

**ANA FLÁVIA ALVES OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DE RISCOS DECORRENTES DA LIBERAÇÃO DE ETANOL EM  
TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE UMA INDÚSTRIA  
SUCROENERGÉTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Rita de Cássia Superbi de Sousa

Coorientadora: Adriana Ferreira de Faria

**VIÇOSA - MINAS GERAIS**

**2019**

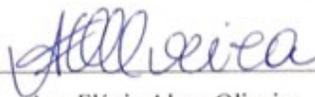
ANA FLÁVIA ALVES OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE RISCOS DECORRENTES DA LIBERAÇÃO DE ETANOL EM  
TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE UMA INDÚSTRIA  
SUCROENERGÉTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

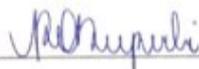
APROVADA: 16 de setembro de 2019.

Assentimento:



Ana Flávia Alves Oliveira

Autora



Rita de Cássia Superbi de Sousa

Orientadora

Dedico aos meus pais, à minha irmã e a  
toda minha família.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar saúde e perseverança para conquistar meus objetivos.

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais Any e Sandro, que sempre confiaram em meu sucesso profissional e pessoal, e que sempre se dedicaram a garantir que tivesse uma boa educação e formação.

Agradeço à Universidade Federal de Viçosa pela estrutura de ensino e pesquisa que me fizeram adquirir os conhecimentos necessários para chegar a este momento. Ao Departamento de Química e Engenharia Química, onde me formei como Engenheira Química.

À professora Rita de Cássia Superbi de Sousa, minha orientadora, por confiar nos meus trabalhos, pela amizade, por todos os ensinamentos durante a graduação e mestrado e por dar todo o suporte para realização deste trabalho.

À minha irmã Lívyia por ser companhia constante nesses anos e ter o melhor cachorro possível: o “Dagle”, que torna nossos dias mais engraçados e fofos.

Aos meus amigos de Viçosa que sempre estiveram presentes nas horas de estudos e diversão.

À empresa em que trabalho, por confiar em meus serviços e se interessar nos processos de melhoria e estudo aqui presente.

Ao Lucas por ser a melhor companhia no Mato Grosso do Sul.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, obrigada.

A todos que contribuíram para que esse trabalho fosse realizado. Obrigada!

*“O que é escrito sem esforço, em geral  
é lido sem prazer.”*

*Samuel Johnson*

## **BIOGRAFIA**

ANA FLÁVIA ALVES OLIVEIRA, filha de Sandro Guimarães de Oliveira e Any Denise Alves de Oliveira, é natural de João Monlevade, Minas Gerais. Nasceu em 05 de fevereiro de 1994.

Em março de 2012 iniciou os estudos de Engenharia Química na Universidade Federal de Viçosa (UFV). Ana Flávia se formou em janeiro de 2017. Em março desse mesmo ano iniciou o mestrado em Engenharia Química pela mesma Universidade. Em setembro de 2017 viajou ao Canadá para aperfeiçoar o inglês, frequentando aulas de inglês e inglês para negócios na cidade de Vancouver.

Em 2018 iniciou sua jornada profissional no setor sucroenergético, atuando como Engenheira de Processos.

Em setembro de 2019 concluiu seu mestrado em Engenharia Química, na UFV, na área de Processos Industriais.

## RESUMO

OLIVEIRA, Ana Flávia Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2019. **Avaliação de riscos decorrentes da liberação de etanol em tanques de armazenamento de uma indústria sucroenergética.** Orientadora: Rita de Cássia Superbi de Sousa. Coorientadora: Adriana Ferreira de Faria.

O setor sucroenergético no Brasil tem origem secular e nos dias atuais é responsável pelo maior processamento de cana-de-açúcar mundial. Com o crescimento do setor e altas vazões de produtos, as indústrias e equipamentos precisaram se readequar às novas condições de processo e operação, assim alguns riscos inerentes ao processo se potencializaram em relação ao impacto que podem causar devido à grande produção. O armazenamento do etanol foi estudado a fim de avaliar os riscos intrínsecos a este processo, como derramamento, inflamabilidade e incêndio. Foram utilizados diferentes métodos de análise de risco industrial, como o método de Análise Preliminar de Risco (APR), utilização do software ALOHA®, que permite observar os possíveis impactos de eventos indesejados na região da ocorrência e o método de análise de riscos *Checklist* usado para avaliar possíveis fontes causadoras de eventos indesejados dessa operação, assim como possíveis formas de controle. Pôde-se observar que, em condições de derramamento, incêndio ou área de inflamabilidade, as condições atmosféricas impactam nos raios das áreas de risco. É relevante que, na possibilidade de ocorrer os eventos estudados neste trabalho, o raio de segurança seja respeitado, com a evacuação dos trabalhadores que operam naquele raio e que haja a garantia de ausência de fontes de ignição dentro desse perímetro, garantindo que as salvaguardas necessárias estejam aptas a serem utilizadas.

**Palavras-chave:** Análise Preliminar de Risco. Software ALOHA®. Derramamento. Incêndio.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Ana Flávia Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2019.  
**Risk assessment of ethanol release in storage tanks of a sugar-energy industry.**  
Advisor: Rita de Cássia Superbi de Sousa. Co-advisor: Adriana Ferreira de Faria.

The sugar-energy sector has a secular origin in Brazil and currently this sector is responsible for the largest processing of sugar cane around the world. With the increase of this sector and high flow of these products, the sugar-energy industry and equipments needs to readjust to the new process and operating conditions. With the new conditions of the process, some risks have potentiated in relation to the impact that they can generate. The ethanol storage was study to analyze the risk about this process (release, fire and flammability). This study used differents risk analyses methods to observe the impact of ethanol release, for example was used Preliminary Risk Analysis (PRA) and the software ALOHA®. Also was used the method Checklist to evaluated probably source of this kind of release; these method was used too to identify forms to control this events. This study shows that the atmospheric conditions have a large influence on the impacts of ethanol release the same occur when is simulated events of fire and inflammability joint an ethanol release. Is relevant that in case of ethanol release (like was studied) the evacuation of the operation works occur in the zone of hazard, also is important that has not ignition source in this zone to prevent biggest accidents and that ensure the security methods been available to use.

**Keywords:** Preliminary Risk Analysis. Software ALOHA®. Release. Burning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma geral do processo produtivo de açúcar, etanol e energia.....	19
Figura 2. Diagrama de blocos do processo produtivo e localização da operação de armazenamento de etanol na linha de produção.....	35
Figura 3. Matriz de Risco.....	41
Figura 4. Modelo de APR.....	41
Figura 5. Raio de perigo para radiação térmica emitida na condição de poça de fogo para simulação 27.....	56
Figura 6. Resultados para a condição atmosférica da simulação 27 com área de queima equivalente à área do tanque de estocagem.....	57
Figura 7. Raio de dispersão de nuvem tóxica de etanol para a simulação 65.....	65
Figura 8. Raio de atmosfera explosiva de acordo com a simulação 65.....	72
Figura 9. <i>Checklist</i> operacional do armazenamento de etanol.....	74
Figura 10. Simulação 20: poça de fogo.....	85
Figura 11. Simulação 22: poça de fogo.....	86
Figura 12. Simulação 27: poça de fogo.....	87
Figura 13. Simulação 28: poça de fogo.....	88
Figura 14. Simulação 61: nuvem tóxica.....	90
Figura 15. Simulação 62: nuvem tóxica.....	91
Figura 16. Simulação 63: nuvem tóxica.....	92
Figura 17. Simulação 64: nuvem tóxica.....	93
Figura 18. Simulação 65: nuvem tóxica.....	94
Figura 19. Simulação 96: nuvem tóxica.....	95
Figura 20. Simulação 97: nuvem tóxica.....	96
Figura 21. Simulação 98: nuvem tóxica.....	97

Figura 22. Simulação 99: nuvem tóxica.....	98
Figura 23. Simulação 100: nuvem tóxica.....	99
Figura 24. Simulação 61: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.....	101
Figura 25. Simulação 62: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.....	102
Figura 26. Simulação 63: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.....	103
Figura 27. Simulação 64: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.....	104
Figura 28. Simulação 65: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.....	105
Figura 29. Simulação 71: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.....	106
Figura 30. Simulação 72: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.....	107
Figura 31. Simulação 73: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.....	108
Figura 32. Simulação 74: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.....	109
Figura 33. Simulação 75: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação da intensidade dos ventos segundo escala de Beaufort.....	37
Tabela 2. Características atmosféricas médias do período de 01/06/2018 a 30/06/2019 na localização da indústria estudada.....	37
Tabela 3. Condições atmosféricas médias do período entre 01/06/2018 e 30/06/2019 na região da indústria estudada .....	38
Tabela 4. Número de eventos com ventos moderados a muito fortes de acordo com a direção do vento no período 01/06/2018 a 30/06/2019.....	39
Tabela 5. Condições climáticas médias de ventos moderados a muito fortes, condições climáticas médias quando os ventos moderados a muito fortes se direcionam ao S e ao NW e na máxima velocidade do vento registrada no período de 01/06/2018 a 30/06/2019 na região da indústria estudada.....	39
Tabela 6. Condições climáticas médias por estação do ano entre 01/06/2018 e 30/06/2019 na região da indústria estudada.....	40
Tabela 7. Condições climáticas em momentos de umidade relativa baixa e temperaturas máximas e mínimas no período de 01/06/2018 a 30/06/2019 na região da indústria estudada.....	40
Tabela 8. Condições de simulação para possíveis eventos de incêndio em poça.....	43
Tabela 9. Condições atmosféricas usadas para simulação obtendo regiões de nuvem tóxica do produto e regiões de inflamabilidade.....	44
Tabela 10: LOC`s Radiação Térmica.....	47
Tabela 11. Concentrações ERPG do etanol.....	48
Tabela 12. Análise preliminar de risco armazenamento de etanol.....	50
Tabela 13. Resultados da simulação de poças de fogo.....	53
Tabela 14. Resultados da simulação para incêndio em tanque com condição atmosférica equivalente a simulação 27.....	57
Tabela 15. Resultados da simulação de dispersão de nuvem tóxica.....	59

Tabela 16. Resultados da dispersão de nuvem tóxica.....	64
Tabela 17. Resultado das simulações da área de inflamabilidade do derramamento em poça.....	66
Tabela 18. Raio de atmosfera inflamável.....	71
Tabela 19. <i>Checklist</i> operacional do armazenamento de etanol.....	113

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	15
2. OBJETIVOS .....	17
2.1 Objetivo geral .....	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
3.1 O risco e o perigo.....	18
3.2 A indústria sucroenergética .....	18
3.3 O risco do armazenamento do etanol na indústria sucroenergética .....	19
3.3.1 Acidentes no setor .....	20
3.4 Análise de Risco .....	22
3.4.1 Análise Preliminar de Risco (APR).....	22
3.4.2 Hazard and Operability Studies (HAZOP) .....	23
3.4.3 Checklist .....	23
3.4.4 What – if?.....	24
3.4.5 What-if /checklist .....	24
3.4.6 Análise por Árvore de Falhas – FTA.....	24
3.4.7 Análise dos Modos de Falhas e Efeitos – FMEA.....	25
3.5 Normas Regulamentadoras.....	25
3.5.1 NR 9 - Programa De Prevenção De Riscos Ambientais .....	25
3.5.2 NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos .....	26
3.5.3 NR 16 – Atividades e Operações Perigosas .....	26
3.5.4 NR 20 – Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis	27
3.5.5 NR 23 – Proteção Contra Incêndio .....	27
3.6 Formas de incêndio e explosões .....	28

3.7	Avaliação Quantitativa de Risco.....	29
3.8	Níveis Tóxicos de Preocupações .....	31
4.	METODOLOGIA .....	33
4.1	Indústria sucroenergética.....	33
4.2	Análise de risco no armazenamento de etanol.....	36
4.3	Caracterização Atmosférica.....	36
4.4	Análise Preliminar de Risco – APR.....	40
4.5	Programa computacional ALOHA®.....	41
4.5.1	Dados de entrada para o programa computacional ALOHA® .....	42
4.5.2	Condições simuladas .....	43
4.5.3	Níveis Tóxicos de Preocupação (LOC's) para simulação no ALOHA® 47	
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	49
5.1	Análise Preliminar de Risco - APR.....	49
5.2	Estimativa de consequência para incêndio em poça .....	52
5.3	Estimativa de consequência para nuvem tóxica de vapor .....	57
5.4	Estimativa de consequência para área de inflamabilidade em derramamento em poça.....	65
6.	CONCLUSÃO .....	76
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78
	APÊNDICES .....	83

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria sucroalcooleira está presente no Brasil desde os tempos da colonização do país. Ao longo do tempo, o setor evoluiu e hoje tem-se a indústria sucroenergética (adicionada a geração de energia como produto do setor), responsável por grandes produções de açúcar, etanol e energia. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com cerca de 640 milhões de toneladas processadas na safra 2017/2018 (COMAS, 2018). Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) demonstram que o Mato Grosso do Sul, ocupa o 4º lugar em termos de produção de cana-de-açúcar, com uma colheita de 49,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra de 2018 (COMAS, 2018).

Com o desenvolvimento do setor e a demanda por maiores produções por parte da indústria sucroenergética, principalmente após incentivos governamentais, as condições de operação necessárias também evoluíram, com o aumento de pressões de caldeiras, equipamentos potentes e estocagem de grande quantidade de materiais combustíveis. Mesmo com o avanço tecnológico, existe o perigo em cada etapa do processo. Dessa forma, as indústrias que processam e manipulam substâncias perigosas estão sujeitas a acidentes com potenciais efeitos graves. Os acidentes em uma planta industrial colocam em risco a operação da planta, os trabalhadores e o meio ambiente na qual está inserida.

Na indústria sucroalcooleira, após o processo de produção de etanol, o produto final, dentro das especificações de qualidade, é enviado aos tanques de armazenamento para a estocagem. Devido à inflamabilidade do etanol, a produção, manipulação e armazenagem deste envolve riscos de incêndio e explosão. É recorrente casos de tanques de armazenamento de etanol que se incendiam, causando graves danos às empresas do setor e, de acordo com suas proporções, podem apresentar potencial letal às pessoas que estão no local do acidente. Devido ao valor de mercado desse produto, quaisquer tipos de incidentes com perdas do produto envolvem, além dos riscos à saúde e integridade das pessoas que trabalham no local, riscos financeiros e de perda de ativos da indústria do setor. Para se ter uma análise concreta e efetiva dos riscos de um processo industrial, diversos métodos de análise podem ser estabelecidos, afim de identificar, avaliar e controlar esses riscos.

O método de Análise Preliminar de Risco (APR) é o primeiro método utilizado para se avaliar os riscos de um processo que poderiam afetar os seres humanos, o ambiente, o patrimônio e a imagem da empresa envolvida. O programa computacional

ALOHA® permite observar os possíveis impactos de eventos indesejados na região da ocorrência. O uso de programas computacionais que identifiquem e quantifiquem os riscos é indispensável para garantia de segurança da empresa, das pessoas e dos ativos. O método de análise de riscos *Checklist* permite avaliar possíveis fontes causadoras de eventos indesejados de uma determinada operação, assim como possíveis formas de controle.

Este trabalho teve como objetivo identificar, analisar e incrementar métodos de redução dos potenciais riscos decorrentes do derramamento de etanol, como a dispersão de vapores, áreas de inflamabilidade e incêndio no armazenamento do etanol em uma usina sucroenergética instalada no estado do Mato Grosso do Sul, utilizando os métodos APR, simulações pelo programa computacional ALOHA® e *Checklist*.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Identificar e analisar os riscos de derramamento, inflamabilidade e incêndio no armazenamento de etanol de uma indústria sucroenergética.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Identificar as metodologias de análise de risco que melhor possam ser empregadas nas operações de armazenamento de etanol;
- Aplicar metodologias de análise de riscos para avaliar qualitativamente e quantitativamente os riscos de derramamento, inflamabilidade e incêndio no armazenamento de etanol de uma planta industrial sucroenergética levando em consideração as principais características climáticas da região no último ano (velocidade do vento, direção do vento, temperatura e umidade do ar);
- Avaliar os potenciais impactos decorrentes de eventos indesejados ligados aos riscos identificados no armazenamento de etanol;
- Utilizar a metodologia de Análise Preliminar de Riscos – APR para identificar os potenciais riscos da operação de armazenamento de etanol.
- Utilizar o programa computacional ALOHA® para estimar áreas e distâncias afetadas por um possível evento indesejado nos tanques de etanol;
- Identificar oportunidades de melhorias contínuas no processo estudado de forma a diminuir os riscos envolvidos nas operações, propondo um *checklist* para a operação de armazenamento de etanol.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 O risco e o perigo**

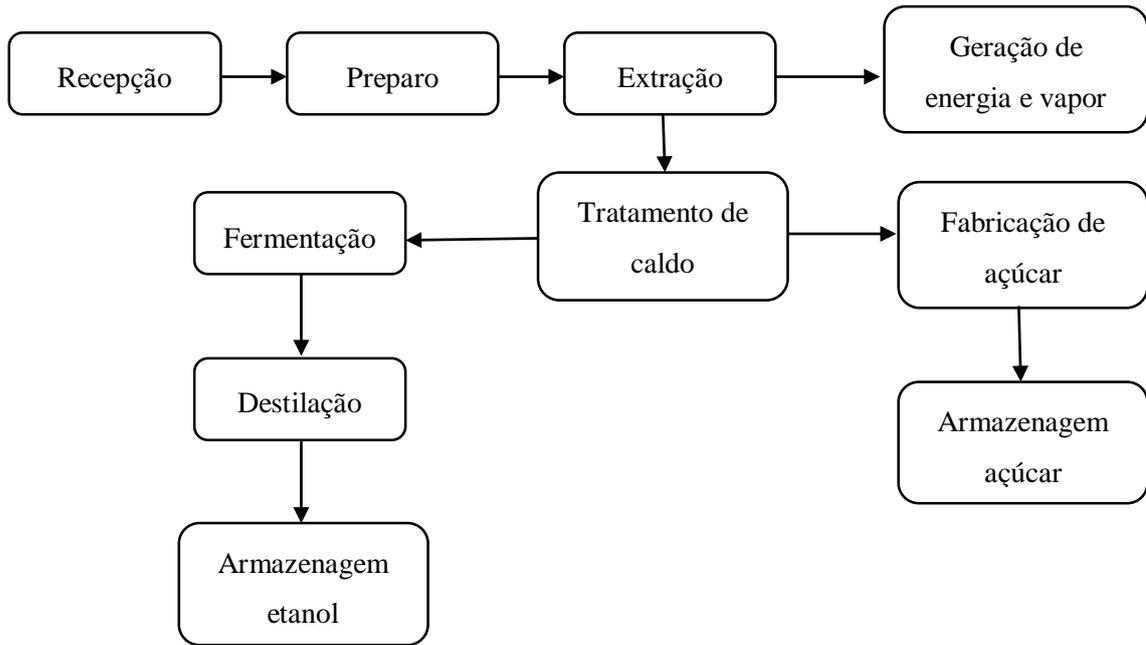
Segundo a norma OHSAS 18001 (2007), entende-se por perigo a conjuntura que apresenta potencial para causar prejuízo à saúde do trabalhador. A mesma norma caracteriza risco como a probabilidade de ocorrer eventos perigosos que causem prejuízo à saúde pelo próprio evento ou pela exposição a ele.

#### **3.2 A indústria sucroenergética**

O cultivo de cana-de-açúcar no Brasil teve início nas primeiras décadas de colonização do país, onde o objetivo principal do setor era a exportação de açúcar para suprir o mercado europeu (MILANEZ e NYKO, 2018). Durante a história do país o setor se desenvolveu e, auxiliado por incentivos governamentais como o programa Proálcool (Programa Nacional do Álcool - 1975), incentivos de produção dos carros *flex*, associado à busca mundial de desenvolvimento de fontes combustíveis renováveis e utilização de percentual obrigatório de etanol junto à gasolina, se tornou um dos maiores produtores de cana, açúcar e etanol (GUIMARÃES, 2011; SILVA e AMORIM, 2015).

Para alcançar a produtividade atual, as indústrias do setor se desenvolveram em termos de tecnologias e equipamentos utilizados. A cadeia produtiva industrial do setor sucroenergético inicia-se com o processo a recepção da cana-de-açúcar, o preparo e a extração, de onde se resulta o caldo da cana e o bagaço (VALENTE et al., 2012). O bagaço é direcionado à queima, para cogeração de energia e geração de vapor para a indústria, enquanto o caldo segue para a etapa de tratamento que consiste na correção de pH, clarificação e evaporação (ARAÚJO, 2007).

O processo produtivo geral de uma indústria sucroenergética pode ser melhor visualizado no fluxograma a seguir (Figura 1).



**Figura 1.** Fluxograma geral do processo produtivo de açúcar, etanol e energia.

O caldo com maior teor de sacarose, denominado caldo primário (originário do primeiro terno de extração das moendas), após tratado é direcionado à produção de açúcar. O caldo secundário (também denominado caldo misto) é direcionado para produção de etanol, tendo como etapa seguinte ao tratamento de caldo a fermentação. Após a fermentação, o vinho segue para o processo de destilação que tem como produto final o etanol. O etanol e o açúcar são posteriormente armazenados para futura comercialização. (VALENTE et. al, 2012; NOVA CANA, 2018)

No contexto industrial, diversos equipamentos utilizados neste processo necessitam de condições específicas de operação como pressão, temperatura, alimentação de vapor e rotação. A demanda por condições particulares em cada etapa do processo produtivo implica em riscos operacionais, ambientais e ao processo. Dessa forma, torna-se necessário o estudo das variáveis que possam ocasionar estes riscos ao processo, aos trabalhadores envolvidos e à população que, por virtude de algum cenário indesejado, possa ser afetada.

### 3.3 O risco do armazenamento do etanol na indústria sucroenergética

A Resolução ANP N°19, DE 15.4.2015, estabelece as especificações do etanol combustível hidratado. Dessa forma o etanol hidratado deve ser límpido e isento de

impurezas, possuir condutividade elétrica máxima de 300 $\mu$ S/m, massa específica entre 805,2 e 811,2kg/m<sup>3</sup>, teor alcoólico entre 92,5 e 94,6% m/m e pH entre 6 e 8.

As características do etanol devem ser garantidas pelo fornecedor de etanol e deve constar no Certificado de qualidade do etanol, emitido pela empresa fornecedora a cada batelada a ser vendida (ANP, 2015). A certificação é realizada através de análises específicas em uma amostra testemunha.

Dessa forma, o produto acabado deve possuir as características indicadas e o armazenamento garantir que o produto a ser comercializado se mantenha com a qualidade necessária.

Após produzido, o etanol é direcionado à armazenagem em tanques específicos, com capacidade para armazenar grandes volumes (VALENTE et. al, 2012). Segundo Benetom e Moreira (2016), os tanques de armazenagem de etanol devem seguir as normas da ABNT NBR 7505 (Armazenagem de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis), que define as estruturas necessários para os tanques.

Com base na ABNT NBR 7505-1 (2000), pode-se encontrar especificações para controle de vazamento e derrames, arranjo dos tanques, dispositivos de segurança pertinentes e dispositivos de emergências contra incêndio. Todos esses cuidados se tornam necessários para mitigar os riscos inerentes à armazenagem do etanol, uma vez que se trata de um líquido combustível que pode causar sérios riscos ambientais, ao processo produtivo, aos trabalhadores e população no entorno.

Outro aspecto importante mencionado na NBR 17505-5 (2006) é a necessidade de aterramento nas operações de carregamento e descarregamentos de caminhões e vagões tanque, uma vez que há o risco eminente de acúmulo de eletricidade estática. A prevenção desse risco se torna importante para que não haja descarregamento dessa eletricidade, colocando em risco os operadores envolvidos e a segurança dos tanques de armazenagem.

### **3.3.1 Acidentes no setor**

O etanol, produto acabado da indústria sucroenergética, é um líquido inflamável (NR20, 2014) e por isso suscetível a eventos inesperados de grande proporção.

De acordo com o jornal Gazeta do Povo (2007), em março de 2007, houve um incêndio na Destilaria Americana, na cidade de Nova América de Colina - PR, com 700 mil litros de álcool. Segundo a direção da empresa, um raio teria atingido o reservatório desencadeando a explosão e que, no momento do acidente, 240 funcionários estavam no

local, mas ninguém se feriu. Em setembro de 2007, ocorreu um incêndio em Usina na cidade de Canitar - SP, aproximadamente 9.000 m<sup>3</sup> de álcool pegaram fogo, 1 pessoa morreu e 11 ficaram feridos, segundo o G1 Brasil (2007) o incêndio teria sido causado por um raio.

Em dezembro de 2013 um tanque de armazenamento de etanol com capacidade de três milhões de litros explodiu e teve sua estrutura danificada devido ao calor do incêndio provocado (G1 Bauru e Marília, 2013). Não houveram feridos.

Em 2015 um incêndio atingiu seis tanques de combustíveis em Santos (SP), nos tanques eram estocados etanol e gasolina, pela empresa Ultracargo (Gazeta do Povo, 2015). Segundo o Lyra et. al (2015), não houveram vítimas, mas algumas pessoas envolvidas no acidente foram levadas ao Pronto socorro central para atendimento.

Em setembro de 2016, houve uma explosão seguida de incêndio em um tanque de armazenamento de etanol em Paraíso – SP, segundo o G1 Rio Preto e Araçatuba (2016), o incêndio chegou a atingir um tanque vizinho que também começou a pegar fogo. O incêndio foi controlado afim de evitar explosões. No entanto as atividades da usina foram suspensas durante o fato.

De acordo com o G1 Bauru e Marília (2018), em setembro de 2018 um tanque de armazenamento de etanol explodiu em Jaú (SP), um funcionário do local ficou ferido e foi encaminhado à Santa Casa de Jaú. Segundo o G1, as causas da explosão serão investigadas.

Segundo Túlio (2018), em novembro de 2018, um tanque que armazenava 5 milhões de litros de etanol pegou fogo após ser atingido por um raio em Serranópolis – GO. Os bombeiros atuaram afim de evitar que o fogo se espalhasse para outros tanques armazenamento de etanol da Usina Energética Serranópolis, não houveram vítimas (TÚLIO, 2018).

Em 10 de agosto de 2019, um tanque que armazenava cerca de 11 milhões de litros de etanol explodiu em Nova Independência (SP) (G1 Rio Preto e Araçatuba, 2019). Segundo o G1 Rio Preto e Araçatuba (2019), as operações da usina foram paralisadas e o trabalho de combate ao fogo durou cerca de 20 horas. De acordo com o G1 Rio Preto e Araçatuba (2019), os bombeiros trabalharam de forma a evitar que o incêndio atingisse os outros seis tanques de armazenamento de etanol da empresa não fossem atingidos e não há relatos de vítimas.

### 3.4 Análise de Risco

A análise dos riscos dos processos industriais tem como principal objetivo quantificar e avaliar os riscos técnicos e de operação de um determinado processo químico (AVEN e COX JR, 2016). É importante identificar os pontos fracos ou falhas que podem ocasionar acidentes, avaliar o risco que é oferecido, qualitativa e quantitativamente, bem como propor medidas mitigadoras para estes riscos. As conclusões de uma análise de risco podem ter influência direta na tomada de decisões sobre a operação industrial, uma vez que o sistema de gestão de riscos visa a garantia da segurança do trabalho e minimização dos riscos ambientais (JUNIOR e CUTRIM, 2013).

Para se obter dados e estudos das análises, foram desenvolvidos diversos métodos de análise de riscos (AVEN e COX JR, 2016). A gestão de riscos correlatos a um processo engloba a identificação, análise e controle dos riscos presentes no setor avaliado (JUNIOR e CUTRIM, 2013).

Segundo a ABNT ISO 31000 (2009), a análise de risco faz parte da gestão de risco de um processo que tem como objetivo o entendimento da origem do risco e a determinação do seu potencial, sendo a gestão de risco um conjunto de “comunicação e consulta, avaliação, monitoramento e análise crítica dos riscos”.

Segundo Barros (2013) são métodos de análise de risco, com reconhecimento global são:

- Análise Preliminar de Risco (APR)
- Estudo de Riscos e Operabilidade (HAZOP - *Hazard and Operability Studies*)
- Checklist
- What-If
- What-If / Checklist
- Análise por Árvore de Falhas – FTA
- Análise dos Modos de Falhas e Efeitos - FMEA

#### 3.4.1 Análise Preliminar de Risco (APR)

Análise preliminar de riscos usualmente é o primeiro método utilizado para se avaliar os riscos de um processo sendo capaz de identificar riscos antes mesmo da implantação de um projeto (SOUZA, 1995). Segundo Sella (2014) é um método de análise que visa identificar os riscos para os seres humanos envolvidos pelo processo organizacional, o ambiente, o patrimônio, operação e imagem da empresa em questão.

O objetivo central da análise preliminar de riscos é reduzir ou eliminar os riscos de um processo e, caso seja um risco impossível de se eliminar, a APR visa o controle de tal risco para que se evite eventos indesejáveis (SELLA, 2014).

Na APR correlaciona-se a operação e seus riscos de acordo com a frequência e impacto do risco que a envolve, essa correlação tem como objetivo categorizar o risco como baixo risco, risco moderado ou alto risco, dando origem à matriz de risco (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO, 2017).

### **3.4.2 Hazard and Operability Studies (HAZOP)**

O estudo de riscos e operabilidade, também conhecido como análise HAZOP, está presente nos estudos de riscos industriais desde a década de 1960 (SELLA, 2014). O método consiste na identificação do risco, o que pode tê-lo gerado e os efeitos decorrentes desse risco. A análise HAZOP se concentra nos desvios de operação de um sistema e das variáveis de um processo (LEIMEISTER E KOLIOS, 2018; BARROS, 2013).

O método deve ser empregado por uma equipe técnica que tenha conhecimento do método e das operações a serem analisadas. Não se deve ultrapassar sete componentes para que se garanta produtividade e elimine especulações sobre a análise (BARROS, 2013).

A análise HAZOP pode ser aplicada tanto a processos contínuos quanto descontínuos, o que a torna amplamente difundida no meio industrial (BARROS, 2013). Segundo Sella (2014) este tipo de análise deve ser realizada com o devido conhecimento do fluxograma do processo - PFD e fluxogramas de linhas e instrumentos - P&ID, dessa forma consegue se obter as consequências dos desvios analisados e atuar sobre os potenciais riscos do sistema.

Para aplicação do método, utiliza-se uma tabela como guia da análise onde pode-se relacionar as variáveis do processo, como vazão, temperatura, concentração, fluxo, com as palavras-guia, como mais, menos, nenhum, e o evento inesperado relacionado a essa alteração dos padrões da variável analisada (VERITAS, 2006).

### **3.4.3 Checklist**

O método de análise de risco conhecido como *checklist* consiste na análise de risco de baixa complexidade executada através da verificação dos padrões desejados para o processo analisado. Ao se realizar este método de análise é possível identificar as diferenças entre o padrão e a situação real encontrada (BARROS, 2013). O *Checklist* se

torna eficiente para análises de sistemas em que os padrões são consolidados (BARROS, 2013).

Barros (2013) ressalta que tal método, após desenvolvido é de fácil aplicação e ao ser executado traz resultados rápidos de verificação de conformidades. O *Checklist* é o método que identifica variáveis que não se enquadram nos padrões estabelecidos.

#### **3.4.4 What – if?**

A análise de risco realizada a partir do método *what-if* tem como objetivo identificar os riscos que envolvem um sistema a partir da realização da pergunta “E se?”. Em razão da resposta à essa pergunta é possível determinar os potenciais riscos em um sistema, e prever falhas e erros que possuem potenciais para gerar risco no processo (LEIMEISTER E KOLIOS, 2018).

O método *what-if* utiliza questionamentos e análises a partir de *brainstorming* em que literalmente pode-se utilizar uma tempestade de ideias (tradução do termo em inglês) para abranger todos os eventos indesejáveis que possam existir na planta industrial (BARROS, 2013). Ao se identificar o potencial risco através do método *what-if* a equipe responsável pelas discussões deve apresentar medidas preventivas para o possível desvio. De acordo com Barros (2013), nesta análise é possível se combinar diversos perigos afim de se criar um cenário de acidente factível que se necessite de atuação e prevenção.

#### **3.4.5 What-if /checklist**

Segundo Calixto (2006), o método *what-if* foi criada a partir do *checklist* para sanar as lacunas deixadas por este método, dessa forma seria possível uma análise mais aprofundada desenvolver a ação pertinente à prevenção do risco.

Autores como Vasconcelos et. al (2002), sugerem uma associação dos dois métodos como forma de se obter uma análise integral e apurada do potencial de falha.

#### **3.4.6 Análise por Árvore de Falhas – FTA**

O método de análise de riscos por FTA é um método dedutivo de análise em que a falha é o ponto inicial de um diagrama em árvore e a partir dessa falha são deduzidas as possíveis causas do evento indesejado (LEIMEISTER E KOLIOS, 2018; BARROS, 2013)

Segundo Calixto (2006), a FTA pode ter como evento topo, eventos indesejáveis decorrentes da combinação de outros eventos e desvios e que podem se desdobrar em um

evento indesejável de grandes proporções. Neste método de análise se torna possível reunir falhas humanas, operacionais e de equipamentos e componentes que fazem parte do processo analisado (BARROS, 2013). Com isso se torna viável controlar os eventos e falhas que podem ser os causadores do evento topo.

### **3.4.7 Análise dos Modos de Falhas e Efeitos – FMEA**

O método de análise de risco através da Análise dos Modos de Falhas e Efeitos visa estudar as falhas decorrentes de um equipamento e o sistema em que está inserido. Dessa forma, segundo Calixto (2006), torna-se possível identificar as diferentes maneiras com que um equipamento do processo estudado possa vir a falhar. Com base nessa primeira análise, o método ainda prevê os efeitos que podem ser causados em decorrência da falha analisada, conforme explica Schmitt (2013).

Segundo Barros (2013) o FMEA deve ser realizado a partir da seleção de um sistema de estudo, a partir desse sistema deve-se observar e descrever as funções dos equipamentos que o compõe e em seguida listar as possíveis falhas, modos como o equipamento pode falhar. Na sequência, deve-se avaliar os possíveis efeitos decorrentes das falhas verificadas. Por fim, deve criar maneiras que identifiquem com facilidade quando ocorrer cada uma destas falhas e apresentar meios de controle dessas falhas.

## **3.5 Normas Regulamentadoras**

### **3.5.1 NR 9 - Programa De Prevenção De Riscos Ambientais**

A Norma Regulamentadora NR 9 (2017), estabelece que todas as empresas são obrigadas a elaborar e implementar o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais - PPRA, com o objetivo de assegurar a saúde e segurança dos trabalhadores. Tal programa deve antecipar, reconhecer, avaliar, controlar e monitorar os riscos ambientais que existam ou possam existir na empresa, e deve ter como base a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais.

Dessa forma para elaboração do PPRA, deve-se reconhecer os riscos, identificando-os, localizando as fontes que gerem riscos, identificando possíveis trajetórias de agentes causadores de risco, exposição, identificação dos possíveis danos, e das medidas de controle já existentes. Para avaliar esses riscos, segundo a NR 9 (2017), deve-se comprovar a e dimensionar a exposição, e equacionar as medidas de controle.

Segundo a NR 9 (2017), as medidas de controle devem incluir medidas de proteção coletiva e quando estas não forem suficientes, medidas de caráter administrativo e utilização de equipamentos de proteção individual que minimizem os riscos ocupacionais.

### **3.5.2 NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**

A NR 12 (2018) dita sobre os princípios fundamentais de proteção para garantir a integridade física dos colaboradores de uma indústria, estabelecendo requisitos específicos para a operação de seus equipamentos – exceto os movidos por força humana ou animal, eletrodomésticos ou antiguidades. É essa norma que define especificidades quanto a organização física das instalações, equipamentos eletrônicos, arranjo de cada tipo de dispositivo (acionamento, partida e parada), zonas de segurança, paradas de emergência, componentes pressurizados, transportadores de materiais, aspectos ergonômicos, sinalizações, manuais, capacitações e demais requisitos de segurança.

Segundo essa norma, as medidas de proteção são classificadas como de caráter coletivo, administrativas ou de proteção individual, e devem ser seguidas nessa prioridade, cabendo aos operadores cumprir todas as orientações determinadas para cada etapa do processo, participar dos treinamentos oferecidos e comunicar a seu superior caso identifique dano em algum dispositivo de segurança. De acordo com a legislação vigente, uma máquina não possui obrigatoriedade de adequação a normas técnicas definidas após sua aquisição, entretanto, deve atender plenamente à NR 12, bem como a seus anexos e alterações posteriores.

### **3.5.3 NR 16 – Atividades e Operações Perigosas**

A NR 16 (2015) considera “operações com caminhões-tanques, bombas e vasilhames, com inflamáveis líquidos” como operações perigosas, dessa forma todos os trabalhadores envolvidos nesse tipo de atividade fazem jus a adicional de periculosidade de 30%. A NR16 (2015) inclui nesse tipo de atividades operações comuns na indústria sucroenergética, como a amostragem de tanques cheio de etanol, possíveis pontos de vazamento, entre outras atividades que ocorram dentro da bacia de contenção dos tanques de armazenamento de etanol.

Segundo a NR 16 (2015), a área de carregamento de etanol é considerada área de risco em um raio de 15 metros do ponto de enchimento do caminhão que está sendo carregado.

Consta na NR 16 (2015) que toda área de risco deve ser devidamente delimitada, sendo esta delimitação, responsabilidade do empregador.

#### **3.5.4 NR 20 – Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis**

A NR 20 (2014) estabelece as normas básicas contra fatores de risco de acidentes decorrentes de operações com líquidos inflamáveis e líquidos combustíveis. Aplicando-se a atividades de extração, produção, armazenamento, transferência, manuseio e manipulação dos líquidos inflamáveis e combustíveis, abrangendo desde a fase de projeto, construção, montagem, operação, manutenção, inspeção e até a desativação da instalação.

Segundo a NR 20 (2014), deve-se realizar análise de risco desses tipos e atividades afim de prevenir contra danos ambientais e à saúde do trabalhador. Assim como estabelece que os profissionais que atuam nesse tipo de atividade devem ser capacitados para tal de acordo com o exercício da função.

De acordo com a NR 20 (2014), classifica-se como líquidos inflamáveis os líquidos com ponto de fulgor menor ou igual a 60° C e como líquidos combustíveis os líquidos com ponto de fulgor entre 60° C e 93° C.

A NR 20 (2014) estabelece ainda que, para transferência de inflamáveis e enchimento de tanques, os procedimentos utilizados devem eliminar/minimizar a emissão de vapores e gases inflamáveis, e devem controlar a geração, o acúmulo e possível descarga de eletricidade estática. Segundo a NR 20 (2014), nesses processos devem existir medidas de controle para emissões fugitivas que possam ser emanadas durante a carga e descarga de tanques fixos ou veículos transportadores.

Segundo a NR 20 (2014) também devem haver medidas de prevenção de derramamentos vazamentos incêndios e explosões.

#### **3.5.5 NR 23 – Proteção Contra Incêndio**

A NR 23 (2011) discorre sobre o dever de os empregadores adotarem medidas de prevenção de incêndios, de acordo com a legislação vigente. Sendo eles responsáveis por disponibilizar aos seus trabalhadores esclarecimentos sobre o uso de equipamentos, procedimentos, saídas de emergência e dispositivos de combate ao incêndio. As medidas propostas por essa norma visam a segurança dos trabalhadores, de forma que possam deixar locais de incêndio de forma rápida.

Além disso, a NR 23 (2011) estabelece que os locais de trabalho disponham de saídas de modo a assegurar o abandono com rapidez e segurança, em caso de emergência, todas claramente identificadas por sinais luminosos, indicando a direção, e que nenhuma saída de emergência seja fechada à chave ou presa durante a jornada de trabalho.

### 3.6 Formas de incêndio e explosões<sup>1</sup>

Quando ocorre a liberação de material inflamável, seja em forma líquida ou em forma de vapor, o cenário e condições de ambiente em que ocorre esse evento podem implicar em incêndios ou explosões. Os incêndios ocorrem quando um material combustível e o oxigênio reagem a partir de uma fonte de ignição gerando gases e calor e as explosões são caracterizadas por uma liberação rápida de gases ou energia armazenada (MENDES-SILVA, 2018 e AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS, 1999).

Alguns tipos de explosões e incêndios são conhecidos e dentre eles a Explosão de nuvem de vapor, o *Flash fire*, o BLAVE (*Boiling liquid expanding vapor explosions*), piscinas de fogo e jatos de fogo, estão associados à liberação indesejada de material combustível/inflamável.

A explosão da nuvem de vapor é caracterizada por um vazamento de gás ou líquido inflamável resultando em uma nuvem de vapor inflamável no ar que circunda a região do vazamento. Caso a dissipação dessa nuvem de vapor não seja suficiente para levar sua concentração abaixo do limite inferior de inflamabilidade (LFL – *Lower flammability limit*) uma possível fonte de ignição na região pode levar à explosão.

O *Flash Fire* é caracterizado por um incêndio instantâneo decorrente da liberação de material combustível no ambiente, esse tipo de incêndio possui chamas de curta duração (poucos segundos) e por isso, as consequências da radiação térmica desse tipo de fenômeno é pouco relatada.

O BLAVE é caracterizado pela ruptura repentina do armazenamento de um líquido superaquecido e pressurizado. Essa liberação repentina gera uma onda de pressão e de fragmentos em seu entorno e possui dimensões cerca de 200 vezes maior do que seu volume original. Nos casos em que esse fenômeno ocorre no armazenamento de líquidos

---

<sup>1</sup> Informações baseadas em AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS, 1999.

inflamáveis pode-se gerar uma grande bola de fogo na região da liberação. O equipamento de armazenamento estando enfraquecido e a ocorrência de aumento de pressão e temperatura do líquido podem, associados, levar à ocorrência desse tipo de explosão.

O *Pool Fire*, incêndio em piscina, se inicia através do derramamento de material inflamável de um equipamento ou processo. Na maioria dos casos de armazenamento de líquidos combustíveis em plantas industriais, o volume do líquido derramado é contido em uma bacia de contenção, formando-se uma piscina/poça do material. A partir da formação da poça do material inflamável caso exista a presença de uma fonte de ignição inicia-se o incêndio. O incêndio dos líquidos armazenados em temperaturas abaixo do ponto de ebulição desta substância pode ocorrer através da queima do vapor resultado da volatilização do líquido derramado. Os efeitos dessa piscina de fogo podem ser expressivos quanto à radiação térmica emitida de acordo com o tipo de líquido inflamável, duração da queima e localização do acidente.

Os jatos de fogo, *Jet Fire*, são decorrentes da liberação de material inflamável de um local pressurizado para a pressão atmosférica.

### **3.7 Avaliação Quantitativa de Risco**

A Avaliação Quantitativa de Riscos, também referida como QRA (*Quantitative Risk Assessment*) apresenta-se como metodologia fundamental para determinar os riscos e implicações de operações com substâncias perigosas e sua utilização da QRA facilita prever os potenciais efeitos de sinistros ligados à liberação dessas substâncias (MENDES-SILVA et al., 2018).

Os autores Mendes-Silva et al. (2018) consideram esta ferramenta valiosa ao modelar as consequências da liberação de gases, incêndios e explosões, assim como os efeitos da toxicidade desses materiais liberados sobre a saúde humana e para o ambiente. Consideram também que além dos efeitos sobre a saúde e meio ambiente, eventos como incêndios e explosões devem ser estudados devido ao potencial de perdas de ativos e de capital para a empresa em que o evento indesejável possa ocorrer.

Com base na descrição apresentada por Mendes-Silva et al. (2018), na Avaliação Quantitativa de Riscos determina-se primeiro o sistema alvo de estudo e as informações do processo como, as características físico químicas dos materiais utilizados no processo, os balanços de massa, os diagramas de fluxo, os diagramas de tubulação e instrumentação, procedimentos operacionais e de documentação, informações sobre a tecnologia e a

química do processo relevantes para a análise. Os dados geográficos, altitude, latitude, longitude e climáticos, onde o estudo será realizado devem ser coletados para as etapas posteriores de determinação das consequências e análise de vulnerabilidade.

Os autores Mendes-Silva *et al.* (2018) consideram que a Avaliação Quantitativa de Riscos é composta por quatro fases, sendo elas a caracterização do processo e do local, a identificação dos cenários de risco, estimativa dos efeitos e por último a análise de vulnerabilidade. Na caracterização do processo define-se o sistema a ser avaliado e as informações deste sistema como; as características dos materiais utilizados no processo, os balanços de massa e fluxogramas do processo, procedimentos operacionais e de documentação e informações sobre as tecnologias utilizadas. Na caracterização do local os dados geográficos e climáticos, onde o estudo será realizado devem ser coletados para as próximas etapas da análise. Para a identificação dos cenários de risco e suas frequências é comumente realizada utilizando metodologias qualitativas podendo ser utilizados por exemplo: HAZOP, APR, FMEA, “*What-if?*” e “*Checklist*”. Segundo Mendes-Silva *et. el* (2018), esse tipo de estudo deve levar em conta os piores cenários, já que dessa forma é possível estudar as consequências mais graves possíveis. Partindo dos cenários de risco utilizando equações de vulnerabilidade e modelos matemáticos pode-se realizar o estudo de análise de consequências. O qual permite determinar quantitativamente as consequências potenciais de cada cenário de risco. É necessária a existência de modelos para avaliar os efeitos físicos das liberações acidentais de materiais perigosos para projetistas, fabricantes de equipamentos industriais e seus operadores. Para cálculos de QRA são considerados apenas os efeitos causados pela quantidade de substância de liberações instantâneas ou de duração máxima de 60 minutos, apesar de existir derramamentos de maiores durações. A área vulnerável corresponde a toda a área que pode ser atingida em caso de acidente, e deve-se considerar todas as condições climáticas e geológicas para esse estudo. A avaliação dos possíveis impactos às pessoas leva em consideração dois tipos de riscos, o individual e o societal. O risco individual é o impacto máximo em um único indivíduo dentro da zona de risco e o societal considera o impacto cumulativo que pode afetar um grupo de pessoas. Há também os efeitos sofridos pela população ao redor da fábrica, considerando que 70% da população existente estará em casa durante o horário comercial e 100% durante à noite e para os efeitos da zona industrial considera-se 100% presente em horário comercial e apenas 20% no período noturno.

### 3.8 Níveis Tóxicos de Preocupações

Os níveis tóxicos de preocupação (*Level of Concern – LOC*) de uma substância são concentrações a partir das quais a saúde dos indivíduos expostos começa a ser comprometida quando ocorre a inalação (JONES et. al, 2013). Dessa forma, ao se realizar um estudo de riscos e consequências de eventos indesejados é importante determinar quais são os níveis tóxicos de preocupação da substância analisada.

Segundo o JONAS et. al (2013), os LOCs são delineados para que se possa estimar em que concentrações a população atingida pela liberação de substâncias tóxicas no ar apresenta efeitos adversos à saúde.

Dessa forma, segundo Mendes-Silva et.al (2018), pode-se utilizar alguns critérios criados por órgãos governamentais como referência para limites de exposição. Essas metodologias, segundo Jonas et. al (2013), foram desenvolvidas de forma a auxiliar nos planos de atendimento a emergência (PAE). As principais delas, segundo o NOAA's Office of Response and Restoration (2019) são:

- O AEGL (*Acute Exposure Guideline Levels*) é uma metodologia empregada para ponderar as concentrações que, na população comum, apresenta efeitos nocivos à saúde durante um período de exposição ao composto químico. É considerado pelo NOAA's Office of Response and Restoration (2019) como a melhor diretriz de níveis tóxicos de preocupação já desenvolvidos, são criteriosamente revisados e destinados ao público em geral, incluído indivíduos sensíveis.
- O ERPG (*Emergency Response Planning Guidelines*) estima as concentrações nocivas ao público adulto e saudável submetidos à uma hora de exposição ao agente químico. Este tipo de diretriz não considera o público sensível (NOAA's Office of Response and Restoration, 2019).
- O PAC (*Protective Action Criteria for Chemicals*) é uma combinação dos dados de AEGL e ERPG. O IDLH (*Immediately Dangerous to Life and Health Limits*) é um limite de exposição no local de trabalho para os trabalhadores que estão expostos à substâncias tóxicas (NOAA's Office of Response and Restoration, 2019).

Cada uma dessas diretrizes pode ser utilizadas para definir uma zona de perigo de acordo com os efeitos esperados para a substância tratada. Em cada uma das diretrizes existem níveis de preocupação em que o primeiro nível se trata de concentrações em que o indivíduo atingido apresenta apenas efeitos leves e temporários, o segundo nível é aquele em que o indivíduo afetado apresenta efeitos incapacitantes e, por último, o terceiro nível é

aquele em que as concentrações da substância analisada pode conferir risco de morte ao indivíduo afetado (*NOAA's Office of Response and Restoration, 2019*).

## **4. METODOLOGIA**

Os processos industriais que fazem a utilização de produtos químicos e condições de operação e processo rigorosas, tem-se associados a eles grandes potenciais de riscos, como manuseio de produtos e garantia de procedimentos corretos de operação. Dessa forma a análise de riscos que envolve este tipo de processo se torna necessária.

O presente estudo utiliza diferentes metodologias de análise de risco aplicadas ao setor de armazenamento de etanol de uma indústria sucroenergética. A partir de um fluxograma detalhado do processo produtivo, representado por meio de diagrama de blocos, foi identificado potenciais de risco em um caso real da planta sucroenergética localizada no Mato Grosso do Sul, onde se se produz açúcar, etanol e energia em grandes proporções. Realizou-se as análises de risco no ponto de identificação de risco eminente mencionado: armazenamento de etanol.

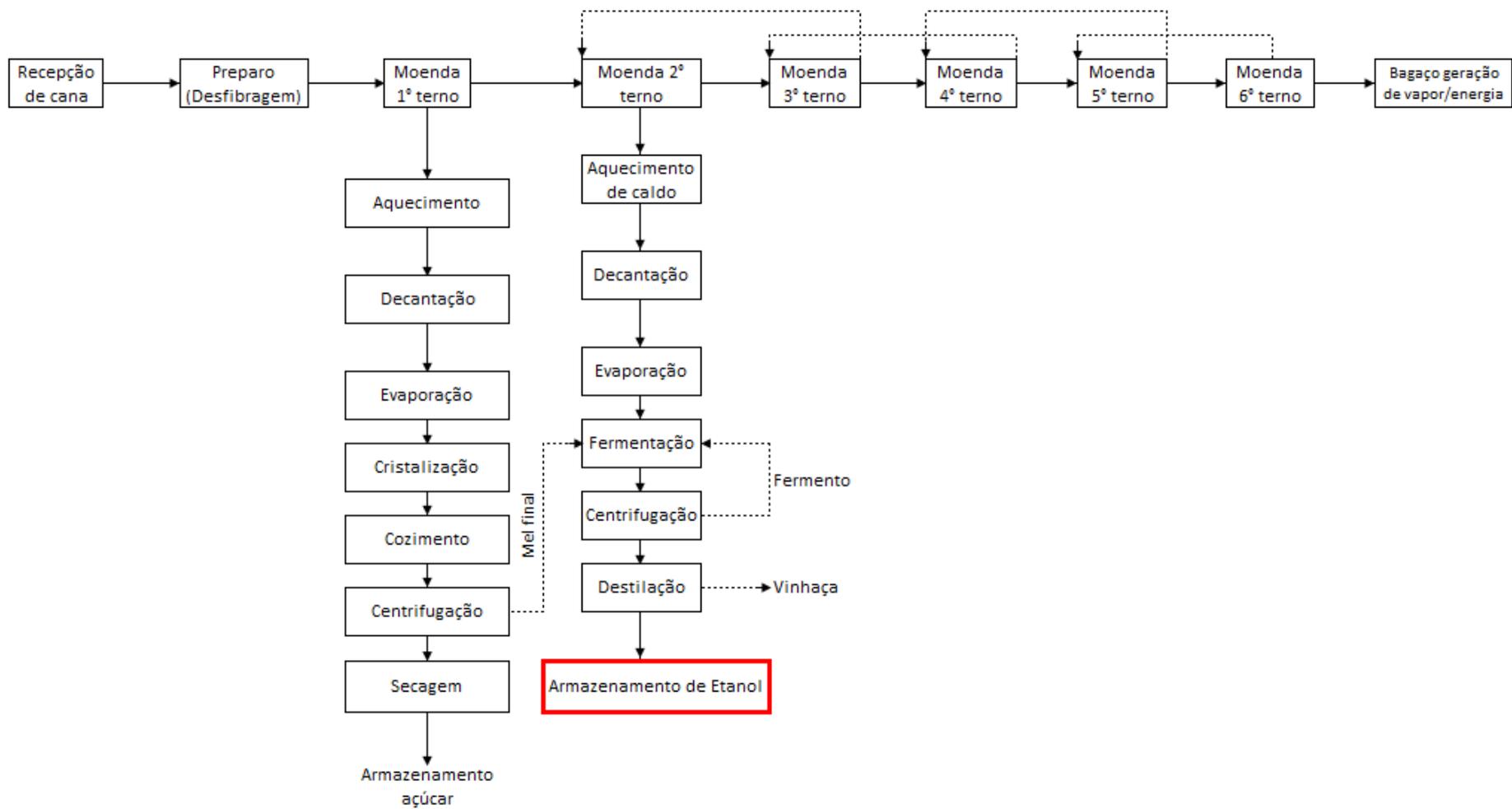
As metodologias de análise de riscos foram empregadas afim de identificar, analisar e incrementar métodos de redução dos riscos inerentes ao processo aqui relatado. Com base em avaliações e análises de pontos críticos dessas etapas de processo foram pontuados possíveis cenários de eventos indesejáveis que possam ser fonte de risco físico, químico e ambientais por liberação do etanol, produto final dessa indústria.

### **4.1 Indústria sucroenergética**

A produção do etanol inicia-se com a chegada da matéria-prima, cana-de-açúcar, na indústria. A cana é descarregada e então inicia-se o processo produtivo. Após descarregada a cana é desfibrada e em seguida passa por uma sequência de ternos de moenda, para que ocorra a extração de caldo da forma mais eficiente possível. O caldo extraído no primeiro terno é direcionado a produção de açúcar, uma vez que é mais concentrado e rico em sacarose. O caldo extraído nos demais ternos é direcionado à produção de etanol. Na sequência do processo, o caldo passa por diversos tratamentos para que chegue na etapa de fermentação dentro dos parâmetros exigidos. Essas etapas são: aquecimento, decantação, evaporação.

Na fermentação o caldo de cana será fermentado e transformado em etanol por um processo biológico utilizando-se leveduras. O produto da fermentação, nomeado vinho, passará pela etapa de destilação, onde será separado o etanol dos outros componentes do vinho, esta separação ocorre devido a diferença de temperatura de ebulição dos componentes do vinho. Ao final desse processo, o etanol produzido é direcionado ao

armazenamento e posterior venda. A fase de armazenamento é base do presente estudo e pode ser melhor visualizada no processo produtivo através do fluxograma abaixo (Figura 2).



**Figura 2.** Diagrama de blocos do processo produtivo e localização da operação de armazenamento de etanol na linha de produção.

## 4.2 Análise de risco no armazenamento de etanol

A armazenagem de etanol na indústria estudada ocorre em tanques de estocagem, de formato cilíndrico, teto fixo e cada um deles com capacidade de 20.000 m<sup>3</sup>, com diâmetro nominal de 42 m e altura de 14,65 m. Os costados desses tanques são compostos de virolas de espessura decrescente de baixo para cima, dessa forma as virolas da parte inferior dos tanques possuem espessura maior do que as sequencialmente acima. Os tetos dos tanques são cônicos e fixos, apoiados nas vigas e costado. Todos os tanques possuem quatro válvulas de alívio de pressão e vácuo, sendo que nas instalações mais recentes essas válvulas possuem sistema duplo corta chamas.

Os tanques possuem sistema de combate a incêndio com câmaras de espuma, anel de resfriamento ligados a bicos pulverizadores para o teto e o costado. Todos os tanques possuem sistemas de hidrante e canhão.

Nesse aspecto, foram analisados os riscos inerentes ao processo de armazenagem do combustível, as medidas de contenção necessárias e possíveis impactos à segurança do processo, dos trabalhadores envolvidos e ao meio ambiente. Pelas características do líquido, os riscos no armazenamento envolvem o perigo de incêndio, ruptura do tanque e descarga elétrica pelo acúmulo de energia estática no processo de carregamento de etanol (do tanque para os caminhões tanque).

Inicialmente, utilizando a Análise Preliminar de Riscos (APR), identificou-se os possíveis riscos decorrentes da operação de armazenagem de etanol. Na sequência, utilizando o programa computacional ALOHA®, foram analisados os impactos decorrentes da liberação de etanol na operação de armazenagem do produto.

Por fim, com base na APR e nos resultados obtidos nas simulações realizadas no programa computacional ALOHA®, foi proposto um *checklist* operacional, de forma a contemplar as necessidades diárias de monitoramento e inspeções do sistema de armazenagem de etanol. Tal *checklist* visa identificar, ainda em estado inicial, possíveis fontes de vazamentos, fissuras ou avarias no sistema de armazenagem e combate a incêndios. O documento foi apresentado à empresa em questão como forma de melhorias contínua das operações e processos.

## 4.3 Caracterização Atmosférica

A região estudada tem suas condições meteorológicas acompanhadas principalmente por dois órgãos, a EMPRAPA Agropecuária do Oeste e pelo INMET –

Instituto Nacional de Meteorologia. Com base nos dados desses dois órgãos encontram-se as principais informações utilizadas para o estudo.

Segundo a EMPRAPA Agropecuária do Oeste (2019), a intensidade dos ventos pode ser classificada de acordo com a escala de Beaufort (Tabela 1).

**Tabela 1.** Classificação da intensidade dos ventos segundo escala de Beaufort.

Escala	Velocidade (km/h)	Categoria
0	<2	Calmo
1	2 a 5	Quase calmo
2	6 a 10	Brisa
3	11 a 20	Leve
4	21 a 30	Moderado
5	31 a 40	Forte
6	41 a 50	Muito forte
7	51 a 60	Fortíssimo
8	61 a 75	Ventania
9	76 a 100	Vendaval
10	>101	Tornado

Fonte: EMBRAPA Agropecuária do Oeste, 2019.

A EMBRAPA Agropecuária do Oeste possui dados diários das condições climáticas arquivados desde 07/09/2016, enquanto o IMMET possui dados horários das condições climáticas arquivados por 365 dias.

De forma geral e com base em seu histórico de dados, a EMBRAPA Agropecuária do Oeste (2019) traz como características médias anuais do clima os dados abaixo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Características atmosféricas médias do período de 01/06/2018 a 30/06/2019 na localização da indústria estudada.

Temperatura	Umidade relativa do ar	Velocidade do vento	Precipitação
23,6 °C	69 %	7,4 km/h	1336,9 mm

Fonte: EMBRAPA Agropecuária do Oeste, 2019.

De acordo com os dados obtidos pela estação automática do INMET (2019) as condições atmosféricas médias do período entre 01/06/2018 e 30/06/2019 podem ser descritas na tabela 3.

**Tabela 3.** Condições atmosféricas médias do período entre 01/06/2018 e 30/06/2019 na região da indústria estudada

<b>Temperatura</b>	<b>Umidade relativa do ar</b>	<b>Velocidade do vento</b>	<b>Direção do vento (predominante)</b>
23,4 °C	68,8 %	8,4 km/h	E (Leste)

Fonte: INMET, 2019.

Contudo, com base nos dados do INMET (2019) pode-se buscar as características atmosféricas em momentos adversos, como por exemplo, momentos de ventos fortes e temperaturas elevadas, assim como momentos de baixa umidade do ar. O conhecimento das condições atmosféricas, nos momentos descritos anteriormente, são fundamentais para a análise de risco do sistema e devem ser levadas em consideração nas análises.

Uma vez que o vazamento ocorra em uma dessas condições, o alcance, direção da chama e da radiação térmica, assim como a concentração de gases podem variar. Portanto, usaremos os dados médios e em condições adversas do INMET. Nota-se que os dados médios requeridos para simulação são bem próximos entre os mensurados pelos dois órgãos e, uma vez que queremos analisar os efeitos do vazamento de etanol em diferentes condições, existe maior disponibilidade de dados pelo INMET.

Dessa forma, foram simulados os efeitos da liberação de etanol causando incêndio em poça, nuvem tóxica e região potencial de inflamabilidade, considerando-se os dados atmosféricos aqui descritos.

Para um estudo que preveja os cenários de risco iminentes em diferentes condições, foram analisados também os impactos de uma liberação indesejada quando as condições climáticas apresentam ventos acima de moderados. Os impactos de uma liberação indesejada no momento de pico de velocidade do vento também foram previstos.

Com base na tabela 4 – ventos moderados a muito fortes, pode-se notar que tivemos 141 ocorrências de medições atmosféricas que se enquadraram nessas condições e que esses ventos são predominantemente direcionados a S (Sul) e a NW (Noroeste), conforme tabela abaixo.

**Tabela 4.** Número de eventos com ventos moderados a muito fortes de acordo com a direção do vento no período 01/06/2018 a 30/06/2019.

<b>Direção do vento</b>	<b>Número de eventos</b>
Norte (N)	20
Nordeste (NE)	1
Leste (E)	4
Sudeste (SE)	6
Sul (S)	46
Sudoeste (SW)	7
Oeste (W)	9
Noroeste (NW)	48

Fonte: INMET, 2019.

Portanto, as simulações foram baseadas nessas duas condições (S e NW), além da condição média de características atmosféricas para ventos acima de moderados. Selecionando esses dados no banco do INMET temos que, nessas ocasiões, as condições são as descritas na Tabela 5.

**Tabela 5.** Condições climáticas médias de ventos moderados a muito fortes, condições climáticas médias quando os ventos moderados a muito fortes se direcionam ao S e ao NW e na máxima velocidade do vento registrada no período de 01/06/2018 a 30/06/2019 na região da indústria estudada.

<b>Escala de Vento acima de moderado</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Velocidade do Vento (km/h)</b>	<b>Umidade relativa do ar (%)</b>	<b>Direção do vento</b>
Condição média	29,5	24,97	62,2	NW
Vento a S	19,9	25,8	76,4	S
Vento a NW	30,8	24,8	50,25	NW
Máxima registrada	22,6	43,2	81	S

Fonte: INMET, 2019.

Foram avaliados os efeitos da liberação de etanol nas diferentes estações do ano, considerando as características climáticas médias de cada uma delas. As características atmosféricas médias das estações do ano, na região aqui estudada, podem ser visualizadas na Tabela 6.

**Tabela 6.** Condições climáticas médias por estação do ano entre 01/06/2018 e 30/06/2019 na região da indústria estudada.

Estação do ano	Temperatura (°C)	Velocidade do vento (km/h)	Rajadas (km/h)	Direção do vento	Umidade relativa do ar (%)
Verão	26,5	7,6	18	NE	73,5
Outono	22,5	8,8	17,4	E	71,7
Inverno	21	7,9	18,7	E	61,2
Primavera	25,4	9,2	20,8	E	69,1

Fonte: INMET, 2019

Também foram avaliadas as condições do vento em momentos de máxima e de mínima temperatura registrada (Tabela 7), assim como no momento em que a umidade relativa do ar se apresenta dentro da faixa de risco para a saúde humana (segundo a Embrapa (2019) umidades relativas abaixo de 30 % apresentam risco a saúde humana). Esses pontos foram identificados como pontos críticos para os efeitos gerados pelo vazamento e influentes na abrangência dos efeitos quantitativos.

**Tabela 7.** Condições climáticas em momentos de umidade relativa baixa e temperaturas máximas e mínimas no período de 01/06/2018 a 30/06/2019 na região da indústria estudada.

Condição	Temperatura (°C)	Velocidade do vento (km/h)	Rajadas (km/h)	Direção do vento	Umidade relativa do ar (%)
Umidade relativa <30%	30,6	11,2	25,8	N	26,5
Temperatura máxima	38,1	5,04	19,4	N	27,5
Temperatura mínima	6,7	4,3	6,8	W	61,2

Fonte: INMET, 2019.

Todas as condições foram simuladas considerando diferentes quantidades de liberação (100 m<sup>3</sup>, 500 m<sup>3</sup>, 1000 m<sup>3</sup>, 5000 m<sup>3</sup> e 10000 m<sup>3</sup>) do material tóxico em questão, o etanol.

#### 4.4 Análise Preliminar de Risco – APR

A Análise Preliminar de Riscos (APR) foi utilizada para se identificar os riscos do armazenamento de etanol.

Neste trabalho utilizou-se a matriz de risco visualizada na Figura 3, onde no eixo

X tem-se a probabilidade que se aconteça o evento e no eixo Y, tem-se os impactos do evento em questão.

<b>IMPACTO</b>	<b>Catastrófico</b>	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Extremo	Risco Extremo	Risco Extremo
	<b>Grande</b>	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Alto	Risco Extremo	Risco Extremo
	<b>Moderado</b>	Risco baixo	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Alto	Risco Extremo
	<b>Pequeno</b>	Risco baixo	Risco Moderado	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Alto
		<b>Improvável</b>	<b>Baixa</b>	<b>Possível</b>	<b>Alta</b>	<b>Muito alta</b>
		<b>FREQUÊNCIA</b>				

**Figura 3.** Matriz de Risco. Fonte: Adaptada de Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, 2017.

A APR construída para análise dos riscos das operações de armazenamento de etanol segue o modelo da Figura 4.

<b>ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO</b>				
<b>Operação:</b>				<b>Data:</b>
<b>Evento indesejado</b>	<b>Causas</b>	<b>Consequências</b>	<b>Risco</b>	<b>Formas de controle</b>

**Figura 4.** Modelo de APR.

#### 4.5 Programa computacional ALOHA®

Para análise quantitativa de riscos e impactos da liberação do etanol, foi utilizado o programa computacional ALOHA® (versão 5.4.7) desenvolvido e disponibilizado gratuitamente pela Environmental Protection Agency – EPA. Segundo Silva et. al (2017), tal programa computacional é recomendado para avaliação dos riscos de incêndios e

explosão, e apresenta bons resultados ao simular os efeitos causados e o alcance provocado por esse tipo de incidentes.

Também utilizou-se o método do *Checklist* para avaliar as instalações e operações realizadas nesta etapa do processo. A seguir são apresentadas as considerações utilizadas para simulação.

#### **4.5.1 Dados de entrada para o programa computacional ALOHA®**

Para se realizar as simulações no ALOHA®, é necessário fornecer ao programa alguns dados como localização, qual a substância química será analisada, as condições atmosféricas que caracterizam o local da simulação, caracterização do derramamento a ser estudado, e por fim, o tipo de evento que se deseja simular.

A determinação da localização ocorre selecionando o local da simulação através do item “*SiteData*” e em seguida “*Location*”, onde existe uma lista de cidades no banco de dados do próprio programa, ou é possível adicionando-se um novo local pelo botão “*Add*”. Caso haja a necessidade de adicionar um novo local deve-se informar a altitude e as coordenadas do local.

Na sequência deve-se selecionar a substância química em questão. Essa seleção ocorre através do item “*SetUp*” e em seguida, “*Chemical*”.

É necessário acrescentar os dados referentes à caracterização atmosférica da região a ser estudada, para tal deve-se utilizar o item “*SetUp*”, “*Atmospheric*” e “*User Input*”. Através desses comandos abrirá na tela uma aba para se inserir as condições atmosféricas: velocidade e direção do vento, altura em que se foi mensurado a direção e velocidade do vento, característica do local, condições de nebulosidade, temperatura e umidade do ambiente.

Em seguida deve-se optar pelo tipo de derramamento a ser estudado, através dos itens “*SetUp*” e “*Source*”. Para o caso desse estudo utilizaremos a escolha “*Puddle*” já que simularemos derramamentos em poças. Após a definição de que simularemos poças de derramamentos, deve-se definir o tipo de evento que ocorre nessa poça, as opções são “*Burning Puddle*” (também chamado de “*Pool Fire*”) ou “*Evaporating Puddle*” (poça em evaporação, sem a presença de fogo).

Para que a simulação ocorra, é necessário definir as características da poça formada, insere-se o diâmetro ou área da poça, e em sequência insere-se o volume, massa ou profundidade da poça. Insere-se também o tipo de solo, temperatura do solo e

temperatura da poça.

Para estimar os efeitos e raios onde esse efeito do evento estudado pode atingir deve-se utilizar o item “*Display*”, “*Threat Zone*”. Em sequência abrirá na tela uma aba onde deve-se escolher o perigo a ser analisado. Escolhe-se também o tipo de LOC a ser utilizado de acordo com cada caso de simulação.

Após inserir estes dados, o programa determina os raios de perigo de acordo com os níveis de preocupação escolhidos ou inseridos. A determinação dos raios ocorre de forma escrita e de forma gráfica onde é possível visualizar em que direção/direções se encontram os raios delimitados, assim como a influência do vento na dinâmica do evento simulado.

#### 4.5.2 Condições simuladas

Com base nos dados atmosféricos mencionados anteriormente nas Tabelas 3, 5, 6 e 7, que caracterizam diferentes condições climáticas encontradas na região estudada, foram realizadas simulações para estimar os raios e efeitos da radiação térmica em caso de incêndio em poça para as situações apresentadas na Tabela 8.

**Tabela 8.** Condições de simulação para possíveis eventos de incêndio em poça.

Simulação nº	Temperatura (°C)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Umidade Relativa do ar (%)	Volume de material liberado (m <sup>3</sup> )
1	23,6	2,33	E	69	100
2	23,6	2,33	E	69	500
3	23,6	2,33	E	69	1000
4	23,6	2,33	E	69	5000
5	23,6	2,33	E	69	10000
6	23,6	5,19	E	69	100
7	23,6	5,19	E	69	500
8	23,6	5,19	E	69	1000
9	23,6	5,19	E	69	5000
10	23,6	5,19	E	69	10000
11	29,5	6,94	NW	62	100
12	29,5	6,94	NW	62	500
13	29,5	6,94	NW	62	1000
14	29,5	6,94	NW	62	5000
15	29,5	6,94	NW	62	10000
16	29,5	12,5	NW	62	100
17	29,5	12,5	NW	62	500
18	29,5	12,5	NW	62	1000
19	29,5	12,5	NW	62	5000
20	29,5	12,5	NW	62	10000

21	19,9	7,17	S	76	100
22	19,9	13,64	S	76	100
23	30,8	6,89	NW	50	100
24	30,8	13,16	NW	50	100
25	22,6	12,0	S	81	100
26	22,6	19,6	S	81	100
27	30,6	3,0	N	27	100
28	30,6	7,17	N	27	100
29	38,1	1,14	N	28	100
30	38,1	5,39	N	28	100
31	6,7	1,19	W	61	100
32	6,7	1,89	W	61	100
33	26,5	2,11	NE	74	100
34	26,5	5,0	NE	74	100
35	22,5	2,44	E	72	100
36	22,5	4,83	E	72	100
37	21,0	2,19	E	61	100
38	21,0	5,19	E	61	100
39	25,4	2,56	E	69	100
40	25,4	5,78	E	69	100

Também com base nos dados atmosféricos obtidos para a região, e já mencionados anteriormente no item 4.3, foram realizadas simulações para o caso de derramamento sem incêndio, para estimar os efeitos da dispersão de vapores tóxicos e região de inflamabilidade no entorno do derramamento. A Tabela 9 foi utilizada para simulação dos impactos quanto a dispersão de vapores tóxicos e para estimar a área de inflamabilidade causada por esses vapores.

**Tabela 9.** Condições atmosféricas usadas para simulação obtendo regiões de nuvem tóxica do produto e regiões de inflamabilidade.

Simulação nº	Temperatura (°C)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Umidade Relativa do ar (%)	Volume de material liberado (m <sup>3</sup> )
1	23,6	2,33	E	69	100
2	23,6	2,33	E	69	500
3	23,6	2,33	E	69	1000
4	23,6	2,33	E	69	5000
5	23,6	2,33	E	69	10000
6	23,6	5,19	E	69	100
7	23,6	5,19	E	69	500
8	23,6	5,19	E	69	1000
9	23,6	5,19	E	69	5000

---

10	23,6	5,19	E	69	10000
11	29,5	6,94	NW	62	100
12	29,5	6,94	NW	62	500
13	29,5	6,94	NW	62	1000
14	29,5	6,94	NW	62	5000
15	29,5	6,94	NW	62	10000
16	29,5	12,5	NW	62	100
17	29,5	12,5	NW	62	500
18	29,5	12,5	NW	62	1000
19	29,5	12,5	NW	62	5000
20	29,5	12,5	NW	62	10000
21	19,9	7,17	S	76	100
22	19,9	7,17	S	76	500
23	19,9	7,17	S	76	1000
24	19,9	7,17	S	76	5000
25	19,9	7,17	S	76	10000
26	19,9	13,64	S	76	100
27	19,9	13,64	S	76	500
28	19,9	13,64	S	76	1000
29	19,9	13,64	S	76	5000
30	19,9	13,64	S	76	10000
31	30,8	6,89	NW	50	100
32	30,8	6,89	NW	50	500
33	30,8	6,89	NW	50	1000
34	30,8	6,89	NW	50	5000
35	30,8	6,89	NW	50	10000
36	30,8	13,16	NW	50	100
37	30,8	13,16	NW	50	500
38	30,8	13,16	NW	50	1000
39	30,8	13,16	NW	50	5000
40	30,8	13,16	NW	50	10000
41	22,6	12,0	S	81	100
42	22,6	12,0	S	81	500
43	22,6	12,0	S	81	1000
44	22,6	12,0	S	81	5000
45	22,6	12,0	S	81	10000
46	22,6	19,6	S	81	100
47	22,6	19,6	S	81	500
48	22,6	19,6	S	81	1000
49	22,6	19,6	S	81	5000
50	22,6	19,6	S	81	10000
51	30,6	3,0	N	27	100
52	30,6	3,0	N	27	500
53	30,6	3,0	N	27	1000
54	30,6	3,0	N	27	5000

---

---

55	30,6	3,0	N	27	10000
56	30,6	7,17	N	27	100
57	30,6	7,17	N	27	500
58	30,6	7,17	N	27	1000
59	30,6	7,17	N	27	5000
60	30,6	7,17	N	27	10000
61	38,1	1,14	N	28	100
62	38,1	1,14	N	28	500
63	38,1	1,14	N	28	1000
64	38,1	1,14	N	28	5000
65	38,1	1,14	N	28	10000
66	38,1	5,39	N	28	100
67	38,1	5,39	N	28	500
68	38,1	5,39	N	28	1000
69	38,1	5,39	N	28	5000
70	38,1	5,39	N	28	10000
71	6,7	1,19	W	61	100
72	6,7	1,19	W	61	500
73	6,7	1,19	W	61	1000
74	6,7	1,19	W	61	5000
75	6,7	1,19	W	61	10000
76	6,7	1,89	W	61	100
77	6,7	1,89	W	61	500
78	6,7	1,89	W	61	1000
79	6,7	1,89	W	61	5000
80	6,7	1,89	W	61	10000
81	26,5	2,11	NE	74	100
82	26,5	2,11	NE	74	500
83	26,5	2,11	NE	74	1000
84	26,5	2,11	NE	74	5000
85	26,5	2,11	NE	74	10000
86	26,5	5,0	NE	74	100
87	26,5	5,0	NE	74	500
88	26,5	5,0	NE	74	1000
89	26,5	5,0	NE	74	5000
90	26,5	5,0	NE	74	10000
91	22,5	2,44	E	72	100
92	22,5	2,44	E	72	500
93	22,5	2,44	E	72	1000
94	22,5	2,44	E	72	5000
95	22,5	2,44	E	72	10000
96	22,5	4,83	E	72	100
97	22,5	4,83	E	72	500
98	22,5	4,83	E	72	1000
99	22,5	4,83	E	72	5000

---

100	22,5	4,83	E	72	10000
101	21,0	2,19	E	61	100
102	21,0	2,19	E	61	500
103	21,0	2,19	E	61	1000
104	21,0	2,19	E	61	5000
105	21,0	2,19	E	61	10000
106	21,0	5,19	E	61	100
107	21,0	5,19	E	61	500
108	21,0	5,19	E	61	1000
109	21,0	5,19	E	61	5000
110	21,0	5,19	E	61	10000
111	25,4	2,56	E	69	100
112	25,4	2,56	E	69	500
113	25,4	2,56	E	69	1000
114	25,4	2,56	E	69	5000
115	25,4	2,56	E	69	10000
116	25,4	5,78	E	69	100
117	25,4	5,78	E	69	500
118	25,4	5,78	E	69	1000
119	25,4	5,78	E	69	5000
120	25,4	5,78	E	69	10000

#### 4.5.3 Níveis Tóxicos de Preocupação (LOC's) para simulação no ALOHA®

As simulações de poça de fogo foram realizadas a partir dos LOC's de radiação térmica considerados pelo National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA (2019). Segundo o NOAA (2019), não existem padrões bem definidos quanto aos riscos que envolvem a radiação térmica e que esses riscos dependem do tempo de exposição do indivíduo à radiação.

Segundo o NOAA (2019), as simulações do ALOHA® para radiação térmica consideram valores padrões de radiação, sendo elas mostradas na tabela 10.

**Tabela 10:** LOC's Radiação Térmica.

<b>Radiação térmica</b>	<b>Risco associado (exposição de 60 segundos)</b>	<b>Zonas</b>
10 (kW/m <sup>2</sup> )	Potencial letal	Vermelha
5 (kW/m <sup>2</sup> )	Queimaduras de 2º grau	Laranja
2 (kW/m <sup>2</sup> )	Dor	Amarela

Fonte: NOAA, 2019.

Para realizar as simulações de nuvem tóxica, foram considerados os LOC's ERPG, uma vez que a região em que a indústria sucroenergética em questão está localizada é uma região rural e os indivíduos presentes nas proximidades são, em sua maioria, trabalhadores da empresa. Dessa forma em caso de ocorrência de eventos não desejados apenas seriam afetados indivíduos adultos com boas condições de saúde.

Segundo este tipo de diretriz, o ERPG-1 apresenta efeitos leves/momentâneos, o ERPG-2 é a concentração da substância no ar em que o indivíduo afetado apresenta efeitos incapacitantes e o ERPG-3 é a concentração na qual existe risco de morte aos afetados.

Os níveis de preocupação quando se trata de ERPG para o etanol, segundo o a AIHA - American Industrial Hygiene Association (2016), são apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11.** Concentrações ERPG do etanol.

Nível	ERPG	Zona
ERPG-1	1800 ppm	Amarela
ERPG-2	3300 ppm	Laranja
ERPG-3	Não recomendado	Vermelha

Fonte: AIHA, 2016.

Segundo o NOAA (2019), para realizar simulações que prevejam a área de inflamabilidade o ALOHA® estipula, dentro da nuvem de vapor, as regiões onde a concentração desse vapor gera o risco de inflamabilidade. A região inflamável é aquela em que a concentração da substância no ar está entre os limites inferior e superior de inflamabilidade, dessa forma tem-se concentrações suficientes de combustível e comburente (ar) que é inflamável.

No entanto, segundo o NOAA (2019), a dispersão de um substância no ar não é uniforme, podendo-se formar bolsões em que se atinge concentrações acima do limite inferior de inflamabilidade. Dessa forma, o software utiliza como níveis de preocupação a concentração de 60 % em relação ao nível inferior de explosividade para estabelecer a região vermelha, de grande risco, uma vez que dentro da região que tem essa concentração podem haver bolsões em concentrações maiores, podendo estar na concentração ideal de mistura para ocorrer a combustão (NOAA, 2019). O programa computacional utiliza a concentração de 10 % em relação ao limite inferior de explosividade para estabelecer a região amarela de risco. Neste caso não há regiões de risco intermediário apontado pelo programa computacional (NOAA, 2019).

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Análise Preliminar de Risco - APR**

Com base na metodologia de APR já apresentada foi estabelecida a APR (Tabela 12), onde podemos observar os principais riscos presentes no armazenamento de etanol, assim como suas possíveis causas e medidas mitigadoras.

**Tabela 12.** Análise preliminar de risco armazenamento de etanol.

<b>ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO</b>				
<b>Operação: Armazenamento de Etanol</b>				<b>Data: 11/08/2019</b>
<b>Evento indesejado</b>	<b>Causas</b>	<b>Consequências</b>	<b>Risco</b>	<b>Formas de controle</b>
Vazamento de Etanol de baixas proporções	Vazamento em flanges, vazamento em juntas, fissuras em tubulações	Dispersão de gases tóxicos, criação de atmosfera explosiva, contaminação de solo, pequena perda de Etanol	Risco Alto	Monitoramento das linhas, das espessuras de tubos, das interligações das linhas. Sinalização adequada. Acompanhamento das atividades próximas às linhas e tanques de armazenamento. Utilização de espaçamento entre flanges corretos. Utilização de juntas adequadas.
Vazamento de Etanol de médias proporções	Erro operacional, falta de acompanhamento de instalações, corrosão de tubulações e tanques de armazenamento, vazamento em flange, em juntas ou fissuras em tubulações por longo período de tempo	Nuvem tóxica, atmosfera explosiva, contaminação do solo, perda de produto final	Risco Alto	Verificação diária das aberturas/fechamento de válvulas, supervisão e aprovação de novas instalações, <i>checklist</i> operacional, inspeção estrutural. Monitoramento das linhas, das espessuras e das interligações de linhas. Utilização de juntas adequadas e de espaçamento correto entre flanges. Acompanhamento das atividades próximas às linhas de etanol e aos tanques.
Vazamento de Etanol de grandes proporções	Ruptura de tubulações ou da estrutura de armazenamento.	Grande raio de atmosfera explosiva e nuvem tóxica de vapores, contaminação do solo, perda de grande quantidade de Etanol, perda de capital da empresa, danos à imagem da empresa.	Risco Extremo	Inspeção da estrutura de armazenamento, incluindo válvulas de alívio de pressão e vácuo.

Incêndio	Fonte de ignição diretamente nos tanques ou linhas de armazenamento, fonte de ignição nas proximidades de poças em casos de vazamento	Grande radiação térmica em dissipação, aquecimento de tanques adjacentes, ferimentos graves/mortes em trabalhadores das proximidades do tanque ou poça em combustão, grande perda de etanol e da estrutura de armazenamento. Dispersão de gases tóxicos, contaminação ambiental e danos à imagem da empresa.	Risco Extremo	Evitar trabalhos a quente nas proximidades do armazenamento (área classificada), para-raios na região, em caso de derramamento deve-se retirar possíveis fontes de ignição da região até o raio de concentração dos vapores de etanol próximos ao limite de inflamabilidade, controlar vazamentos.
Explosão	Sobrepresão no tanque ou linha de etanol, aquecimento do líquido armazenado e sobrepresão, falha nas medidas de controle de pressão/válvulas de alívio.	Perda de etanol, ferimentos graves/mortes em indivíduos no raio da explosão, abalo das estruturas próximas, perda do sistema de armazenamento. Dispersão de gases tóxicos, contaminação ambiental e danos à imagem da empresa.	Risco Extremo	Manter salvaguardas de resfriamento dos tanques em caso de incêndios nas proximidades, manter calibradas e certificadas válvulas de alívio de pressão.

Pode-se notar que os riscos analisados qualitativamente através da APR podem ser fontes de consequências graves tanto para a saúde dos colaboradores da planta, como para a estrutura de ativos da empresa. Portanto, as medidas de controle e prevenção desses eventos são de extrema importância. Porém, caso ocorra algum desses eventos indesejados, a análise quantitativa consegue prever e estimar a consequência e dimensões dos danos e as áreas afetadas.

## **5.2 Estimativa de consequência para incêndio em poça**

Com base nas condições previstas na Tabela 8, as simulações para possíveis eventos de incêndio em poça foram realizadas no programa computacional ALOHA®. Alguns exemplos da resposta do programa computacional dos resultados dessas simulações podem ser encontrados no APÊNDICE I. Resumidamente, observa-se os seguintes resultados expostos na Tabela 13.

**Tabela 13.** Resultados da simulação de poças de fogo.

Simulação n°	Temperatura (°C)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Umidade Relativa do ar (%)	Volume de material liberado (m <sup>3</sup> )	Taxa de combustão (kg/min)	Saturação (%)	Tamanho da chama	Zona Amarela (m)	Zona Laranja (m)	Zona Vermelha (m)
1	23,6	2,33	E	69	100	30,1	7,52	60	308	209	157
2	23,6	2,33	E	69	500	30,1	7,52	60	308	209	157
3	23,6	2,33	E	69	1000	30,1	7,52	60	308	209	157
4	23,6	2,33	E	69	5000	30,1	7,52	60	308	209	157
5	23,6	2,33	E	69	10000	30,1	7,52	60	308	209	157
6	23,6	5,19	E	69	100	30,1	7,52	54	305	219	175
7	23,6	5,19	E	69	500	30,1	7,52	54	305	219	175
8	23,6	5,19	E	69	1000	30,1	7,52	54	305	219	175
9	23,6	5,19	E	69	5000	30,1	7,52	54	305	219	175
10	23,6	5,19	E	69	10000	30,1	7,52	54	305	219	175
11	29,5	6,94	NW	62	100	30,4	10,5	52	293	214	173
12	29,5	6,94	NW	62	500	30,4	10,5	52	293	214	173
13	29,5	6,94	NW	62	1000	30,4	10,5	52	293	214	173
14	29,5	6,94	NW	62	5000	30,4	10,5	52	293	214	173
15	29,5	6,94	NW	62	10000	30,4	10,5	52	293	214	173
16	29,5	12,5	NW	62	100	30,4	10,5	46	272	198	164
17	29,5	12,5	NW	62	500	30,4	10,5	46	272	198	164
18	29,5	12,5	NW	62	1000	30,4	10,5	46	272	198	164
19	29,5	12,5	NW	62	5000	30,4	10,5	46	272	198	164
20	29,5	12,5	NW	62	10000	30,4	10,5	46	272	198	164
21	19,9	7,17	S	76	100	29,8	6,04	50	291	211	172
22	19,9	13,64	S	76	100	29,8	6,04	44	268	194	161
23	30,8	6,89	NW	50	100	30,5	11,3	53	296	215	175

24	30,8	13,16	NW	50	100	30,5	11,3	46	272	198	164
25	22,6	12,0	S	81	100	30	7,09	45	271	197	164
26	22,6	19,6	S	81	100	30	7,09	41	256	187	154
27	30,6	3,0	N	27	100	30,5	11,2	61	318	215	161
28	30,6	7,17	N	27	100	30,5	11,2	52	300	218	177
29	38,1	1,14	N	28	100	31	16,8	63	315	213	159
30	38,1	5,39	N	28	100	31	16,8	57	312	224	179
31	6,7	1,19	W	61	100	29,1	2,61	56	316	214	161
32	6,7	1,89	W	61	100	29,1	2,61	56	316	214	161
33	26,5	2,11	NE	74	100	30,2	8,9	60	306	208	156
34	26,5	5,0	NE	74	100	30,2	8,9	55	305	219	174
35	22,5	2,44	E	72	100	30	7,05	59	308	209	157
36	22,5	4,83	E	72	100	30	7,05	55	307	220	175
37	21,0	2,19	E	61	100	29,9	6,45	59	311	211	158
38	21,0	5,19	E	61	100	29,9	6,45	54	306	220	176
39	25,4	2,56	E	69	100	30,2	8,35	60	308	209	157
40	25,4	5,78	E	69	100	30,2	8,35	53	300	217	174

Com base nesses dados pode-se notar que:

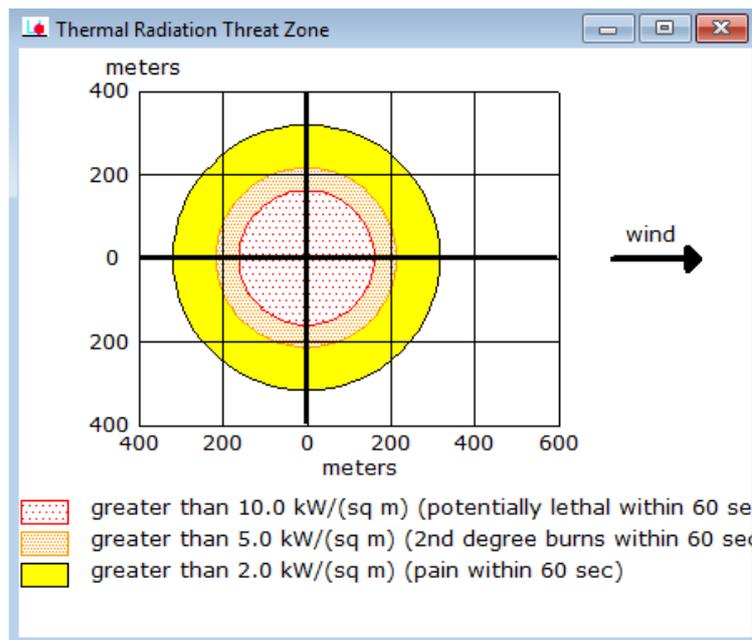
- Independentemente da quantidade de etanol derramada, o alcance dos efeitos da combustão será o mesmo quando temos a mesma condição atmosférica. Justifica-se pelo fato de o líquido derramado estar dentro de uma bacia de contenção de dimensões conhecidas. Assim, como a combustão ocorre somente na superfície da poça, onde existe a fase gasosa em que o combustível tem contato com o oxigênio (elemento oxidante) (MENDES-SILVA et al., 2018), este alcance será o mesmo. No entanto, o tempo de queima do material será alterado já que o volume total de combustível é diferente. Dessa forma, a partir da simulação 21 foram mantidas apenas as simulações com derramamento de 100 m<sup>3</sup>, que mostra os raios de perigo, tamanho da chama e taxa de combustão para cada uma das condições atmosféricas retratadas, fatores estes que independem da quantidade derramada.

- Quando a temperatura e a umidade são mantidas constantes, o tamanho da chama é inversamente proporcional à velocidade do vento, enquanto os alcances dos impactos da combustão aumentam com o aumento da velocidade do vento (zona amarela).

Como para uma mesma condição atmosférica, o raio de efeitos nocivos à saúde humana é o mesmo, independentemente da quantidade derramada, tomaremos a condição em que o raio de energia nociva seja o maior possível para fins de medidas de segurança.

Dentro das condições simuladas, o pior cenário de alcance de energia térmica foi encontrado na simulação 27, onde temos o maior raio de alcance representado pela zona amarela, tal alcance ocorre em condição de dia quente, com ventos de baixa velocidade e tempo seco. Apesar de em outras condições de simulação, como por exemplo as condições 28 e 36, apresentarem zonas vermelhas e amarelas com um maior raio de alcance, identificamos a condição 27 como o pior cenário, pois requer cuidados em um maior raio. Isto ocorre uma vez que estes cuidados devem ser tomados para garantir a integridade dos indivíduos que estejam nas proximidades, dessa forma qualquer intervenção ou medida de evacuação deve ser tomada de forma garantir que na maior distância que este incêndio possa ter efeitos os indivíduos estejam em segurança, sem qualquer tipo de prejuízo a saúde e integridade dos mesmos.

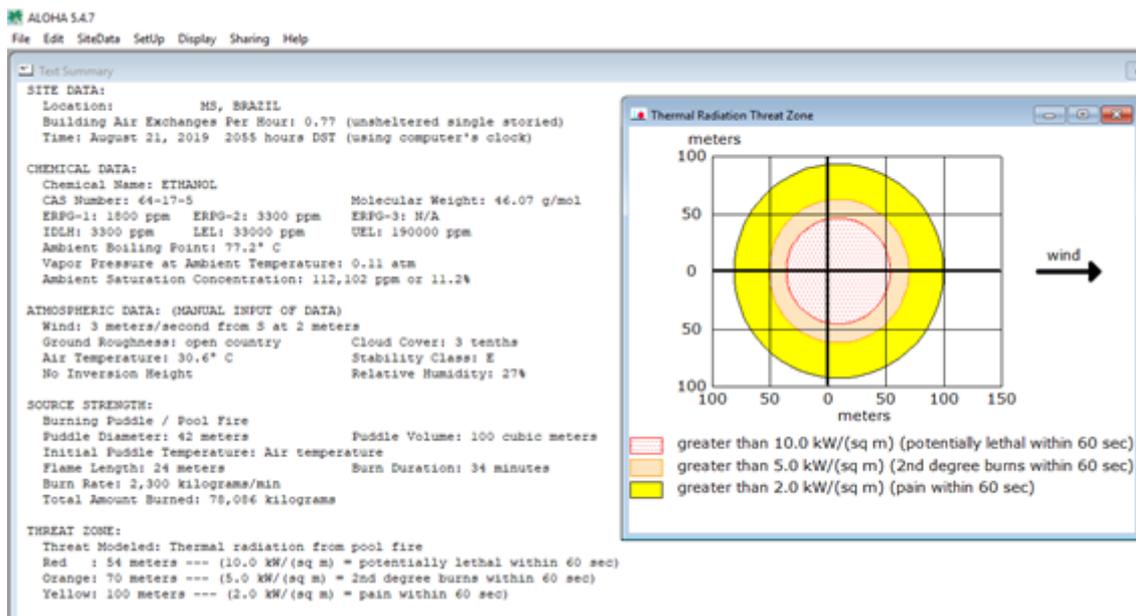
Os raios de perigo da simulação 27 podem ser verificados na Figura 5.



**Figura 5.** Raio de perigo para radiação térmica emitida na condição de poça de fogo para simulação 27.

É importante que, caso ocorra esse tipo de cenário, as pessoas que trabalham no raio amarelo acima mencionado sejam evacuadas do local, para que não haja nenhum dano à integridade física das mesmas.

Como essa se mostrou a pior condição atmosférica para efeitos de raio de radiação térmica emitida, também foi simulada a hipótese de o incêndio ocorrer nessas condições somente dentro do tanque de etanol, sem derramamento do líquido combustível pela bacia de contenção. Os resultados dessa simulação podem ser visualizados na Figura 6 e melhor detalhados na Tabela 14.



**Figura 6.** Resultados para a condição atmosférica da simulação 27 com área de queima equivalente à área do tanque de estocagem.

**Tabela 14.** Resultados da simulação para incêndio em tanque com condição atmosférica equivalente a simulação 27.

Simulação nº	Temperatura (°C)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Umidade Relativa do ar (%)	Zona Amarela (m)	Zona Laranja (m)	Zona Vermelha (m)
27	30,6	3,0	N	27	100	70	54

Dessa forma, caso ocorra um incêndio no tanque, sem derramamento do material combustível para fora da sua estrutura, indica-se a evacuação em um raio de 100 metros, já que raios menores que este já existe o potencial nocivo a saúde dos afetados.

É possível identificar na Figura 6 a influência da direção do vento nos raios de efeito da dissipação da energia térmica, uma vez que nota-se que o alcance desses efeitos é maior na direção do vento.

### 5.3 Estimativa de consequência para nuvem tóxica de vapor

Com base nas condições atmosféricas e quantidades de combustível derramado descritos na Tabela 9, foram simuladas no programa computacional ALOHA® condições de nuvem tóxica de vapor e área de inflamabilidade. Alguns exemplos dos resultados dessas simulações podem ser encontrados no APÊNDICE II.

Os resultados resumidos das simulações de nuvem tóxica, assim como a área de dispersão e abrangência podem ser visualizados na Tabela 15.

**Tabela 15.** Resultados da simulação de dispersão de nuvem tóxica.

Simulação nº	Temperatura (°C)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Umidade Relativa do ar (%)	Volume de material liberado (m3)	Saturação (%)	Zona Amarela	Zona Laranja	Zona Vermelha
1	23,6	2,33	E	69	100	7,52	251	158	-
2	23,6	2,33	E	69	500	7,52	252	153	-
3	23,6	2,33	E	69	1000	7,52	261	158	-
4	23,6	2,33	E	69	5000	7,52	273	165	-
5	23,6	2,33	E	69	10000	7,52	275	167	-
6	23,6	5,19	E	69	100	7,52	121	88	-
7	23,6	5,19	E	69	500	7,52	161	85	-
8	23,6	5,19	E	69	1000	7,52	120	88	-
9	23,6	5,19	E	69	5000	7,52	126	92	-
10	23,6	5,19	E	69	10000	7,52	127	92	-
11	29,5	6,94	NW	62	100	10,5	139	101	-
12	29,5	6,94	NW	62	500	10,5	132	96	-
13	29,5	6,94	NW	62	1000	10,5	139	101	-
14	29,5	6,94	NW	62	5000	10,5	148	107	-
15	29,5	6,94	NW	62	10000	10,5	150	109	-
16	29,5	12,5	NW	62	100	10,5	128	93	-
17	29,5	12,5	NW	62	500	10,5	141	102	-
18	29,5	12,5	NW	62	1000	10,5	128	94	-
19	29,5	12,5	NW	62	5000	10,5	140	102	-
20	29,5	12,5	NW	62	10000	10,5	143	104	-
21	19,9	7,17	S	76	100	6,04	105	77	-
22	19,9	7,17	S	76	500	6,04	100	77	-
23	19,9	7,17	S	76	1000	6,04	104	77	-

24	19,9	7,17	S	76	5000	6,04	109	80	-
25	19,9	7,17	S	76	10000	6,04	110	80	-
26	19,9	13,64	S	76	100	6,04	97	77	-
27	19,9	13,64	S	76	500	6,04	104	77	-
28	19,9	13,64	S	76	1000	6,04	97	77	-
29	19,9	13,64	S	76	5000	6,04	103	77	-
30	19,9	13,64	S	76	10000	6,04	105	77	-
31	30,8	6,89	NW	50	100	11,3	144	105	-
32	30,8	6,89	NW	50	500	11,3	136	99	-
33	30,8	6,89	NW	50	1000	11,3	144	105	-
34	30,8	6,89	NW	50	5000	11,3	112	155	-
35	30,8	6,89	NW	50	10000	11,3	113	157	-
36	30,8	13,16	NW	50	100	11,3	131	96	-
37	30,8	13,16	NW	50	500	11,3	146	105	-
38	30,8	13,16	NW	50	1000	11,3	132	96	-
39	30,8	13,16	NW	50	5000	11,3	146	105	-
40	30,8	13,16	NW	50	10000	11,3	148	108	-
41	22,6	12,0	S	81	100	7,09	107	78	-
42	22,6	12,0	S	81	500	7,09	114	83	-
43	22,6	12,0	S	81	1000	7,09	107	78	-
44	22,6	12,0	S	81	5000	7,09	114	83	-
45	22,6	12,0	S	81	10000	7,09	116	85	-
46	22,6	19,6	S	81	100	7,09	99	77	-
47	22,6	19,6	S	81	500	7,09	109	80	-
48	22,6	19,6	S	81	1000	7,09	99	77	-
49	22,6	19,6	S	81	5000	7,09	109	80	-
50	22,6	19,6	S	81	10000	7,09	111	81	-
51	30,6	3,0	N	27	100	11,2	329	210	-

52	30,6	3,0	N	27	500	11,2	324	200	-
53	30,6	3,0	N	27	1000	11,2	341	211	-
54	30,6	3,0	N	27	5000	11,2	364	226	-
55	30,6	3,0	N	27	10000	11,2	368	229	-
56	30,6	7,17	N	27	100	11,2	143	103	-
57	30,6	7,17	N	27	500	11,2	135	99	-
58	30,6	7,17	N	27	1000	11,2	143	103	-
59	30,6	7,17	N	27	5000	11,2	154	111	-
60	30,6	7,17	N	27	10000	11,2	155	113	-
61	38,1	1,14	N	28	100	16,8	566	408	-
62	38,1	1,14	N	28	500	16,8	641	464	-
63	38,1	1,14	N	28	1000	16,8	661	479	-
64	38,1	1,14	N	28	5000	16,8	689	498	-
65	38,1	1,14	N	28	10000	16,8	694	503	-
66	38,1	5,39	N	28	100	16,8	196	136	-
67	38,1	5,39	N	28	500	16,8	211	143	-
68	38,1	5,39	N	28	1000	16,8	191	133	-
69	38,1	5,39	N	28	5000	16,8	209	142	-
70	38,1	5,39	N	28	10000	16,8	213	144	-
71	6,7	1,19	W	61	100	2,61	151	81	-
72	6,7	1,19	W	61	500	2,61	156	86	-
73	6,7	1,19	W	61	1000	2,61	157	87	-
74	6,7	1,19	W	61	5000	2,61	159	89	-
75	6,7	1,19	W	61	10000	2,61	159	90	-
76	6,7	1,89	W	61	100	2,61	90	-	-
77	6,7	1,89	W	61	500	2,61	95	-	-
78	6,7	1,89	W	61	1000	2,61	97	-	-
79	6,7	1,89	W	61	5000	2,61	99	-	-

80	6,7	1,89	W	61	10000	2,61	100	-	-
81	26,5	2,11	NE	74	100	8,9	286	189	-
82	26,5	2,11	NE	74	500	8,9	299	188	-
83	26,5	2,11	NE	74	1000	8,9	308	194	-
84	26,5	2,11	NE	74	5000	8,9	321	203	-
85	26,5	2,11	NE	74	10000	8,9	323	204	-
86	26,5	5,0	NE	74	100	8,9	133	97	-
87	26,5	5,0	NE	74	500	8,9	127	92	-
88	26,5	5,0	NE	74	1000	8,9	132	96	-
89	26,5	5,0	NE	74	5000	8,9	138	100	-
90	26,5	5,0	NE	74	10000	8,9	139	102	-
91	22,5	2,44	E	72	100	7,05	237	146	-
92	22,5	2,44	E	72	500	7,05	236	140	-
93	22,5	2,44	E	72	1000	7,05	244	145	-
94	22,5	2,44	E	72	5000	7,05	254	152	-
95	22,5	2,44	E	72	10000	7,05	258	154	-
96	22,5	4,83	E	72	100	7,05	118	86	-
97	22,5	4,83	E	72	500	7,05	113	83	-
98	22,5	4,83	E	72	1000	7,05	117	86	-
99	22,5	4,83	E	72	5000	7,05	122	89	-
100	22,5	4,83	E	72	10000	7,05	123	90	-
101	21,0	2,19	E	61	100	6,45	223	138	-
102	21,0	2,19	E	61	500	6,45	226	134	-
103	21,0	2,19	E	61	1000	6,45	232	138	-
104	21,0	2,19	E	61	5000	6,45	242	145	-
105	21,0	2,19	E	61	10000	6,45	243	145	-
106	21,0	5,19	E	61	100	6,45	112	82	-
107	21,0	5,19	E	61	500	6,45	108	78	-

108	21,0	5,19	E	61	1000	6,45	111	81	-
109	21,0	5,19	E	61	5000	6,45	116	85	-
110	21,0	5,19	E	61	10000	6,45	117	85	-
111	25,4	2,56	E	69	100	8,35	269	170	-
112	25,4	2,56	E	69	500	8,35	268	162	-
113	25,4	2,56	E	69	1000	8,35	279	170	-
114	25,4	2,56	E	69	5000	8,35	293	178	-
115	25,4	2,56	E	69	10000	8,35	295	180	-
116	25,4	5,78	E	69	100	8,35	127	92	-
117	25,4	5,78	E	69	500	8,35	121	88	-
118	25,4	5,78	E	69	1000	8,35	125	91	-
119	25,4	5,78	E	69	5000	8,35	132	96	-
120	25,4	5,78	E	69	10000	8,35	133	97	-

---

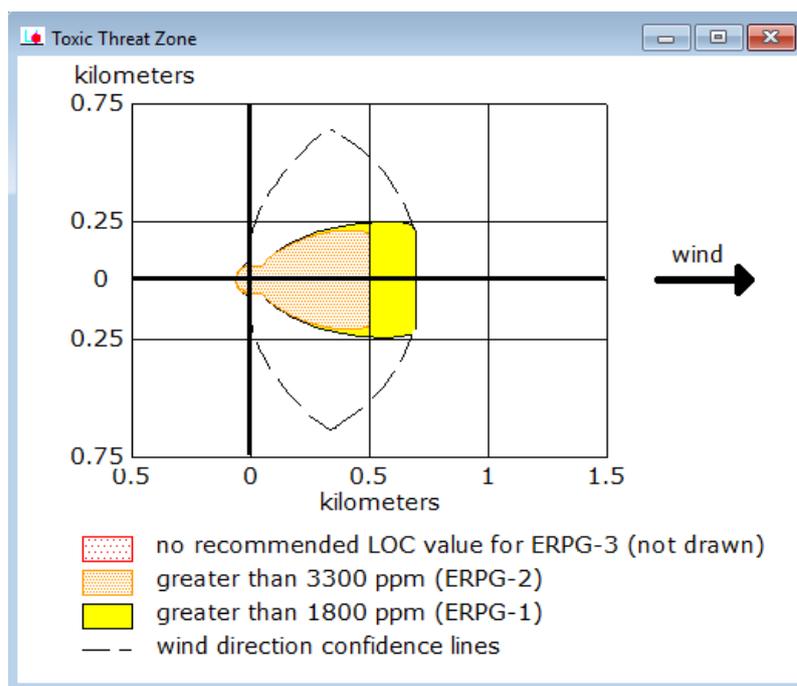
Com base na Tabela 15, observa-se que na maioria dos casos, quanto maior a quantidade de líquido derramado em uma mesma condição atmosférica, maior é o raio de efeitos tóxicos dos vapores dessa substância. E que, para as mesmas condições de temperatura, umidade do ar, quanto temos a mesma quantidade de material liberado, o efeito da velocidade do vento é relevante e, quanto menor a velocidade do vento, maior o alcance dos gases tóxicos.

O resultado de dispersão com o maior raio de nuvem tóxica para as condições atmosféricas simuladas pode ser observado na Tabela 16. Nota-se que o maior raio de nuvem tóxica acontece na simulação 65 onde tem-se a condição de temperatura alta (38,1°C), baixa umidade do ar (28%) e velocidade do vento baixa (1,14m/s), sendo este um cenário de extrema atenção devido ao alcance dos gases dissipados.

Simulação n°	Temperatura (°C)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Umidade Relativa do ar (%)	Volume de material liberado (m3)	Zona Amarela (m)	Zona Laranja (m)
65	38,1	1,14	N	28	10000	694	503

**Tabela 16.** Resultados da dispersão de nuvem tóxica.

Para fins práticos e garantias de segurança dos envolvidos com o processo, podemos considerar o pior cenário (simulação 65) como raio de atenção e para possíveis referências em casos de derramamento. O raio da dispersão para este caso pode ser melhor visualizado na Figura 7, onde pode-se observar como ocorre a dispersão dos gases no sentido do vento. Dessa forma o alcance de zona amarela de 694 metros ocorre no sentido do vento, no sentido oposto ao vento vemos que o alcance desses gases ocorre somente na proximidade da poça, não gerando grandes regiões de alerta nesse sentido.



**Figura 7.** Raio de dispersão de nuvem tóxica de etanol para a simulação 65.

Recomenda-se que, para um cenário de derramamento nessas proporções, a área abrangida pelos vapores tóxicos seja evacuada, de forma a evitar efeitos nocivos à saúde e segurança dos indivíduos que trabalham na região delimitada. Por medidas de segurança e para garantir a integridade dos trabalhadores do local, considera-se o pior cenário para realizar a evacuação, e apesar do raio de alcance máximo ocorrer somente no sentido do vento, é necessária evacuação da área em todo o raio da poça, uma vez que podem ocorrer instabilidades de direção de vento e a dispersão dos gases atingir valores indesejáveis em outras direções.

#### **5.4 Estimativa de consequência para área de inflamabilidade em derramamento em poça**

Os resultados resumidos da área de inflamabilidade no caso de um derramamento em poça podem ser observados na Tabela 17. Alguns exemplos dos resultados fornecidos pelo ALOHA® podem ser encontrados no APÊNDICE III.

**Tabela 17.** Resultado das simulações da área de inflamabilidade do derramamento em poça.

<b>Simulação n°</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Velocidade do vento (m/s)</b>	<b>Direção do vento</b>	<b>Umidade Relativa do ar (%)</b>	<b>Volume de material liberado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Zona Amarela (m)</b>	<b>Zona Vermelha (m)</b>
1	23,6	2,33	E	69	100	150	-
2	23,6	2,33	E	69	500	156	-
3	23,6	2,33	E	69	1000	160	-
4	23,6	2,33	E	69	5000	166	-
5	23,6	2,33	E	69	10000	167	-
6	23,6	5,19	E	69	100	128	77
7	23,6	5,19	E	69	500	123	77
8	23,6	5,19	E	69	1000	126	77
9	23,6	5,19	E	69	5000	131	77
10	23,6	5,19	E	69	10000	132	77
11	29,5	6,94	NW	62	100	148	77
12	29,5	6,94	NW	62	500	154	77
13	29,5	6,94	NW	62	1000	145	77
14	29,5	6,94	NW	62	5000	154	77
15	29,5	6,94	NW	62	10000	155	77
16	29,5	12,5	NW	62	100	138	77
17	29,5	12,5	NW	62	500	146	77
18	29,5	12,5	NW	62	1000	135	77
19	29,5	12,5	NW	62	5000	146	77
20	29,5	12,5	NW	62	10000	148	77
21	19,9	7,17	S	76	100	111	77
22	19,9	7,17	S	76	500	107	77

23	19,9	7,17	S	76	1000	109	77
24	19,9	7,17	S	76	5000	113	77
25	19,9	7,17	S	76	10000	114	77
26	19,9	13,64	S	76	100	103	77
27	19,9	13,64	S	76	500	108	77
28	19,9	13,64	S	76	1000	101	77
29	19,9	13,64	S	76	5000	108	77
30	19,9	13,64	S	76	10000	109	77
31	30,8	6,89	NW	50	100	154	77
32	30,8	6,89	NW	50	500	160	77
33	30,8	6,89	NW	50	1000	150	77
34	30,8	6,89	NW	50	5000	160	77
35	30,8	6,89	NW	50	10000	161	77
36	30,8	13,16	NW	50	100	141	77
37	30,8	13,16	NW	50	500	151	77
38	30,8	13,16	NW	50	1000	138	77
39	30,8	13,16	NW	50	5000	150	77
40	30,8	13,16	NW	50	10000	154	77
41	22,6	12,0	S	81	100	114	77
42	22,6	12,0	S	81	500	119	77
43	22,6	12,0	S	81	1000	111	77
44	22,6	12,0	S	81	5000	119	77
45	22,6	12,0	S	81	10000	120	77
46	22,6	19,6	S	81	100	107	77
47	22,6	19,6	S	81	500	114	77
48	22,6	19,6	S	81	1000	104	77
49	22,6	19,6	S	81	5000	113	77
50	22,6	19,6	S	81	10000	115	77

51	30,6	3,0	N	27	100	215	-
52	30,6	3,0	N	27	500	206	-
53	30,6	3,0	N	27	1000	213	-
54	30,6	3,0	N	27	5000	226	-
55	30,6	3,0	N	27	10000	229	-
56	30,6	7,17	N	27	100	152	77
57	30,6	7,17	N	27	500	159	77
58	30,6	7,17	N	27	1000	149	77
59	30,6	7,17	N	27	5000	158	77
60	30,6	7,17	N	27	10000	160	77
61	38,1	1,14	N	28	100	447	151
62	38,1	1,14	N	28	500	473	166
63	38,1	1,14	N	28	1000	483	171
64	38,1	1,14	N	28	5000	499	175
65	38,1	1,14	N	28	10000	502	176
66	38,1	5,39	N	28	100	194	77
67	38,1	5,39	N	28	500	204	80
68	38,1	5,39	N	28	1000	190	77
69	38,1	5,39	N	28	5000	202	80
70	38,1	5,39	N	28	10000	205	80
71	6,7	1,19	W	61	100	86	-
72	6,7	1,19	W	61	500	87	-
73	6,7	1,19	W	61	1000	88	-
74	6,7	1,19	W	61	5000	89	-
75	6,7	1,19	W	61	10000	90	-
76	6,7	1,89	W	61	100	-	-
77	6,7	1,89	W	61	500	-	-
78	6,7	1,89	W	61	1000	-	-

79	6,7	1,89	W	61	5000	-	-
80	6,7	1,89	W	61	10000	-	-
81	26,5	2,11	NE	74	100	185	-
82	26,5	2,11	NE	74	500	193	-
83	26,5	2,11	NE	74	1000	196	-
84	26,5	2,11	NE	74	5000	203	-
85	26,5	2,11	NE	74	10000	205	-
86	26,5	5,0	NE	74	100	140	77
87	26,5	5,0	NE	74	500	134	77
88	26,5	5,0	NE	74	1000	138	77
89	26,5	5,0	NE	74	5000	144	77
90	26,5	5,0	NE	74	10000	145	77
91	22,5	2,44	E	72	100	138	-
92	22,5	2,44	E	72	500	143	-
93	22,5	2,44	E	72	1000	147	-
94	22,5	2,44	E	72	5000	152	-
95	22,5	2,44	E	72	10000	153	-
96	22,5	4,83	E	72	100	125	77
97	22,5	4,83	E	72	500	120	77
98	22,5	4,83	E	72	1000	122	77
99	22,5	4,83	E	72	5000	127	77
100	22,5	4,83	E	72	10000	128	77
101	21,0	2,19	E	61	100	132	-
102	21,0	2,19	E	61	500	137	-
103	21,0	2,19	E	61	1000	139	-
104	21,0	2,19	E	61	5000	144	-
105	21,0	2,19	E	61	10000	145	-
106	21,0	5,19	E	61	100	118	77

107	21,0	5,19	E	61	500	114	77
108	21,0	5,19	E	61	1000	116	77
109	21,0	5,19	E	61	5000	121	77
110	21,0	5,19	E	61	10000	121	77
111	25,4	2,56	E	69	100	172	-
112	25,4	2,56	E	69	500	167	-
113	25,4	2,56	E	69	1000	171	-
114	25,4	2,56	E	69	5000	178	-
115	25,4	2,56	E	69	10000	180	-
116	25,4	5,78	E	69	100	134	77
117	25,4	5,78	E	69	500	128	77
118	25,4	5,78	E	69	1000	132	77
119	25,4	5,78	E	69	5000	137	77
120	25,4	5,78	E	69	10000	138	77

---

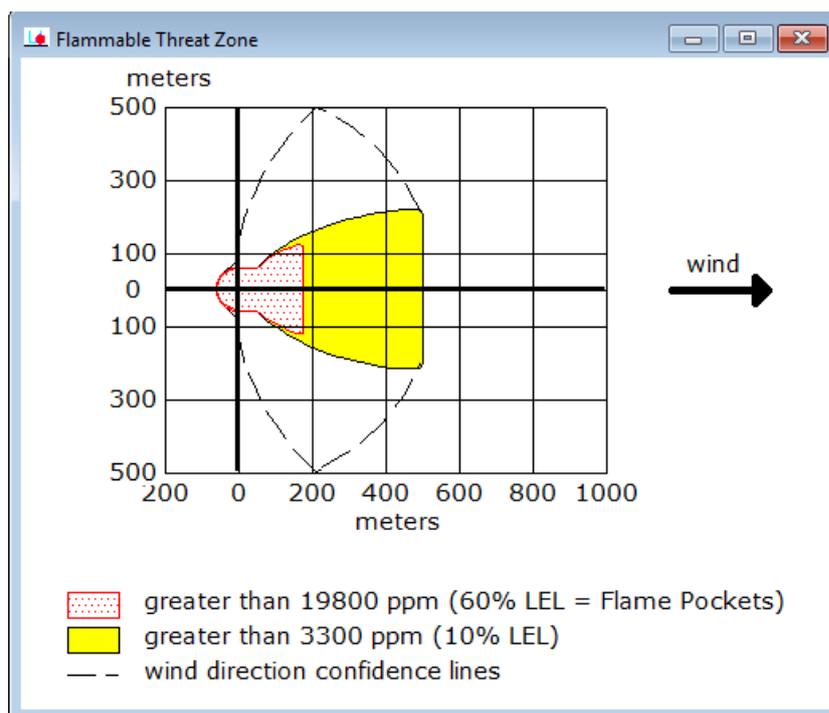
Com base nos dados da Tabela 17, nota-se que para os cenários atmosféricos simulados onde têm-se a mesma temperatura e mesma umidade do ar, os maiores raios de concentração ocorrem quando a velocidade do vento é menor. Os maiores raios de atenção com a possibilidade de bolsões inflamáveis ocorrem nas condições atmosféricas de temperatura de 38,1°C, velocidade do vento 1,14m/s e umidade relativa do ar de 28%, o que pode ser observado na Tabela 18. O que torna esse, um cenário de extrema atenção para o caso de derramamento de etanol, pois nessas condições o raio de atmosfera pode chegar a valores superiores a 0,5 km, bem superior às demais condições atmosféricas simuladas.

**Tabela 18.** Raio de atmosfera inflamável.

<b>Simulação nº</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Velocidade do vento (m/s)</b>	<b>Direção do vento</b>	<b>Umidade Relativa do ar (%)</b>	<b>Volume de material liberado (m3)</b>	<b>Zona Amarela (m)</b>	<b>Zona Vermelha (m)</b>
61	38,1	1,14	N	28	100	447	151
62	38,1	1,14	N	28	500	473	166
63	38,1	1,14	N	28	1000	483	171
64	38,1	1,14	N	28	5000	499	175
65	38,1	1,14	N	28	10000	502	176

Dentro desse cenário, descrito na Tabela 18, observa-se ainda que, na simulação da maior quantidade de material liberado (simulação 65) tem-se o maior o raio de atmosfera inflamável. Nesse contexto, nota-se que acompanhando o que ocorre na dispersão de nuvem tóxica, o maior raio de inflamabilidade acontece no cenário atmosférico 65 onde tem-se alta temperatura, baixa umidade do ar e ventos com baixa velocidade, dificultando a dispersão dos vapores tóxicos. Dessa forma é de extrema importância que em uma possível situação de derramamento, o raio retratado no cenário 65 seja respeitado de forma que dentro desses limites haja a garantia da ausência de fontes de ignição, evitando assim um possível incêndio/explosão.

O raio de atmosfera inflamável, assim como sua configuração em relação à direção do vento nesta condição pode ser visualizado na Figura 8. Em que a dispersão e condição de atmosfera inflamável ocorrem preferencialmente na direção do vento.



**Figura 8.** Raio de atmosfera explosiva de acordo com a simulação 65.

Na grande maioria dos sistemas de estocagem de etanol das indústrias do setor, o carregamento de caminhões para a venda são as edificações mais próximas dos tanques (dentro dos limites mínimos de alcance dos efeitos nocivos à saúde humana que podem alcançar esses eventos). Assim, recomenda-se que, para qualquer tipo de cenário de derramamento ou incêndio, as pessoas que trabalham nesse ponto sejam evacuadas primeiramente e que haja garantias de ausência de fontes de ignição nesses locais. A evacuação das demais edificações da planta deve ser avaliada com o tipo de cenário e a distância em que se localizam.

Com base na gravidade que os impactos que um derramamento de etanol podem causar à saúde humana e associado ao risco financeiro da perda de um dos principais produtos da indústria sucroenergética, assim como a perda da estrutura de armazenamento devido a um incêndio ou fissura, propõe-se a melhoria do *checklist* operacional, de forma a contemplar os principais riscos de derramamento com a possível consequência do incêndio.

O *checklist* deve contemplar checagem nos pontos críticos que podem ser fontes de derramamentos, como por exemplo flanges, boca de visita, válvulas e demais juntas, dessa forma é possível identificar visualmente o início de um vazamento. Também é importante observar as proximidades do tanque e seu costado para uma possível visualização de vazamento na estrutura. Como nesse tipo de operação as

válvulas são manuais, é importante observar se todas elas estão direcionando o produto ao armazenamento em tanque com capacidade para o mesmo. Outro aspecto importante é garantir que nas proximidades dos tanques não ocorra trabalho a quente ou quaisquer tipos de serviços que contenham componentes que podem ser fonte de ignição.

Pode-se observar na Figura 9 modelo de *checklist* proposto para as operações de armazenamento de etanol. O mesmo *checklist* pode ser encontrado no APÊNDICE IV.

<b>Checklist armazenamento de etanol</b>			
Data: ____/____/____	Responsável: _____	Matrícula: _____	
	<b>Sim</b>	<b>Não</b>	<b>Observações</b>
<b>1. Conferência de manobras de válvulas</b>			
a) a produção está direcionada a um tanque com capacidade compatível?	( )	( )	_____
b) a válvula da linha de produção está devidamente aberta para o tanque que irá estocar o etanol do dia?	( )	( )	_____
c) as válvulas da linha de produção dos demais tanques se encontram fechadas?	( )	( )	_____
d) as válvulas de retirada de etanol dos tanques e de recirculação se encontram abertas de acordo com o tanque que será retirado etanol no dia?	( )	( )	_____
<b>2. Verificação da estrutura física</b>			
a) todas as juntas das linhas de produção que chegam ao sistema de armazenagem de etanol estão isentas de vazamentos, gotejamentos e marejamentos?	( )	( )	_____
b) todas as juntas das linhas de retirada de etanol do sistema de armazenagem que vão para o carregamento estão isentas de vazamentos, gotejamentos e marejamentos?	( )	( )	_____
c) todas as juntas das linhas de recirculação sistema de armazenagem de etanol estão isentas de vazamentos, gotejamentos e marejamentos?	( )	( )	_____
d) todas as válvulas do sistema de armazenagem estão isentas de vazamentos, gotejamentos e marejamentos?	( )	( )	_____
e) todas as bocas de visitas dos tanques do sistema de armazenagem de etanol se encontram isentas de vazamentos, gotejamentos e marejamentos?	( )	( )	_____
f) toda a estrutura dos tanques apresentam-se sem fissuras visuais ou vazamento estrutural?	( )	( )	_____
g) toda a estrutura de combate a incêndio dos tanques se encontram aptas a operar?	( )	( )	_____
<b>3. Verificação da ausência de fontes de ignição</b>			
a) as pessoas presentes na área de armazenagem estão sem celular ou estão com o aparelho desligado?	( )	( )	_____
b) o sistema de armazenagem se encontra isento de fontes de eletricidade?	( )	( )	_____
c) se houverem pessoal na área do sistema de armazenagem utilizando rádio comunicador, os rádios são blindados?	( )	( )	_____
d) a área do sistema de armazenagem se encontram isentas de trabalhos a quente (soldas, cortes com maçarico, lixadeiras, etc.)?	( )	( )	_____
<b>4. Verificação de obras e serviços no local</b>			
Se houverem obras e/ou serviços na área de armazenagem:			
a) os serviços estão devidamente liberados pelos responsáveis do setor e da segurança do trabalho?	( )	( )	_____
b) ausência de trabalhos a quente?	( )	( )	_____
c) Utilização de ferramentas adequadas que não gerem faísca?	( )	( )	_____
d) pessoal envolvido é capacitado para realização dos serviços?	( )	( )	_____
<b>5. Verificação dos níveis dos tanques</b>			
a) colaboradores que realizarão a medição dos níveis dos tanques de armazenagem de etanol estão devidamente treinados?	( )	( )	_____
b) Os materiais de medição estão em perfeito estado e certificados?	( )	( )	_____
c) os níveis dos tanques estão a uma distância segura dos flanges de sistema de combate a incêndio?	( )	( )	_____

**Figura 9.** Checklist operacional do armazenamento de etanol.

O *checklist* contempla as principais fontes de perigo que podem causar sinistros no armazenamento de etanol, podendo ser utilizado para garantir que a operação esteja ocorrendo com segurança e em caso de incidentes, estes sejam observados em seu início, ampliando a capacidade de controle do evento.

## 6. CONCLUSÃO

O etanol, produto acabado da indústria sucroenergética, é um líquido inflamável e por isso suscetível a eventos inesperados de grande proporção. Os acidentes em uma planta industrial colocam em risco a operação da planta, os trabalhadores e o meio ambiente na qual está inserida. Assim, é necessária uma análise efetiva dos riscos do armazenamento do etanol de forma a controlá-los. O uso de metodologias de análises e programas computacionais que identifiquem e quantifiquem os riscos associados às operações com esta substância é indispensável para garantia de segurança da empresa, das pessoas e dos ativos.

Neste trabalho, a partir da modelagem simulada pelo programa computacional ALOHA® foi possível quantificar os possíveis efeitos dos eventos relacionados aos riscos de derramamento, inflamabilidade e incêndio no armazenamento de etanol. Verificou-se através das simulações que em caso de derramamento de etanol os piores cenários, com os maiores raios em que os efeitos desses eventos podem alcançar, ocorrem em condições atmosféricas de calor, baixa velocidade do vento, baixa umidade relativa do ar. Verificou-se que para esse tipo de derramamento os raios de efeitos nocivos são maiores na direção do vento, e ficam mais evidentes quando analisa-se a dissipação de gases tóxicos e área de inflamabilidade associada.

Verificou-se também que para casos de dissipação de gases tóxicos e atmosfera inflamável decorrente desse tipo de vazamento, a velocidade do vento é de grande relevância, onde com as demais características atmosféricas iguais tem-se um maior raio de efeitos nocivos quando tem-se uma menor velocidade do vento.

A APR - Análise Preliminar de Risco permitiu uma classificação qualitativa dos riscos de forma a identificar os níveis de risco que podem envolver a operação de armazenamento de etanol. Observou-se que os riscos associados a essa operação são de grau alto e extremo, de acordo com a matriz de risco utilizada. Por essa metodologia, pode-se identificar as potenciais causas para que esses eventos indesejados se iniciem, assim como propor algumas formas de controle desses iniciadores.

O uso do ALOHA® e os resultados obtidos facilitam o gerenciamento do armazenamento do etanol e possibilitam um controle maior nos setores que requerem mais atenção em relação à segurança, permitindo que a indústria sucroenergética consiga estimar os efeitos de possíveis derramamentos e/ou incêndios ligados ao produto final etanol. Assim, é possível traçar a melhor maneira de lidar com esses

eventos para garantir a integridade das pessoas que ali trabalham, dos ativos e do ambiente que está inserida.

Por fim, a metodologia de análise de riscos *checklist* permite que as possíveis fontes desses eventos indesejados sejam melhor observadas e controladas, a fim de evitar que ocorram acidentes iniciados por esses fatores.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIHA - American Industrial Hygiene Association. **Guideline Foundation. Current ERPG Values (2016)**. ERPG/WEEL Handbook. 2016. Disponível em: < <https://www.aiha.org/get-involved/AIHAGuidelineFoundation/EmergencyResponsePlanningGuidelines/Documents/2016%20ERPG%20Table.pdf> >. Acesso em: julho de 2019.

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. **Guidelines For Consequence Analysis Of Chemical Releases**. Nova Iorque, 1999.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP Nº 19, de 15 de abril de 2015 - DOU 16.4.2015 - REPUBLICADA DOU 17.4.2015 - REPUBLICADA DOU 20.4.2015**. Disponível em: < <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2015/abril&item=ranp-19-2015> >. Acesso em: maio de 2019.

ARAÚJO, F. A. D. DE. Processo de clarificação do caldo de cana pelo método da bicarbonatação. **Revista Ciência & Tecnologia**, ano 1, no. 1. Universidade Católica de Pernambuco, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17505-5** Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis Parte 5: Operações. ABNT. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7505-1** Armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis Parte 1: Armazenagem em tanques estacionários. ABNT. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 31000**, ABNT. Rio de Janeiro, 2009.

AVEN, T.; COX JR, L. A. National and Global Risk Studies: How Can the Field of Risk Analysis Contribute?. **Risk Analysis**. v. 36, no 2, p. 186-190. 2016.

BARROS, S. S. Análise de Riscos. Ministério da Educação. **Rede e-Tec Brasil**. Instituto Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

BENETOM, B. DA S. P.; MOREIRA, G. DE C. **Viabilidade econômica para a construção de um tanque de armazenagem de etanol hidratado**. ESALQ – Universidade de São Paulo. Tietê e Piracicaba, 2016.

Biotecnologia Enzimática. **Revista Processos Químicos**, v. 5, p 9-23, jan/jun 2009.

CALIXTO, E. Uma metodologia para gerenciamento de risco em empreendimentos: Um estudo de caso na Indústria de petróleo. **ABEPRO ENEGEP**. Fortaleza, out 2006.

COMAS, C. C. Mato Grosso do Sul tem amplo potencial para transformação

de biomassa em energia. **EMBRAPA Agropecuária do Oeste**. Junho 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/35222348/mato-grosso-do-sul-tem-a-mplo-potencial-para-transformacao-de-biomassa-em-energia>>. Acesso em 24 de julho de 2018.

EMBRAPA Agropecuária do Oeste. **Avisos e Alertas Meteorológicos**. Guia Clima. Acesso em: 21 de março de 2019 e 28 de julho de 2019. Disponível em: <<https://clima.cpa.embrapa.br/?lc=site/avisos-meteorologicos/busca>>.

EMBRAPA Agropecuária do Oeste. **Estatísticas**. Guia Clima. Acesso em: 28 de julho de 2019. Disponível em: <<https://clima.cpa.embrapa.br/?lc=site/estatisticas/estatisticas-ver-dados>>.

G1 BAURU E MARÍLIA. **Explosão destrói tanque de etanol com capacidade de 3 milhões de litros**. Dezembro 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/noticia/2013/12/explosao-destroi-tanque-de-etanol-com-capacidade-de-3-milhoes-de-litros.html>>. Acesso em: 04 de novembro de 2018.

G1 BAURU E MARÍLIA. **Tanque de etanol explode em usina e uma pessoa fica ferida em distrito de Jaú**. Setembro, 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/noticia/2018/09/02/tanque-com-etanol-explode-em-usina-e-uma-pessoa-fica-ferida-em-potunduva.ghtml>>. Acesso em: 04 de novembro de 2018.

G1 BRASIL. **Fogo em usina foi controlado após 24h de incêndio**. 2007. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,AA1643576-5598,00-FOGO+EM+USINA+FOI+CONTROLADO+APOS+H+DE+INCENDIO.html>>. Acesso em: agosto de 2018.

G1 RIO PRETO E ARAÇATUBA. **Explosão em tanque de usina queimou 11 milhões de litros de etanol, diz empresa**. Rio Preto e Araçatuba. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2019/08/12/explosao-em-tanque-de-usina-queimou-11-milhoes-de-litros-de-etanol-diz-empresa.ghtml>>. Acesso em: 14 de agosto de 2019.

G1 RIO PRETO E ARAÇATUBA. **Incêndio em usina de Paraíso mobiliza bombeiros de várias cidades**. Rio Preto e Araçatuba. 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2016/09/incendio-em-usina-de-paraiso-mobiliza-bombeiros-de-varias-cidades.html>>. Acesso em: 14 de abril de 2019.

GAZETA DO POVO. **Nova explosão atinge sexto tanque de combustível em Santos**. São Pulo, 2015. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/nova-explosao-atinge-sexto-tanque-de-combustivel-em-santos-2mispd2tmu3ev95rkyulsog4a/>>. Acesso em: 04 de novembro de 2018.

GAZETA DO POVO. **Raio provoca explosão em destilaria de álcool no Norte do Paraná**. 2007. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/raio-provoca-explosao-em-destilaria-de-alcool-no-norte-do-parana->

aezejtyslkczfwtw1chi1rp la/ >. Acesso em: junho de 2019.

GUIMARÃES, P. L. F. **Indústria Sucroalcooleira – Análise de risco ambiental**. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2011.

INMET. **Estações automáticas**. Acesso em 21 de março de 2019 e Acesso em: 28 de julho de 2019. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas> >.

JONES, R.; LEHR W.; SIMECEK-BEATTY, D.; REYNOLDS, R. M. **ALOHA® (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4 Technical Documentation**. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 43. Seattle, EUA. 2013.

JUNIOR, J, P, DE M; CUTRIM, S. S. Análise De Risco Aplicada À Segurança Do Trabalho Na Indústria De Petróleo E Gás. **XXXIII Encontro Nacional De Engenharia De Producao**. Salvador, outubro de 2013.

LEIMEISTER, M.; KOLIOS, A. A review of reliability-based methods for risk analysis and their application in the offshore wind industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 91, p 1065–107, abr 2018.

LYRA, C; LUCIO G; RODRIGUES, LG. **Incêndio provoca explosões em área industrial de Santos, SP**. G1 Santos. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2015/04/incendio-atinge-industria-no-bairro-alemoa-em-santos-litoral-de-sp.html>>. Acesso em: 04 de novembro de 2018.

MENDES-SILVA, G. P.; DIB-NETO, I. K. G.; FONTOURA, G. A. T.; RODRIGUES, F. A. A Avaliação Quantitativa de Risco como Ferramenta para Determinação dos Riscos de Processos Industriais. **Revista Virtual de Química**. v.10 no.4, p. 1056-1073. 2018.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D. O Futuro do Setor Sucroenergético e o papel do BNDES. **BNDES 60 anos: perspectivas setoriais**, 1 ed., Rio de Janeiro, BNDES, pp. 63-87, 2012. Disponível em: < [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/7062/1/O%20futuro%20do%20setor%20sucroenerg%C3%A9tico%20e%20o%20papel%20do%20BNDES\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/7062/1/O%20futuro%20do%20setor%20sucroenerg%C3%A9tico%20e%20o%20papel%20do%20BNDES_P.pdf) >. Acesso em: 14 jul. 2018.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO. **Matriz de Riscos**. 2017. Disponível em: < <http://www.planejamento.gov.br/asuntos/gestao/control-interno/matriz-de-riscos> >. Acesso em: 18 de agosto de 2019.

NOAA's Office of Response and Restoration. 2019. Disponível em: < <https://response.restoration.noaa.gov/> >. Acesso em julho de 2019.

NORMA REGULAMENTADORA. **NR 12** - Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. 2018. 115 p.

NORMA REGULAMENTADORA. **NR 16** - Atividades e operações perigosas. 2015. 16 p.

NORMA REGULAMENTADORA. **NR 20** - Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis. 2014. 17 p.

NORMA REGULAMENTADORA. **NR 23** - Proteção Contra Incêndios. 2011. 1 p.

NORMA REGULAMENTADORA. **NR 9** - Programa de prevenção de riscos ambientais. 2017. 13 p.

NOVA CANA. Processos de fabricação do etanol. Disponível em: <https://www.nova.cana.com/etanol/fabricacao/>>. Acesso em 21 de julho de 2018.

Occupational Health And Safety Management Systems – Requirements. **OHSAS 18001**. 2007.

PERRY, Robert H.; GREEN, Don W. **Perry's chemical engineers' handbook**. 7. ed. Nova Iorque: Mcgraw-hill, 1999.

SCHMITT, J. C. **Método De Análise De Falha Utilizando A Integração Das Ferramentas DMAIC, RCA, FTA e FMEA**. Universidade Metodista De Piracicaba. Santa Bárbara D'oeste, 2013.

SELLA, B. C. **Comparativo Entre As Técnicas De Análise De Riscos APR E HAZOP**. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Curitiba, 2014.

SILVA, E. C. DOS S.; RODRIGUES, A. J. DA S.; SOUZA, K. S. F. DE. SILVA, M. H. L. F. DA. Aplicação Do Software Aloha Como Suporte De Uma Análise Quali-Quantitativa De Riscos, Na Refinaria Abreu E Lima. **ENEGEP - XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO “A Engenharia de Produção e as novas tecnologias produtivas: indústria 4.0, manufatura aditiva e outras abordagens”**. 2017.

SILVA, F. M.; AMORIM, F. R. **Análise Dos Riscos Ambientais Em Uma Usina Sucroalcooleira No Município De Santa Helena De Goiás-Go**. Universidade de Rio Verde. Rio verde / GO, 2015.

SOUZA, E. A. DE. **O treinamento industrial e a gerência de riscos- uma proposta de instrução programada**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1995.

TÚLIO, S. **Fogo em usina de Serranópolis após ser atingido por raio, dizem bombeiros**. G1 Goiás. 2018. Disponível em: < <https://g1.globo.com/go/goias/noticia/2018/11/16/tanque-carregado-de-etanol-pegafogo-em-usina-de-serranopolis-apos-ser-atingido-por-raio-dizem-bombeiros.ghtml> >. Acesso em: 14 de abril de 2019.

VALENTE, M. S.; NYKO, D.; REIS, B. L. S. F. S.; MILANEZ, A. Y. Bens de capital para o setor sucroenergético: a indústria está preparada para atender adequadamente a novo ciclo de investimentos em usinas de cana-de-açúcar?. **BNDES Setorial** 36, p. 119-178. 2012.

VASCONCELOS, V.; SENNE JR, M. ; JORDÃO, Elisabete . Metodologia para Avaliação de Riscos em Instalações Nucleares. **Revista Brasileira De Pesquisa E Desenvolvimento**, São Paulo, v. 4, n.3, p. 709-714, 2002.

VERITAS, D. N. Módulo 3: Técnicas de Identificação de Perigos: HAZOP e APP **Apostila Do Curso Sobre Estudo De Análise De Riscos E Programa De Gerenciamento De Riscos**. Ministério do Meio Ambiente Secretaria de Qualidade Ambiental. 2006.

**APÊNDICES**

## APÊNDICE I

Figura 10. Simulação 20: poça de fogo.

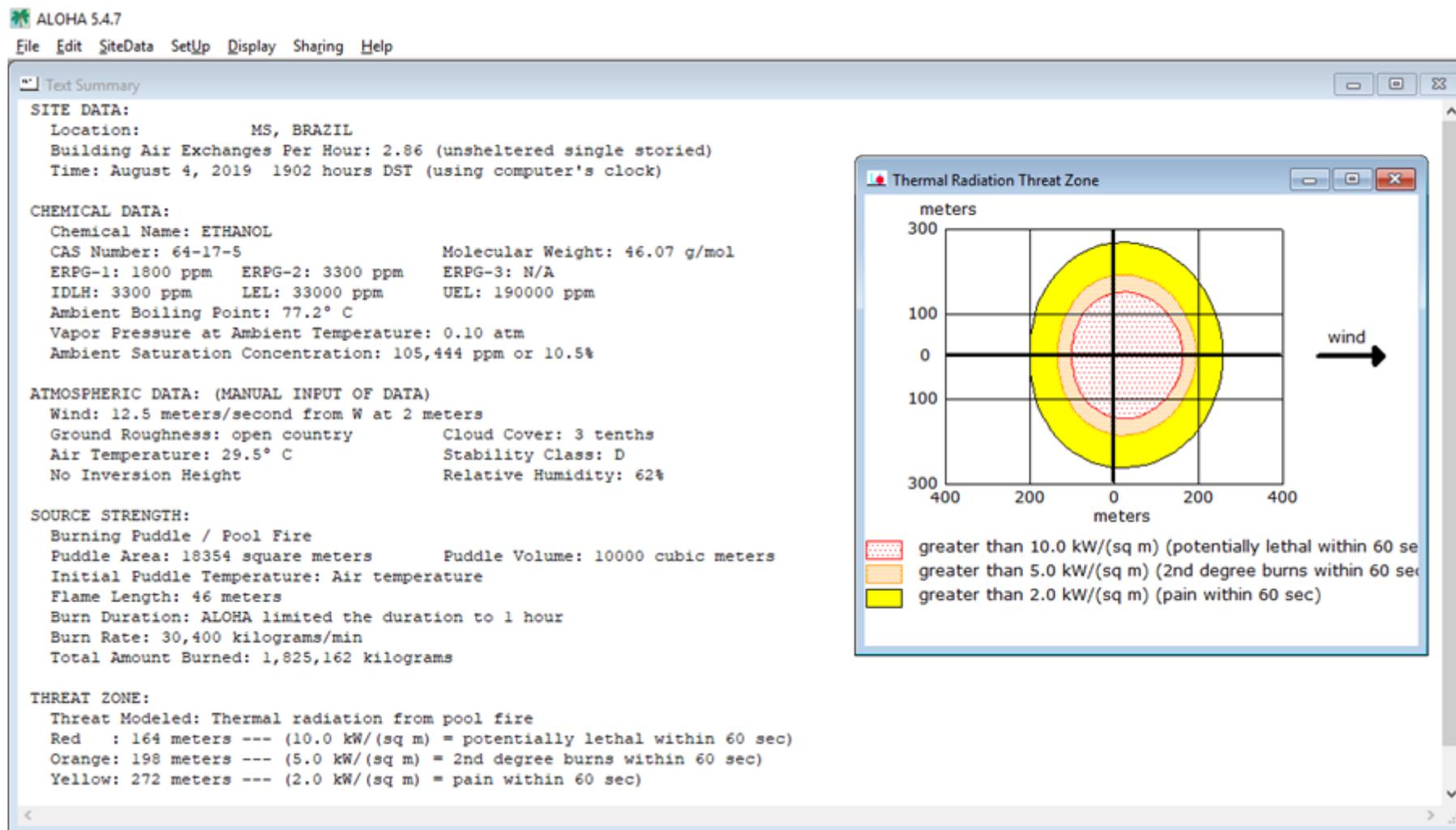


Figura 11. Simulação 22: poça de fogo.

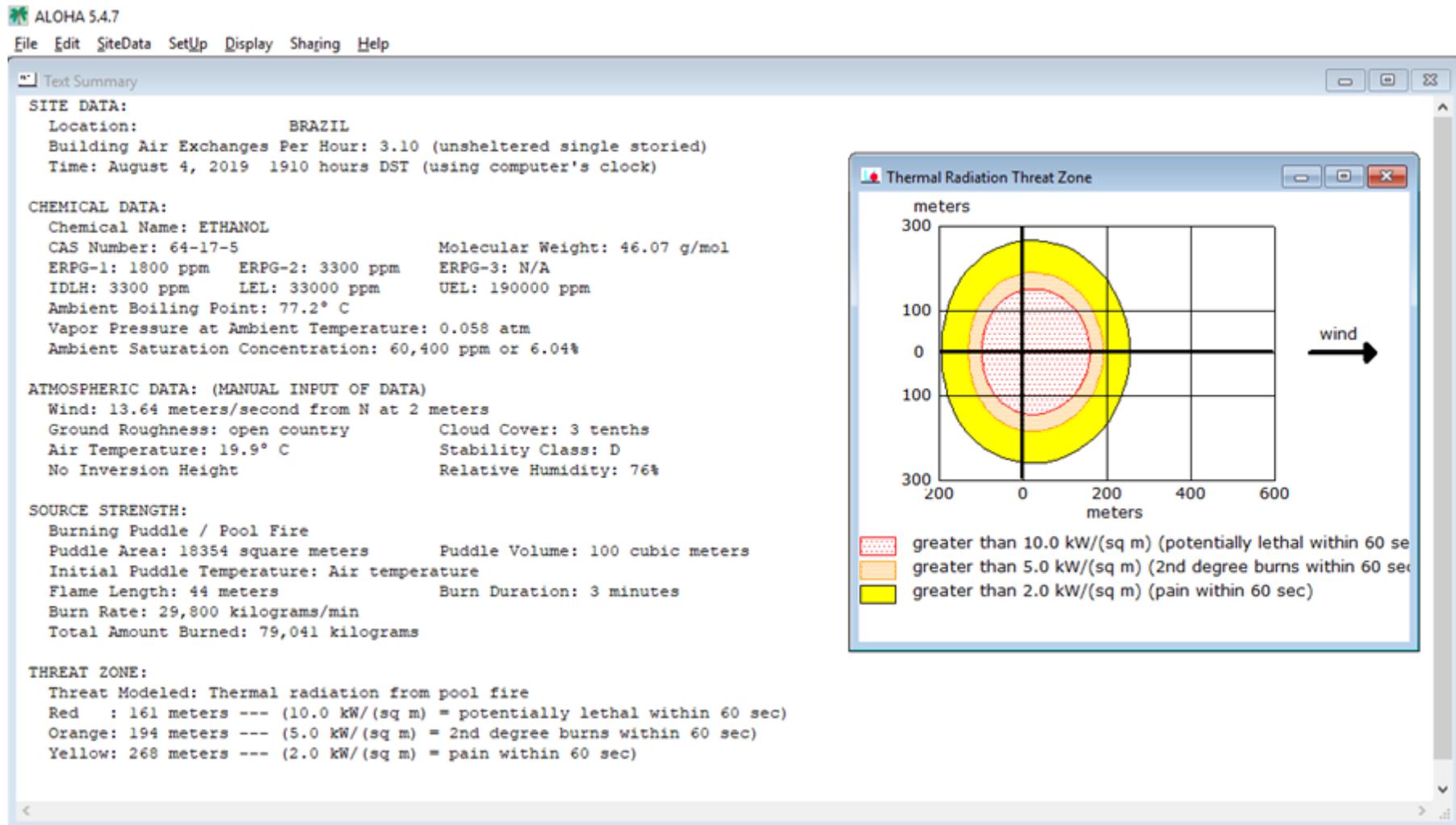


Figura 12. Simulação 27: poça de fogo.

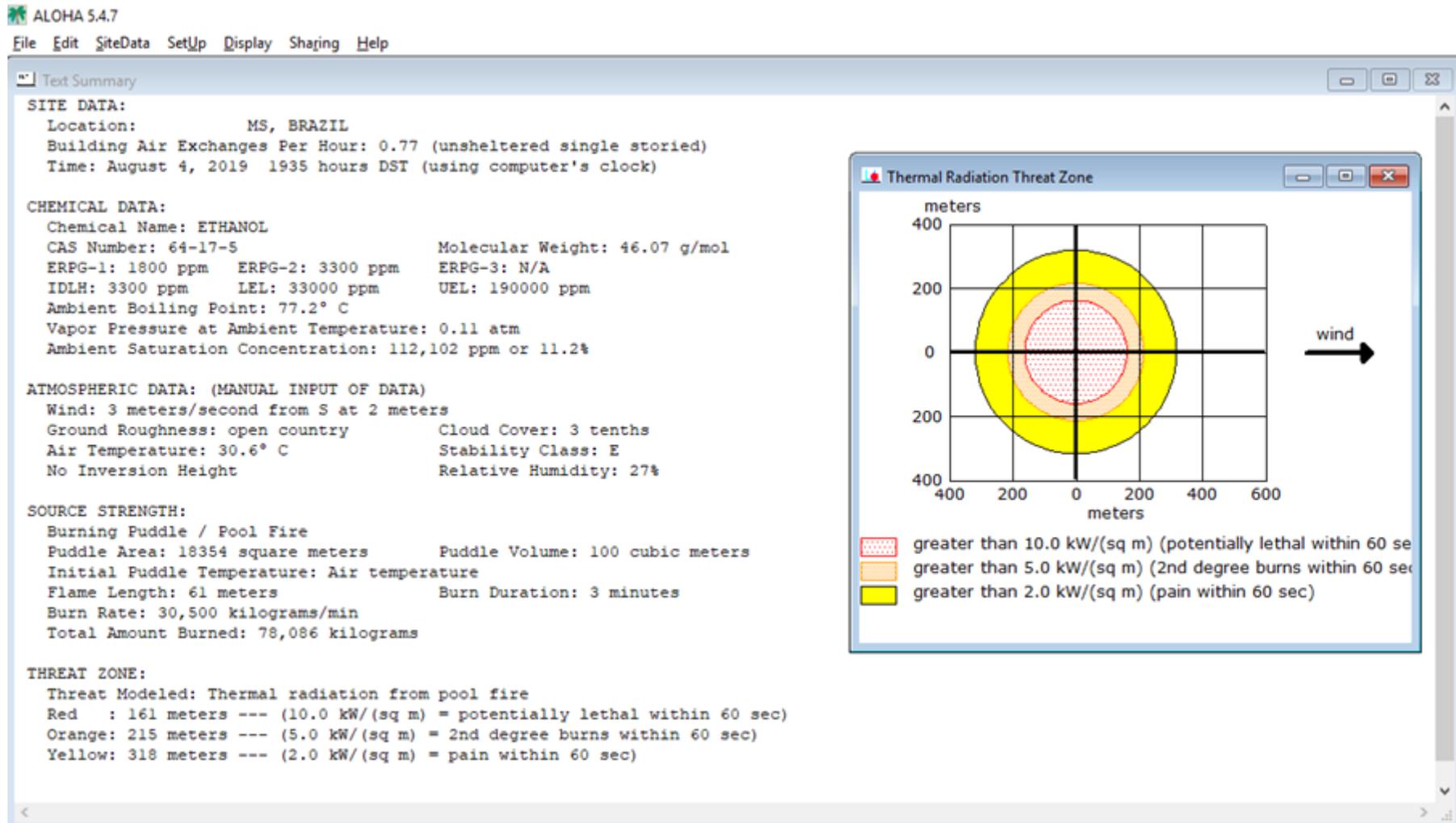
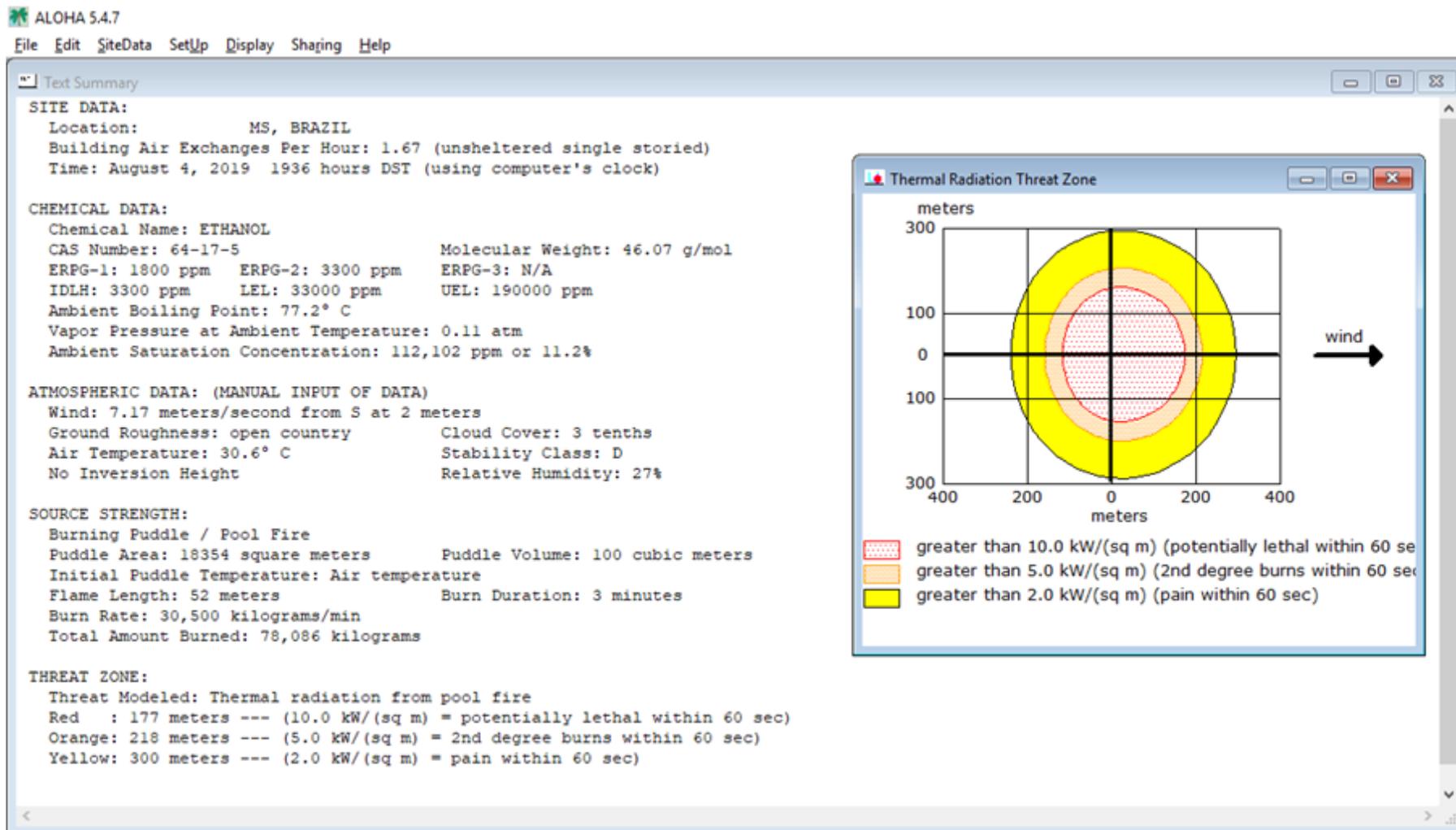


Figura 13. Simulação 28: poça de fogo.



APÊNDICE II

Figura 14. Simulação 61: nuvem tóxica.

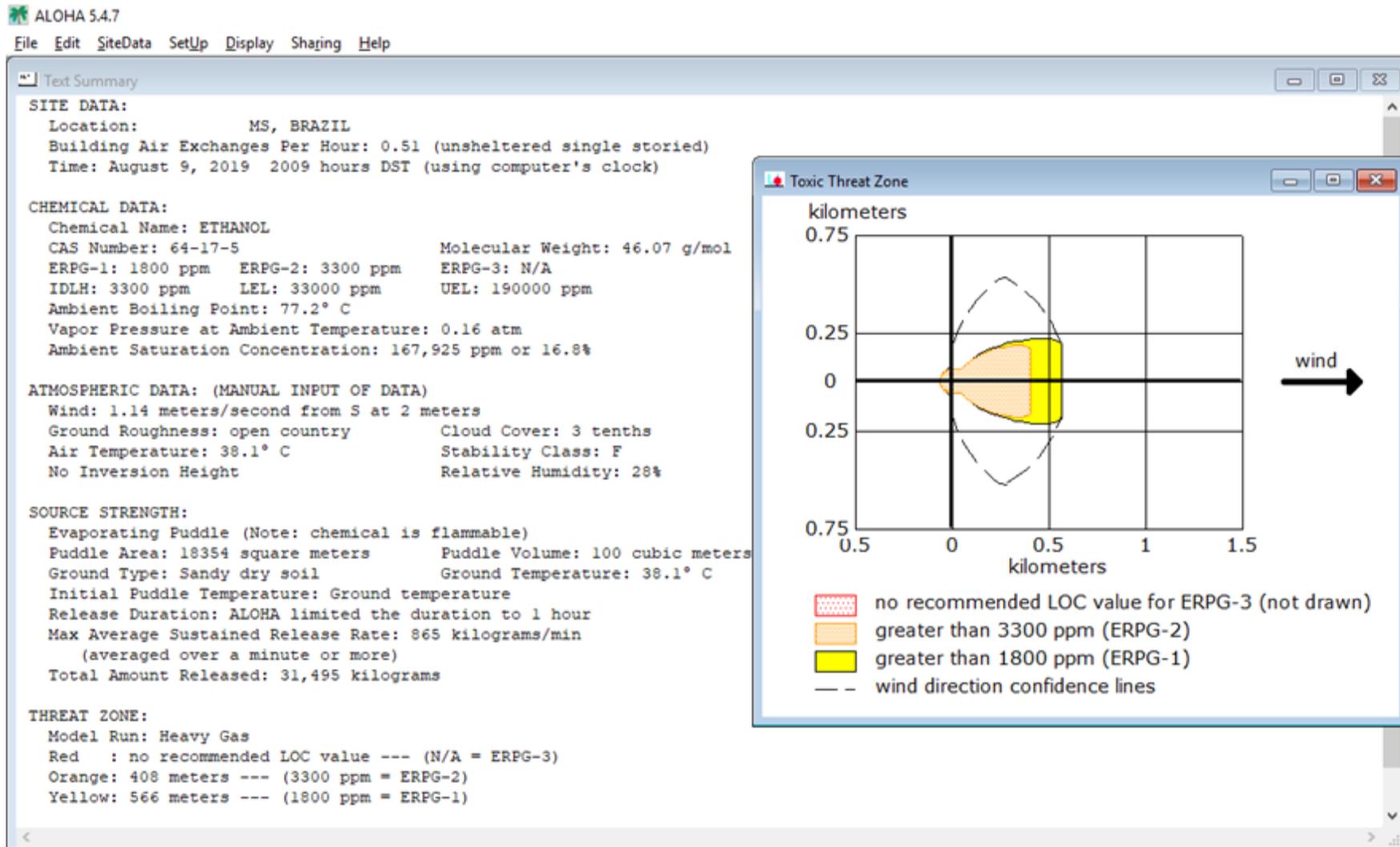


Figura 15. Simulação 62: nuvem tóxica.

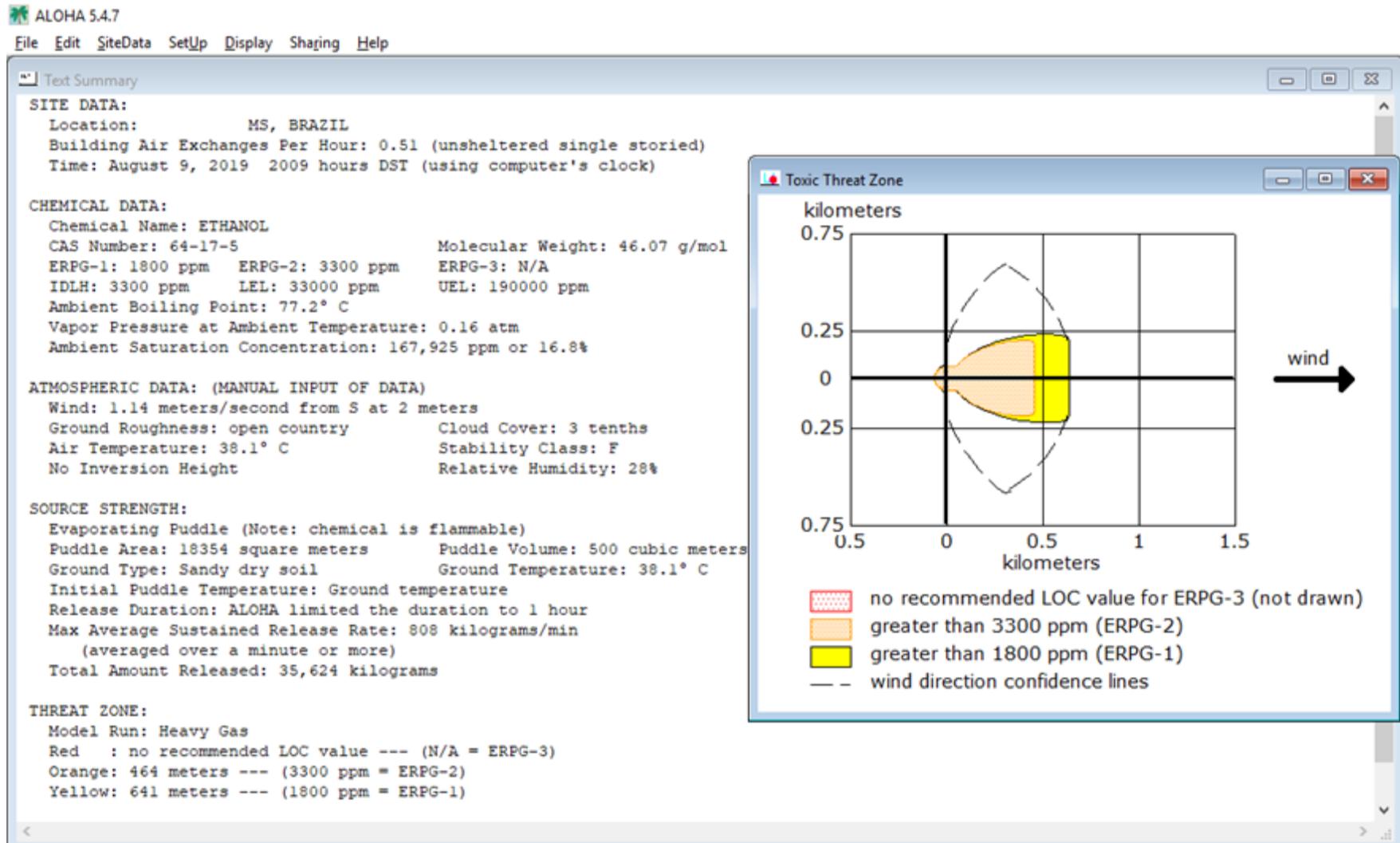


Figura 16. Simulação 63: nuvem tóxica.

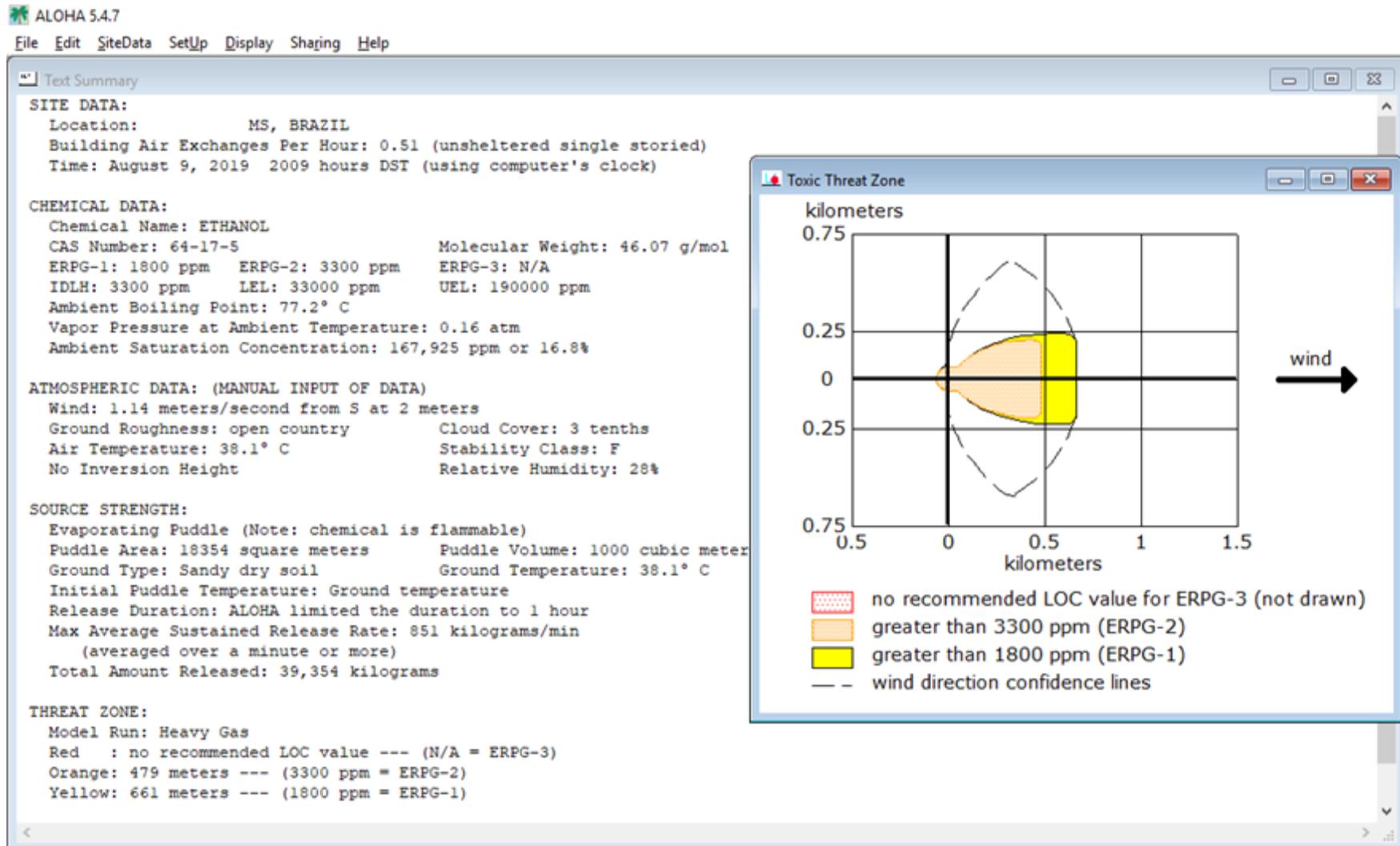


Figura 17. Simulação 64: nuvem tóxica.

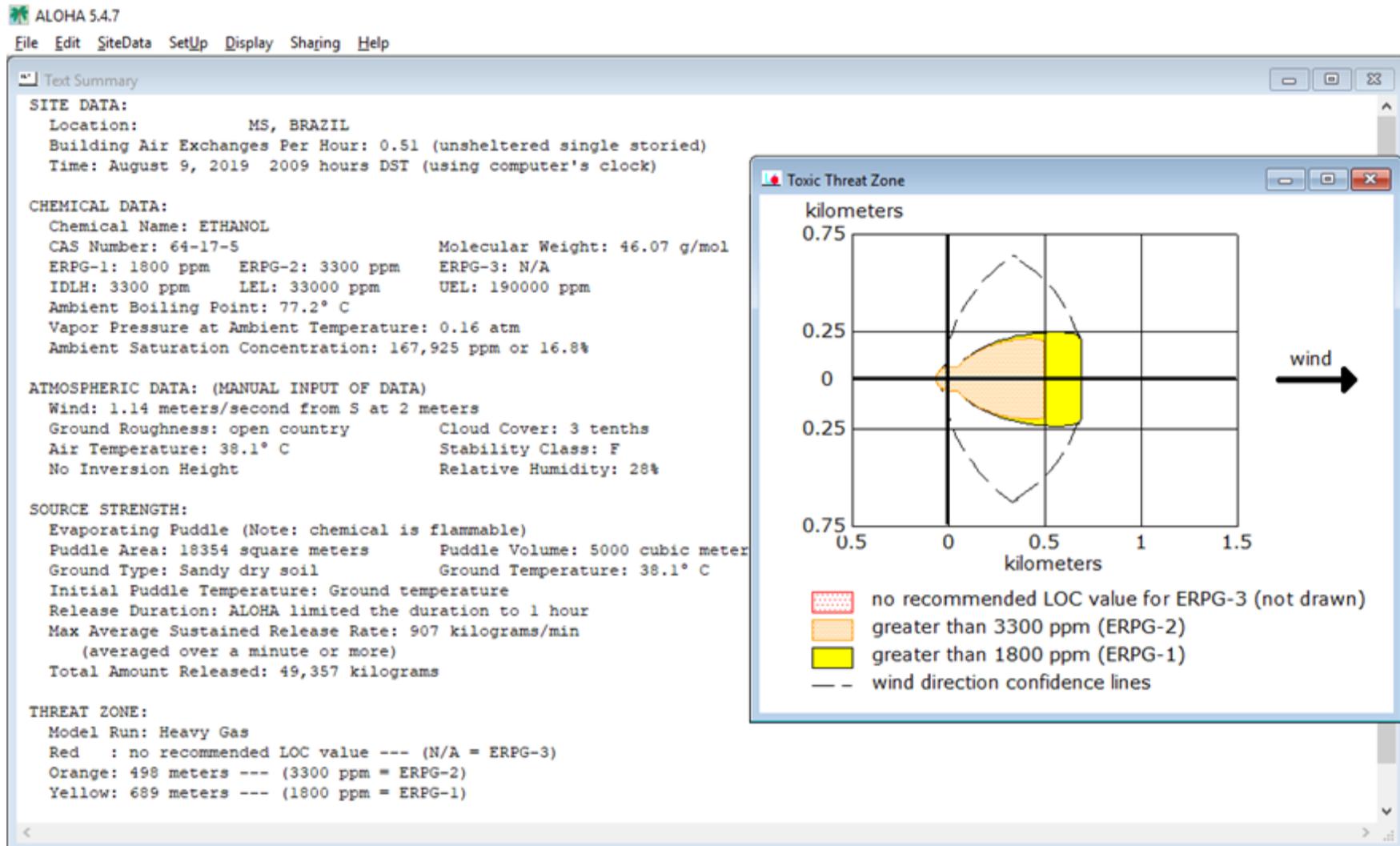


Figura 18. Simulação 65: nuvem tóxica.

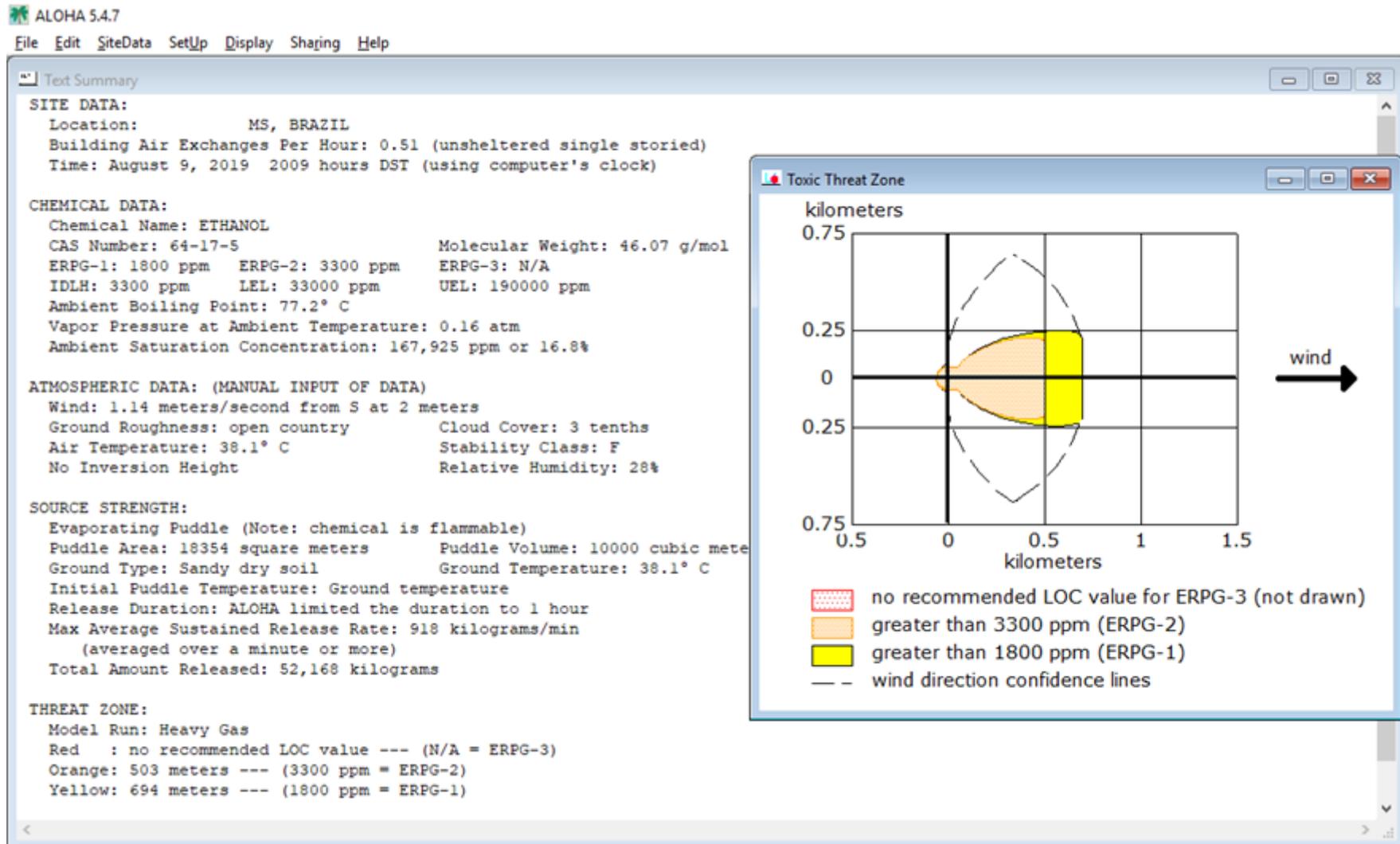


Figura 19. Simulação 96: nuvem tóxica.

ALOHA 5.4.7  
File Edit SiteData SetUp Display Sharing Help

Text Summary

**SITE DATA:**  
Location: MS, BRAZIL  
Building Air Exchanges Per Hour: 1.11 (unsheltered single storied)  
Time: August 9, 2019 2035 hours DST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**  
Chemical Name: ETHANOL  
CAS Number: 64-17-5 Molecular Weight: 46.07 g/mol  
ERPG-1: 1800 ppm ERPG-2: 3300 ppm ERPG-3: N/A  
IDLH: 3300 ppm LEL: 33000 ppm UEL: 190000 ppm  
Ambient Boiling Point: 77.2° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.068 atm  
Ambient Saturation Concentration: 70,530 ppm or 7.05%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**  
Wind: 4.83 meters/second from W at 2 meters  
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 3 tenths  
Air Temperature: 22.5° C Stability Class: D  
No Inversion Height Relative Humidity: 72%

**SOURCE STRENGTH:**  
Evaporating Puddle (Note: chemical is flammable)  
Puddle Area: 18354 square meters Puddle Volume: 100 cubic meters  
Ground Type: Sandy dry soil Ground Temperature: 22.5° C  
Initial Puddle Temperature: Ground temperature  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Average Sustained Release Rate: 1,050 kilograms/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 36,918 kilograms

**THREAT ZONE:**  
Model Run: Gaussian  
Red : no recommended LOC value --- (N/A = ERPG-3)  
Orange: 86 meters --- (3300 ppm = ERPG-2)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictions are

Toxic Threat Zone

Model Run: Gaussian  
Red : no recommended LOC value --- (N/A = ERPG-3)  
Orange: 86 meters --- (3300 ppm = ERPG-2)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictor  
unreliable for lengths less than the maximum diameter of the  
Maximum diameter of the puddle: 153 meters  
Yellow: 118 meters --- (1800 ppm = ERPG-1)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictor  
unreliable for lengths less than the maximum diameter of the  
Maximum diameter of the puddle: 153 meters

Figura 20. Simulação 97: nuvem tóxica.

ALOHA 5.4.7  
File Edit SiteData Setup Display Shaging Help

Text Summary

**SITE DATA:**  
Location: MS, BRAZIL  
Building Air Exchanges Per Hour: 1.11 (unsheltered single storied)  
Time: August 9, 2019 2035 hours DST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**  
Chemical Name: ETHANOL  
CAS Number: 64-17-5 Molecular Weight: 46.07 g/mol  
ERPG-1: 1800 ppm ERPG-2: 3300 ppm ERPG-3: N/A  
IDLH: 3300 ppm LEL: 33000 ppm UEL: 190000 ppm  
Ambient Boiling Point: 77.2° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.068 atm  
Ambient Saturation Concentration: 70,530 ppm or 7.05%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**  
Wind: 4.83 meters/second from W at 2 meters  
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 3 tenths  
Air Temperature: 22.5° C Stability Class: D  
No Inversion Height Relative Humidity: 72%

**SOURCE STRENGTH:**  
Evaporating Puddle (Note: chemical is flammable)  
Puddle Area: 18354 square meters Puddle Volume: 500 cubic meters  
Ground Type: Sandy dry soil Ground Temperature: 22.5° C  
Initial Puddle Temperature: Ground temperature  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Average Sustained Release Rate: 965 kilograms/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 41,233 kilograms

**THREAT ZONE:**  
Model Run: Gaussian  
Red : no recommended LOC value --- (N/A = ERPG-3)  
Orange: 83 meters --- (3300 ppm = ERPG-2)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictions are

Toxic Threat Zone

Model Run: Gaussian  
Red : no recommended LOC value --- (N/A = ERPG-3)  
Orange: 83 meters --- (3300 ppm = ERPG-2)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictor  
unreliable for lengths less than the maximum diameter of the  
Maximum diameter of the puddle: 153 meters  
Yellow: 113 meters --- (1800 ppm = ERPG-1)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictor  
unreliable for lengths less than the maximum diameter of the  
Maximum diameter of the puddle: 153 meters

Figura 21. Simulação 98: nuvem tóxica.

ALOHA 5.4.7  
File Edit SiteData Setup Display Sharing Help

Text Summary

SITE DATA:  
Location: MS, BRAZIL  
Building Air Exchanges Per Hour: 1.11 (unsheltered single storied)  
Time: August 9, 2019 2035 hours DST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:  
Chemical Name: ETHANOL  
CAS Number: 64-17-5 Molecular Weight: 46.07 g/mol  
ERPG-1: 1800 ppm ERPG-2: 3300 ppm ERPG-3: N/A  
IDLH: 3300 ppm LEL: 33000 ppm UEL: 190000 ppm  
Ambient Boiling Point: 77.2° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.068 atm  
Ambient Saturation Concentration: 70,530 ppm or 7.05%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)  
Wind: 4.83 meters/second from W at 2 meters  
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 3 tenths  
Air Temperature: 22.5° C Stability Class: D  
No Inversion Height Relative Humidity: 72%

SOURCE STRENGTH:  
Evaporating Puddle (Note: chemical is flammable)  
Puddle Area: 18354 square meters Puddle Volume: 1000 cubic meters  
Ground Type: Sandy dry soil Ground Temperature: 22.5° C  
Initial Puddle Temperature: Ground temperature  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Average Sustained Release Rate: 1,030 kilograms/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 45,505 kilograms

THREAT ZONE:  
Model Run: Gaussian  
Red : no recommended LOC value --- (N/A = ERPG-3)  
Orange: 86 meters --- (3300 ppm = ERPG-2)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictions are

Toxic Threat Zone

Model Run: Gaussian  
Red : no recommended LOC value --- (N/A = ERPG-3)  
Orange: 86 meters --- (3300 ppm = ERPG-2)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictor  
unreliable for lengths less than the maximum diameter of the  
Maximum diameter of the puddle: 153 meters  
Yellow: 117 meters --- (1800 ppm = ERPG-1)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictor  
unreliable for lengths less than the maximum diameter of the  
Maximum diameter of the puddle: 153 meters

Figura 22. Simulação 99: nuvem tóxica.

ALOHA 5.4.7  
File Edit SiteData SetUp Display Sharing Help

Text Summary

**SITE DATA:**  
Location: MS, BRAZIL  
Building Air Exchanges Per Hour: 1.11 (unsheltered single storied)  
Time: August 9, 2019 2035 hours DST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**  
Chemical Name: ETHANOL  
CAS Number: 64-17-5 Molecular Weight: 46.07 g/mol  
ERPG-1: 1800 ppm ERPG-2: 3300 ppm ERPG-3: N/A  
IDLH: 3300 ppm LEL: 33000 ppm UEL: 190000 ppm  
Ambient Boiling Point: 77.2° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.068 atm  
Ambient Saturation Concentration: 70,530 ppm or 7.05%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**  
Wind: 4.83 meters/second from W at 2 meters  
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 3 tenths  
Air Temperature: 22.5° C Stability Class: D  
No Inversion Height Relative Humidity: 72%

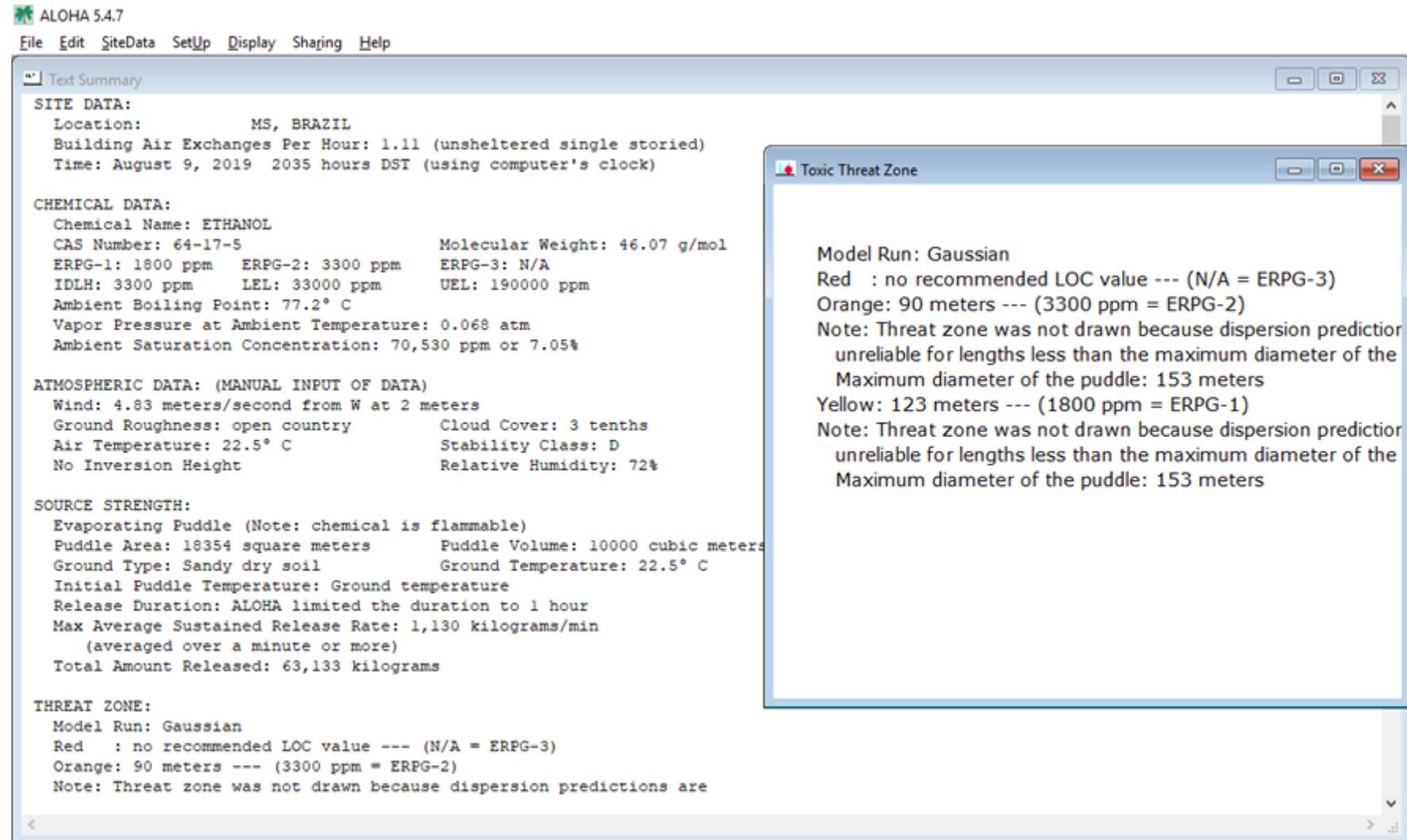
**SOURCE STRENGTH:**  
Evaporating Puddle (Note: chemical is flammable)  
Puddle Area: 18354 square meters Puddle Volume: 5000 cubic meters  
Ground Type: Sandy dry soil Ground Temperature: 22.5° C  
Initial Puddle Temperature: Ground temperature  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Average Sustained Release Rate: 1,110 kilograms/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 58,865 kilograms

**THREAT ZONE:**  
Model Run: Gaussian  
Red : no recommended LOC value --- (N/A = ERPG-3)  
Orange: 89 meters --- (3300 ppm = ERPG-2)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictions are

Toxic Threat Zone

Model Run: Gaussian  
Red : no recommended LOC value --- (N/A = ERPG-3)  
Orange: 89 meters --- (3300 ppm = ERPG-2)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictor  
unreliable for lengths less than the maximum diameter of the  
Maximum diameter of the puddle: 153 meters  
Yellow: 122 meters --- (1800 ppm = ERPG-1)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictor  
unreliable for lengths less than the maximum diameter of the  
Maximum diameter of the puddle: 153 meters

Figura 23. Simulação 100: nuvem tóxica.



ALOHA 5.4.7  
File Edit SiteData SetUp Display Sharing Help

Text Summary

**SITE DATA:**  
Location: MS, BRAZIL  
Building Air Exchanges Per Hour: 1.11 (unsheltered single storied)  
Time: August 9, 2019 2035 hours DST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**  
Chemical Name: ETHANOL  
CAS Number: 64-17-5 Molecular Weight: 46.07 g/mol  
ERPG-1: 1800 ppm ERPG-2: 3300 ppm ERPG-3: N/A  
IDLH: 3300 ppm LEL: 33000 ppm UEL: 190000 ppm  
Ambient Boiling Point: 77.2° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.068 atm  
Ambient Saturation Concentration: 70,530 ppm or 7.05%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**  
Wind: 4.83 meters/second from W at 2 meters  
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 3 tenths  
Air Temperature: 22.5° C Stability Class: D  
No Inversion Height Relative Humidity: 72%

**SOURCE STRENGTH:**  
Evaporating Puddle (Note: chemical is flammable)  
Puddle Area: 18354 square meters Puddle Volume: 10000 cubic meters  
Ground Type: Sandy dry soil Ground Temperature: 22.5° C  
Initial Puddle Temperature: Ground temperature  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Average Sustained Release Rate: 1,130 kilograms/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 63,133 kilograms

**THREAT ZONE:**  
Model Run: Gaussian  
Red : no recommended LOC value --- (N/A = ERPG-3)  
Orange: 90 meters --- (3300 ppm = ERPG-2)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictions are

Toxic Threat Zone

Model Run: Gaussian  
Red : no recommended LOC value --- (N/A = ERPG-3)  
Orange: 90 meters --- (3300 ppm = ERPG-2)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion prediction unreliable for lengths less than the maximum diameter of the Puddle: 153 meters  
Yellow: 123 meters --- (1800 ppm = ERPG-1)  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion prediction unreliable for lengths less than the maximum diameter of the Puddle: 153 meters

## APÊNDICE III

Figura 24. Simulação 61: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.

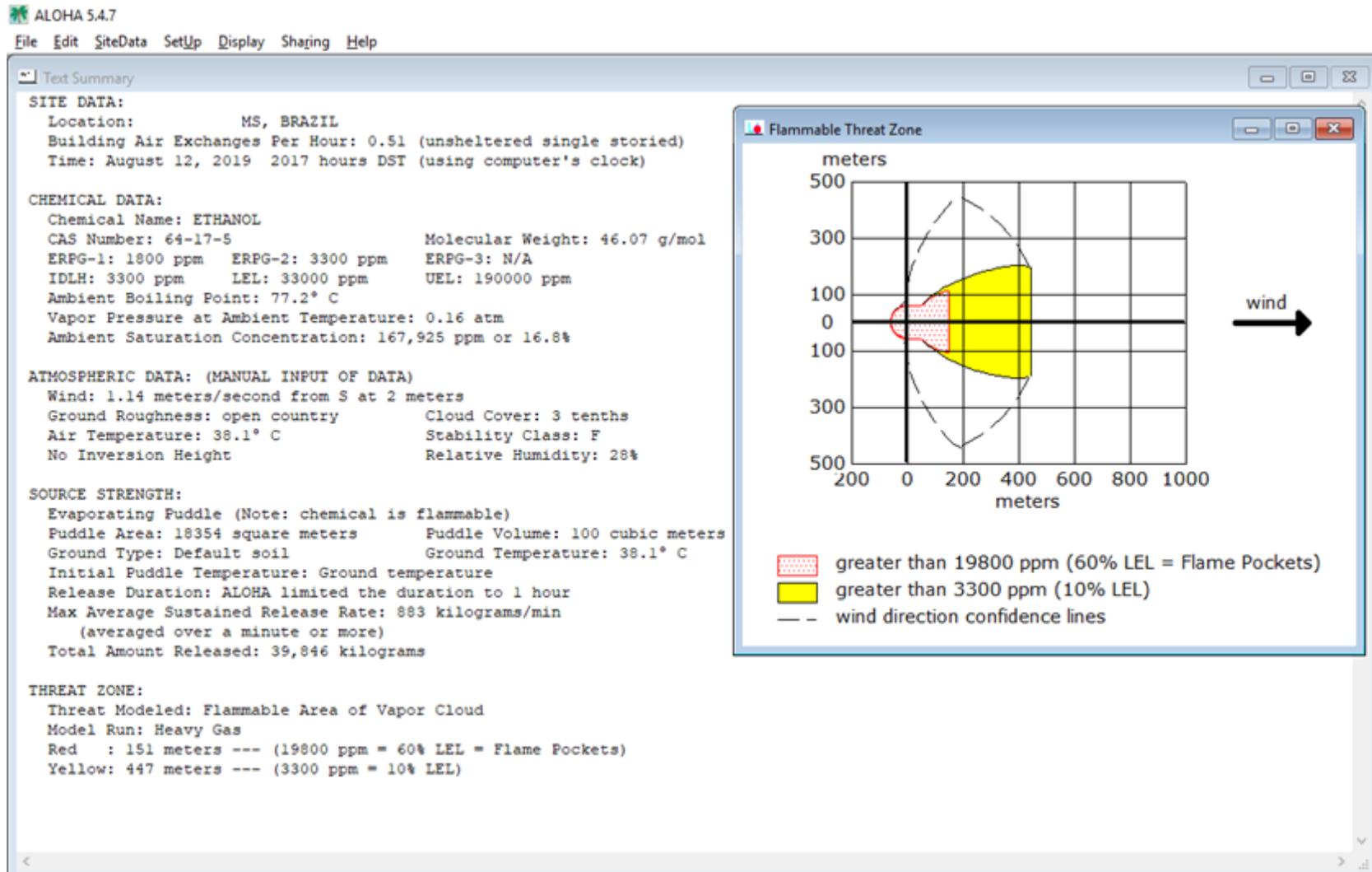


Figura 25. Simulação 62: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.

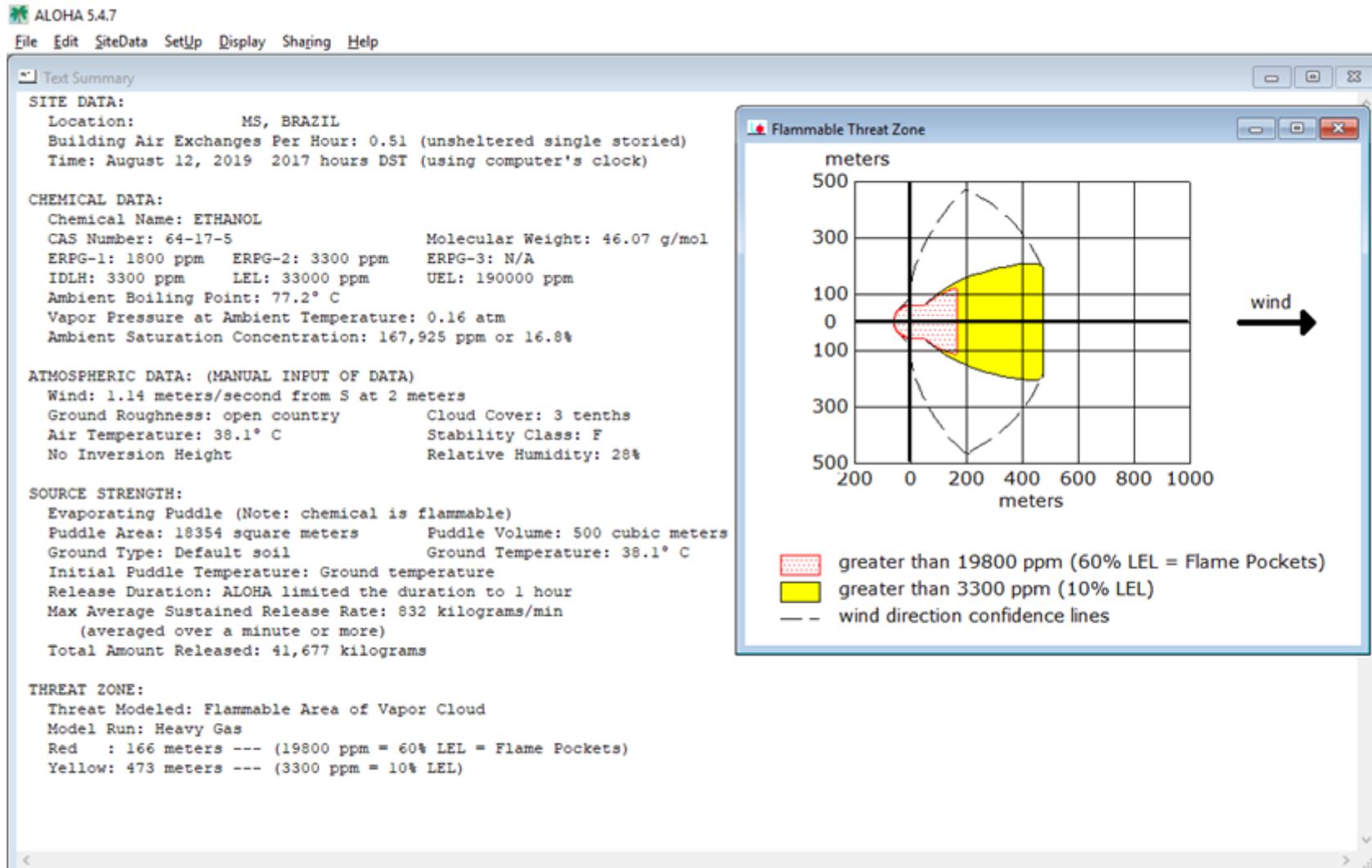


Figura 26. Simulação 63: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.

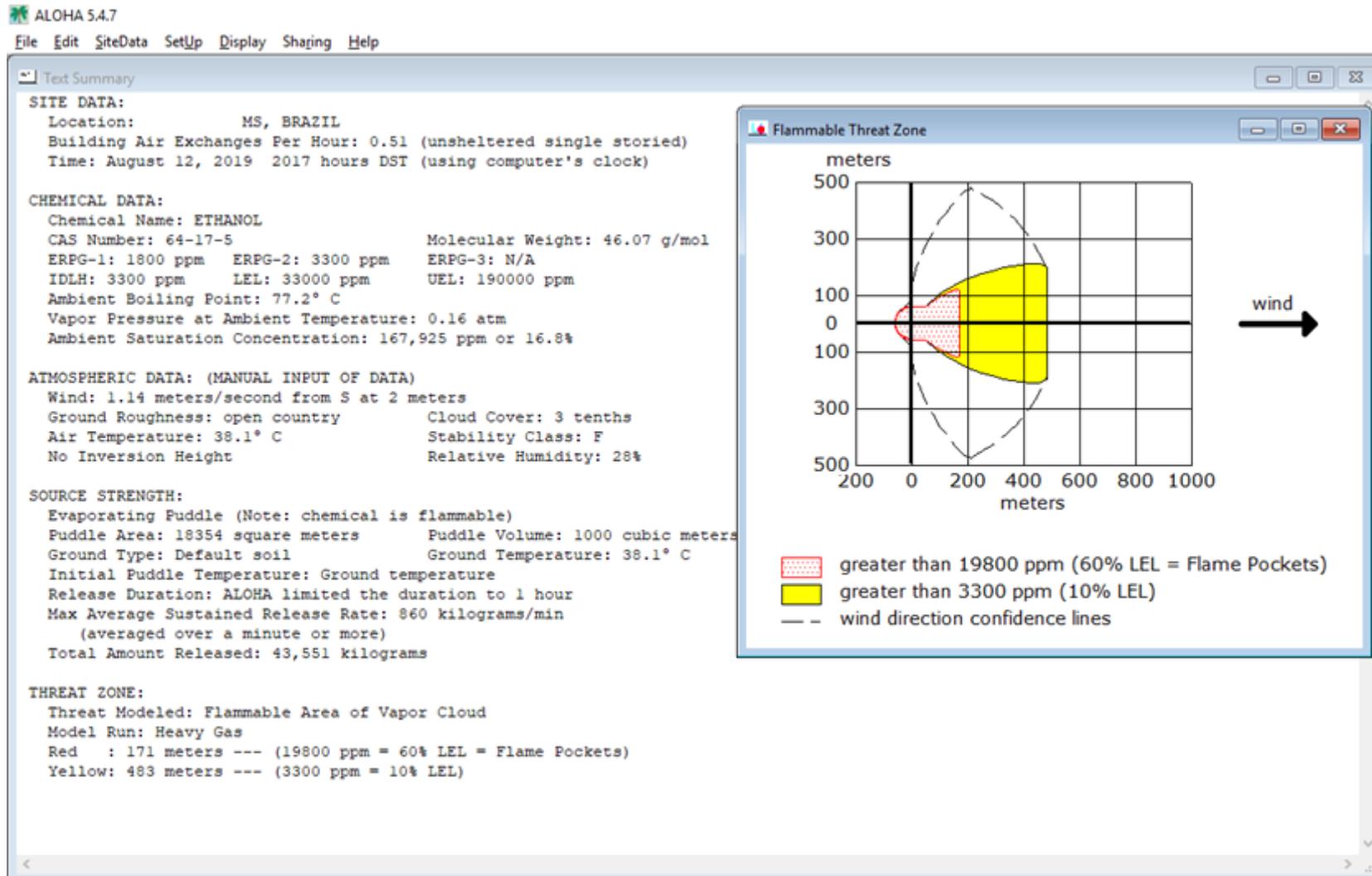


Figura 27. Simulação 64: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.

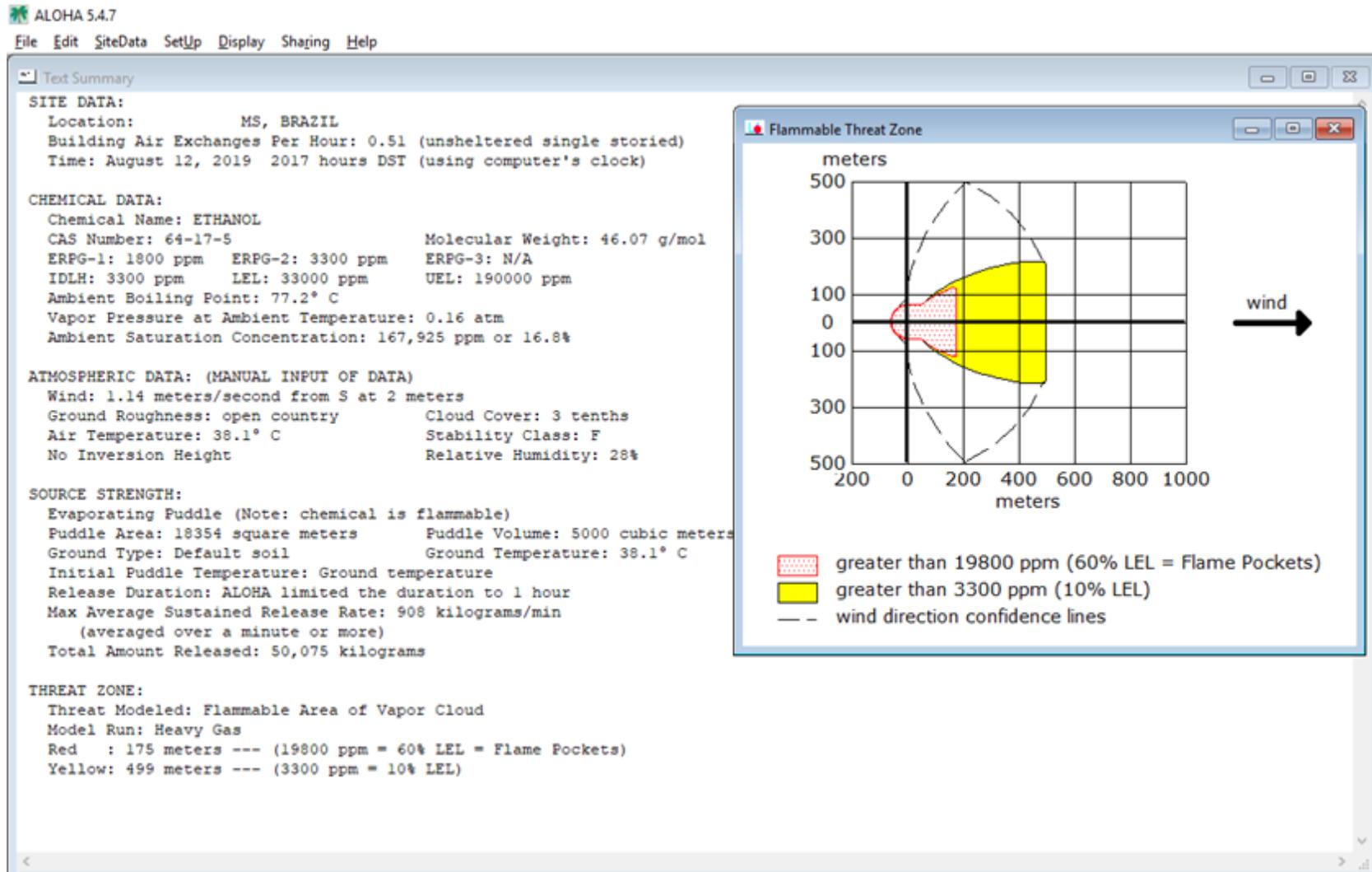


Figura 28. Simulação 65: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.

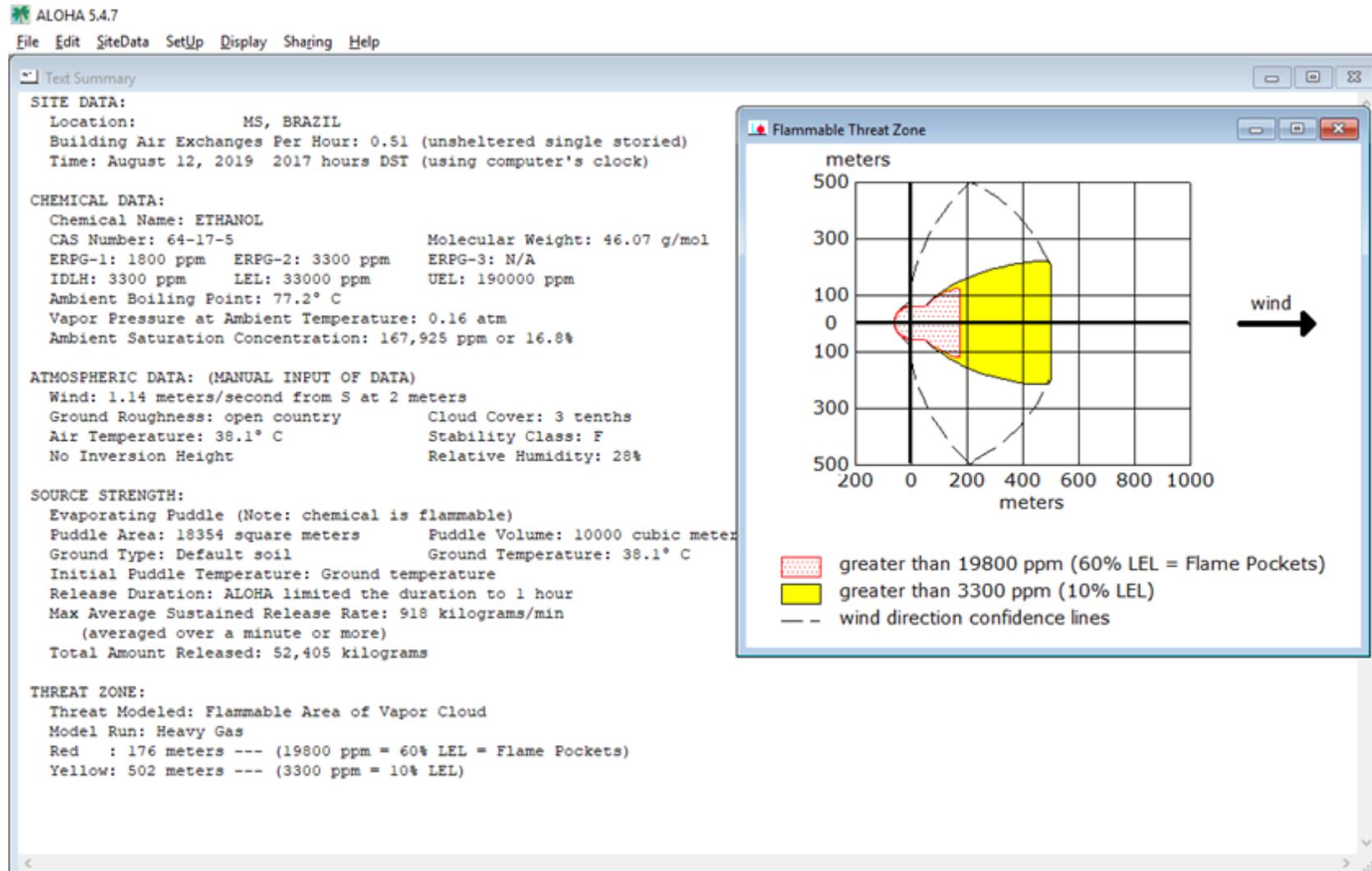


Figura 29. Simulação 71: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.

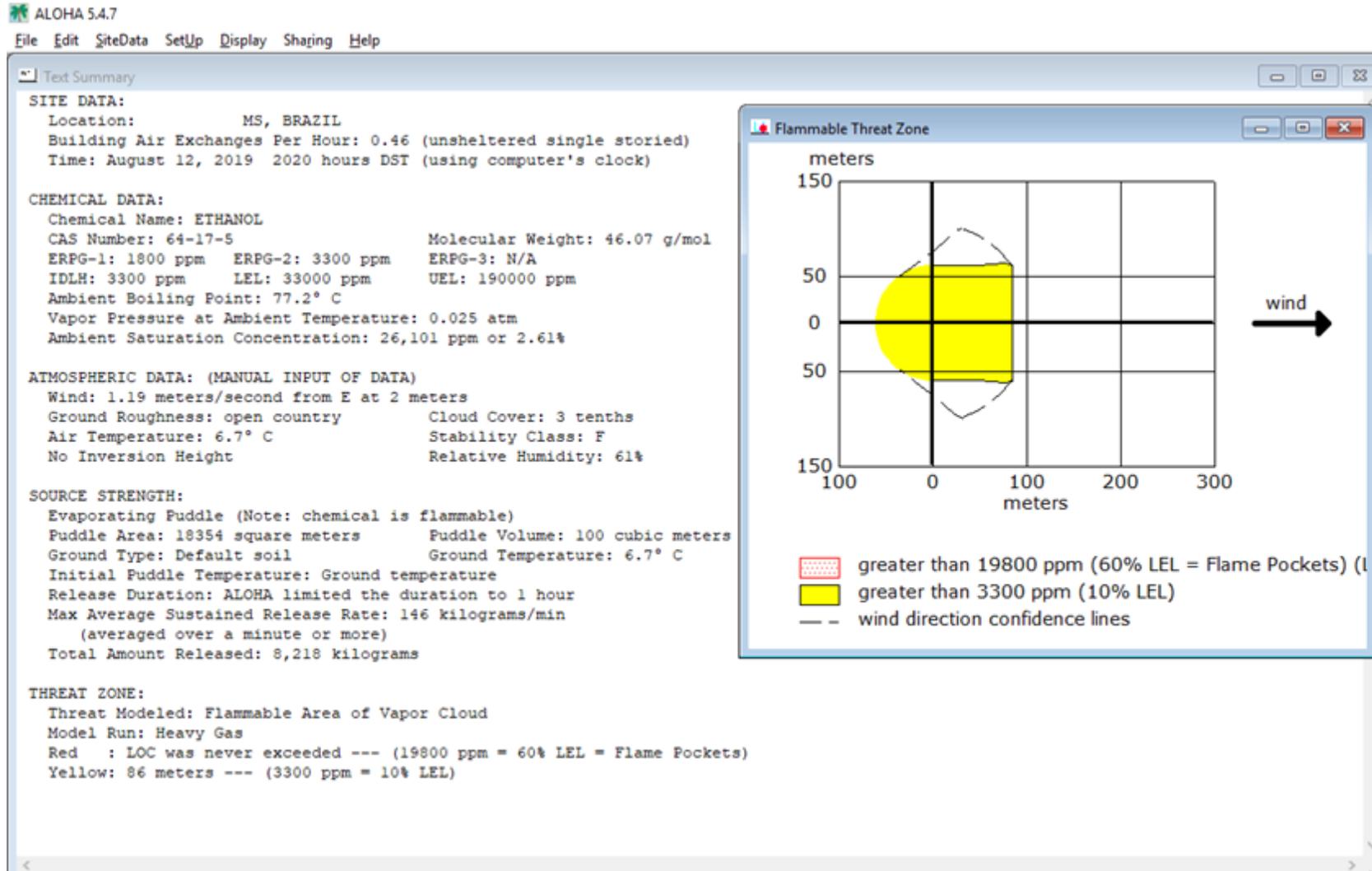


Figura 30. Simulação 72: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.

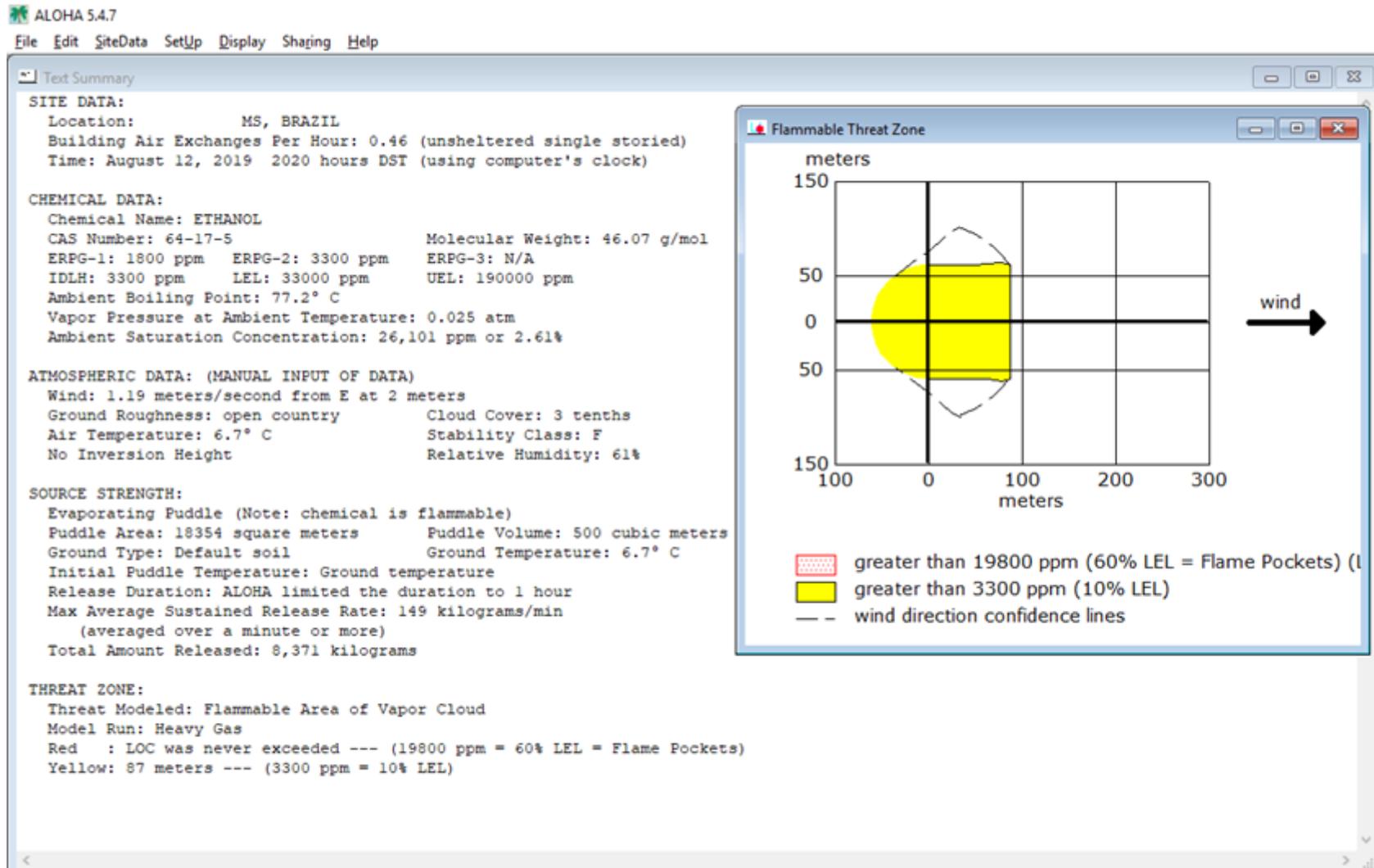


Figura 31. Simulação 73: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.

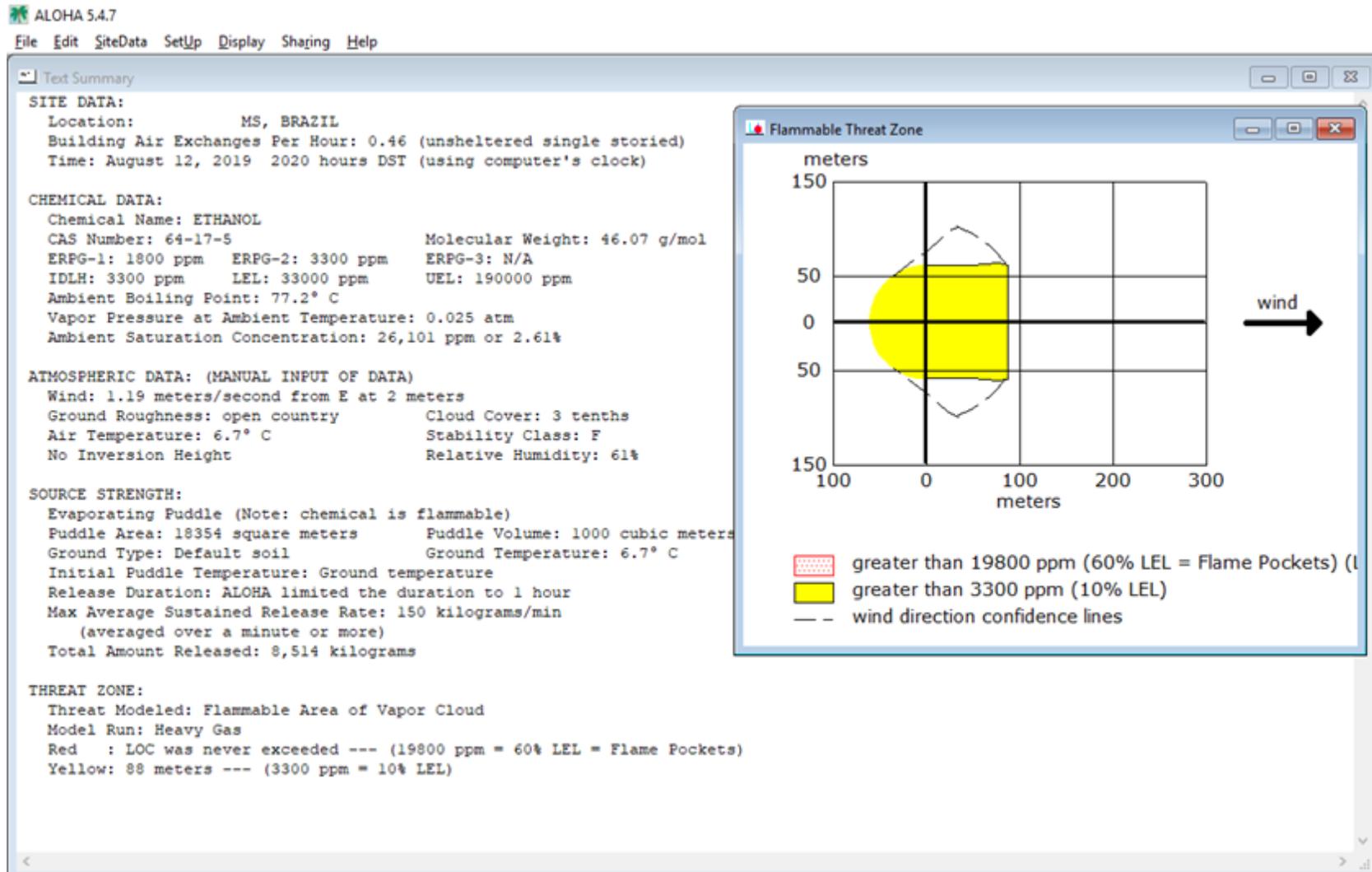


Figura 32. Simulação 74: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.

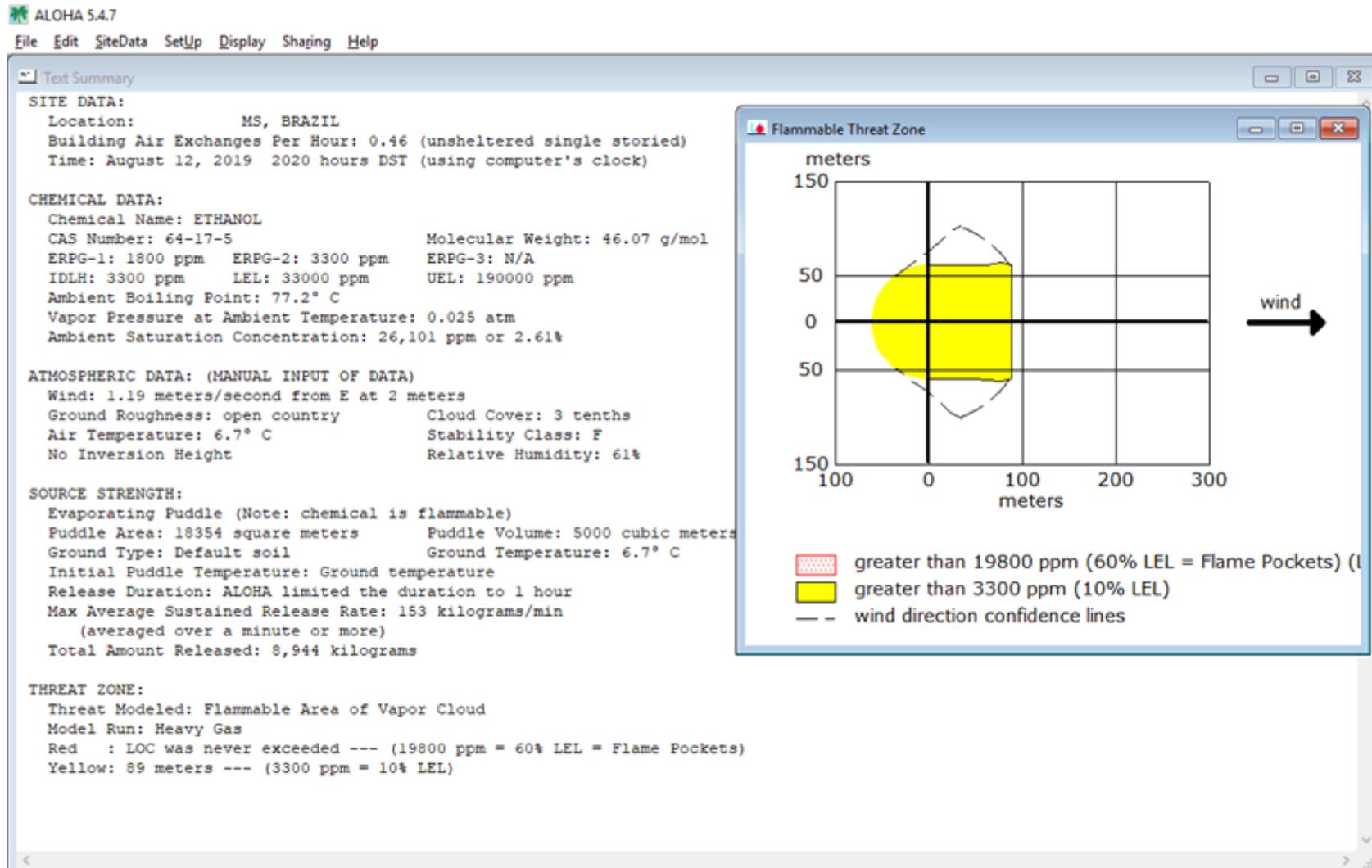
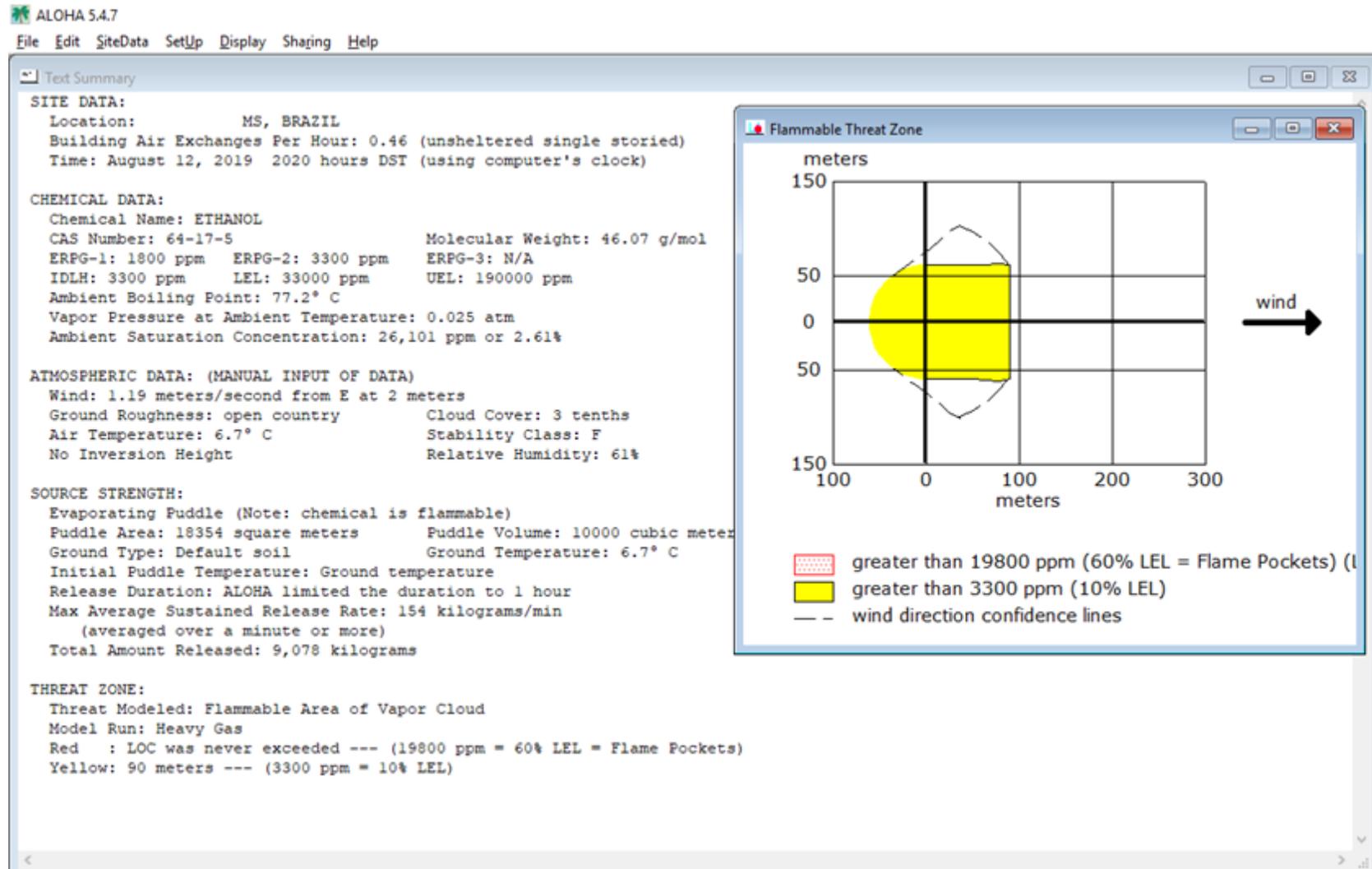


Figura 33. Simulação 75: área de inflamabilidade em nuvem tóxica.



## APÊNDICE IV

**Tabela 19.** Checklist operacional do armazenamento de etanol

<b>Checklist armazenamento de etanol</b>			
Data: _____/_____/_____	Responsável: _____	Matrícula: _____	
	Sim	Não	Observações
<b>1. Conferência de manobras de válvulas</b>			
a) a produção está direcionada a um tanque com capacidade compatível?	( )	( )	_____ _____
b) a válvula da linha de produção está devidamente aberta para o tanque que irá estocar o etanol do dia?	( )	( )	_____ _____
c) as válvulas da linha de produção dos demais tanques se encontram fechadas?	( )	( )	_____ _____
d) as válvulas de retirada de etanol dos tanques e de recirculação se encontram abertas de acordo com o tanque que será retirado etanol no dia?	( )	( )	_____ _____
<b>2. Verificação da estrutura física</b>			
a) todas as juntas das linhas de produção que chegam ao sistema de armazenagem de etanol estão isentas de vazamentos, gotejamentos e marejamentos?	( )	( )	_____ _____

b) todas as juntas das linhas de retirada de etanol do sistema de armazenagem que vão para o carregamento estão isentas de vazamentos, gotejamentos e marejamentos?

( ) ( )

---

---

---

c) todas as juntas das linhas de recirculação sistema de armazenagem de etanol estão isentas de vazamentos, gotejamentos e marejamentos?

( ) ( )

---

---

---

d) todas as válvulas do sistema de armazenamento estão isentas de vazamentos, gotejamentos e marejamentos?

( ) ( )

---

---

e) todas as bocas de visitas dos tanques do sistema de armazenamento de etanol se encontram isentas de vazamentos, gotejamentos e marejamentos?

( ) ( )

---

---

---

f) toda a estrutura dos tanques apresentam-se sem fissuras visuais ou vazamento estrutural?

( ) ( )

---

---

g) toda a estrutura de combate a incêndio dos tanques se encontram aptas a operar?

( ) ( )

---

---

### 3. Verificação da ausência de fontes de ignição

a) as pessoas presentes na área de armazenamento estão sem celular ou estão com o aparelho desligado?

( ) ( )

---

---

b) o sistema de armazenamento se encontra isento de fontes de eletricidade?

( ) ( )

---

---

c) se houverem pessoal na área do sistema de armazenamento

---

utilizando rádio comunicador, os rádios são blindados?

( ) ( )

\_\_\_\_\_

d) a área do sistema de armazenamento se encontram isentas de trabalhos a quente (soldas, cortes com maçarico, lixadeiras, etc.)?

( ) ( )

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

#### **4. Verificação de obras e serviços no local**

Se houverem obras e/ou serviços na área de armazenamento:

a) os serviços estão devidamente liberados pelos responsáveis do setor e da segurança do trabalho?

( ) ( )

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

b) ausência de trabalhos a quente?

( ) ( )

\_\_\_\_\_

c) Utilização de ferramentas adequadas que não gerem faísca?

( ) ( )

\_\_\_\_\_

d) pessoal envolvido é capacitado para realização dos serviços?

( ) ( )

\_\_\_\_\_

#### **5. Verificação dos níveis dos tanques**

a) colaboradores que realizarão a medição dos níveis dos tanques de armazenamento de etanol estão devidamente treinados?

( ) ( )

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

b) Os materiais de medição estão em perfeito estado e certificados?

( ) ( )

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

c) os níveis dos tanques estão a uma distância segura dos flanges de sistema de combate a incêndio?

( ) ( )

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_