

## 7. ANÁLISE DE CONSEQÜÊNCIAS E VULNERABILIDADE

### 7.1 Introdução

Esse capítulo apresenta as tipologias acidentais e os respectivos resultados obtidos das simulações das conseqüências (efeitos físicos) para as hipóteses selecionadas na APP, já correlacionadas às áreas identificadas com a presença de aglomerados humanos significativos, e conseqüente análise de vulnerabilidade.

### 7.2 Análise de Conseqüências

#### 7.2.1 Definição das Hipóteses Selecionadas para AQR – Análise Quantitativa de Riscos

As hipóteses acidentais identificadas e apresentadas na APP, estão relacionadas ao vazamento de gás natural e condensado no trecho terrestre do gasoduto.

A Tabela 7.1 abaixo apresenta o trechos entre a válvula VES-01 e a UTGCA para as hipóteses selecionadas, relacionadas com presença de aglomerados humanos significativos (Tabela 5.4, Capítulo 5).

**Tabela 7.1 – Hipóteses Selecionadas / Trechos Entre Válvula e UTGCA**

Hipótese	Trecho	Extensão do Trecho (km)	Descrição
2A	km 0+180 ao km 7+673	7,493	Grande liberação de gás natural da válvula VES-01 à UTGCA
2B			Média liberação de gás natural(furo de 20% do diâmetro do duto) da válvula VES-01 à UTGCA
2C			Pequena liberação de gás natural (furo de 5% do diâmetro do duto) da válvula VES-01 à UTGCA
4A			Grande liberação de condensado da válvula VES-01 à UTGCA
4B			Média liberação de condensado (furo de 20% do diâmetro do duto) da válvula VES-01 à UTGCA
4C			Pequena liberação de condensado (furo de 5% do diâmetro do duto) da válvula VES-01 à UTGCA

## 7.2.2 Tempos de Duração dos Cenários Acidentais

Em vazamentos em gasodutos com válvulas esferas (VES), considera-se o tempo de fechamento da válvula nas simulações das conseqüências. No presente estudo foi considerado o tempo de uma hora, visto este ser o tempo para deslocamento e fechamento da válvula, conforme informado pela PETROBRAS

## 7.2.3 Simulações das Conseqüências

As hipóteses acidentais selecionadas na Tabela 5.3, do Capítulo 5, geraram diferentes tipologias acidentais, previamente levantadas, considerando as características e o comportamento do gás natural e do condensado.

Utilizou-se para os cálculos o software *PHAST*, versão 6.4, desenvolvido pela DNV-Technica, considerando-se os seguintes aspectos:

- Características da liberação, como área do furo e tipo de liberação quantidade e fluxo mássico da liberação;
- Duração da liberação;
- Altura da fonte de escape;
- Características meteorológicas;
- Fator de rugosidade do terreno.

### 7.2.3.1 Fenômenos Estudados

No Capítulo 6, onde foram apresentadas árvores de eventos para cada cenário acidental, observa-se que no caso das liberações instantâneas, a partir da ruptura catastrófica do gasoduto, a ignição imediata resulta em bola de fogo (*fireball*), enquanto a ignição retardada, de acordo com as condições da nuvem formada pela liberação pode gerar o *flashfire* ou UVCE (explosão da nuvem de vapor) para ambos os produtos.

Para as simulações da tipologia acidental UVCE (*Unconfined Vapor Cloud Explosion*) para gás natural e condensado, adotou-se grau de confinamento nível 5 (Tabela 5.3 do TNO – Yellow Book, página 5.38), sendo este grau típico a uma região com obstáculos, em virtude da



existência dos bairros próximo ao gasoduto. Ainda como dado de entrada da simulação, para este ensaio, no cálculo do volume de confinamento, considerou-se uma rua de 100 metros de comprimento, com casas distando 5 metros umas das outras e uma altura aproximada de 3 metros. Desta forma, o volume de confinamento obtido foi de 1.500 m<sup>3</sup>.

Além disso, sabe-se que o gás natural possui densidade menor do que a do ar, o que facilita sua dispersão no meio ambiente em caso de vazamentos, dificultando também seu acúmulo em ambiente confinado, o que comprova os resultados negligenciáveis obtidos na simulação.

Para as liberações contínuas com a presença de ignição imediata, considerou-se a formação de um jato, arrastando uma grande quantidade de ar devido a sua turbulência, de um modo geral, sempre que a pressão do produto estiver, pelo menos, duas vezes acima da pressão ambiente, haverá a formação desse fenômeno. A velocidade do jato é máxima ao longo do eixo da saída do gás e diminui, na medida em que se afasta da fonte, não havendo influência da velocidade do vento, uma vez que esta é bem inferior à velocidade do jato. No entanto, há um ponto do topo do jato, onde a sua velocidade é muito próxima à velocidade do vento e o mesmo começa a reclinar; esse é um ponto de transição, onde termina a dispersão devido à turbulência atmosférica. Já para a ignição retardada, o fenômeno estudado foi o *flashfire*. Caso não ocorra ignição da nuvem entre os LSI e LII haverá uma dispersão dessa nuvem rapidamente, sem trazer conseqüências.

### 7.2.3.2 Dados de Entrada nos Modelos

As hipóteses acidentais selecionadas foram simuladas considerando a ruptura catastrófica da tubulação e as rupturas parciais (furo e fenda). Sendo assim, adotaram-se as seguintes premissas:

- Furo (5% do diâmetro da linha);
- Fenda (20% do diâmetro da linha);
- Ruptura (100% do diâmetro da linha).

As massas utilizadas nas hipóteses foram calculadas considerando o comprimento do trecho do gasoduto além de uma hora de alimentação, sendo o ponto de ruptura definido no meio deste trecho.

Como o vazamento é do tipo contínuo é necessário definir um tempo de vazamento no qual resultará na massa de produto inflamável para formação da bola de fogo. Assim, conservativamente, foi assumido este tempo de vazamento igual ao tempo de duração da Bola de Fogo.

Para tanto, no programa PHAST, igualou-se o tempo de vazamento da massa inflamável ao tempo de duração de queima da bola de fogo, obtendo-se assim os alcances das conseqüências para a Bola de Fogo para os níveis de radiação térmica para os *Probits* correspondentes a 1, 50 e 99% de fatalidade.

Para os cenários acidentais jato de fogo e *flashfire*, utilizou-se o programa PHAST o modelo de vazamento contínuo.

Considerou-se ainda, conforme demonstrado no Capítulo 6, duas direções para ocorrência do jato: impinge e vertical, sendo que a probabilidade de distribuição foi da seguinte forma:



- Direção vertical: 1/6;
- Direção *impinged*: 5/6.

Para as simulações das conseqüências do trecho terrestre do gasoduto foi utilizada, conservativamente a temperatura de 25°C, em função do gás natural ser transportado a esta temperatura.

As simulações foram realizadas considerando a composição do gás e do condensado constantes no Capítulo 3.

Conforme a Norma Cetesb P4.261 – Manual de Elaboração de Estudos de Análise de Riscos, item 6.1, considerou-se para o período diurno a temperatura do solo 5°C acima da temperatura ambiente.

O Anexo VIII apresenta o Relatório de Simulação das Conseqüências

### 7.2.3.3 Efeitos Físicos

As simulações de conseqüências foram realizadas para todos os cenários definidos nas Árvores de Eventos apresentadas no Capítulo 6 e os valores de interesse (*endpoints*) adotados foram os seguintes:

- *Fireball* (Bola de Fogo): distâncias correspondentes aos níveis de fatalidade de 1%, 50% e 99%;
- *Jet-Fire* (Jato de fogo): distâncias para PROBITS correspondentes a 1%, 50% e 99% de fatalidade, além de níveis de efeitos para 3,0 kW/m<sup>2</sup>;
- *Flashfire*: distância correspondente ao Limite Inferior de Inflamabilidade (LII);
- *UVCE*: distâncias correspondentes aos níveis de fatalidade de 1%, 50% e 99%.



A probabilidade de morte (P) é calculada utilizando-se a função PROBIT (Pr). A relação entre a probabilidade de morte e o PROBIT correspondente seguem uma curva do tipo sigmóide. A Tabela 7.2 apresenta o PROBIT em função da probabilidade de morte (%).

**Tabela 7.2 – PROBIT e Probabilidade de Morte**

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
%	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

<b>99</b>	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09
-----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Para o cálculo da probabilidade de fatalidade para radiação térmica utilizou-se a equação extraída do AICHE; pág. 269, mostrada a seguir:

$$PR = -14,9 + 2,56 \ln (t \cdot Q^{4/3} \cdot 10^{-4})$$

Onde;

Pr é o PROBIT correspondente a probabilidade de morte

t = duração da exposição (s);

Q = fluxo de calor (W/m<sup>2</sup>).

De acordo com o TNO – Purple Book; pág. 5.12, o tempo de exposição máximo estabelecido é de 20 segundos, ou seja, assume-se que as pessoas podem escapar para um lugar seguro dentro de 20 s; isto deve ser entendido como um fator de proteção associado a fuga das pessoas quando expostas a radiações térmicas elevadas.

De acordo com a Tabela acima o valor de PROBIT para 1, 50 e 99% de fatalidade é de 2,67, 5,00 e 7,33 respectivamente. Sendo assim, a Tabela 7.3 a seguir apresenta os valores de radiação térmica correspondentes à probabilidade de fatalidade.

**Tabela 7.3 – PROBIT e Probabilidade de Fatalidade**

<b>Tempo de exposição (s)</b>	<b>PROBIT</b>	<b>Probabilidade de fatalidade (%)</b>	<b>Radiação Térmica (kW/m<sup>2</sup>)</b>
20	7,33	99	71,2
20	5,00	50	36,0
20	2,67	1	18,3

A relação entre PROBIT e probabilidade de fatalidade foi extraída de TNO – Purple Book, Pág. 5.2.

#### **7.2.3.4 Resultados das Simulações realizadas para o Gasoduto**

As Tabelas 7.4 e 7.5 apresentam o resumo dos resultados obtidos nas simulações, enquanto o Anexo VIII apresenta os relatórios de saída do *PHAST*.

**Tabela 7.4 - Distâncias Atingidas por Radiações Térmicas - Bola de Fogo**

Hipótese	Duração do <i>Fireball</i> (s)	Nível de Radiação (kW/m <sup>2</sup> )	Distância Atingida (m)		Fatalidade (%)
			Dia	Noite	
2A	18,58	19,25	472,20	473,59	1
		38,05	334,60	335,55	50
		75,22	225,61	226,21	99



**Tabela 7.5 - Distâncias Atingidas por Radiações Térmicas e Sobrepressões**

Hipótese	Flash Dia	Flash Noite	Jato de Fogo (kW/m <sup>2</sup> )								Sobrepressão (bar)							
			Dia				Noite				Dia				Noite			
			71,2	36,0	18,3	3,0	71,2	36,0	18,3	3,0	0,4	0,3	0,1	0,05	0,4	0,3	0,1	0,05
2A	7,92	11,04	*	*	*	178,3	*	*	*	177,3	*	*	46,97	83,85	*	*	59,2	98,32
2BV	9,45	13,38	*	*	*	214,76	*	*	*	216,57	*	*	59,1	98,12	*	*	69,2	108,32
2BI	192,17	269,1	88,09	97,56	109,08	173,5	89,62	99,13	110,64	173,47	*	*	349,1	388,12	*	*	579,2	618,32
2CV	1,91	2,86	*	*	*	62,05	*	*	*	61,49	*	*	*	*	*	*	*	*
2CI	47,4	66,86	25,79	28,48	31,58	47,15	26,25	28,96	32,07	47,2	*	*	109,1	148,12	*	*	159,2	198,32
4A	46,57	79,92	*	*	*	932,55	*	*	*	910,79	*	*	137,63	185,15	*	*	247,75	295,4
4BV	15,89	25,23	*	*	*	432,43	*	*	*	418,75	*	*	77,63	125,15	*	*	97,75	145,41
4BI	241,22	331,91	*	347,58	380,2	494,62	*	354,5	387,45	501,55	*	*	397,63	445,15	*	*	537,75	585,41
4CV	3,63	4,91	*	*	*	117,12	*	*	*	111,41	*	*	35,2	60,35	*	*	*	*
4CI	65,04	81,03	*	100,99	112,03	144,68	*	102,86	114,24	146,8	*	*	147,63	195,15	*	*	157,75	205,41



### 7.3 Análise de Vulnerabilidade

A análise de vulnerabilidade é realizada segundo procedimentos que envolvem a estimativa dos danos gerados sobre a população exposta e ao meio ambiente devido ao desencadeamento das seqüências acidentais identificadas no estudo.

Os efeitos gerados, a partir de um acidente, dependem da capacidade de resistência dos envolvidos e dos efeitos físicos. Assim, os modelos de vulnerabilidade apresentam uma estimativa dos danos em função das características das conseqüências físicas geradas.

As conseqüências físicas dos danos prováveis ao homem e às estruturas estão correlacionadas aos níveis de exposição apresentados nos itens a seguir.

#### 7.3.1 Modelos de Vulnerabilidade

##### 7.3.1.1 Radiação Térmica



Os danos para o homem decorrentes de incêndios dependem da integral da radiação térmica incidente no tempo. O cálculo da probabilidade de fatalidade para o efeito de radiação térmica é obtida pela equação de PROBIT, anteriormente apresentada e desenvolvida por *Eisenberg et al.*

No caso de incêndios estacionários (jato de fogo), a duração do fenômeno pode ser grande (minutos ou horas), mas é presumível que as pessoas nas circunvizinhanças distanciem-se da área perigosa até atingirem um local em que a radiação térmica seja suportável, sem dor. Segundo a referência TNO – *Purple Book*, o tempo máximo para que as pessoas escapem para um local seguro é, em média, de 20 segundos, como anteriormente exposto.

Para as áreas sob riscos em função dos efeitos gerados por radiações térmicas provenientes de incêndios (jato de fogo e incêndio em poça) foram adotados como valores de referência 18,3 kW/m<sup>2</sup>, 36 kW/m<sup>2</sup> e 71,2 kW/m<sup>2</sup>, que representam, probabilidades de até 1, 50 e 99% de fatalidade da população exposta, respectivamente.

O nível de radiação de 3,0 kW/m<sup>2</sup> também foi utilizado visando a adequação do Plano de Emergência Individual (PEI) existente para a faixa, porém ressalta-se que esse nível não gera

fatalidades, pois o valor de PROBIT a partir da equação de radiações térmicas é inferior a 2,67, onde através da Tabela 7.2 verifica-se que o percentual de fatalidade é inferior a 1%.

### 7.3.1.2 Sobrepressão

As conseqüências decorrentes de uma explosão podem ocorrer devido às ondas de pressão, projeção de fragmentos e impacto do corpo com obstáculos. Neste caso, é importante conhecer o valor máximo de sobrepressão.

As equações de PROBIT desenvolvida por *Eisenberg et al.* são as seguintes:

#### Efeitos sobre as estruturas:

$$\text{Probit} = -23,8 + 2,92 \ln P$$

Onde:

P é a sobrepressão de pico em Pascal (Pa).

#### Efeitos sobre as pessoas fora das edificações ou estruturas:

$$\text{Probit} = -77,1 + 6,91 \ln P$$

Onde:

P é a sobrepressão de pico em Pascal (Pa).

Ondas de sobrepressão superiores a 1 bar ( $1 \times 10^5$  Pa) causam fatalidades devido a hemorragia pulmonar, conforme demonstrado a seguir:

$$\text{Pr} = -77,1 + 6,91 \ln 1 \times 10^5$$

$$\text{Pr} = 2,45$$

Desta forma, consultando-se a Tabela 7.2, a probabilidade de morte para as pessoas é inferior a 1%. Pode-se concluir que o ser humano apresenta uma resistência maior a sobrepressões do que as estruturas. Isto ocorre devido ao fato do ser humano não se comportar como uma estrutura rígida, permitindo a absorção do impacto. Normalmente nas explosões, a

grande maioria das vítimas é devida ao colapso de estruturas (edificações) ou projeções de fragmentos.

A Tabela 7.6 apresenta alguns efeitos observados para diferentes níveis de sobrepressão decorrente de explosões.

**Tabela 7.6 – Níveis de Sobrepressão e Efeitos Observados**

<b>Sobrepressão (bar)</b>	<b>Efeitos Observados</b>
0,30	Danos graves em prédios, estruturas e equipamentos. Perigo à vida.
0,10	Danos reparáveis em prédios e estruturas. Perigo à saúde e à vida.
0,03	Ruptura total de vidros, podendo causar ferimentos por lançamento de estilhaços. Mal estar à saúde.
0,01	Ruptura de aproximadamente 10 % dos vidros, com pequena probabilidade de causar ferimentos.

Fonte: CETESB



Para as sobrepressões geradas em explosões, foram adotados como referência os valores de 0,4, 0,3 bar e 0,1 bar, que representam 99%, 50 % e 1 % de probabilidade de fatalidade, respectivamente. O valor de sobrepressão de 0,3 bar representa danos catastróficos às edificações e, portanto, possibilidade de fatalidade das pessoas existentes em seu interior; já, a sobrepressão de 0,1 bar corresponde a danos reparáveis às estruturas (paredes, portas, telhados, etc.) e, portanto, perigo à saúde e, eventualmente, à vida.

O nível de sobrepressão de 0,05 bar também foi utilizado visando atender o exposto no Termo de Referência, porém ressalta-se que esse nível não gera fatalidades, pois o valor de PROBIT a partir da equação sobrepressão é inferior a 2,67, onde através da Tabela 7.2 verifica-se que o percentual de fatalidade é inferior a 1%.

### 7.3.2 Resultados Obtidos

A partir do mapeamento dos alcances dos efeitos físicos (Anexos IX) e da vulnerabilidade (Anexo X), elaborou-se a Tabela 7.7 que relaciona a população efetivamente atingida que encontra-se dentro dos maiores alcances das áreas afetadas para 1% de probabilidade de fatalidade.

Analisando todas as hipóteses, a maior distância atingida (579,2 m) obtida pela tipologia accidental UVCE, na Hipótese 2BI para o nível de 0,1 bar que gera 1% de fatalidade.

O Anexo X apresenta o Mapeamento da Vulnerabilidade, onde são apresentadas as maiores distâncias para 1, 50 e 99% de fatalidade.

**Tabela 7.7 – Hipóteses Seleccionadas/ Aglomerados Humanos Significativos no Alcance dos Efeitos Físicos/Vulnerabilidade**

Ponto Notável	Hipótese	Maior distância atingida (m)	Município	Localidade	Localização (km)	Lado*	Construções Atingidas
01	2BI	579,2	Caraguatatuba	Bairro jardim Britânia	0+000 à 0+500	AL	258
47				Quiosques	0+000	AL	7
33				Pousada Marambaia	0+000	LE	1
34				Pousada Portal e Lazer	0+000	LE	1
35				Imobiliária Caravella	0+000	LE	1
46				Camping (estacionamento)	0+035	LD	1
31				Condomínio Britânia-Mar	0+180	LE	11
32				Pousada Minke	0+180	LE	1
03A				Edifício Residencial	0+180	LE	18
02 C				Condomínio Residencial	0+325	LD	11
36				Estação elevatória Sabesp	0+315	LD	1
37				Auto peças	0+400	LD	1
38				Lojas de Peças	0+400	LD	1
40				Cimencaraguá	0+420	LD	1
41				Depósito Central	0+420	LD	1
42				Parque Embalagens	0+420	LD	1

**Tabela 7.7 – Hipóteses Seleccionadas/ Aglomerados Humanos Significativos no Alcance dos Efeitos Físicos/Vulnerabilidade**

Ponto Notável	Hipótese	Maior distância atingida (m)	Município	Localidade	Localização (km)	Lado*	Construções Atingidas
43	2BI	579,2	Caraguatatuba	Fácil Construir ( Materiais de Construção)	0+420	LD	1
45				Leo Lajes	0+420	LD	1
06				Madreira Boturussú	0+420	LE	1
07				Comprasa	0+422	LE	1
08				Quality gran	0+422	LE	1
09				Depósito Villa	0+422	LE	1
10				Auto Posto Linea	0+422	LE	1
12				Copel (reciclagem)	0+422	LE	1
13				Madeira & Cia	0+422	LE	1
14				Transan (Transportadora)	0+422	LE	1
15				Condomínio Costa de Sol + Pequeno Comércio	0+422	LE	35+9
17				Mecânica	0+422	LE	1
18				Restaurante	0+422	LE	1
01				Bairro Pontal Santa Marina	0+500 à 2+350	LE	600
19				Portal das telhas e madeiras	0+831	LE	1
20				Aço Norte	0+831	LE	1
21				Marmoraria	0+831	LE	1
22				Móveis Casanova	0+831	LE	1
23				Auto Posto	0+831	LE	1
25				Distribuidora Sulvape	0+831	LE	1
26				Motel	0+831	LE	1
27				Ferro Velho	0+831	LE	1
29				Restaurante	0+831	LE	1
03 B				Edifício Residencial	0+917	LE	36
48				Clube e associação Japonesa	1+135	LE	1
49				Clube desativado (associação dos aposentados)	1+135	LE	1

**Tabela 7.7 – Hipóteses Seleccionadas/ Aglomerados Humanos Significativos no Alcance dos Efeitos Físicos/Vulnerabilidade**

Ponto Notável	Hipótese	Maior distância atingida (m)	Município	Localidade	Localização (km)	Lado*	Construções Atingidas
50	2BI	579,2	Caraguatatuba	Clube dos escoteiros	1+135	LE	1
51				Esporte clube Banespa	1+135	LE	1
52				Igreja	1+135	LE	1
03 D				Edifício Residencial	1+925	LE	18
03 E				Edifício Residencial	1+950	LE	24
03 F				Edifício Residencial	2+155	LE	12

Desta forma, à partir da Tabela 7.7 apresentada acima, foram seleccionadas as localidades efetivamente atingidas e representativas para a estimativa dos riscos, apresentadas na Tabela 7.8 a seguir.



**Tabela 7.8 – Hipóteses Seleccionadas/ Aglomerados Humanos Significativos/ Cálculo dos Riscos**

Ponto Notável	Hipótese	Maior distância atingida (m)	Município	Localidade	Localização (km)	Lado*	Construções Atingidas
01/04	2BI	579,2	Caraguatatuba	Bairro jardim Britânia	0+000 à 0+500	AL	258
47				Quiosques	0+000	AL	7
33				Pousada Marambaia	0+000	LE	1
34				Pousada Portal e Lazer	0+000	LE	1
35				Imobiliária Caravella	0+000	LE	1
46				Camping (estacionamento)	0+035	LD	1
31				Condomínio Britânia-Mar	0+180	LE	11
32				Pousada Minke	0+180	LE	1
03A				Edifício Residencial	0+180	LE	18
02 C				Condomínio Residencial	0+325	LD	11
36				Estação elevatória Sabesp	0+315	LD	1

**Tabela 7.8 – Hipóteses Selecionadas/ Aglomerados Humanos Significativos/ Cálculo dos Riscos**

Ponto Notável	Hipótese	Maior distância atingida (m)	Município	Localidade	Localização (km)	Lado*	Construções Atingidas
37	2BI	579,2	Caraguatatuba	Auto peças	0+400	LD	1
38				Lojas de Peças	0+400	LD	1
40				Cimencaraguá	0+420	LD	1
41				Depósito Central	0+420	LD	1
42				Parque Embalagens	0+420	LD	1
43				Fácil Construir (Materiais de Construção)	0+420	LD	1
06				Madreira Boturussú	0+420	LE	1
07				Comprasa	0+422	LE	1
08				Quality gran	0+422	LE	1
09				Depósito Villa	0+422	LE	1
10				Auto Posto Linea	0+422	LE	1
12				Copel (reciclagem)	0+422	LE	1
13				Madeira & Cia	0+422	LE	1
14				Transan (Transportadora)	0+422	LE	1
15				Condomínio Costa de Sol + Pequeno Comércio	0+422	LE	35+9
18				Restaurante	0+422	LE	1
01/04				Bairro Pontal Santa Marina	0+500 à 2+350	LE	600
19				Portal das telhas e madeiras	0+831	LE	1
20				Aço Norte	0+831	LE	1
21				Marmoraria	0+831	LE	1
22				Móveis Casanova	0+831	LE	1
23				Auto Posto	0+831	LE	1
25				Distribuidora Sulvape	0+831	LE	1
26				Motel	0+831	LE	1
27				Ferro Velho	0+831	LE	1
03 B				Edifício Residencial	0+917	LE	36
48				Clube e associação Japonesa	1+135	LE	1

**Tabela 7.8 – Hipóteses Seleccionadas/ Aglomerados Humanos Significativos/ Cálculo dos Riscos**

Ponto Notável	Hipótese	Maior distância atingida (m)	Município	Localidade	Localização (km)	Lado*	Construções Atingidas
49	2BI	579,2	Caraguatatuba	Clube desativado (associação dos aposentados)	1+135	LE	1
50				Clube dos escoteiros	1+135	LE	1
03 D				Edifício Residencial	1+925	LE	18
03 E				Edifício Residencial	1+950	LE	24
03 F				Edifício Residencial	2+155	LE	12

### 7.3.3 Efeito Dominó

Efeito dominó é o evento decorrente da sucessão de outros eventos parciais indesejáveis, cuja magnitude global é o somatório dos eventos individuais.

Os parâmetros para análise de danos materiais, decorrentes de radiações térmicas foram obtidas no TNO.

Os materiais críticos de análise são madeira, material sintético, vidro e aço. Os dois primeiros são combustíveis e podem levar a incêndios secundários. O vidro, apesar de não ser combustível, pode quebrar sob efeito de mudança de temperatura. O aço, não protegido para temperaturas elevadas, também não é combustível, mas a resistência e dureza reduzem quando a temperatura aumenta, podendo levar a uma falha estrutural.

Os danos materiais devido ao calor de radiação térmica podem ser diferenciados em dois níveis:

- Danos nível 1: ignição da superfície exposta e sua quebra ou outro tipo de falha estrutural (colapso).
- Danos nível 2: descoloração da superfície do material, descascamento da pintura e/ou deformação dos elementos estruturais.

A radiação térmica necessária para atingir o dano nível 1 é mais alta que a necessária para o dano nível 2.

No caso de instalações industriais, os equipamentos de processo, de armazenamento ou dutos de transporte de produtos perigosos são normalmente de aço, material de interesse para este estudo. A falha estrutural de um destes pode levar a acidentes secundários do acidente inicial (efeito dominó).

A Tabela 7.9 apresenta valores de radiação críticos para materiais avaliados pelo TNO, válido para um tempo de exposição superior a 30 minutos.

**Tabela 7.9 – Valores Críticos de Radiação Térmica por Tipo de Material**

Material	Intensidade de Radiação Crítica (kW/m <sup>2</sup> )	
	Danos Nível 1	Danos Nível 2
Madeira	15	2
Material sintético	15	2
Vidro	4	-
Aço	100	25

Fonte: TNO, 1992.

No caso de estruturas de aço, a relação entre a superfície do corpo exposto, a radiação e incidência da chama não tem um valor fixo, mas depende da geometria do elemento e de uma análise de transferência de calor e do tempo de exposição.

Assim, deve ocorrer uma série de eventos em cadeia, ou seja, após a ocorrência de um vazamento é necessário que ocorra a ignição do produto, a chama tem que estar direcionada para a outra tubulação, não enterrada, por um período de tempo prolongado, esta tem que sofrer um colapso estrutural e o produto liberado tem que ser ignizado. Esta situação também não prevê a adoção dos procedimentos emergenciais.

Com o objetivo de se validar a hipótese de que a ocorrência de efeito dominó é extremamente remota, analisou-se os resultados das simulações de consequência com base nos parâmetros operacionais do gasoduto em estudo e observa-se pelas Tabelas 7.5 e 7.6 que nenhum evento atinge radiações térmicas igual ou superiores a 100 kW/m<sup>2</sup>. Além disso, esse valor de

radiação de 100 kW/m<sup>2</sup> corresponde a um tempo de exposição de 30 minutos para o colapso de estruturas de aço, conforme Tabela 7.9

Com base em todas as informações levantadas, conclui-se que a possibilidade de ocorrência de efeito dominó não é esperada para o duto que compartilhada faixa com o Gasoduto PMXL1-UTGCA.

