

Análise comparativa de Contagem de Pontos de Vazamento em Unidades Estacionárias de Produção Offshore utilizando Fluxogramas de Engenharia e Modelo 3D

Igor Luiz Soares Garrido
 Ilton Majerowicz
 Kleber Brandão de Brandão

Petróleo Brasileiro S/A

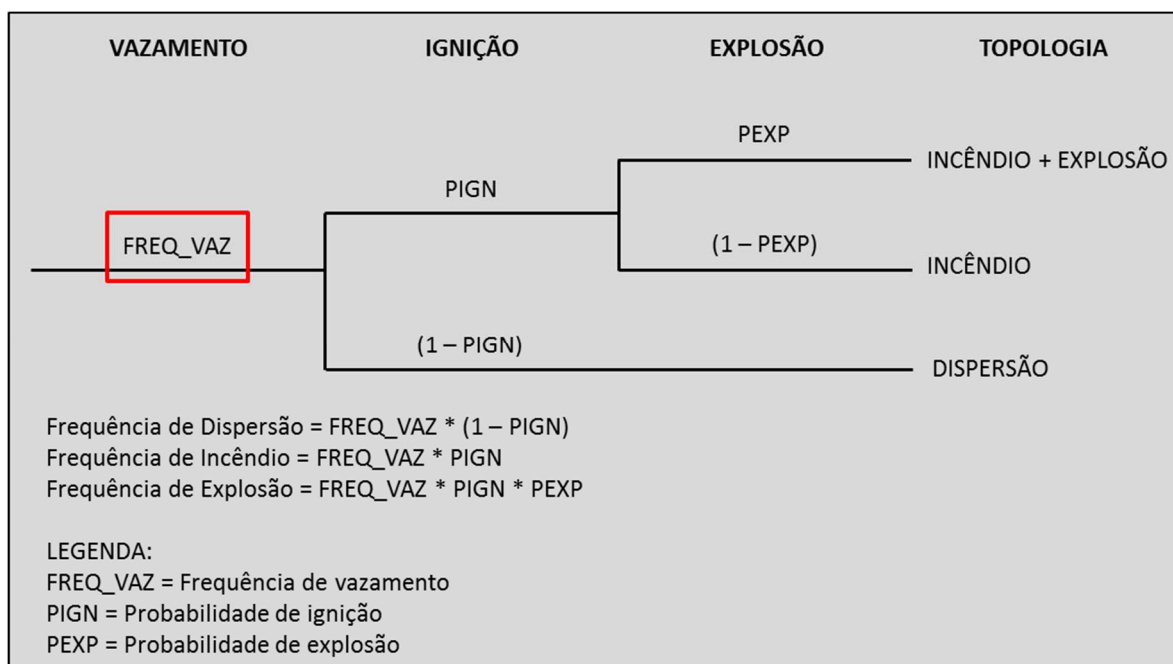
INTRODUÇÃO

Análises de consequência realizadas para projetos de Unidades Estacionárias de Produção (UEP) utilizam abordagem probabilística para a determinação da frequência de vazamento, ou seja, a partir de bancos de dados, extraem taxas de falhas e as ponderam frente à quantidade de elementos previstos no projeto, os quais são potenciais pontos de vazamento.

Na Figura 1, é apresentada uma árvore de eventos típica utilizada em estudos de propagação de incêndio e de explosão. Pode-se observar em destaque a frequência de vazamento, a qual é função da quantidade dos pontos de vazamento existentes no projeto e da respectiva frequência de vazamento do elemento contabilizado.

Desta maneira, quanto mais próxima da realidade a quantidade de pontos de vazamento considerada nas análises de consequência, mais confiáveis serão seus resultados.

Figura 1 – Árvore de Eventos



OBJETIVOS DO TRABALHO

O presente trabalho tem os seguintes objetivos:

- a) Realizar e comparar a contagem de elementos pelos fluxogramas de engenharia (P&ID) e pelo modelo 3D da época da execução dos estudos de segurança;
- b) Tratar os resultados da comparação acima e analisar possíveis discrepâncias identificadas na contagem;
- c) Sugerir soluções metodológicas para que a estimativa da quantidade de elementos seja a mais próxima possível da realidade, ou seja, nas condições iniciais de operação da instalação, reduzindo a margem de erro no cálculo da frequência de impedimento das funções de segurança.

PREMISSAS

As premissas abaixo foram assumidas para a execução do trabalho:

- a) Para a contagem dos pontos de vazamento foram utilizados P&IDs e arquivos de modelo 3D contemporâneos à data da execução dos estudos de segurança;
- b) O software Smartplant P&ID (SPPID) e o modelo 3D mais atual disponível durante a execução deste trabalho foram considerados confiáveis e utilizados como referência para comparação;
- c) A análise se deu sobre projetos de FPSOs com trem único de produção;
- d) Os seguintes acessórios de tubulação foram contabilizados como flanges: FE, figura 8, FO e spool;
- e) O correto cadastramento das propriedades dos elementos no modelo 3D;
- f) Não foi escopo deste trabalho verificar a contagem realizada pelas empresas de análise de risco responsáveis pelos estudos de segurança dos projetos utilizados como referência neste trabalho.

DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados os P&IDs e modelo 3D de três projetos de FPSOs, os quais serão denominados Projeto A, Projeto B e Projeto C, para fins de identificação neste trabalho.

Os documentos do Projeto C foram utilizados apenas para contagem dos elementos “válvula de bloqueio”, “flanges” e “instrumentos”, tendo em vista as discrepâncias encontradas nos resultados obtidos inicialmente entre os projetos A e B, que impediam uma conclusão de como obter o quantitativo.

Com relação aos arquivos de modelo 3D, foram utilizados conforme o seguinte:

- Projeto A – fevereiro de 2013 e agosto de 2015;
- Projeto B – novembro de 2013 e agosto de 2015;
- Projeto C – utilizou-se somente o modelo 3D de dezembro de 2015.

Para os elementos “válvula de bloqueio” e “instrumentos”, como os quantitativos do modelo 3D (2013) não se mostraram adequados, uma vez que alguns destes elementos ainda não haviam sido modelados ou devidamente cadastrados no banco de dados, além do modelo 3D (2015), decidiu-se utilizar também o SPPID (2015) como referência para a contagem.

Como forma de otimizar a análise e buscando manter a representatividade dos resultados, foram definidos 3 módulos típicos (sistemas):

- a) Módulo com predominância de GÁS;
- b) Módulo com predominância de ÓLEO;
- c) Módulo de chegada dos POÇOS.

Nestes módulos típicos, os seguintes elementos foram definidos como parâmetros de comparação:

- a) Válvulas de Alívio (PSV);
- b) Válvulas de Blowdown (BDV);
- c) Válvulas de Controle;
- d) Válvulas de Retenção;
- e) Válvulas de Shutdown (SDV);
- f) Válvulas de Bloqueio;
- g) Flanges;
- h) Instrumentos.

Além dos elementos acima, as tubulações também são consideradas como pontos de vazamento a serem contabilizados pelos estudos de segurança. Tais elementos não fazem parte do escopo deste trabalho.

Visando possibilitar ampla análise, os elementos citados acima foram divididos nas seguintes faixas de diâmetro nominal:

- a) $D \leq 3''$
- b) $3'' < D < 12''$
- c) $D \geq 12''$

As faixas de diâmetro adotadas neste trabalho foram baseadas no Hydrocarbon Releases (HCR) Database, emitido e atualizado periodicamente pelo Health and Safety Executive (HSE), do Reino Unido.

RESULTADOS OBTIDOS

As tabelas seguintes apresentam os resultados da contabilização dos elementos para os projetos A, B e C (quando aplicável), distribuídos por três faixas de diâmetro, considerando os sistemas GÁS, ÓLEO e POÇOS; bem como as fontes consultadas – fluxogramas de engenharia (P&ID), modelo 3D (M3D) e SPPID.

Válvula de Alívio (PSV)

Conforme a tabela 1 abaixo, para os projetos A e B, os quantitativos contabilizados pelo P&ID são similares ao contabilizado pelo modelo 3D (2015). Por outro lado, o modelo 3D (2013) não se mostrou adequado para o levantamento do quantitativo de válvulas de alívio, uma vez que alguns elementos ainda não haviam sido modelados ou devidamente cadastrados no banco de dados.

Tabela 1 – Quantitativo de válvulas de alívio

TIPO DE ELEMENTO	PROJETO	DIÂMETRO	GÁS			ÓLEO			POÇOS		
			P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)	P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)	P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)
VÁLVULA DE ALÍVIO (PSV)	A	$D \leq 3''$	11	0	11	2	0	0	2	0	9
		$3'' < D < 12''$	4	0	4	9	4	11	0	0	0
		$D \geq 12''$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		TOTAL "A"	15	0	15	11	4	11	9	0	9
	B	$D \leq 3''$	16	0	11	6	0	6	9	0	9
		$3'' < D < 12''$	0	0	0	8	6	7	0	1	0
		$D \geq 12''$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		TOTAL "B"	16	0	11	14	6	13	9	1	9

Válvula de Blowdown (BDV)

Conforme a tabela 2 abaixo, para os projetos A e B, os quantitativos contabilizados pelo P&ID são similares ao contabilizado pelo modelo 3D (2015). Por outro lado, o modelo 3D (2013) não se mostrou adequado para o levantamento do quantitativo de válvulas de blowdown, uma vez que alguns elementos ainda não haviam sido modelados ou devidamente cadastrados no banco de dados.

Tabela 2 – Quantitativo de válvulas de blowdown

TIPO DE ELEMENTO	PROJETO	DIÂMETRO	GÁS			ÓLEO			POÇOS		
			P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)	P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)	P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)
VÁLVULA DE BLOWDOWN (BDV)	A	D≤3"	2	0	2	1	0	1	-	-	-
		3"<D<12"	1	0	1	0	0	0	-	-	-
		D≥12"	0	0	0	0	0	0	-	-	-
		TOTAL "A"	3	0	3	1	0	1	-	-	-
	B	D≤3"	5	0	4	1	0	1	-	-	-
		3"<D<12"	0	0	0	0	0	0	-	-	-
		D≥12"	0	0	0	0	0	0	-	-	-
		TOTAL "B"	5	0	4	1	0	1	-	-	-

Válvula de Controle

Conforme a tabela 3 abaixo, para os projetos A e B, os quantitativos contabilizados pelo P&ID são similares ao contabilizado pelo modelo 3D (2015). Por outro lado, o modelo 3D (2013) não se mostrou adequado para o levantamento do quantitativo de válvulas de controle, uma vez que alguns elementos ainda não haviam sido modelados ou devidamente cadastrados no banco de dados.

Tabela 3 – Quantitativo de válvulas de controle

TIPO DE ELEMENTO	PROJETO	DIÂMETRO	GÁS			ÓLEO			POÇOS		
			P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)	P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)	P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)
VÁLVULA DE CONTROLE	A	D≤3"	3	0	5	7	0	6	-	0	-
		3"<D<12"	9	0	7	11	11	10	-	1	-
		D≥12"	6	0	6	2	1	3	-	0	-
		TOTAL "A"	18	0	18	20	12	19	-	1	-
	B	D≤3"	0	0	0	1	0	1	-	-	-
		3"<D<12"	20	3	18	4	3	4	-	-	-
		D≥12"	0	0	0	4	4	5	-	-	-
		TOTAL "B"	20	3	18	9	7	10	-	-	-

Válvula de Retenção

Conforme a tabela 4 abaixo, para os projetos A e B, os quantitativos contabilizados pelo P&ID são similares ao contabilizado pelo modelo 3D (2015). Por outro lado, o modelo 3D (2013) não se mostrou adequado para o levantamento do quantitativo de válvulas de retenção, uma vez que alguns elementos ainda não haviam sido modelados ou devidamente cadastrados no banco de dados.

Tabela 4 – Quantitativo de válvulas de retenção

TIPO DE ELEMENTO	PROJETO	DIÂMETRO	GÁS			ÓLEO			POÇOS		
			P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)	P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)	P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)
VÁLVULA DE RETENÇÃO	A	D≤3"	5	0	5	2	0	2	0	0	0
		3"<D<12"	3	0	2	20	13	20	48	44	45
		D≥12"	1	1	1	2	2	2	0	2	2
		TOTAL "A"	9	1	8	24	15	24	48	46	47
	B	D≤3"	12	0	12	7	0	7	0	0	0
		3"<D<12"	10	4	9	16	0	19	21	0	21
		D≥12"	0	3	0	3	0	2	2	0	1
		TOTAL "B"	22	7	21	26	0	28	23	0	22

Válvula de Shutdown (SDV)

Conforme a tabela 5 abaixo, para os projetos A e B, os quantitativos contabilizados pelo P&ID são similares ao contabilizado pelo modelo 3D (2015). Por outro lado, o modelo 3D (2013) não se mostrou adequado para o levantamento do quantitativo de válvulas de shutdown, uma vez que alguns elementos ainda não haviam sido modelados ou devidamente cadastrados no banco de dados.

Tabela 5 – Quantitativo de válvulas de shutdown

TIPO DE ELEMENTO	PROJETO	DIÂMETRO	GÁS			ÓLEO			POÇOS		
			P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)	P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)	P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)
VÁLVULA DE SHUTDOWN (SDV)	A	D≤3"	5	0	6	5	0	4	2	0	2
		3"<D<12"	3	3	3	5	4	5	20	18	20
		D≥12"	2	1	3	4	3	4	1	2	1
		TOTAL "A"	10	4	12	14	7	13	23	20	23
	B	D≤3"	3	0	3	0	0	0	2	0	2
		3"<D<12"	1	1	1	3	4	4	20	1	20
		D≥12"	3	5	3	6	6	4	1	1	1
		TOTAL "B"	7	6	7	9	10	8	23	2	23

Instrumentos

Como não foi possível levantar, no modelo 3D, o diâmetro das linhas às quais os instrumentos estão associados, decidiu-se contabilizar os valores totais, sem estratificar por diâmetro. Como o modelo 3D (2013) não se mostrou adequado para o levantamento do quantitativo de instrumentos, uma vez que alguns elementos ainda não haviam sido modelados ou devidamente cadastrados no banco de dados, decidiu-se utilizar o SPPID (2015) também como referência para a contagem.

Conforme a tabela 6 abaixo, para os projetos A e B, os quantitativos contabilizados pelo P&ID são similares ao contabilizado pelo SPPID (2015) e modelo 3D (2015), exceto no sistema POÇOS, onde é possível constatar que o uso do P&ID é mais conservativo. Como alternativa, decidiu-se analisar o quantitativo de instrumentos de uma terceira unidade (Projeto C) para auxiliar na tendência do comportamento dos resultados. Com base na comparação dos quantitativos, entende-se que não há necessidade de propor nenhuma correção para a quantidade contabilizada nos P&IDs.

Tabela 6 – Quantitativo de instrumentos

TIPO DE ELEMENTO	PROJETO	DIÂMETRO	GÁS			ÓLEO			POÇOS		
			P&ID (2013)	SPPID (2015)	M3D (2015)	P&ID (2013)	SPPID (2015)	M3D (2015)	P&ID (2013)	SPPID (2015)	M3D (2015)
INSTRUMENTOS	A	TOTAL "A"	79	91	82	79	88	77	86	69	66
	B	TOTAL "B"	79	74	76	62	50	45	88	54	51
	C	TOTAL "C"	70	-	69	67	-	61	88	-	85

Válvula de Bloqueio

Conforme a tabela 7 abaixo, para o Projeto A, os quantitativos contabilizados pelo P&ID são similares ao contabilizado pelo modelo 3D (2015), exceto no sistema ÓLEO. Como o modelo 3D (2013) não se mostrou adequado para o levantamento do quantitativo de válvulas de bloqueio, uma vez que alguns elementos ainda não haviam sido modelados ou devidamente cadastrados no banco de dados, decidiu-se utilizar o SPPID (2015) também como referência para a contagem.

Para o Projeto B, a diferença do quantitativo entre o SPPID (2015) e o modelo 3D (2015) não permitiu concluir quanto ao uso do P&ID (2013). Como alternativa, decidiu-se analisar o quantitativo das válvulas de bloqueio de uma terceira unidade (Projeto C) para auxiliar na tendência do comportamento dos resultados.

Tabela 7 – Quantitativo de válvulas de bloqueio

TIPO DE ELEMENTO	PROJETO	DIÂMETRO	GÁS			ÓLEO			POÇOS		
			P&ID (2013)	SPPID (2015)	M3D (2015)	P&ID (2013)	SPPID (2015)	M3D (2015)	P&ID (2013)	SPPID (2015)	M3D (2015)
VÁLVULA DE BLOQUEIO	A	D≤3"	134	141	145	112	175	179	61	72	73
		3"<D<12"	46	60	57	77	84	83	115	107	107
		D≥12"	40	26	27	28	22	22	1	3	3
		TOTAL "A"	220	227	229	217	281	284	177	182	183
	B	D≤3"	84	177	100	87	142	56	83	79	57
		3"<D<12"	37	36	36	39	53	39	120	80	70
		D≥12"	8	14	11	49	49	42	3	7	5
		TOTAL "B"	129	227	147	175	244	137	206	166	132
	C	D≤3"	77	-	116	94	-	41	71	-	106
		3"<D<12"	33	-	40	50	-	29	134	-	119
		D≥12"	19	-	12	54	-	34	4	-	6
		TOTAL "C"	129	-	168	198	-	104	209	-	231

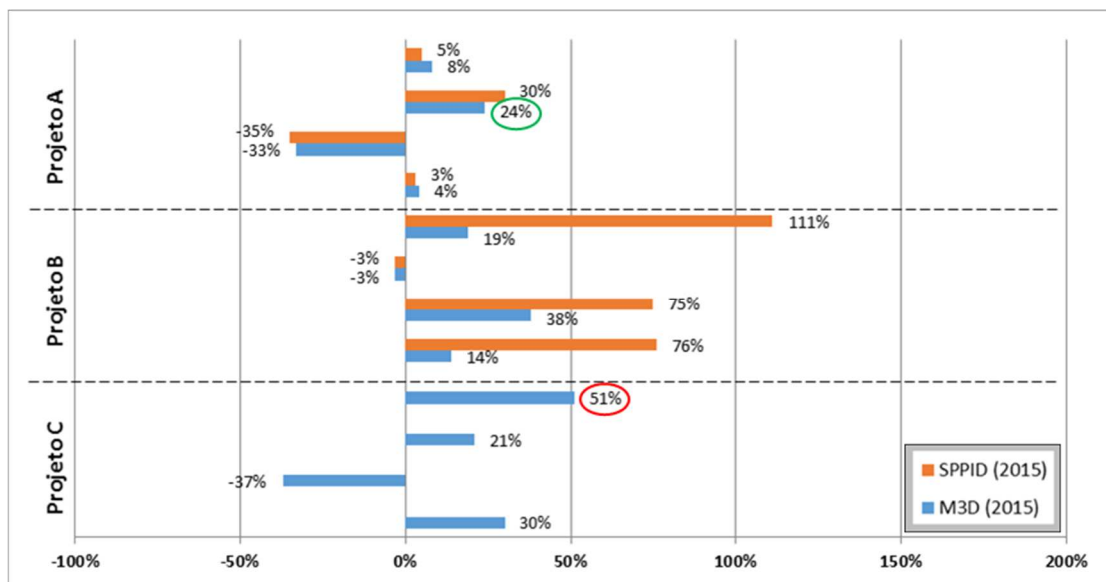
A análise comparativa por sistema apresenta o seguinte comportamento em relação ao P&ID (2013):

a) Sistema GÁS

Tabela 8 – Percentual de válvulas de bloqueio em relação ao P&ID (2013): Sistema Gás

TIPO DE ELEMENTO	PROJETO	DIÂMETRO	GÁS		
			P&ID (2013)	SPPID (2015)	M3D (2015)
VÁLVULA DE BLOQUEIO	A	D≤3"	134	+ 5%	+ 8%
		3"<D<12"	46	+ 30%	+ 24%
		D≥12"	40	-35%	-33%
		TOTAL "A"	220	+ 3%	+ 4%
	B	D≤3"	84	+111%	+ 19%
		3"<D<12"	37	-3%	-3%
		D≥12"	8	+ 75%	+ 38%
		TOTAL "B"	129	+ 76%	+ 14%
	C	D≤3"	77	-	+ 51%
		3"<D<12"	33	-	+ 21%
		D≥12"	19	-	-37%
		TOTAL "C"	129	-	+ 30%

Figura 2 – Gráfico de comportamento percentual de válvulas de bloqueio em relação ao P&ID (2013): Sistema Gás



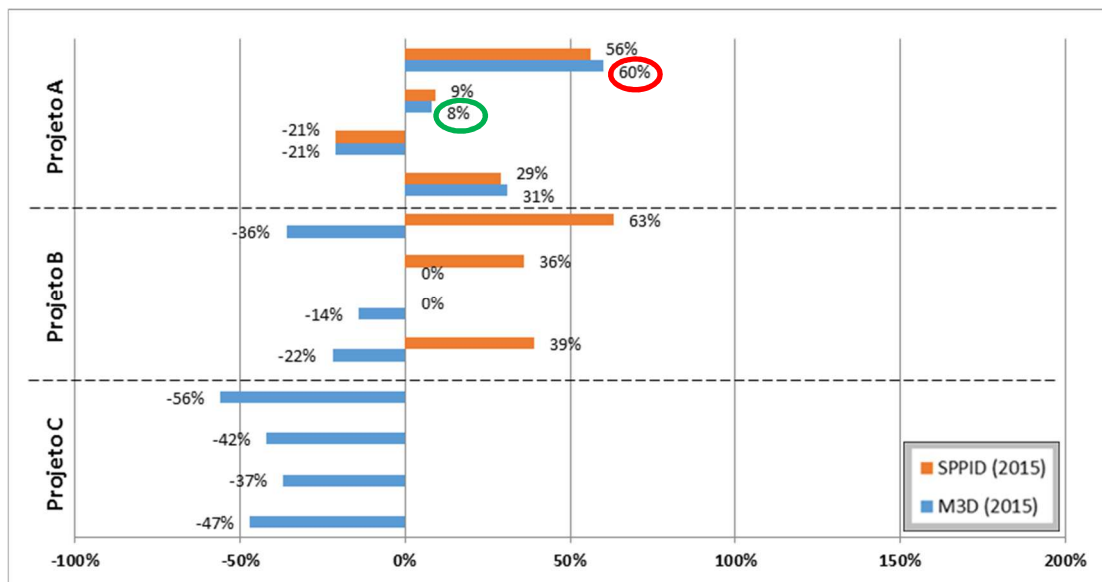
Nota: os valores marcados em vermelho e verde na figura 2 acima são, respectivamente, os maiores para os diâmetros D≤3" e 3"<D<12", considerando o modelo 3D (2015).

b) Sistema ÓLEO

Tabela 9 – Percentual de válvulas de bloqueio em relação ao P&ID (2013): Sistema Óleo

TIPO DE ELEMENTO	PROJETO	DIÂMETRO	ÓLEO		
			P&ID (2013)	SPPID (2015)	M3D (2015)
VÁLVULA DE BLOQUEIO	A	D≤3"	112	+ 56%	+ 60%
		3"<D<12"	77	+ 9%	+ 8%
		D≥12"	28	-21%	-21%
		TOTAL "A"	217	+ 29%	+ 31%
	B	D≤3"	87	+ 63%	-36%
		3"<D<12"	39	+ 36%	0%
		D≥12"	49	0%	-14%
		TOTAL "B"	175	+ 39%	-22%
	C	D≤3"	94	-	-56%
		3"<D<12"	50	-	-42%
		D≥12"	54	-	-37%
		TOTAL "C"	198	-	-47%

Figura 3 – Gráfico de comportamento percentual de válvulas de bloqueio em relação ao P&ID (2013): Sistema Óleo



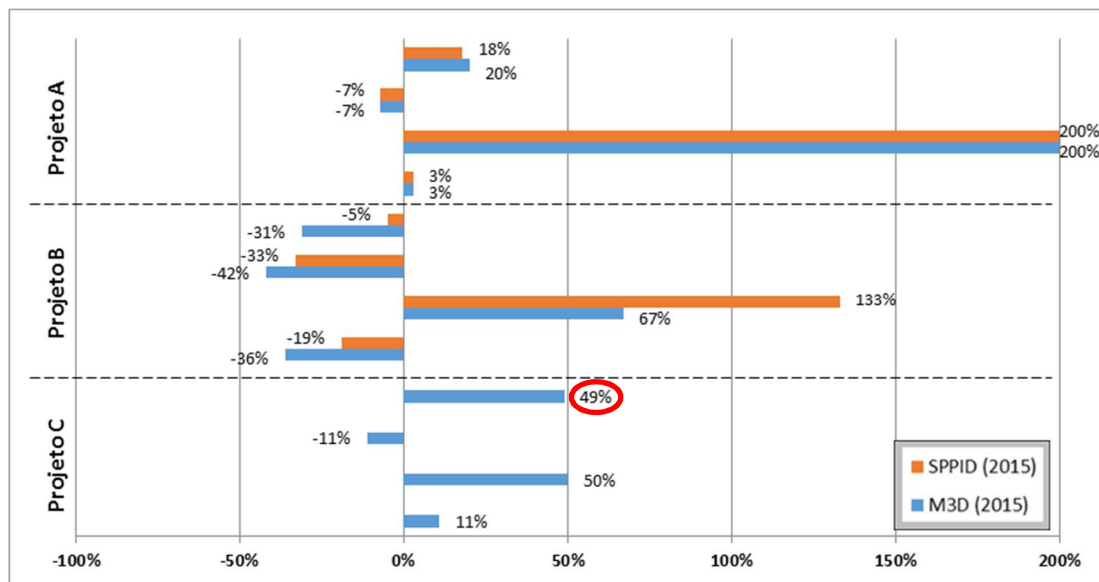
Nota: os valores marcados em vermelho e verde na figura 3 acima são, respectivamente, os maiores para os diâmetros $D \leq 3"$ e $3" < D < 12"$, considerando o modelo 3D (2015).

c) Sistema POÇOS

Tabela 10 – Percentual de válvulas de bloqueio em relação ao P&ID (2013): Sistema Poços

TIPO DE ELEMENTO	PROJETO	DIÂMETRO	POÇOS		
			P&ID (2013)	SPPID (2015)	M3D (2015)
VÁLVULA DE BLOQUEIO	A	D≤3"	61	+ 18%	+ 20%
		3"<D<12"	115	-7%	-7%
		D≥12"	1	+200%	+200%
		TOTAL "A"	177	+ 3%	+ 3%
	B	D≤3"	83	-5%	-31%
		3"<D<12"	120	-33%	-42%
		D≥12"	3	+133%	+ 67%
		TOTAL "B"	206	-19%	-36%
	C	D≤3"	71	-	+ 49%
		3"<D<12"	134	-	-11%
		D≥12"	4	-	+ 50%
		TOTAL "C"	209	-	+ 11%

Figura 4 – Gráfico de comportamento percentual de válvulas de bloqueio em relação ao P&ID (2013): Sistema Poços



Nota: o valor marcado em vermelho na figura 4 acima é o maior para o diâmetro D≤3", considerando o modelo 3D (2015). Não há indicação para 3"<D<12", pois não foi encontrado valor positivo para tal diâmetro.

Flanges

Conforme a tabela 11 abaixo, para os projetos A e B, constata-se diferenças significativas entre os quantitativos do P&ID e do modelo 3D (2015). Com relação ao modelo 3D (2013), o mesmo também não se mostrou adequado para o levantamento de flanges, uma vez que alguns elementos ainda não haviam sido modelados ou devidamente cadastrados no banco de dados.

Como alternativa, decidiu-se analisar o quantitativo de flanges de uma terceira unidade (Projeto C) para auxiliar na tendência do comportamento dos resultados.

Tabela 11 – Quantitativo de flanges

TIPO DE ELEMENTO	PROJETO	DIÂMETRO	GÁS			ÓLEO			POÇOS		
			P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)	P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)	P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)
FLANGES	A	D≤3"	25	0	42	7	0	57	1	0	60
		3"<D<12"	29	1	37	25	18	113	44	9	90
		D≥12"	23	1	25	17	5	25	2	2	9
		TOTAL "A"	77	2	104	49	23	195	47	11	159
	B	D≤3"	7	-	2	0	-	16	0	-	0
		3"<D<12"	4	-	2	2	-	54	8	-	4
		D≥12"	1	-	0	10	-	8	4	-	2
		TOTAL "B"	12	-	9	12	-	78	12	-	6
	C	D≤3"	23	-	113	9	-	124	23	-	162
		3"<D<12"	33	-	78	35	-	105	79	-	133
		D≥12"	30	-	32	48	-	108	3	-	9
		TOTAL "C"	86	-	223	92	-	337	105	-	304

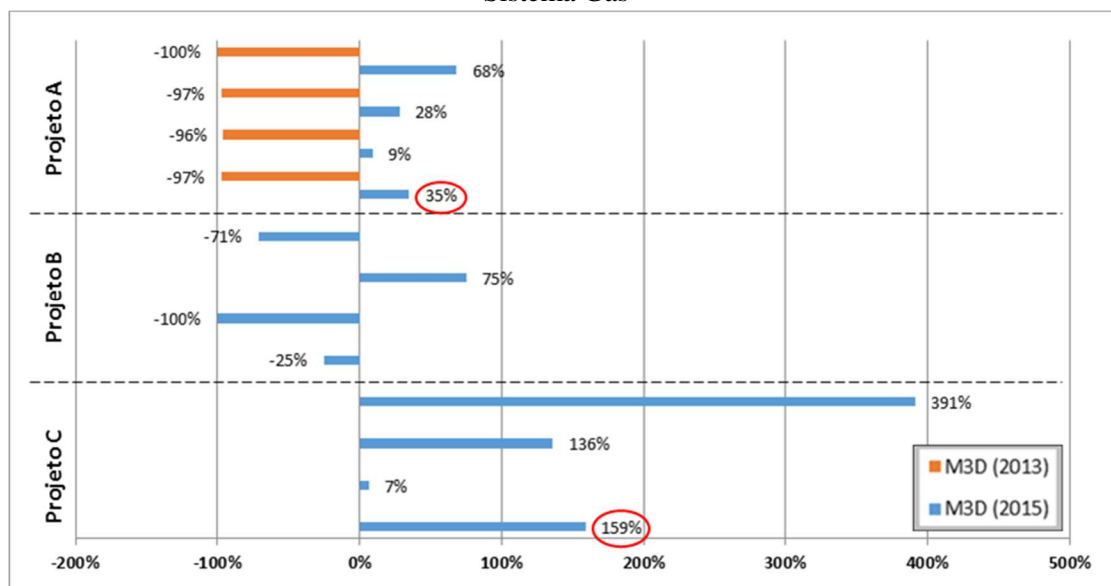
A análise comparativa por sistema apresenta o seguinte comportamento em relação ao P&ID (2013):

a) Sistema GÁS

Tabela 12 – Percentual de flanges em relação ao P&ID (2013): Sistema Gás

TIPO DE ELEMENTO	PROJETO	DIÂMETRO	GÁS		
			P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)
FLANGES	A	D≤3"	25	-100%	68%
		3"<D<12"	29	-97%	28%
		D≥12"	23	-96%	9%
		TOTAL "A"	77	-97%	35%
	B	D≤3"	7	-	-71%
		3"<D<12"	4	-	75%
		D≥12"	1	-	-100%
		TOTAL "B"	12	-	-25%
	C	D≤3"	23	-	391%
		3"<D<12"	33	-	136%
		D≥12"	30	-	7%
		TOTAL "C"	86	-	159%

Figura 5 – Gráfico de comportamento percentual de flanges em relação ao P&ID (2013):
Sistema Gás



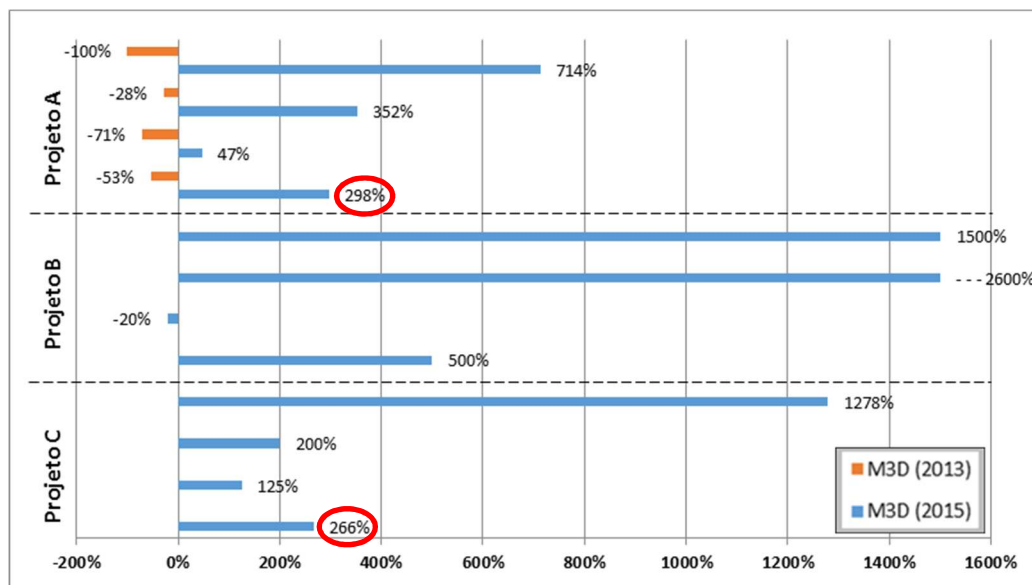
Nota: os valores marcados em vermelho na figura 5 acima são os totais encontrados para os projetos A e C.

b) Sistema ÓLEO

Tabela 13 – Percentual de flanges em relação ao P&ID (2013): Sistema Óleo

TIPO DE ELEMENTO	PROJETO	DIÂMETRO	ÓLEO		
			P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)
FLANGES	A	D≤3"	7	-100%	+ 714%
		3"<D<12"	25	-28%	+ 352%
		D≥12"	17	-71%	+ 47%
		TOTAL "A"	49	-53%	+ 298%
	B	D≤3"	0	-	+1500%
		3"<D<12"	2	-	+2600%
		D≥12"	10	-	-20%
		TOTAL "B"	12	-	+ 500%
	C	D≤3"	9	-	+1278%
		3"<D<12"	35	-	+ 200%
		D≥12"	48	-	+ 125%
		TOTAL "C"	92	-	+ 266%

Figura 6 – Gráfico de comportamento percentual de flanges em relação ao P&ID (2013):
Sistema Óleo



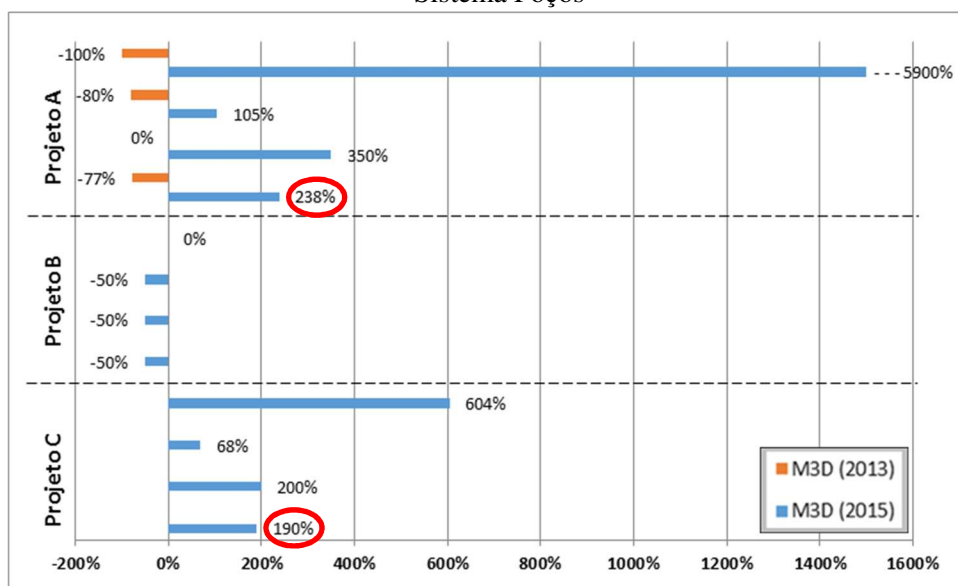
Nota: os valores marcados em vermelho na figura 6 acima são os totais encontrados para os projetos A e C.

c) Sistema POÇOS

Tabela 14 – Percentual de flanges em relação ao P&ID (2013): Sistema Poços

TIPO DE ELEMENTO	PROJETO	DIÂMETRO	POÇOS		
			P&ID (2013)	M3D (2013)	M3D (2015)
FLANGES	A	D≤3"	1	-100%	+5900%
		3"<D<12"	44	-80%	+ 105%
		D≥12"	2	0%	+ 350%
		TOTAL "A"	47	-77%	+ 238%
	B	D≤3"	0	-	0%
		3"<D<12"	8	-	-50%
		D≥12"	4	-	-50%
		TOTAL "B"	12	-	-50%
	C	D≤3"	23	-	+ 604%
		3"<D<12"	79	-	+ 68%
		D≥12"	3	-	+ 200%
		TOTAL "C"	105	-	+ 190%

Figura 7 – Gráfico de comportamento percentual de flanges em relação ao P&ID (2013):
Sistema Poços



Nota: os valores marcados em vermelho na figura 7 acima são os totais encontrados para os projetos A e C.

CONCLUSÕES

Previamente à análise dos resultados descritos neste documento, cabe ressaltar que o modelo 3D é uma ferramenta importante para o projeto e inegavelmente valioso como fonte de informações para os estudos de risco. Entretanto, para ser realmente útil na elaboração das análises de segurança, necessita ter um alto grau de completação e atualização, situação comumente não evidenciada à época de desenvolvimento dos estudos em questão.

A partir da análise das tabelas 1 a 6, que mostram os resultados obtidos pela contagem dos pontos de vazamento nos módulos típicos de GÁS, ÓLEO e POÇOS dos projetos A; B e C, percebe-se uma pequena diferença entre as quantidades obtidas nos fluxogramas de engenharia (P&ID) e no modelo 3D (2015). Considerando os valores totais de todos os elementos, por projeto, essa diferença varia entre mais 6 (instrumentos contabilizados a mais no P&ID – situação conservativa) e menos 2 (válvulas de retenção contabilizadas a menos no P&ID).

Sendo assim, considerando as quantidades bem próximas encontradas, pode-se concluir que os fluxogramas de engenharia (P&ID) da fase de projeto de detalhamento são fontes confiáveis para a contabilização dos elementos abaixo:

- a) Válvulas de Alívio (PSV);
- b) Válvulas de Blowdown (BDV);
- c) Válvulas de Controle;
- d) Válvulas de Retenção;
- e) Válvulas de Shutdown (SDV);
- f) Instrumentos.

De maneira geral, os estudos de segurança são executados no início da fase de projeto de detalhamento e, com base nos resultados deste trabalho, foi possível constatar que, nesta etapa, o modelo 3D disponível não possui todas as informações necessárias para a correta contabilização dos pontos de vazamento. Desta maneira, pode-se concluir que **o modelo 3D à época do desenvolvimento dos estudos de segurança não é uma fonte adequada para a contabilização dos elementos.**

Para a contabilização de **válvulas de bloqueio e flanges, tanto os P&IDs quanto o modelo 3D mostraram-se ineficientes.** Em função dos quantitativos apresentados nas tabelas 7 e 8, conclui-se ser adequado contabilizar esses elementos pelo P&ID e, posteriormente, multiplicar os valores por um fator de ajuste de modo a aproximar-se das condições iniciais de operação da instalação.

RECOMENDAÇÕES

Em função da análise realizada, propõem-se as seguintes recomendações para a contagem dos pontos de vazamento:

R1 – Com base nas tabelas 1 a 6, para os sistemas GÁS, ÓLEO e POÇOS, recomenda-se contabilizar os elementos abaixo **pelo P&ID do projeto de detalhamento**, utilizando-se diretamente os quantitativos encontrados.

- a) Válvulas de Alívio (PSV);
- b) Válvulas de Blowdown (BDV);
- c) Válvulas de Controle;
- d) Válvulas de Retenção;
- e) Válvulas de Shutdown (SDV);
- f) Instrumentos.

R2 – Com base nas tabelas 8 a 10, para os sistemas GÁS, ÓLEO e POÇOS, recomenda-se contabilizar as válvulas de bloqueio pelo P&ID do projeto de detalhamento e multiplicar pelos seguintes fatores de ajuste:

- a) Válvulas de bloqueio com diâmetro $D \leq 3"$ – **fator de ajuste: 1,50**

Para o fator recomendado, tomou-se a média entre os maiores fatores (M3D 2015 / P&ID), para o diâmetro $D \leq 3"$, de cada sistema dos projetos A e C (gás – 1,51 / óleo – 1,60 / poços – 1,49) – figuras 2 a 4.

- b) Válvulas de bloqueio com diâmetro $3" < D < 12"$ – **fator de ajuste: 1,20**

Para o fator recomendado, tomou-se a média entre os maiores fatores (M3D 2015 / P&ID) acima de 1 (um), para o diâmetro $3" < D < 12"$, de cada sistema dos projetos A e C (gás – 1,24 / óleo – 1,08 / poços – 0,93 não considerado) – figuras 2 a 4.

- c) Válvulas com diâmetro $D \geq 12"$ -> **sem fator de ajuste** (utilizar diretamente o quantitativo encontrado).

Nota geral: os resultados do projeto B foram desconsiderados para o cálculo dos fatores de ajuste, pois se mostraram não confiáveis.

R3 – Como o comportamento do quantitativo de flanges foi muito diferente entre os módulos típicos de GÁS, ÓLEO e POÇOS, recomendou-se um fator de ajuste específico para cada sistema. Os fatores de ajuste foram obtidos através da média entre os fatores totais (M3D 2015 / P&ID) dos projetos A e C (os resultados do projeto B foram desconsiderados, pois se mostraram não confiáveis) – ver figuras 5 a 7.

A partir da análise das quantidades encontradas no modelo 3D (2015), percebeu-se uma proporção por faixa de diâmetro distinta para cada sistema. Entre os projetos A e C essa proporção também apresentou uma variação significativa (ver tabela 11). Desta maneira, além dos fatores de ajuste, foi necessário estipular uma maneira de distribuir a quantidade total ajustada pelas faixas de diâmetro.

Para se chegar à proporção recomendada, tomou-se a média entre os percentuais que cada faixa de diâmetro representa sobre o total do modelo 3D (2015), para os projetos A e C. Por exemplo: para o sistema Óleo do projeto A, as quantidades encontradas para os diâmetros $D \leq 3"$ (57); $3" < D < 12"$ (113) e $D \geq 12"$ (25) representam, respectivamente, 29%, 58% e 13% do total (195) – ver tabela 11.

Desta maneira, recomenda-se contabilizar os flanges pelo P&ID (considerando também FE, figura 8, FO e spool) e adotar a seguinte sistemática de ajuste:

LEGENDA:

Qtc = quantidade total contabilizada nos P&IDs (para todas as faixas de diâmetro, em cada sistema)

Fa = fator de ajuste

Qta = quantidade total ajustada

SISTEMA GÁS

$$Q_{tc} \times F_a = Q_{ta}$$

$$F_a = 2,0$$

Sendo Q_{ta} distribuído nas seguintes proporções, para cada faixa de diâmetro abaixo:

$$Q_{d \leq 3"} = 0,45 \times Q_{ta}$$

$$Q_{3" < d < 12"} = 0,35 \times Q_{ta}$$

$$Q_{d \geq 12"} = 0,20 \times Q_{ta}$$

SISTEMA ÓLEO

$$Q_{tc} \times F_a = Q_{ta}$$

$$F_a = 4,0$$

Sendo Q_{ta} distribuído nas seguintes proporções, para cada faixa de diâmetro abaixo:

$$Q_{d \leq 3"} = 0,35 \times Q_{ta}$$

$$Q_{3" < d < 12"} = 0,45 \times Q_{ta}$$

$$Q_{d \geq 12"} = 0,20 \times Q_{ta}$$

SISTEMA POÇOS

$$Q_{tc} \times F_a = Q_{ta}$$

$$F_a = 3,0$$

Sendo Q_{ta} distribuído nas seguintes proporções, para cada faixa de diâmetro abaixo:

$$Q_{d \leq 3"} = 0,45 \times Q_{ta}$$

$$Q_{3" < d < 12"} = 0,50 \times Q_{ta}$$

$$Q_{d \geq 12"} = 0,05 \times Q_{ta}$$

Tabela Resumo

A tabela 15 abaixo apresenta um resumo das recomendações para contagem de pontos de vazamento, com relação a cada elemento considerado no presente trabalho.

Tabela 15 – Resumo das recomendações para contagem de pontos de vazamento

TIPO DE ELEMENTO	DIÂMETRO	GÁS			ÓLEO			POÇOS		
FLANGES	Contabilizar flanges pelos fluxogramas de engenharia (P&ID) – considerando também FE, figura 8, FO e spool – e multiplicar o total de cada sistema pelos fatores abaixo:									
	D≤3"	Qtc GÁS	x 2,00	x 0,45	Qtc ÓLEO	x 4,00	x 0,35	Qtc POÇOS	x 3,00	x 0,45
	3"<D<12"			x 0,35			x 0,45			x 0,50
	D≥12"			x 0,20			x 0,20			x 0,05
	<u>Legenda:</u> Qtc GÁS = quantidade total contabilizada nos P&IDs do sistema GÁS (para todas as faixas de diâmetro) Qtc ÓLEO = quantidade total contabilizada nos P&IDs do sistema ÓLEO (para todas as faixas de diâmetro) Qtc POÇOS = quantidade total contabilizada nos P&IDs do sistema POÇOS (para todas as faixas de diâmetro)									
VÁLVULA DE BLOQUEIO	Contabilizar as válvulas de bloqueio pelos fluxogramas de engenharia (P&ID) e multiplicar os quantitativos pelos fatores de ajuste abaixo:									
	D≤3"	x 1,50								
	3"<D<12"	x 1,20								
	D≥12"	Utilizar diretamente os quantitativos encontrados.								
VÁLVULA DE BLOWDOWN (BDV)	D≤3"	Contabilizar as válvulas de blowdown pelos fluxogramas de engenharia (P&ID) e utilizar diretamente os quantitativos encontrados.								
	3"<D<12"									
	D≥12"									
VÁLVULA DE CONTROLE	D≤3"	Contabilizar as válvulas de controle pelos fluxogramas de engenharia (P&ID) e utilizar diretamente os quantitativos encontrados.								
	3"<D<12"									
	D≥12"									
VÁLVULA DE RETENÇÃO	D≤3"	Contabilizar as válvulas de retenção pelos fluxogramas de engenharia (P&ID) e utilizar diretamente os quantitativos encontrados.								
	3"<D<12"									
	D≥12"									
VÁLVULA DE SHUTDOWN (SDV)	D≤3"	Contabilizar as válvulas de shutdown pelos fluxogramas de engenharia (P&ID) e utilizar diretamente os quantitativos encontrados.								
	3"<D<12"									
	D≥12"									
INSTRUMENTOS	D≤3"	Contabilizar os instrumentos pelos fluxogramas de engenharia (P&ID) e utilizar diretamente os quantitativos encontrados.								
	3"<D<12"									
	D≥12"									
VÁLVULA DE ALÍVIO (PSV)	D≤3"	Contabilizar as válvulas de alívio pelos fluxogramas de engenharia (P&ID) e utilizar diretamente os quantitativos encontrados.								
	3"<D<12"									
	D≥12"									