequências de incêndio e fatores de risco calculados. Com o cálculo do fator de risco, conclui-se que o Cenário 6 é o mais crítico e, portanto, o representativo para o módulo/área em questão.

Quadro 3 – Cenários de incêndio genéricos

Cenário	Inventário (kg)	Frequência de Incêndio (oc./ano)	Fator de Risco	Fator de Risco Normalizado
1	532	3,42E-05	1,82E-02	0,06
2	726	2,66E-05	1,93E-02	0,07
3	1525	2,69E-05	4,10E-02	0,14
4	378	2,12E-05	8,01E-03	0,03
5	942	2,12E-05	2,00E-02	0,07
6	1234	9,13E-05	1,13E-01	0,39
7	1044	6,52E-05	6,81E-02	0,24

2.12 AVALIAÇÃO PROBABILISTICA

Conhecendo o cenário característico, suas condições de processo, taxas de vazamento possíveis, localização do ponto de vazamento, condições que afetam as características das chamas, duração considerando isolamento / despressurização e estimativa da frequência de vazamento / incêndio para cada trecho especificado inicia-se a modelagem das simulações computacionais para estimativa dos efeitos térmicos gerados, duração do incêndio e a contribuição térmica em cada função de segurança.

Os cálculos computacionais devem estimar os efeitos de todas as possíveis cargas em cada função de segurança determinada. Definindo a função de segurança (módulo destacado em vermelho), são avaliadas todas as cargas provenientes do próprio módulo e proveniente de módulos vizinhos que podem atingir essa função.

Figura 6 – Avaliação dos cenários de incêndio em uma função de segurança



Em alguns casos é possível eliminar simulações adotando premissas pré-definidas como exclusão de cenários fisicamente conhecidos como jatos de fogo direcionados para o exterior da unidade.

Figura 7 – Avaliação dos cenários de incêndio em jato



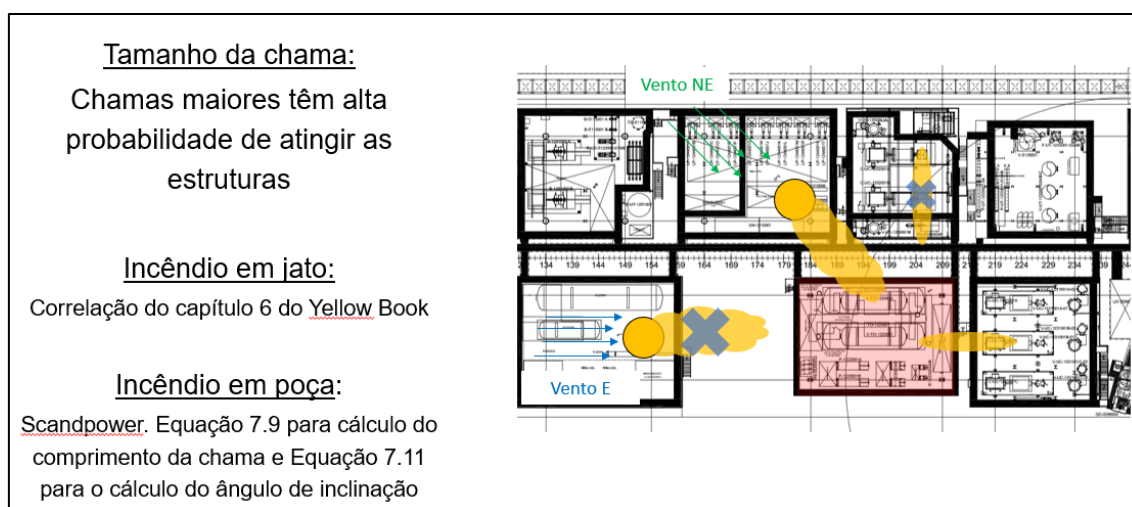
Incêndio em poça são fortemente influenciados pelas condições de vento do ambiente. A análise prévia da distribuição do vento na plataforma pode ser utilizada para definição dos ventos em casos de incêndio em poça.

Figura 8 – Avaliação dos cenários de incêndio em poça e condições de vento



Outras características do comportamento das chamas pode ser usado para a criação de fatores que auxiliam a análise como um todos.

Figura 9 – Avaliação dos cenários de incêndio e o comportamento das chamas



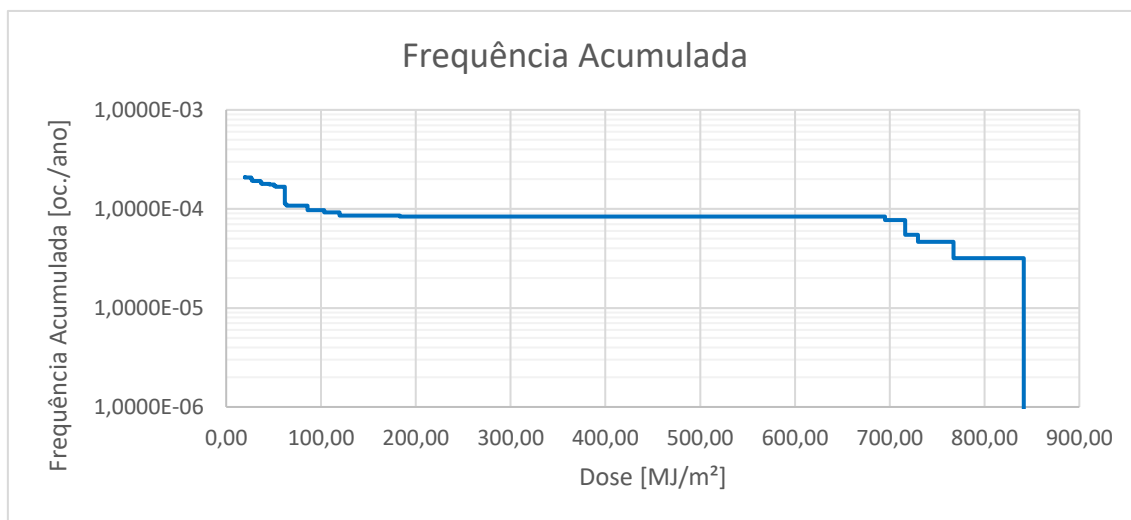
2.13 CONTRUÇÃO DAS CURVAS DE EXCEDÊNCIA

Para cada caso de incêndio, são listadas a “dose térmica máxima” e a frequência de incêndio a partir da frequência do vazamento calculada, da probabilidade de ignição, da probabilidade de jato para incêndios em jato e da probabilidade de vento para incêndios em poça. Estes casos de incêndio são então ordenados da menor para a maior dose. Os resultados globais são então representados graficamente, contra a frequência de impedimento acumulada, na forma de “curvas de excedência”.

A “carga accidental dimensionante” (DAL) é representada pela dose térmica equivalente ao “critério de tolerabilidade”, sendo possível identificar a DAL no gráfico da seguinte forma: no eixo das ordenadas é identificado o critério de tolerabilidade e lida a dose térmica correspondente (eixo das abscissas).

A DAL resultante não corresponde a um valor propriamente dito, mas a uma família de casos accidentais de incêndio. São selecionados os casos de incêndio que apresentaram a dose máxima igual ou inferior à DAL obtida para serem avaliados na análise estrutural.

Figura 10 – Curva de excedência



Com os resultados e as curvas de excedência para cada função de segurança indicando a Dose Térmica em MJ/m² (DAL) para um critério de tolerabilidade de 1,0E-04 é possível selecionar os cenários acima do critério elegíveis para a consideração de medidas adicionais.

2.14 DEFINIÇÃO DE PROTEÇÃO PASSIVA CONTRA INCÊNDIO

O objeto da Proteção Passiva Contra Incêndio é a proteção dos membros estruturais críticos vulneráveis contra os cenários de fogo limitando a transferência das cargas térmicas, mantendo a integridade das estruturas para sustentação das cargas mecânicas e, assim, evitando a propagação do incêndio para outras áreas.

A proteção passiva atrasa o aumento da temperatura para níveis críticos reduzindo o risco de colapso estrutural e aumentando o tempo para evacuação da unidade e controle do incêndio.

Além dos membros estruturais, algumas válvulas, tubulações e instrumentos críticos podem receber proteção passiva prescritiva em projeto sem ser necessária a justificativa por meio de estudo de fogo.

A proteção passiva precisa ser certificada e testada para desempenhar a função desejada, além de ser aprovada pela sociedade classificadora da plataforma. Para incêndio em poça a proteção passiva precisa resistir a temperaturas elevadas e alguns requisitos de testes de proteção passiva podem ser encontrados na ISO 834-3 (2015). Já para incêndio em jato a proteção passiva precisa ser resistente aos efeitos turbulentos e abrasivos do jato de fogo, além das altas cargas térmicas submetidas e alguns requisitos de testes de proteção passiva podem ser encontrados na ISO 22899-1 (2012).

Critérios devem ser estabelecidos a partir das curvas dos materiais e temperatura de operação de equipamentos. Para membros estruturais a proteção passiva deve garantir que a estrutura não ultrapasse 450 °C em determinado intervalo de tempo para que não haja o colapso estrutural. Para equipamentos a proteção passiva deve garantir que não ultrapasse 200 °C em determinado intervalo de tempo para que o equipamento performe corretamente conforme projeto. Já para vasos de pressão, avaliações de fluxos térmicos impingentes são realizados para determinar a possível ruptura do vaso, podendo esses valores serem de 100 kW/m² para incêndio em poça e 350 kW/m² para incêndio em jato. Essa definição dependerá de caso a caso considerando limites projetados para cada item a ser protegido (SCANDPOWER, 2004).

O material da proteção passiva deve ser resistente a expansão e contração térmica sem danos. Além disso não deve propagar chamas e produzir produtos tóxicos pela fumaça. Alguns requisitos são encontrados na API RP 14G (2007). Outros fatores importantes que dependerá do fornecedor da proteção passiva e dos requisitos da empresa é a espessura do material, durabilidade, aplicação, remoção e montagem e etc.

De forma geral estabelece-se proteção contra incêndio em poça com a letra “H” (*heat*) e proteção contra incêndio em jato com a letra “J” (*jet*). O tempo de resistência está relacionado com cenário dimensionante determinado na etapa da curva de excedência e DAL que pode ser de 15 minutos ou até 60 minutos por exemplo. Abaixo são relacionadas algumas proteções típicas:

Incêndio em poça:

- 450H15 (incêndio em poça com proteção de 15 minutos considerando 450 °C)
- 450H30 (incêndio em poça com proteção de 30 minutos considerando 450 °C)
- 450H45 (incêndio em poça com proteção de 45 minutos considerando 450 °C)
- 450H60 (incêndio em poça com proteção de 60 minutos considerando 450 °C)

Incêndio em Jato:

- 450J15 (incêndio em jato com proteção de 15 minutos considerando 450 °C)
- 450J30 (incêndio em jato com proteção de 30 minutos considerando 450 °C)
- 450J45 (incêndio em jato com proteção de 45 minutos considerando 450 °C)
- 450J60 (incêndio em jato com proteção de 60 minutos considerando 450 °C)

2.15 DEFINIÇÃO DE MEDIDAS ADICIONAIS DE PROTEÇÃO

Além das medidas de proteção passiva contra incêndio, o empreendimento pode decidir por adotar os princípios do ALARP como eliminação, substituição, minimização, moderação, segregação e simplificação. Neste sentido, o Gestor do Risco pode decidir pela:

- [1] Eliminação de um sistema perigoso que concentra cenários de incêndio dimensionante para diferentes funções de segurança;
- [2] Substituir o material contido nas linhas por outro menos perigoso (neste caso seria pouco provável por se tratar de gás ou óleo);
- [3] Minimizar os itens que podem falhar;
- [4] Moderar em termos de condições operacionais como pressão, composição e temperatura;
- [5] Segregar o inventário com outras SDVs no trecho ou adotando estratégias de depressurização mais eficientes;
- [6] Simplificar os processos produtivos e a complexidade do sistema.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

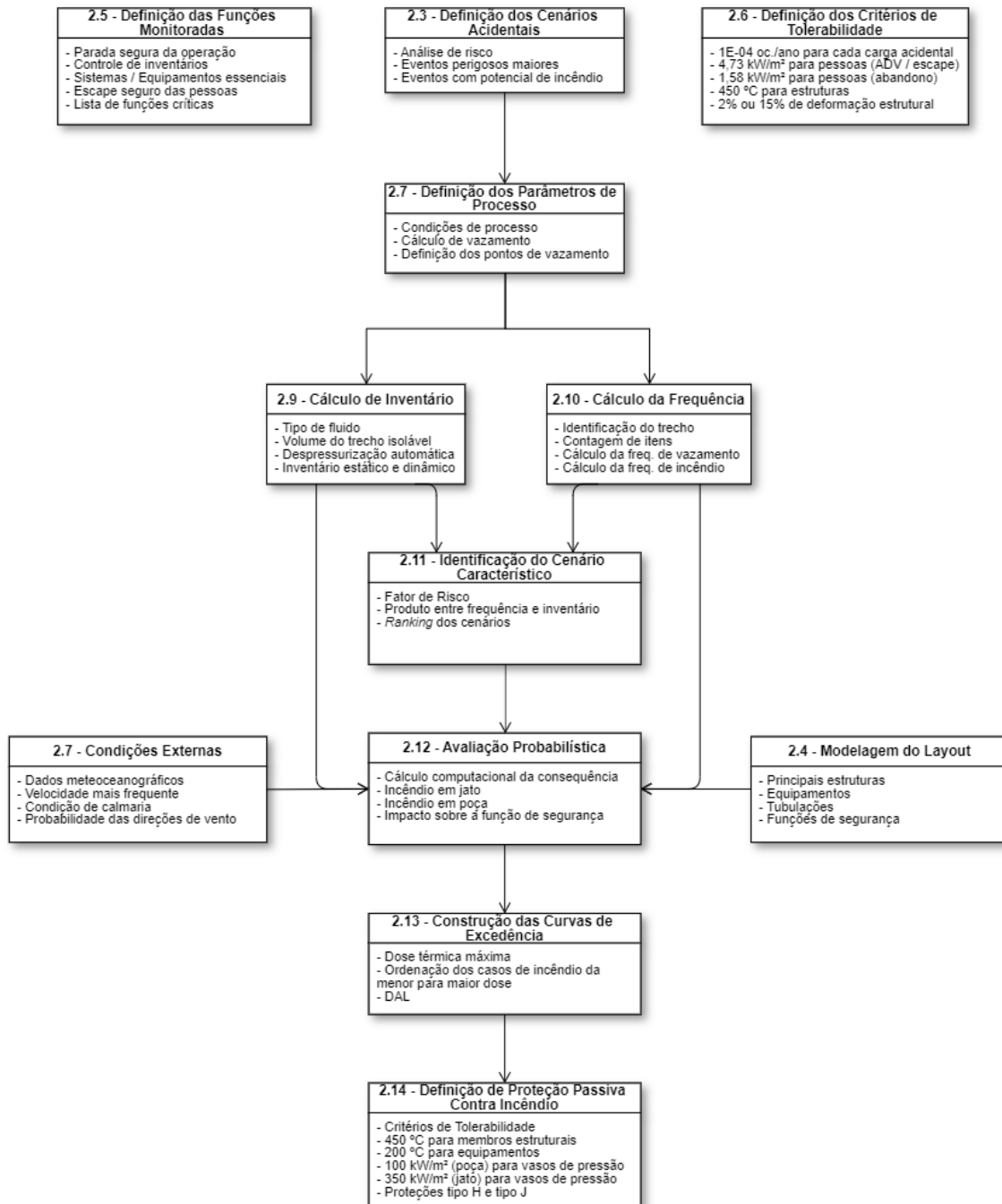
Por se tratar de um guia técnico para auxiliar o desenvolvimento de estudos de incêndio na indústria, no desenvolvimento da metodologia, capítulo 2, foram destacados os itens mais importantes desse tipo de estudo. Para tal, foram apresentados a motivação, o objetivo e as possíveis abordagens que podem ser selecionadas para cada tópico ao longo do texto. Além disso, exemplos e ilustrações gráficas foram apresentadas para demonstrar comportamentos típicos de sistemas sendo definido valores limites de certos parâmetros aplicados na indústria. Logo, como produto resumido, foi elaborado um fluxograma de atividades destacando os principais tópicos e suas principais respostas.

Com esse fluxo de atividades é possível definir premissas adequadas para cada tipo de atividade, estabelecer marcos contratuais para entrega de cada parte relevante do estudo, organizar atividades multidisciplinares a partir da definição de cada tópico e o mais importante, guiar o profissional durante todo o processo de execução da atividade.

A figura 11 apresenta o fluxograma de atividade, de forma visual e resumida, contendo os itens discutidos neste trabalho necessários para o desenvolvimento de uma análise de incêndio em plantas industriais visando a mitigação das consequências.

Além do fluxograma, durante o trabalho foi desenvolvida uma ferramenta de auxílio, por meio da ferramenta Excel, para estimativa das curvas de despressurização com base nas equações disponíveis na API STD 521 (2020) e TNO Yellow Book (2005). Valores de entrada e imagens das respostas são apresentadas no Apêndice A.

Figura 11 – Fluxograma de atividades para estudos de incêndio



4 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo apresentar um guia técnico para elaboração de estudos de propagação de incêndio para a indústria de óleo e gás com foco em unidades de processamento *offshore*. O conteúdo não se limita a esse tipo de unidade e pode ser aplicado a qualquer tipo de indústria que processe fluidos inflamáveis.

A descrição estrutura um passo a passo para definição de premissas envolvendo diferentes situações e sistema de combate e controle do incêndio. Desta forma leva em consideração os passos abaixo:

1. Visão geral e motivação para elaboração de estudo de incêndio;
2. Tipificação dos cenários de incêndio apropriados para o estudo de incêndio;
3. Identificação dos cenários de incêndio possíveis e principais;
4. Modelagem do layout;
5. Definição das funções de segurança;
6. Definição dos critérios de tolerabilidade;
7. Parâmetros de processo e condições externas a serem considerados;
8. Sistemas de segurança: intertravamento, despressurização, drenagem e dilúvio;
9. Definição de inventários;
10. Definição de frequências acidentais;
11. Identificação do cenário característico;
12. Principais conceitos da avaliação probabilística;
13. Curvas de excedência de carga acidental dimensionante;
14. Definição e conceitos de proteção passiva contra incêndio;
15. Outras medidas de proteção e mitigação do incêndio.

O conteúdo limita-se a guiar a elaboração de estudos de propagação de incêndio ficando ao gestor do estudo estabelecer o nível de detalhamento desejado.

5 REFERÊNCIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14.001: **Sistemas de Gestão Ambiental – Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro, 2015.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API RP 14C: Recommended Practice for Design, Installation, and Testing of Basic Surface Safety Systems for Offshore Production Platforms**. 7 ed. 2001.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API RP 14G: Recommended Practice for Fire Prevention and Control on Fixed Open-type Offshore Production Platforms**. 4 ed. 2007.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API STANDARD 521: Pressure-relieving and Depressuring Systems**. 7 ed. 2020.

BAKKE, J.R.; HANSEN, O.R. **Probabilistic Analysis Of Gas Explosion Loads**. FABIG Newsletter, Issue No 34, January 2003.

BARCELOS, J. M. (2018) **Comparação de Simulações CFD em Regimes Estacionário e Transiente para Alocação de Sensores de Gases Inflamáveis em Unidade de Processamento de Petróleo Offshore**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

CROWL, D. A.; LOUVAR, J. F. **Chemical Process Safety – Fundamentals with Applications**. 2ª Edição, Prentice Hall PTR, Estados Unidos, 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION EN 1993-1-1: **EUROCODE 3. Design of Steel Structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings**. Brussels: CEN, 2005.

ISO 22899-1. **Projeto e Aplicação de Proteção Passiva Contra Fogo em Instalações Terrestres**, 2012.

ISO 834-1:1999. **Fire-Resistance Tests – Elements of Building Construction – Part 1: General Requirements**, 2015.

ISO 13702. **Petroleum and natural gas industries – Control and mitigation of fires and explosions on offshore production installations – Requirements and guidelines**, 2 ed., 2015.

ISO 17776:2016. **Petroleum and natural gas industries — Offshore production installations — Major accident hazard management during the design of new installations**, 2016.

MORAES, G. (2013), **Sistema de Gestão de Risco (Vol. Volume 2)**, Rio de Janeiro, Gerenciamento Verde Editora.

NORSOK. NORWEGIAN TECHNOLOGY STANDARDS INSTITUTION. **NORSOK Z-013: Risk and Emergency Preparedness Analysis**. Rev. 2. Lysaker (Noruega), 2001.

OGP Risk Assessment Data Directory. **Ignition Probabilities**. Report No. 434 – 6.1, 2010.

SCANDPOWER RISK MANAGEMENT AS, **Guidelines for the Protection of Pressurised Systems Exposed to Fire**. 2004.

TNO. The Netherlands Organization of Applied Scientific Research. Guidelines for Quantitative Risk Assessment – **Methods for the Calculation of Physical Effects “Yellow Book”**. 3ed. The Hague, 2005.

Sites visitados:

BIGI, S. (2019) - Portal SMS – Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=RBqhGs9cLes> (publicado em 14 de Janeiro de 2019).

APÊNDICE A

Nesta seção são apresentados os valores de entrada para os cálculos de depressurização considerando a falta do sistema de depressurização e a atuação do sistema de depressurização pela abertura de válvula BDV.

Tabela A-1: Dados de entrada para cálculo da depressurização

Parâmetro	Valor
Temperatura interna [°C]	40.00
Pressão interna [bar a]	60.00
Temperatura Ambiente [°C]	23.90
Pressão Atm [bar]	1.01
R [J/kmol.K]	8314.41
Diâmetro do Orifício [mm]	26.00
Coeficiente de Descarga do Furo	0.62
Inventário Estático [m³]	57.57
Inventário Dinâmico [m³]	62.59
Dt [s]	10.00
MW [kg/kmol]	25.89
ri [kg/m³]	55.75
Zi	1.07
ki	1.28
Área [m²]	5.31E-04
Massa Dinâmica [kg]	3489.81
Vazão Inicial [kg/s]	4.00
Massa Estática [kg]	3209.81
Diâmetro do Orifício BDV [mm]	26.35
Coeficiente de Descarga da BDV	0.95
Delay de abertura [s]	70.00
Tempo de Detecção [s]	25.00
Tempo de fechamento da SDV [s]	45.00

Quadro A-1 – Vazamento sem depressurização ao longo do tempo

VAZAMENTO SEM BDV																					
n	t[s]	t [min]	P [bar]	Pt [bar]	Fluxo Coeficiente	Coef. Escalon.	Q [kg/s]	p [kg/m³]	m [kg]	m [kg]	T [K]	T [K]	Z	ADDITIONAL							
														k	Cp [J/(kg.K)]	Z(0-1)	Z(0-1)	(n-1)(2)	(n-1)(3)	(n-1)(4)	(n-1)(5)
0.00	0.00	0.00	60.00	60.00	Sim	1.00	4.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	313.15	1.07	1.28	14.55	7.06	0.88	1.14	8.06	0.22	4.53
1.00	10.00	0.17	60.00	60.00	Sim	1.00	4.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	313.15	1.07	1.28	14.55	7.06	0.88	1.14	8.06	0.22	4.53
2.00	20.00	0.33	60.00	60.00	Sim	1.00	4.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	313.15	1.07	1.28	14.55	7.06	0.88	1.14	8.06	0.22	4.53
3.00	30.00	0.50	60.00	60.00	Sim	1.00	4.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	313.15	1.07	1.28	14.55	7.06	0.88	1.14	8.06	0.22	4.53
4.00	40.00	0.67	60.00	60.00	Sim	1.00	4.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	313.15	1.07	1.28	14.55	7.06	0.88	1.14	8.06	0.22	4.53
5.00	50.00	0.83	60.00	60.00	Sim	1.00	4.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	313.15	1.07	1.28	14.55	7.06	0.88	1.14	8.06	0.22	4.53
6.00	60.00	1.00	60.00	60.00	Sim	1.00	4.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	313.15	1.07	1.28	14.55	7.06	0.88	1.14	8.06	0.22	4.53
7.00	70.00	1.17	60.00	59.31	Sim	1.00	4.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	312.35	1.07	1.28	14.55	7.06	0.88	1.14	8.06	0.22	4.53
8.00	80.00	1.33	59.31	58.45	Sim	1.00	3.96	55.29	3449.81	3410.20	312.35	311.34	1.07	1.28	14.55	7.06	0.88	1.14	8.06	0.22	4.53
9.00	90.00	1.50	58.45	57.55	Sim	1.00	3.91	54.70	3410.20	3371.09	311.34	310.27	1.07	1.28	14.51	7.03	0.88	1.14	8.03	0.22	4.52
10.00	100.00	1.67	57.55	56.65	Sim	1.00	3.86	54.09	3371.09	3332.49	310.27	309.19	1.07	1.28	14.49	7.02	0.88	1.14	8.02	0.22	4.51
11.00	110.00	1.83	56.65	55.76	Sim	1.00	3.81	53.47	3332.49	3294.02	309.19	308.11	1.07	1.28	14.47	7.01	0.88	1.14	8.00	0.22	4.50
12.00	120.00	2.00	55.76	54.89	Sim	1.00	3.76	52.86	3294.02	3256.83	308.11	307.04	1.07	1.28	14.44	6.99	0.87	1.14	7.99	0.22	4.49
13.00	130.00	2.17	54.89	54.04	Sim	1.00	3.71	52.25	3256.83	3219.73	307.04	305.96	1.07	1.28	14.42	6.98	0.87	1.14	7.98	0.22	4.48
14.00	140.00	2.33	54.04	53.20	Sim	1.00	3.66	51.66	3219.73	3183.17	305.96	304.90	1.06	1.28	14.40	6.96	0.87	1.14	7.96	0.22	4.48
15.00	150.00	2.50	53.20	52.37	Sim	1.00	3.61	51.07	3183.17	3147.08	304.90	303.83	1.06	1.28	14.37	6.95	0.87	1.14	7.95	0.22	4.47
16.00	160.00	2.67	52.37	51.56	Sim	1.00	3.56	50.49	3147.08	3111.47	303.83	302.77	1.06	1.28	14.35	6.93	0.87	1.14	7.93	0.22	4.47
17.00	170.00	2.83	51.56	50.77	Sim	1.00	3.51	49.92	3111.47	3076.33	302.77	301.72	1.06	1.28	14.33	6.92	0.87	1.14	7.92	0.22	4.46
18.00	180.00	3.00	50.77	49.98	Sim	1.00	3.47	49.36	3076.33	3041.65	301.72	300.67	1.06	1.28	14.31	6.91	0.87	1.14	7.91	0.22	4.46
19.00	190.00	3.17	49.98	49.22	Sim	1.00	3.42	48.80	3041.65	3007.44	300.67	299.62	1.06	1.28	14.28	6.89	0.87	1.15	7.89	0.22	4.45
20.00	200.00	3.33	49.22	48.46	Sim	1.00	3.38	48.25	3007.44	2973.67	299.62	298.58	1.06	1.28	14.26	6.88	0.87	1.15	7.88	0.23	4.44
21.00	210.00	3.50	48.46	47.72	Sim	1.00	3.33	47.71	2973.67	2940.34	298.58	297.54	1.06	1.28	14.24	6.87	0.87	1.15	7.87	0.23	4.44
22.00	220.00	3.67	47.72	46.99	Sim	1.00	3.29	47.17	2940.34	2907.48	297.54	296.51	1.06	1.28	14.22	6.86	0.87	1.15	7.86	0.23	4.44
23.00	230.00	3.83	46.99	46.27	Sim	1.00	3.25	46.64	2907.48	2875.00	296.51	295.48	1.06	1.28	14.20	6.84	0.87	1.15	7.84	0.23	4.42
24.00	240.00	4.00	46.27	45.57	Sim	1.00	3.20	46.12	2875.00	2842.96	295.48	294.46	1.06	1.28	14.18	6.83	0.87	1.15	7.83	0.23	4.41
25.00	250.00	4.17	45.57	44.88	Sim	1.00	3.16	45.61	2842.96	2811.35	294.46	293.44	1.06	1.28	14.15	6.81	0.87	1.15	7.81	0.23	4.41
26.00	260.00	4.33	44.88	44.20	Sim	1.00	3.12	45.10	2811.35	2780.14	293.44	292.42	1.06	1.28	14.13	6.80	0.87	1.15	7.80	0.23	4.40
27.00	270.00	4.50	44.20	43.53	Sim	1.00	3.08	44.60	2780.14	2749.34	292.42	291.41	1.06	1.28	14.11	6.79	0.87	1.15	7.79	0.23	4.39
28.00	280.00	4.67	43.53	42.87	Sim	1.00	3.04	44.10	2749.34	2718.94	291.41	290.40	1.06	1.28	14.09	6.78	0.87	1.15	7.78	0.23	4.39
29.00	290.00	4.83	42.87	42.23	Sim	1.00	3.00	43.62	2718.94	2688.99	290.40	289.40	1.05	1.30	14.07	6.76	0.87	1.15	7.76	0.23	4.38
30.00	300.00	5.00	42.23	41.59	Sim	1.00	2.96	43.13	2688.99	2659.31	289.40	288.40	1.05	1.30	14.05	6.75	0.87	1.15	7.75	0.23	4.37
31.00	310.00	5.17	41.59	40.97	Sim	1.00	2.92	42.66	2659.31	2630.07	288.40	287.40	1.05	1.30	14.03	6.73	0.87	1.15	7.73	0.23	4.37
32.00	320.00	5.33	40.97	40.36	Sim	1.00	2.89	42.19	2630.07	2601.21	287.40	286.41	1.05	1.30	14.01	6.72	0.87	1.15	7.72	0.23	4.37
33.00	330.00	5.50	40.36	39.75	Sim	1.00	2.85	41.73	2601.21	2572.73	286.41	285.42	1.05	1.30	13.99	6.71	0.87	1.15	7.71	0.23	4.35
34.00	340.00	5.67	39.75	39.16	Sim	1.00	2.81	41.27	2572.73	2544.56	285.42	284.44	1.05	1.30	13.97	6.69	0.87	1.15	7.69	0.23	4.35
35.00	350.00	5.83	39.16	38.58	Sim	1.00	2.78	40.82	2544.56	2516.81	284.44	283.46	1.05	1.30	13.95	6.68	0.87	1.15	7.68	0.23	4.34
36.00	360.00	6.00	38.58	38.01	Sim	1.00	2.74	40.37	2516.81	2489.40	283.46	282.48	1.05	1.30	13.92	6.67	0.87	1.15	7.67	0.23	4.33
37.00	370.00	6.17	38.01	37.44	Sim	1.00	2.71	39.93	2489.40	2462.33	282.48	281.51	1.05	1.30	13.90	6.66	0.87	1.15	7.66	0.23	4.33
38.00	380.00	6.33	37.44	36.89	Sim	1.00	2.67	39.50	2462.33	2435.60	281.51	280.54	1.05	1.30	13.88	6.65	0.87	1.15	7.65	0.23	4.32
39.00	390.00	6.50	36.89	36.35	Sim	1.00	2.64	39.07	2435.60	2409.22	280.54	279.57	1.05	1.30	13.86	6.63	0.87	1.15	7.63	0.23	4.32
40.00	400.00	6.67	36.35	35.81	Sim	1.00	2.61	38.64	2409.22	2383.17	279.57	278.61	1.05	1.30	13.84	6.62	0.87	1.15	7.62	0.23	4.31
41.00	410.00	6.83	35.81	35.28	Sim	1.00	2.57	38.23	2383.17	2357.44	278.61	277.65	1.05	1.30	13.82	6.61	0.87	1.15	7.61	0.23	4.30
42.00	420.00	7.00	35.28	34.77	Sim	1.00	2.54	37.81	2357.44	2332.05	277.65	276.70	1.05	1.30	13.81	6.60	0.87	1.15	7.60	0.23	4.29
43.00	430.00	7.17	34.77	34.26	Sim	1.00	2.51	37.40	2332.05	2306.97	276.70	275.75	1.05	1.30	13.78	6.58	0.87	1.15	7.58	0.23	4.29
44.00	440.00	7.33	34.26	33.76	Sim	1.00	2.48	37.00	2306.97	2282.10	275.75	274.81	1.05	1.30	13.76	6.57	0.87	1.15	7.57	0.23	4.28
45.00	450.00	7.50	33.76	33.26	Sim	1.00	2.45	36.60	2282.10	2257.75	274.81	273.86	1.05	1.30	13.75	6.56	0.87	1.15	7.56	0.23	4.28
46.00	460.00	7.67	33.26	32.78	Sim	1.00	2.41	36.21	2257.75	2233.60	273.86	272.92	1.04	1.31	13.72	6.54	0.87	1.14	7.54	0.23	4.27
47.00	470.00	7.83	32.78	32.30	Sim	1.00	2.38	35.82	2233.60	2209.75	272.92	271.99	1.04	1.31	13.69	6.53	0.87	1.15	7.53	0.23	4.27
48.00	480.00	8.00	32.30	31.83	Sim	1.00	2.35	35.44	2209.75	2186.20	271.99	271.06	1.04	1.31	13.68	6.52	0.87	1.15	7.52	0.23	4.26
49.00	490.00	8.17	31.83	31.37	Sim	1.00	2.33	35.06	2186.20	2162.95	271.06	270.13	1.04	1.31	13.66	6.51	0.87	1.15	7.51	0.23	4.26
50.00	500.00	8.33	31.37	30.92	Sim	1.00	2.30	34.69	2162.95	2139.98	270.13	269.20	1.04	1.31	13.65	6.49	0.87	1.15	7.49	0.24	4.25
51.00	510.00	8.50	30.92	30.47	Sim	1.00	2.27	34.32	2139.98	2117.29	269.20	268.32	1.04	1.31	13.63	6.48	0.87	1.15	7.48	0.24	4.24
52.00	520.00	8.67	30.47	30.03	Sim	1.00	2.24	33.96	2117.29	2094.89	268.32	267.37	1.04	1.31	13.62	6.47	0.87	1.15	7.47	0.24	4.24
53.00	530.00	8.83	30.03	29.60	Sim	1.00	2.21	33.60	2094.89	2072.76	267.37	266.43	1.04	1.31	13.59	6.46	0.87	1.15	7.46	0.24	4.23
54.00	540.00	9.00	29.60	29.18	Sim	1.00	2.19	33.24	2072.76	2050.91	266.43	265.54	1.04	1.31	13.57	6.45	0.87	1.16	7.45	0.24	4.22
55.00	550.00	9.17	29.18	28.76	Sim	1.00	2.16	32.89	2050.91	2029.33	265.54	264.68	1.04	1.31	13.55	6.43	0.87	1.16	7.43	0.24	4.22
56.00	560.00	9.33																			

VAZAMENTO SEM BDV																					
n	t[s]	t [min]	P [bar]	Pt [bar]	Fluxo Coeficiente	Coef. Escalon.	Q [kg/s]	p [kg/m³]	m [kg]	m [kg]	T [K]	T [K]	Z	AUXILIAR							
														k	Cp [kJ/kg.K]	Z(0-1)	Z(1-2)	(K-1)2	(K-1)2(1-2)	(K-1)2K	(K-1)2K
64.00	640.00	10.67	25.65	25.29	Sim	1.00	1.93	29.92	1850.85	1846.55	257.50	256.62	1.04	1.32	13.38	633.1	0.06	1.16	7.33	0.24	4.16
65.00	650.00	10.83	25.81	25.45	Sim	1.00	1.89	29.61	1846.52	1842.22	256.62	255.74	1.04	1.32	13.38	632.1	0.06	1.16	7.32	0.24	4.16
66.00	660.00	11.00	24.93	24.58	Sim	1.00	1.88	29.31	1827.46	1823.16	255.75	254.88	1.04	1.32	13.84	631.1	0.06	1.16	7.31	0.24	4.15
67.00	670.00	11.17	24.55	24.23	Sim	1.00	1.86	29.00	1808.59	1804.29	254.88	254.01	1.04	1.32	13.83	630.06	0.06	1.16	7.30	0.24	4.15
68.00	680.00	11.33	24.17	23.84	Sim	1.00	1.84	28.70	1789.65	1785.35	254.01	253.14	1.03	1.32	13.84	629.06	0.06	1.16	7.29	0.24	4.14
69.00	690.00	11.50	23.89	23.56	Sim	1.00	1.82	28.41	1771.54	1767.25	253.15	252.29	1.03	1.32	13.89	627.06	0.06	1.16	7.27	0.24	4.14
70.00	700.00	11.67	23.56	23.23	Sim	1.00	1.80	28.12	1753.35	1749.05	252.29	251.43	1.03	1.32	13.97	626.06	0.06	1.16	7.26	0.24	4.14
71.00	710.00	11.83	23.23	22.90	Sim	1.00	1.78	27.83	1735.16	1730.86	251.43	250.57	1.03	1.32	13.98	625.06	0.06	1.16	7.25	0.24	4.14
72.00	720.00	12.00	22.90	22.57	Sim	1.00	1.77	27.54	1716.97	1712.67	250.57	249.72	1.03	1.32	13.98	624.06	0.06	1.16	7.24	0.24	4.14
73.00	730.00	12.17	22.59	22.27	Sim	1.00	1.73	27.26	1700.07	1695.78	249.72	248.88	1.03	1.32	13.92	623.06	0.06	1.16	7.23	0.24	4.11
74.00	740.00	12.33	22.27	21.97	Sim	1.00	1.71	26.98	1682.73	1678.43	248.88	248.03	1.03	1.32	13.92	622.06	0.06	1.16	7.22	0.24	4.11
75.00	750.00	12.50	21.97	21.66	Sim	1.00	1.69	26.69	1665.40	1661.10	248.03	247.18	1.03	1.32	13.91	621.06	0.06	1.16	7.21	0.24	4.11
76.00	760.00	12.67	21.66	21.36	Sim	1.00	1.67	26.44	1648.67	1644.37	247.18	246.33	1.03	1.32	13.16	620.06	0.06	1.16	7.20	0.24	4.10
77.00	770.00	12.83	21.34	21.07	Sim	1.00	1.65	26.17	1631.95	1627.65	246.33	245.51	1.03	1.32	13.15	618.06	0.06	1.16	7.18	0.24	4.09
78.00	780.00	13.00	21.07	20.79	Sim	1.00	1.63	25.90	1615.22	1610.92	245.51	244.69	1.03	1.32	13.15	617.06	0.06	1.16	7.17	0.24	4.09
79.00	790.00	13.17	20.79	20.49	Sim	1.00	1.61	25.65	1599.08	1594.78	244.69	243.85	1.03	1.32	13.11	616.06	0.06	1.16	7.16	0.23	4.08
80.00	800.00	13.33	20.49	20.21	Sim	1.00	1.60	25.38	1582.84	1578.54	243.85	243.03	1.03	1.32	13.09	615.06	0.06	1.16	7.15	0.23	4.08
81.00	810.00	13.50	20.21	19.93	Sim	1.00	1.58	25.13	1566.99	1562.69	243.03	242.20	1.03	1.32	13.04	614.06	0.06	1.16	7.14	0.23	4.07
82.00	820.00	13.67	19.93	19.65	Sim	1.00	1.56	24.88	1551.23	1546.93	242.20	241.37	1.03	1.32	13.04	613.06	0.06	1.16	7.13	0.23	4.07
83.00	830.00	13.83	19.66	19.39	Sim	1.00	1.54	24.63	1535.65	1531.35	241.37	240.57	1.03	1.32	13.04	612.06	0.06	1.16	7.12	0.23	4.06
84.00	840.00	14.00	19.39	19.12	Sim	1.00	1.52	24.43	1520.26	1515.96	240.57	239.75	1.03	1.32	13.03	611.06	0.06	1.16	7.11	0.23	4.05
85.00	850.00	14.17	19.12	18.84	Sim	1.00	1.50	24.18	1505.04	1500.74	239.75	238.93	1.03	1.32	13.03	610.06	0.06	1.16	7.10	0.23	4.05
86.00	860.00	14.33	18.86	18.61	Sim	1.00	1.49	23.89	1490.00	1485.74	238.94	238.13	1.03	1.32	12.99	609.06	0.06	1.16	7.09	0.23	4.04
87.00	870.00	14.50	18.61	18.35	Sim	1.00	1.47	23.65	1475.14	1470.88	238.13	237.33	1.03	1.32	12.97	608.06	0.06	1.16	7.08	0.23	4.04
88.00	880.00	14.67	18.35	18.11	Sim	1.00	1.45	23.42	1460.45	1456.19	237.33	236.52	1.03	1.32	12.96	607.06	0.06	1.16	7.07	0.23	4.03
89.00	890.00	14.83	18.11	17.86	Sim	1.00	1.44	23.18	1445.94	1441.68	236.52	235.72	1.03	1.32	12.94	606.06	0.06	1.16	7.06	0.23	4.03
90.00	900.00	15.00	17.86	17.62	Sim	1.00	1.42	22.96	1431.59	1427.33	235.72	234.93	1.03	1.32	12.92	605.06	0.06	1.16	7.05	0.23	4.02
91.00	910.00	15.17	17.62	17.38	Sim	1.00	1.40	22.73	1417.40	1413.13	234.93	234.13	1.03	1.32	12.91	604.06	0.06	1.17	7.04	0.23	4.02
92.00	920.00	15.33	17.38	17.15	Sim	1.00	1.39	22.50	1403.38	1399.13	234.13	233.33	1.03	1.32	12.89	603.06	0.06	1.17	7.03	0.23	4.02
93.00	930.00	15.50	17.17	16.92	Sim	1.00	1.37	22.28	1389.53	1385.28	233.34	232.55	1.03	1.32	12.87	602.06	0.06	1.17	7.02	0.23	4.01
94.00	940.00	15.67	16.92	16.69	Sim	1.00	1.35	22.06	1375.83	1371.57	232.55	231.77	1.03	1.32	12.86	600.06	0.06	1.17	7.00	0.23	4.00
95.00	950.00	15.83	16.69	16.46	Sim	1.00	1.34	21.84	1362.29	1358.03	231.77	230.99	1.03	1.32	12.84	599.06	0.06	1.17	6.99	0.23	4.00
96.00	960.00	16.00	16.46	16.23	Sim	1.00	1.32	21.63	1348.93	1344.67	230.99	230.21	1.03	1.32	12.83	598.06	0.06	1.17	6.98	0.23	3.99
97.00	970.00	16.17	16.24	16.03	Sim	1.00	1.31	21.42	1335.68	1331.42	230.21	229.43	1.03	1.32	12.81	597.06	0.06	1.17	6.97	0.23	3.99
98.00	980.00	16.33	16.03	15.81	Sim	1.00	1.29	21.21	1322.60	1318.34	229.43	228.65	1.03	1.32	12.79	596.06	0.06	1.17	6.96	0.23	3.99
99.00	990.00	16.50	15.81	15.59	Sim	1.00	1.28	21.00	1309.67	1305.41	228.65	227.87	1.03	1.32	12.78	595.06	0.06	1.17	6.95	0.23	3.98
100.00	1000.00	16.67	15.60	15.39	Sim	1.00	1.26	20.79	1296.89	1292.64	227.88	227.12	1.02	1.34	12.76	594.06	0.06	1.17	6.94	0.23	3.97
101.00	1010.00	16.83	15.39	15.19	Sim	1.00	1.25	20.59	1284.26	1279.97	227.12	226.35	1.02	1.34	12.74	593.06	0.06	1.17	6.93	0.23	3.97
102.00	1020.00	17.00	15.19	14.99	Sim	1.00	1.23	20.39	1271.76	1267.46	226.35	225.57	1.02	1.34	12.73	592.06	0.06	1.17	6.92	0.23	3.96
103.00	1030.00	17.17	14.99	14.79	Sim	1.00	1.22	20.19	1259.41	1255.11	225.59	224.83	1.02	1.34	12.71	591.06	0.06	1.17	6.91	0.23	3.96
104.00	1040.00	17.33	14.79	14.59	Sim	1.00	1.21	20.00	1247.21	1242.93	224.83	224.07	1.02	1.34	12.70	590.06	0.06	1.17	6.90	0.23	3.95
105.00	1050.00	17.50	14.59	14.40	Sim	1.00	1.19	19.80	1235.14	1230.87	224.07	223.31	1.02	1.34	12.68	589.06	0.06	1.17	6.89	0.23	3.95
106.00	1060.00	17.67	14.40	14.21	Sim	1.00	1.18	19.61	1223.20	1218.93	223.31	222.55	1.02	1.34	12.66	588.06	0.06	1.17	6.88	0.23	3.94
107.00	1070.00	17.83	14.21	14.02	Sim	1.00	1.17	19.42	1211.40	1207.14	222.56	221.81	1.02	1.34	12.65	587.06	0.06	1.17	6.87	0.23	3.94
108.00	1080.00	18.00	14.02	13.84	Sim	1.00	1.15	19.24	1199.74	1195.48	221.81	221.07	1.02	1.34	12.63	586.06	0.06	1.17	6.86	0.23	3.93
109.00	1090.00	18.17	13.84	13.65	Sim	1.00	1.14	19.05	1188.20	1183.94	221.07	220.32	1.02	1.34	12.62	585.06	0.06	1.17	6.85	0.23	3.93
110.00	1100.00	18.33	13.65	13.47	Sim	1.00	1.13	18.87	1176.80	1172.55	220.32	219.58	1.02	1.34	12.60	584.06	0.06	1.17	6.84	0.23	3.92
111.00	1110.00	18.50	13.47	13.30	Sim	1.00	1.12	18.69	1165.52	1161.27	219.58	218.84	1.02	1.34	12.59	583.06	0.06	1.17	6.83	0.26	3.92
112.00	1120.00	18.67	13.30	13.12	Sim	1.00	1.10	18.51	1154.37	1150.12	218.84	218.11	1.02	1.34	12.57	582.06	0.06	1.17	6.83	0.26	3.91
113.00	1130.00	18.83	13.12	12.94	Sim	1.00	1.09	18.33	1143.33	1139.08	218.11	217.37	1.02	1.34	12.56	581.06	0.06	1.17	6.82	0.26	3.91
114.00	1140.00	19.00	12.95	12.78	Sim	1.00	1.08	18.16	1132.44	1128.17	217.37	216.64	1.02	1.34	12.54	581.06	0.06	1.17	6.81	0.26	3.90
115.00	1150.00	19.17	12.78	12.62	Sim	1.00	1.07	17.98	1121.66	1117.40	216.64	215.91	1.02	1.32	12.52	580.06	0.06	1.17	6.80	0.26	3.90
116.00	1160.00	19.33	12.62	12.45	Sim	1.00	1.05	17.81	1111.00	1106.75	215.91	215.17	1.02	1.32	12.51	579.06	0.06	1.17	6.79	0.26	3.89
117.00	1170.00	19.50	12.45	12.29	Sim	1.00	1.04	17.64	1100.46	1096.04	215.19	214.47	1.02	1.32	12.49	578.06	0.06	1.17	6.78	0.26	3.88
118.00	1180.00	19.67	12.29	12.13	Sim	1.00	1.03	17.48	1090.04	1085.43	214.47	213.75	1.02	1.32	12.48	577.06	0.06	1.17	6.77	0.26	3.88
119.00	1190.00</																				

VAZAMENTO SEM BDV													
n	t[s]	t [min]	P1 [bar]	P2 [bar]	Fluxo Calorífr	Coef. Escalona	Q [kg/s]	p [kg/m²]	m [kg]	mf [kg]	T1 [C]	T2 [C]	Z
1280	1280.00	21.33	10.79	10.66	Sim	1.00	0.92	15.90	991.92	992.69	207.38	206.68	1.02
1290	1290.00	21.50	10.86	10.72	Sim	1.00	0.91	15.76	982.89	983.67	206.68	205.99	1.02
1300	1300.00	21.67	10.52	10.39	Sim	1.00	0.90	15.61	971.57	964.54	205.99	205.30	1.02
1310	1310.00	21.83	10.39	10.25	Sim	1.00	0.89	15.46	964.54	955.61	205.30	204.61	1.02
1320	1320.00	22.00	10.25	10.12	Sim	1.00	0.88	15.32	955.61	946.77	204.61	203.99	1.02
1330	1330.00	22.17	10.12	9.99	Sim	1.00	0.87	15.18	946.77	938.03	203.99	203.24	1.02
1340	1340.00	22.33	9.99	9.87	Sim	1.00	0.86	15.04	938.03	929.39	203.24	202.56	1.02
1350	1350.00	22.50	9.87	9.74	Sim	1.00	0.85	14.90	929.39	920.84	202.56	201.89	1.02
1360	1360.00	22.67	9.74	9.62	Sim	1.00	0.85	14.76	920.84	912.38	201.89	201.21	1.02
1370	1370.00	22.83	9.62	9.50	Sim	1.00	0.84	14.63	912.38	904.02	201.21	200.54	1.02
1380	1380.00	23.00	9.50	9.38	Sim	1.00	0.83	14.49	904.02	895.74	200.54	199.87	1.02
1390	1390.00	23.17	9.38	9.26	Sim	1.00	0.82	14.36	895.74	887.56	199.87	199.20	1.02
1400	1400.00	23.33	9.26	9.14	Sim	1.00	0.81	14.23	887.56	879.46	199.20	198.53	1.02
1410	1410.00	23.50	9.14	9.03	Sim	1.00	0.80	14.10	879.46	871.44	198.53	197.87	1.02
1420	1420.00	23.67	9.03	8.91	Sim	1.00	0.79	13.97	871.44	863.52	197.87	197.21	1.02
1430	1430.00	23.83	8.91	8.80	Sim	1.00	0.78	13.84	863.52	855.68	197.21	196.55	1.02
1440	1440.00	24.00	8.80	8.68	Sim	1.00	0.78	13.72	855.68	847.92	196.55	195.98	1.02
1450	1450.00	24.17	8.68	8.58	Sim	1.00	0.77	13.59	847.92	840.24	195.98	195.24	1.02
1460	1460.00	24.33	8.58	8.48	Sim	1.00	0.76	13.47	840.24	832.65	195.24	194.59	1.02
1470	1470.00	24.50	8.48	8.37	Sim	1.00	0.75	13.35	832.65	825.14	194.59	193.94	1.02
1480	1480.00	24.67	8.37	8.27	Sim	1.00	0.74	13.23	825.14	817.70	193.94	193.29	1.02
1490	1490.00	24.83	8.27	8.16	Sim	1.00	0.74	13.11	817.70	810.35	193.29	192.64	1.02
1500	1500.00	25.00	8.16	8.06	Sim	1.00	0.73	12.99	810.35	803.07	192.64	192.00	1.02
1510	1510.00	25.17	8.06	7.96	Sim	1.00	0.72	12.87	803.07	795.87	192.00	191.36	1.02
1520	1520.00	25.33	7.96	7.86	Sim	1.00	0.71	12.76	795.87	788.75	191.36	190.72	1.02
1530	1530.00	25.50	7.86	7.77	Sim	1.00	0.70	12.65	788.75	781.70	190.72	190.09	1.02
1540	1540.00	25.67	7.77	7.67	Sim	1.00	0.70	12.53	781.70	774.72	190.09	189.45	1.02
1550	1550.00	25.83	7.67	7.57	Sim	1.00	0.69	12.42	774.72	767.82	189.45	188.82	1.02
1560	1560.00	26.00	7.57	7.48	Sim	1.00	0.68	12.31	767.82	760.99	188.82	188.19	1.02
1570	1570.00	26.17	7.48	7.39	Sim	1.00	0.68	12.20	760.99	754.23	188.19	187.57	1.01
1580	1580.00	26.33	7.39	7.30	Sim	1.00	0.67	12.09	754.23	747.53	187.57	186.82	1.01
1590	1590.00	26.50	7.30	7.21	Sim	1.00	0.66	11.98	747.53	740.93	186.82	186.32	1.01
1600	1600.00	26.67	7.21	7.12	Sim	1.00	0.65	11.88	740.93	734.38	186.32	185.70	1.01
1610	1610.00	26.83	7.12	7.03	Sim	1.00	0.65	11.77	734.38	727.90	185.70	185.08	1.01
1620	1620.00	27.00	7.03	6.95	Sim	1.00	0.64	11.67	727.90	721.49	185.08	184.47	1.01
1630	1630.00	27.17	6.95	6.86	Sim	1.00	0.63	11.57	721.49	715.14	184.47	183.85	1.01
1640	1640.00	27.33	6.86	6.78	Sim	1.00	0.63	11.46	715.14	708.86	183.85	183.24	1.01
1650	1650.00	27.50	6.78	6.70	Sim	1.00	0.62	11.36	708.86	702.65	183.24	182.63	1.01
1660	1660.00	27.67	6.70	6.61	Sim	1.00	0.62	11.25	702.65	696.50	182.63	182.03	1.01
1670	1670.00	27.83	6.61	6.53	Sim	1.00	0.61	11.17	696.50	690.41	182.03	181.42	1.01
1680	1680.00	28.00	6.53	6.45	Sim	1.00	0.60	11.07	690.41	684.39	181.42	180.82	1.01
1690	1690.00	28.17	6.45	6.36	Sim	1.00	0.60	10.97	684.39	678.43	180.82	180.22	1.01
1700	1700.00	28.33	6.36	6.30	Sim	1.00	0.59	10.88	678.43	672.52	180.22	179.62	1.01
1710	1710.00	28.50	6.30	6.22	Sim	1.00	0.58	10.78	672.52	666.68	179.62	179.02	1.01
1720	1720.00	28.67	6.22	6.15	Sim	1.00	0.58	10.69	666.68	660.89	179.02	178.43	1.01
1730	1730.00	28.83	6.15	6.07	Sim	1.00	0.57	10.60	660.89	655.16	178.43	177.84	1.01
1740	1740.00	29.00	6.07	6.00	Sim	1.00	0.57	10.50	655.16	649.52	177.84	177.25	1.01
1750	1750.00	29.17	6.00	5.93	Sim	1.00	0.56	10.41	649.52	643.91	177.25	176.66	1.01
1760	1760.00	29.33	5.93	5.86	Sim	1.00	0.55	10.32	643.91	638.36	176.66	176.07	1.01
1770	1770.00	29.50	5.86	5.78	Sim	1.00	0.55	10.23	638.36	632.87	176.07	175.48	1.01
1780	1780.00	29.67	5.79	5.72	Sim	1.00	0.54	10.13	632.87	627.45	175.48	174.91	1.01
1790	1790.00	29.83	5.72	5.65	Sim	1.00	0.54	10.04	627.45	622.05	174.91	174.33	1.01
1800	1800.00	30.00	5.65	5.58	Sim	1.00	0.53	9.97	622.05	616.73	174.33	173.75	1.01
1810	1810.00	30.17	5.58	5.52	Sim	1.00	0.53	9.89	616.73	611.46	173.75	173.17	1.01
1820	1820.00	30.33	5.52	5.45	Sim	1.00	0.52	9.80	611.46	606.24	173.17	172.60	1.01
1830	1830.00	30.50	5.45	5.38	Sim	1.00	0.52	9.72	606.24	601.07	172.60	172.03	1.01
1840	1840.00	30.67	5.38	5.32	Sim	1.00	0.51	9.64	601.07	595.96	172.03	171.46	1.01
1850	1850.00	30.83	5.32	5.26	Sim	1.00	0.51	9.55	595.96	590.89	171.46	170.89	1.01
1860	1860.00	31.00	5.26	5.20	Sim	1.00	0.50	9.47	590.89	585.88	170.89	170.33	1.01
1870	1870.00	31.17	5.20	5.13	Sim	1.00	0.50	9.39	585.88	580.92	170.33	169.76	1.01
1880	1880.00	31.33	5.13	5.07	Sim	1.00	0.49	9.31	580.92	576.01	169.76	169.20	1.01
1890	1890.00	31.50	5.07	5.01	Sim	1.00	0.49	9.23	576.01	571.14	169.20	168.64	1.01
1900	1900.00	31.67	5.01	4.95	Sim	1.00	0.48	9.16	571.14	566.33	168.64	168.09	1.01
1910	1910.00	31.83	4.95	4.90	Sim	1.00	0.48	9.08	566.33	561.56	168.09	167.53	1.01

VAZAMENTO SEM BDV																					
n	t[s]	t [min]	P1 [bar]	P2 [bar]	Fluxo Calorífr	Coef. Escalona	Q [kg/s]	p [kg/m²]	m [kg]	mf [kg]	T1 [C]	T2 [C]	Z	AUXILIAR							
														k	Cp [kJ/kg.K]	210-1	210-1-1	(n-1)2	(n-1)0-1-1	(n-1)0	(n-1)0-1
1920	1920.00	32.00	4.90	4.84	Sim	1.00	0.47	9.00	561.56	556.05	167.53	166.95	1.01	1.39	11.50	5.16	0.84	1.19	6.16	0.28	3.58
1930	1930.00	32.17	4.84	4.78	Sim	1.00	0.47	8.93	556.05	551.57	166.95	166.43	1.01	1.39	11.47	5.16	0.83	1.19	6.14	0.28	3.57
1940	1940.00	32.33	4.78	4.73	Sim	1.00	0.46	8.85	551.57	547.05	166.43	165.88	1.01	1.39	11.47	5.14	0.84	1.19	6.14	0.28	3.57
1950	1950.00	32.50	4.73	4.67	Sim	1.00	0.46	8.78	547.05	542.57	165.88	165.33	1.01	1.39	11.46	5.14	0.84	1.19	6.14	0.28	3.57
1960	1960.00	32.67	4.67	4.62	Sim	1.00	0.45	8.70	542.57	538.07	165.33	164.78	1.01	1.39	11.45	5.13	0.84	1.19	6.13	0.28	3.56
1970	1970.00	32.83	4.62	4.56	Sim	1.00	0.45	8.63	538.07	533.59	164.78	164.24	1.01	1.39	11.44	5.12	0.84	1.20	6.12	0.28	3.56
1980	1980.00	33.00	4.56	4.51	Sim	1.00	0.44	8.56	533.59	529.10	164.24	163.70	1.01	1.39	11.43	5.11	0.84	1.20	6.11	0.28	3.56
1990	1990.00	33.17	4.51	4.46	Sim	1.00	0.44	8.49	529.10	524.60	163.70	163.16	1.01	1.39	11.42	5.10	0.84	1.20	6.11	0.28	3.56
2000	2000.00	33.33	4.46	4.40	Sim	1.00	0.44	8.42	524.60	520.10	163.16	162.62	1.01	1.39	11.40	5.10	0.84	1.20	6.10	0.28	3.55
2010	2010.00	33.50	4.40	4.35	Sim	1.00	0.43	8.35	520.10	515.63	162.62	162.09	1.01	1.39	11.39	5.09	0.84	1.20	6.09	0.28	3.55
2020	2020.00	33.67	4.35	4.30	Sim	1.00	0.43	8.28	515.63	511.16	162.09	161.55	1.01	1.39	11.38	5.09	0.84	1.20	6.09	0.28	3.54
2030	2030.00	33.83	4.30	4.25	Sim	1.00	0.42	8.21	511.16	506.71	161.55	160.93	1.01	1.39	11.37	5.08	0.84	1.20	6.08	0.28	3.54
2040	2040.00	34.00	4.25	4.20	Sim	1.00	0.42	8.14	506.71	502.24	161.02	160.49	1.01	1.39	11.36	5.07	0.84	1.20	6.07	0.28	3.54
2050	2050.00	34.17	4.20	4.15	Sim	1.00	0.41	8.08	502.24	497.79	160.49	159.96	1.01	1.39	11.35	5.07	0.84	1.20	6.07	0.28	3.53
2060	2060.00	34.33	4.15	4.11	Sim	1.00	0.41	8.01	497.79	493.32	159.96	159.40	1.01	1.40	11.34	5.06	0.83	1.20	6.06	0.28	3.53
2070	2070.00	34.50	4.11	4.06	Sim	1.00	0.41	7.94	493.32	488.84	159.40	158.91	1.01	1.40	11.33	5.05	0.83	1.20	6.05	0.28	3.53
2080	2080.00	34.67	4.06	4.01	Sim	1.00	0.40	7.88	488.84	484.37	158.91	158.39	1.01	1.40	11.32	5.04	0.83	1.20	6.04	0.28	3.52
2090	2090.00	34.83	4.01	3.97	Sim	1.00	0.40	7.81	484.37	480.00	158.39	157.87	1.01	1.40	11.31	5.04	0.83	1.20	6.04	0.28	3.52
2100	2100.00	35.00	3.97	3.92	Sim	1.00	0.39	7.75	480.00	475.63	157.87	157.29	1.01	1.40	11.30	5.03	0.83	1.20	6.03	0.28	3.51
2110	2110.00	35.17	3.92	3.87	Sim	1.00	0.39	7.69	475.63	471.34	157.33	156.83	1.01	1.40	11.28	5.02	0.83	1.20	6.02	0.28	3.51
2120	2120.00	35.33	3.87	3.83	Sim	1.00	0.39	7.62	471.34	467.07	156.83	156.32	1.01	1.40	11.27	5.02	0.83	1.20	6.02	0.28	3.51
2130	2130.00	35.50	3.83	3.79	Sim	1.00	0.38	7.56	467.07	462.81	156.32	155.81	1.01	1.40	11.27	5.01	0.83	1.20	6.01	0.28	3.50
2140	2140.00	35.67	3.79	3.74	Sim	1.00	0.38	7.50	462.81	458.64	155.81	155.29	1.01	1.40	11.25	5.00	0.83	1.20	6.00	0.28	3.50
2150	2150.00	35.83	3.74	3.70	Sim	1.00	0.38	7.44	458.64	454.57	155.29	154.78	1.01	1.40	11.24	5.00	0.83	1.20	6.00	0.28	3.50
2160	2160.00	36.00	3.70	3.66	Sim	1.00	0.37	7.38	454.57	450.55	154.78	154.28	1.01	1.40	11.23	4.99	0.83	1.20	5.99	0.28	3.49
2170	2170.00	36.17	3.66	3.62	Sim	1.00	0.37	7.32	450.55	446.52	154.28	153.77	1.01	1.40	11.22	4.98	0.83	1.20	5.98	0.28	3.49
2180	2180.00	36.33	3.62	3.57	Sim	1.00	0.37	7.26	446.52	442.50	153.77	153.27	1.01	1.40	11.21	4.98	0.83	1.20	5.98	0.28	3.49
2190	2190.00	36.50	3.57	3.53	Sim	1.00	0.36	7.20	442.50	438.50	153.27	152.76	1.01	1.40	11.20	4.97	0.83	1.20	5.97	0.28	3.49
2200	2200.00	36.67	3.53	3.48	Sim	1.00	0.36	7.14	438.50	434.55	152.76	152.26	1.01	1.40	11.19	4.96	0.83	1.20	5.97	0.28	3.48
2210	2210.00	36.83	3.49	3.45	Sim	1.00	0.36	7.09	434.55	430.62	152.26	151.77	1.01	1.40	11.18	4.96	0.83	1.20	5.96	0.28	3.48
2220	2220.00	37.00	3.45	3.42	Sim	1.00	0.35	7.03	430.62	426.73	151.77	151.27	1.01	1.40	11.17	4.95	0.83	1.20	5.95	0.28	3.48
2230	2230.00	37.17	3.42	3.38	Sim	1.00	0.35	6.97	426.73	422.87	151.27	150.77	1.01	1.40	11.16	4.95	0.83	1.20	5.95	0.28	3.47
2240	2240.00	37.33	3.38	3.34	Sim	1.00	0.34	6.92	422.87	419.05	150.77	150.27	1.01	1.40	11.15	4.94	0.83	1.20	5.94	0.28	3.47
2250	2250.00	37.50	3.34	3.30	Sim	1.00	0.34	6.86	419.05	415.29	150.28	149.79	1.01	1.41	11.14	4.93	0.83	1.20	5.93	0.28	3.47
2260	2260.00	37.67	3.30	3.26	Sim	1.00	0.34	6.81	415.29	411.50	149.79	149.30	1.01	1.41	11.13	4.93	0.83	1.20	5.93	0.28	3.46
2270	2270.00	37.83	3.26	3.23	Sim	1.00	0.34	6.75	411.50	407.74	149.30	148.81	1.01	1.41	11.12	4.92	0.83	1.20	5.92	0.28	3.46
2280	2280.00	38.00	3.23	3.19	Sim	1.00	0.33	6.70	407.74	404.00	148.81	148.32	1.01	1.41	11.11	4.91	0.83	1.20	5.91	0.28	3.46
2290	2290.00	38.17	3.19	3.15	Sim	1.00	0.33	6.64	404.00	400.25	148.32	147.84	1.01	1.41	11.10	4.91	0.83	1.20	5.91	0.28	3.45
2300	2300.00	38.33	3.15	3.12	Sim	1.00	0.33	6.59	400.25	396.52	147.84	147.35	1.01	1.41	11.09	4.90	0.83	1.20	5.90	0.28	3.45
2310	2310.00	38.50	3.12	3.08	Sim	1.00	0.32	6.54	396.52	392.78	147.36	146.88	1.01	1.41	11.08	4.89	0.83	1.20	5.89	0.28	3.45
2320	2320.00	38.67	3.08	3.05	Sim	1.00	0.32	6.48	392.78	389.04	146.88	146.40	1.01	1.41	11.07	4.89	0.83	1.20	5.89	0.28	3.44
2330	2330.00	38.83	3.05	3.02	Sim	1.00	0.32	6.44	389.04	385.30	146.40	145.92	1.01	1.41	11.06	4.88	0.83	1.20	5.88	0.28	3.44
2340	2340.00	39.00	3.02	2.98	Sim	1.00	0.31	6.39	385.30	381.56	145.92	145.43	1.01	1.41	11.05	4.87	0.83	1.20	5.88	0.28	3.44
2350	2350.00	39.17	2.98	2.95	Sim	1.00	0.31	6.34	381.56	377.82	145.44	144.97	1.01	1.41	11.04	4.87	0.83	1.21	5.87	0.28	3.43
2360	2360.00	39.33	2.95	2.92	Sim	1.00	0.31	6.29	377.82	374.07	144.97	144.50	1.01	1.41	11.03	4.86	0.83	1.21	5.86	0.28	3.43
2370	2370.00	39.50	2.92	2.88	Sim	1.00	0.30	6.24	374.07	370.32	144.50	144.02	1.01	1.41	11.02	4.85	0.83	1.21	5.86	0.28	3.43
2380	2380.00	39.67	2.88	2.85	Sim	1.00	0.30	6.19	370.32	366.58	144.03	143.56	1.01	1.41	11.01	4.85	0.83	1.21	5.85	0.28	3.43
2390	2390.00	39.83	2.85	2.82	Sim	1.00	0.30	6.14	366.58	362.81	143.56	143.09	1.01	1.41	11.00	4.85	0.83	1.21	5.85	0.28	3.42
2400	2400.00	40.00	2.82	2.79	Sim	1.00	0.30	6.09	362.81	359.05	143.09	142.62	1.01	1.41	10.99	4.84	0.83	1.21	5.84	0.28	3.42
2410	2410.00	40.17	2.79	2.76	Sim	1.00	0.29	6.04	359.05	355.28	142.62	142.15	1.01	1.41	10.98	4.83	0.83	1.21	5.84	0.28	3.42
2420	2420.00	40.33	2.76	2.73	Sim	1.00	0.29	6.00	355.28	351.51	142.16	141.70	1.01	1.41	10.97	4.83	0.83	1.21	5.83	0.28	3.41
2430	2430.00	40.50	2.73	2.70	Sim	1.00	0.29	5.95	351.51	347.74	141.70	141.24	1.01	1.41	10.96	4.82	0.83	1.21	5.83	0.28	3.41
2440	2440.00	40.67	2.70	2.67	Sim	1.00	0.29	5.90	347.74	343.97	141.24	140.77	1.01	1.41	10.95	4.82	0.83	1.21	5.82	0.28	3.41
2450	2450.00	40.83	2.67	2.64	Sim	1.00	0.28	5.86	343.97	340.20	140.78	140.32	1.01	1.42	10.94	4.81	0.83	1.21	5.81	0.28	3.40
2460	2460.00	41.00	2.64	2.61	Sim	1.00	0.28	5.81	340.20	336.43	140.32	139.86	1.01	1.42	10.93	4.80	0.83	1.21	5.80	0.28	3.40
2470	2470.00	41.17	2.61	2.58	Sim	1.00	0.28	5.77	336.43	332.66	139.86	139.39	1.01	1.42	10.92	4.80	0.83	1.21	5.80	0.28	3.40
2480	2480.00	41.33	2.58	2.55	Sim	1.00	0.28	5.72	332.66	328.89	139.41	138.96	1.01	1.42	10.91	4.79	0.83	1.21	5.79	0.28	3.40
2																					

VAZAMENTO SEM BDV													
n	t[s]	t[min]	P1[bar]	P2[bar]	Fluxo Coef. Correc.	Coef. Emiss.	Q[kg/s]	p[kg/m²]	m[kg]	m[kg]	T1[°C]	T2[°C]	Z
2540	2540.00	42.87	2.36	2.34	Sim	1.00	0.26	5.30	332.74	333.19	133.54	133.40	1.01
2570	2570.00	42.83	2.34	2.31	Sim	1.00	0.25	5.34	333.19	330.66	133.40	134.96	1.01
2580	2580.00	43.00	2.31	2.29	Sim	1.00	0.25	5.30	330.66	328.15	134.96	134.52	1.01
2590	2590.00	43.17	2.29	2.26	Sim	1.00	0.25	5.26	328.15	325.66	134.52	134.09	1.01
2600	2600.00	43.33	2.26	2.24	Sim	1.00	0.24	5.32	328.66	326.15	134.09	133.66	1.01
2610	2610.00	43.50	2.24	2.21	Sim	1.00	0.24	5.18	323.20	320.76	133.65	133.22	1.01
2620	2620.00	43.67	2.21	2.19	Sim	1.00	0.24	5.14	320.76	318.34	133.22	132.79	1.01
2630	2630.00	43.83	2.19	2.17	Sim	1.00	0.24	5.10	318.34	315.94	132.79	132.36	1.01
2640	2640.00	44.00	2.17	2.14	Sim	1.00	0.24	5.06	315.94	313.56	132.36	131.94	1.01
2650	2650.00	44.17	2.14	2.12	Sim	1.00	0.24	5.03	313.56	311.21	131.94	131.51	1.01
2660	2660.00	44.33	2.12	2.10	Sim	1.00	0.23	4.99	311.21	308.88	131.51	131.09	1.01
2670	2670.00	44.50	2.10	2.07	Sim	1.00	0.23	4.95	308.88	306.56	131.09	130.66	1.01
2680	2680.00	44.67	2.07	2.05	Sim	1.00	0.23	4.91	306.56	304.27	130.66	130.24	1.01
2690	2690.00	44.83	2.05	2.03	Sim	1.00	0.23	4.88	304.27	302.00	130.24	129.82	1.01
2700	2700.00	45.00	2.03	2.01	Sim	1.00	0.23	4.84	302.00	299.75	129.82	129.41	1.01
2710	2710.00	45.17	2.01	1.99	Sim	1.00	0.22	4.80	299.75	297.52	129.41	129.99	1.01
2720	2720.00	45.33	1.99	1.97	Sim	1.00	0.22	4.77	297.52	295.31	128.99	128.57	1.01
2730	2730.00	45.50	1.97	1.94	Sim	1.00	0.22	4.73	295.31	293.12	128.57	128.16	1.01
2740	2740.00	45.67	1.94	1.92	Sim	1.00	0.22	4.70	293.12	290.95	128.16	127.75	1.01
2750	2750.00	45.83	1.92	1.90	Não	1.00	0.22	4.66	290.95	288.80	127.75	127.34	1.01
2760	2760.00	46.00	1.90	1.88	Não	1.00	0.21	4.63	288.80	286.67	127.34	126.93	1.01
2770	2770.00	46.17	1.88	1.86	Não	1.00	0.21	4.59	286.67	284.55	126.93	126.52	1.01
2780	2780.00	46.33	1.86	1.84	Não	1.00	0.21	4.56	284.55	282.46	126.52	126.12	1.01
2790	2790.00	46.50	1.84	1.82	Não	1.00	0.21	4.53	282.46	280.39	126.12	125.71	1.01
2800	2800.00	46.67	1.82	1.81	Não	1.00	0.21	4.49	280.39	278.33	125.71	125.31	1.01
2810	2810.00	46.83	1.81	1.79	Não	1.00	0.20	4.46	278.33	276.30	125.31	124.91	1.01
2820	2820.00	47.00	1.79	1.77	Não	1.00	0.20	4.43	276.30	274.29	124.91	124.51	1.01
2830	2830.00	47.17	1.77	1.75	Não	0.99	0.20	4.40	274.29	272.30	124.51	124.12	1.01
2840	2840.00	47.33	1.75	1.73	Não	0.99	0.20	4.36	272.30	270.32	124.12	123.72	1.01
2850	2850.00	47.50	1.73	1.71	Não	0.99	0.20	4.33	270.32	268.37	123.72	123.33	1.01
2860	2860.00	47.67	1.71	1.69	Não	0.99	0.19	4.30	268.37	266.44	123.33	122.94	1.01
2870	2870.00	47.83	1.69	1.68	Não	0.99	0.19	4.27	266.44	264.53	122.94	122.55	1.01
2880	2880.00	48.00	1.68	1.66	Não	0.99	0.19	4.24	264.53	262.64	122.55	122.16	1.01
2890	2890.00	48.17	1.66	1.64	Não	0.98	0.19	4.21	262.64	260.77	122.16	121.76	1.00
2900	2900.00	48.33	1.64	1.63	Não	0.98	0.19	4.18	260.77	258.92	121.76	121.40	1.00
2910	2910.00	48.50	1.63	1.61	Não	0.98	0.18	4.15	258.92	257.09	121.40	121.02	1.00
2920	2920.00	48.67	1.61	1.59	Não	0.97	0.18	4.12	257.09	255.29	121.02	120.64	1.00
2930	2930.00	48.83	1.59	1.58	Não	0.97	0.18	4.09	255.29	253.50	120.64	120.26	1.00
2940	2940.00	49.00	1.58	1.56	Não	0.97	0.18	4.06	253.50	251.74	120.27	119.90	1.00
2950	2950.00	49.17	1.56	1.55	Não	0.96	0.17	4.03	251.74	250.00	119.90	119.53	1.00
2960	2960.00	49.33	1.55	1.53	Não	0.96	0.17	4.01	250.00	248.28	119.53	119.16	1.00
2970	2970.00	49.50	1.53	1.51	Não	0.96	0.17	3.98	248.28	246.58	119.16	118.78	1.00
2980	2980.00	49.67	1.51	1.50	Não	0.95	0.17	3.95	246.58	244.90	118.78	118.44	1.00
2990	2990.00	49.83	1.50	1.49	Não	0.95	0.17	3.92	244.90	243.25	118.44	118.08	1.00
3000	3000.00	50.00	1.49	1.47	Não	0.94	0.16	3.90	243.25	241.62	118.08	117.73	1.00
3010	3010.00	50.17	1.47	1.46	Não	0.94	0.16	3.87	241.62	240.01	117.73	117.38	1.00
3020	3020.00	50.33	1.46	1.44	Não	0.93	0.16	3.85	240.01	238.42	117.38	117.03	1.00
3030	3030.00	50.50	1.44	1.43	Não	0.93	0.16	3.82	238.42	236.85	117.03	116.69	1.00
3040	3040.00	50.67	1.43	1.41	Não	0.93	0.16	3.80	236.85	235.31	116.69	116.34	1.00
3050	3050.00	50.83	1.42	1.40	Não	0.91	0.15	3.77	235.31	233.79	116.34	116.01	1.00
3060	3060.00	51.00	1.40	1.39	Não	0.91	0.15	3.75	233.79	232.29	116.01	115.67	1.00
3070	3070.00	51.17	1.39	1.38	Não	0.90	0.15	3.72	232.29	230.81	115.67	115.34	1.00
3080	3080.00	51.33	1.38	1.36	Não	0.89	0.15	3.70	230.81	229.36	115.34	115.01	1.00
3090	3090.00	51.50	1.36	1.35	Não	0.89	0.14	3.67	229.36	227.93	115.01	114.69	1.00
3100	3100.00	51.67	1.35	1.34	Não	0.88	0.14	3.65	227.93	226.52	114.69	114.37	1.00
3110	3110.00	51.83	1.34	1.33	Não	0.87	0.14	3.63	226.52	225.14	114.37	114.06	1.00
3120	3120.00	52.00	1.33	1.32	Não	0.86	0.14	3.61	225.14	223.78	114.06	113.74	1.00
3130	3130.00	52.17	1.32	1.30	Não	0.85	0.13	3.59	223.78	222.44	113.74	113.44	1.00
3140	3140.00	52.33	1.30	1.29	Não	0.84	0.13	3.56	222.44	221.13	113.44	113.13	1.00
3150	3150.00	52.50	1.29	1.28	Não	0.84	0.13	3.54	221.13	219.84	113.13	112.83	1.00
3160	3160.00	52.67	1.28	1.27	Não	0.83	0.13	3.52	219.84	218.57	112.83	112.54	1.00
3170	3170.00	52.83	1.27	1.26	Não	0.82	0.12	3.50	218.57	217.33	112.54	112.25	1.00
3180	3180.00	53.00	1.26	1.25	Não	0.81	0.12	3.48	217.33	216.11	112.25	111.96	1.00
3190	3190.00	53.17	1.25	1.24	Não	0.80	0.12	3.46	216.11	214.92	111.96	111.68	1.00

ALUMINUM													
n	t[s]	t[min]	P1[bar]	P2[bar]	Fluxo Coef. Correc.	Coef. Emiss.	Q[kg/s]	p[kg/m²]	m[kg]	m[kg]	T1[°C]	T2[°C]	Z
3200	3200.00	53.33	1.24	1.23	Não	0.79	0.12	3.44	214.92	213.75	111.68	111.40	1.00
3210	3210.00	53.50	1.23	1.22	Não	0.77	0.11	3.42	213.75	212.60	111.40	111.13	1.00
3220	3220.00	53.67	1.22	1.21	Não	0.76	0.11	3.41	212.60	211.48	111.13	110.86	1.00
3230	3230.00	53.83	1.21	1.20	Não	0.75	0.11	3.39	211.48	210.38	110.86	110.59	1.00
3240	3240.00	54.00	1.20	1.19	Não	0.74	0.11	3.37	210.38	209.31	110.59	110.33	1.00
3250	3250.00	54.17	1.19	1.18	Não	0.73	0.10	3.35	209.31	208.26	110.33	110.08	1.00
3260	3260.00	54.33	1.18	1.18	Não	0.71	0.10	3.33	208.26	207.24	110.08	109.83	1.00
3270	3270.00	54.50	1.18	1.17	Não	0.70	0.10	3.32	207.24	206.24	109.83	109.59	1.00
3280	3280.00	54.67	1.17	1.16	Não	0.69	0.10	3.30	206.24	205.26	109.59	109.35	1.00
3290	3290.00	54.83	1.16	1.15	Não	0.67	0.09	3.29	205.26	204.31	109.35	109.12	1.00
3300	3300.00	55.00	1.15	1.14	Não	0.66	0.09	3.27	204.31	203.39	109.12	108.89	1.00
3310	3310.00	55.17	1.14	1.14	Não	0.65	0.09	3.26	203.39	202.49	108.89	108.67	1.00
3320	3320.00	55.33	1.14	1.13	Não	0.63	0.09	3.24	202.49	201.61	108.67	108.45	1.00
3330	3330.00	55.50	1.13	1.12	Não	0.62	0.08	3.23	201.61	200.76	108.45	108.24	1.00
3340	3340.00	55.67	1.12	1.11	Não	0.60	0.08	3.21	200.76	199.94	108.24	108.03	1.00
3350	3350.00	55.83	1.11	1.11	Não	0.59	0.08	3.20	199.94	199.14	108.03	107.83	1.00
3360	3360.00	56.00	1.11	1.10	Não	0.57	0.08	3.19	199.14	198.37	107.83	107.64	1.00
3370	3370.00	56.17	1.10	1.									

Quadro A-2 – Vazamento com depressurização ao longo do tempo

VAZAMENTO COM BDV															
n	t[s]	t [min]	P [bar]	PT [bar]	Fluxo Cálculo	Conf. Escalon.	Qbase [kg/s]	Qatm [kg/s]	p [kg/m³]	m [kg]	net [kg]	V [l]	TT [l]	Z	
0.00	0.00	0.00	60.00	60.00	Sim	1.00	4.00	0.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	313.15	1.07	
1.00	10.00	0.17	60.00	60.00	Sim	1.00	4.00	0.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	313.15	1.07	
2.00	20.00	0.33	60.00	60.00	Sim	1.00	4.00	0.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	313.15	1.07	
3.00	30.00	0.50	60.00	60.00	Sim	1.00	4.00	0.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	313.15	1.07	
4.00	40.00	0.67	60.00	60.00	Sim	1.00	4.00	0.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	313.15	1.07	
5.00	50.00	0.83	60.00	60.00	Sim	1.00	4.00	0.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	313.15	1.07	
6.00	60.00	1.00	60.00	60.00	Sim	1.00	4.00	0.00	55.75	3489.81	3489.81	313.15	313.15	1.07	
7.00	70.00	1.17	60.00	59.31	Sim	1.00	4.00	0.00	55.75	3489.81	3449.81	313.15	312.35	1.07	
8.00	80.00	1.33	59.31	57.38	Sim	1.00	3.96	6.13	55.19	3449.81	3347.87	312.35	310.07	1.07	
9.00	90.00	1.50	57.38	55.19	Sim	1.00	3.85	6.06	53.87	3347.87	3242.85	310.07	307.45	1.07	
10.00	100.00	1.67	55.19	52.89	Sim	1.00	3.72	5.86	52.45	3242.85	3132.93	307.45	304.64	1.07	
11.00	110.00	1.83	52.89	50.88	Sim	1.00	3.60	5.69	50.93	3132.93	3060.35	304.64	301.88	1.06	
12.00	120.00	2.00	50.88	48.85	Sim	1.00	3.47	5.47	49.43	3060.35	2970.94	301.88	299.14	1.06	
13.00	130.00	2.17	48.85	46.82	Sim	1.00	3.36	5.23	47.99	2970.94	2884.59	299.14	296.48	1.06	
14.00	140.00	2.33	46.82	45.07	Sim	1.00	3.24	5.10	46.59	2884.59	2801.16	296.48	293.74	1.06	
15.00	150.00	2.50	45.07	43.07	Sim	1.00	3.13	4.93	45.34	2801.16	2720.56	293.74	291.09	1.06	
16.00	160.00	2.67	43.07	41.62	Sim	1.00	3.03	4.78	43.93	2720.56	2642.67	291.09	288.46	1.05	
17.00	170.00	2.83	41.62	40.00	Sim	1.00	2.93	4.60	42.67	2642.67	2567.39	288.46	285.86	1.05	
18.00	180.00	3.00	40.00	38.46	Sim	1.00	2.83	4.45	41.45	2567.39	2494.61	285.86	283.29	1.05	
19.00	190.00	3.17	38.46	36.99	Sim	1.00	2.73	4.30	40.28	2494.61	2424.24	283.29	280.74	1.05	
20.00	200.00	3.33	36.99	35.57	Sim	1.00	2.64	4.16	39.14	2424.24	2356.19	280.74	278.32	1.05	
21.00	210.00	3.50	35.57	34.22	Sim	1.00	2.56	4.02	38.04	2356.19	2290.36	278.32	275.73	1.05	
22.00	220.00	3.67	34.22	32.93	Sim	1.00	2.47	3.89	36.97	2290.36	2226.68	275.73	273.26	1.05	
23.00	230.00	3.83	32.93	31.69	Sim	1.00	2.39	3.77	35.94	2226.68	2165.15	273.26	270.82	1.04	
24.00	240.00	4.00	31.69	30.51	Sim	1.00	2.32	3.65	34.94	2165.15	2105.45	270.82	268.41	1.04	
25.00	250.00	4.17	30.51	29.37	Sim	1.00	2.24	3.53	33.98	2105.45	2047.74	268.41	266.01	1.04	
26.00	260.00	4.33	29.37	28.29	Sim	1.00	2.17	3.42	33.05	2047.74	1991.87	266.01	263.74	1.04	
27.00	270.00	4.50	28.29	27.24	Sim	1.00	2.10	3.31	32.14	1991.87	1937.79	263.74	261.30	1.04	
28.00	280.00	4.67	27.24	26.24	Sim	1.00	2.04	3.20	31.27	1937.79	1885.41	261.30	258.96	1.04	
29.00	290.00	4.83	26.24	25.28	Sim	1.00	1.97	3.10	30.42	1885.41	1834.69	258.96	256.68	1.04	
30.00	300.00	5.00	25.28	24.36	Sim	1.00	1.91	3.00	29.60	1834.69	1785.56	256.68	254.40	1.04	
31.00	310.00	5.17	24.36	23.48	Sim	1.00	1.85	2.91	28.81	1785.56	1737.96	254.40	252.16	1.03	
32.00	320.00	5.33	23.48	22.63	Sim	1.00	1.79	2.82	28.05	1737.96	1691.84	252.16	249.91	1.03	
33.00	330.00	5.50	22.63	21.82	Sim	1.00	1.74	2.73	27.30	1691.84	1647.15	249.91	247.78	1.03	
34.00	340.00	5.67	21.82	21.04	Sim	1.00	1.68	2.65	26.57	1647.15	1603.83	247.78	245.51	1.03	
35.00	350.00	5.83	21.04	20.29	Sim	1.00	1.63	2.57	25.87	1603.83	1561.85	245.51	243.34	1.03	
36.00	360.00	6.00	20.29	19.57	Sim	1.00	1.58	2.50	25.19	1561.85	1521.14	243.34	241.20	1.03	
37.00	370.00	6.17	19.57	18.88	Sim	1.00	1.53	2.41	24.54	1521.14	1481.68	241.20	239.07	1.03	
38.00	380.00	6.33	18.88	18.22	Sim	1.00	1.49	2.34	23.90	1481.68	1443.40	239.07	236.96	1.03	
39.00	390.00	6.50	18.22	17.58	Sim	1.00	1.44	2.27	23.28	1443.40	1406.29	236.96	234.88	1.03	
40.00	400.00	6.67	17.58	16.97	Sim	1.00	1.40	2.20	22.68	1406.29	1370.34	234.88	232.81	1.03	
41.00	410.00	6.83	16.97	16.38	Sim	1.00	1.36	2.14	22.10	1370.34	1335.35	232.81	230.76	1.03	
42.00	420.00	7.00	16.38	15.81	Sim	1.00	1.32	2.07	21.54	1335.35	1301.46	230.76	228.74	1.03	
43.00	430.00	7.17	15.81	15.27	Sim	1.00	1.28	2.01	20.99	1301.46	1268.59	228.74	226.73	1.03	
44.00	440.00	7.33	15.27	14.74	Sim	1.00	1.24	1.95	20.46	1268.59	1236.67	226.73	224.74	1.03	
45.00	450.00	7.50	14.74	14.24	Sim	1.00	1.20	1.89	19.94	1236.67	1205.69	224.74	222.77	1.02	
46.00	460.00	7.67	14.24	13.75	Sim	1.00	1.17	1.84	19.44	1205.69	1175.62	222.77	220.82	1.02	
47.00	470.00	7.83	13.75	13.29	Sim	1.00	1.13	1.78	18.96	1175.62	1146.48	220.82	218.88	1.02	
48.00	480.00	8.00	13.29	12.84	Sim	1.00	1.10	1.73	18.49	1146.48	1118.08	218.88	216.97	1.02	
49.00	490.00	8.17	12.84	12.40	Sim	1.00	1.07	1.68	18.03	1118.08	1090.56	216.97	215.07	1.02	
50.00	500.00	8.33	12.40	11.97	Sim	1.00	1.04	1.63	17.59	1090.56	1063.85	215.07	213.19	1.02	
51.00	510.00	8.50	11.97	11.59	Sim	1.00	1.01	1.59	17.15	1063.85	1037.86	213.19	211.33	1.02	
52.00	520.00	8.67	11.59	11.20	Sim	1.00	0.98	1.54	16.74	1037.86	1012.63	211.33	209.48	1.02	
53.00	530.00	8.83	11.20	10.83	Sim	1.00	0.95	1.50	16.33	1012.63	988.15	209.48	207.64	1.02	
54.00	540.00	9.00	10.83	10.47	Sim	1.00	0.93	1.46	15.93	988.15	964.32	207.64	205.84	1.02	
55.00	550.00	9.17	10.47	10.13	Sim	1.00	0.90	1.41	15.55	964.32	941.18	205.84	204.05	1.02	
56.00	560.00	9.33	10.13	9.79	Sim	1.00	0.87	1.38	15.18	941.18	918.69	204.05	202.27	1.02	
57.00	570.00	9.50	9.79	9.47	Sim	1.00	0.85	1.34	14.81	918.69	896.83	202.27	200.51	1.02	
58.00	580.00	9.67	9.47	9.16	Sim	1.00	0.83	1.30	14.46	896.83	875.50	200.51	198.77	1.02	
59.00	590.00	9.83	9.16	8.87	Sim	1.00	0.80	1.26	14.12	875.50	854.93	198.77	197.04	1.02	
60.00	600.00	10.00	8.87	8.58	Sim	1.00	0.78	1.23	13.78	854.93	835.14	197.04	195.31	1.02	
61.00	610.00	10.17	8.58	8.30	Sim	1.00	0.76	1.19	13.46	835.14	815.31	195.31	193.63	1.02	
VAZAMENTO COM BDV															
n	t[s]	t [min]	P [bar]	PT [bar]	Fluxo Cálculo	Conf. Escalon.	Qbase [kg/s]	Qatm [kg/s]	p [kg/m³]	m [kg]	net [kg]	V [l]	TT [l]	Z	
62.00	620.00	10.33	8.30	8.04	Sim	1.00	0.74	1.17	13.14	815.31	796.15	193.63	191.95	1.02	
63.00	630.00	10.50	8.04	7.78	Sim	1.00	0.72	1.13	12.84	796.15	777.84	191.95	190.28	1.02	
64.00	640.00	10.67	7.78	7.53	Sim	1.00	0.70	1.10	12.54	777.84	759.87	190.28	188.64	1.01	
65.00	650.00	10.83	7.53	7.29	Sim	1.00	0.68	1.07	12.23	759.87	742.39	188.64	187.00	1.01	
66.00	660.00	11.00	7.29	7.04	Sim	1.00	0.66	1.04	11.93	742.39	725.27	187.00	185.36	1.01	
67.00	670.00	11.17	7.04	6.84	Sim	1.00	0.64	1.01	11.6.						