REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

RISCOS E PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS E EXPLOSÕES EM ALAMBIQUES

RISKS AND PREVENTION OF FIRES AND EXPLOSIONS IN SMALL DISTILLERIES

RIESGOS Y PREVENCIÓN DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES EN ALAMBIQUES

Amazile Biagioni Maia[1]

e6116965
https://doi.org/10.47820/recima21.v6i11.6965

PUBLICADO: 11/2025

RESUMO

No Brasil, milhares de destilarias de pequena escala — conhecidas como Alambiques — operam em áreas rurais, geralmente com capacidade para a produção entre 100 e 1000 litros por dia. Essas unidades utilizam destiladores descontínuos para a produção de cachaça, elaborada em alambiques de cobre a partir do caldo de cana fermentado (teor alcoólico em torno de 8% v/v), e de etanol combustível, obtido das frações “cabeça” e “cauda” da destilação da cachaça (aproximadamente 30% v/v de etanol). Embora a legislação exija a implementação de manuais de prevenção de acidentes, os riscos de incêndio e explosão podem ser subestimados devido à pequena escala operacional. Os riscos inerentes à destilação de líquidos alcoólicos exigem identificação, controle e monitoramento sistemático para garantir a segurança do processo. O presente estudo tem como objetivo identificar as principais fontes de risco de incêndio e explosão, avaliar vulnerabilidades específicas e propor medidas preventivas aplicáveis às operações de destilação de cachaça e etanol combustível.

PALAVRAS-CHAVE: Cachaça. Destilação alcoólica. Análise de risco. Prevenção de acidentes. Explosões industriais.

ABSTRACT

In Brazil, thousands of small-scale distilleries—known as "alambiques"—operate in rural areas, generally with a production capacity of between 100 and 1000 liters per day. These units use batch distillers for the production of cachaça, made in copper stills from fermented sugarcane juice (alcohol content around 8% v/v), and fuel ethanol, obtained from the "head" and "tail" fractions of the cachaça distillation (approximately 30% v/v ethanol). Although legislation requires the implementation of accident prevention manuals, the risks of fire and explosion may be underestimated due to the small operational scale. The risks inherent in the distillation of alcoholic liquids require systematic identification, control, and monitoring to ensure process safety. This study aims to identify the main sources of fire and explosion risk, assess specific vulnerabilities, and propose preventive measures applicable to cachaça and fuel ethanol distillation operations.

KEYWORDS*: Cachaça. Alcoholic distillation. Risk analysis. Accident prevention. Industrial explosions.*

RESUMEN

En Brasil, miles de pequeñas destilerías, conocidas como Alambiques, operan en zonas rurales, generalmente con una capacidad de producción de entre 100 y 1000 litros diarios. Estas unidades utilizan destiladores discontinuos para producir cachaça, elaborada en alambiques de cobre a partir de jugo de caña de azúcar fermentado (con una graduación alcohólica aproximada del 8 % v/v), y etanol combustible, obtenido de las fracciones de "cabeza" y "cola" de la destilación de cachaça (aproximadamente un 30 % v/v de etanol). Si bien la legislación exige la implementación

[1] Engenheira Química, PhD - Laboratório LABM - Belo Horizonte. Doutorado em Bioquímica e Imunologia pela Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

de manuales de prevención de accidentes, los riesgos de incendio y explosión pueden subestimarse debido a la pequeña escala operativa. Los riesgos inherentes a la destilación de líquidos alcohólicos requieren identificación, control y monitoreo sistemático para garantizar la seguridad del proceso. Este estudio busca identificar las principales fuentes de riesgo de incendio y explosión, evaluar las vulnerabilidades específicas y proponer medidas preventivas aplicables a las operaciones de destilación de cachaça y etanol combustible.

***PALABRAS CLAVE**: Cachaça. Destilación alcohólica. Análisis de riesgos. Prevención de accidentes. Explosiones industriales.*

1. INTRODUÇÃO

Incêndios e explosões podem causar sérios danos às instalações industriais e ao meio ambiente, com elevados prejuízos financeiros, além dos riscos de ferimentos graves e até mortes. As destilarias de bebidas alcoólicas apresentam maior potencial de acidentes, devido ao manuseio rotineiro de etanol em ebulição e à formação de vapores que, ao se misturarem com o ar, originam atmosferas altamente inflamáveis (Baker *et al.,* 2012). Nos últimos anos, diversos acidentes reforçaram o alerta para esse perigo: em Goiás, uma explosão na Usina Denusa causou a morte de dois trabalhadores; no Paraná, um incêndio na Destilaria Santo Antônio resultou em um óbito; grandes incêndios foram registrados na Paraíba e em São Paulo; em Minas Gerais, uma explosão provocou expressivos prejuízos materiais (Em Assis, 2019; Novacana, 2023; J Paraíba, 2024; Gazeta SP, 2025). No Brasil, existem milhares de fábricas de cachaça localizadas em áreas rurais, comumente denominadas Alambiques, nome grafado com inicial maiúscula para distinguir do alambique, equipamento utilizado na destilação. Embora operem em escala muito menor que as destilarias industriais, esses estabelecimentos estão sujeitos aos mesmos perigos (ERT, 2023; Inmetro, 2020). O objetivo deste artigo é apontar as principais fontes de riscos e reforçar o elenco de medidas preventivas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se uma pesquisa de abordagem mista, com predominância qualitativa, situada entre o estudo de caso e a pesquisa documental. As fontes diretas incluíram relatórios técnicos, bases de dados e plataformas especializadas (Google Acadêmico, ResearchGate, IPT, NFPA, Cetesb, ANP). As fontes indiretas corresponderam a uma revisão bibliográfica de caráter não sistemático e narrativo (Pereira *et al.,* 2018; Rother, 2007), empregada para contextualizar o tema e fundamentar as avaliações.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

3. DESTILAÇÃO POR BATELADAS

Em contraste com as destilarias de grande porte, que utilizam colunas automatizadas de operação contínua, os Alambiques empregam destiladores descontínuos, operando em bateladas sucessivas e sob monitoramento predominantemente manual:

- Destiladores de cobre: tradicionalmente empregados na produção de cachaça, podem variar em número conforme a escala de produção, chegando, em alguns casos, a oito unidades ou mais.

- Destiladores de aço inoxidável**:** utilizados para a recuperação de etanol combustível a partir das frações “cabeça” e “cauda” provenientes dos destiladores de cobre. Embora seu uso seja opcional, a adoção desse tipo de equipamento vem se expandindo em diversas regiões produtoras do país.

3.1. Destilação da Cachaça

A destilação da cachaça em alambiques de cobre encontra-se amplamente descrita na literatura (Maia; Campelo, 2006; Bastos; Reis, 2016; Green; Southard, 2018; Silva; Moura, 2018). Embora a configuração possa variar, todo destilador de operação descontínua é constituído por uma panela e uma coluna. No topo da coluna há uma câmara de resfriamento (deflegmador); próximo à base, geralmente há um prato destinado ao recolhimento dos vapores condensados (Figura 1).

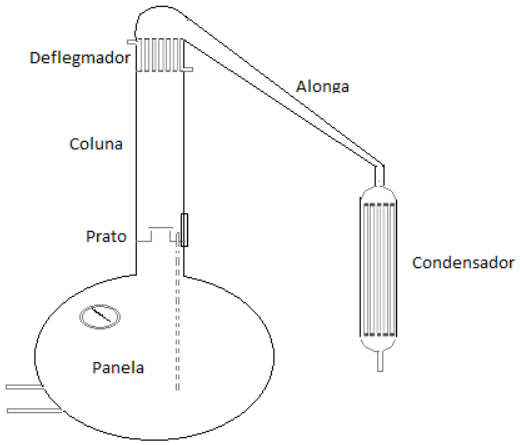


Figura 1. Esquema ilustrativo dos componentes de um alambique

A panela recebe o mosto (caldo de cana fermentado, com teor alcoólico em torno de 8%). Aquecido por vapor proveniente de caldeira, o mosto entra em ebulição, gerando vapores com cerca de 47 % de etanol. (Figura 2). Ascendendo à coluna, esses vapores se condensam - tanto no trajeto até o topo como pelo efeito da água de resfriamento aplicada no deflegmador - sendo recolhidos pelo prato, já no estado líquido, caracterizando o refluxo. Impulsionado pelo calor

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

proveniente da panela, o líquido condensado no prato (com 47% de etanol) é novamente vaporizado (com cerca de 75% de etanol); o refluxo se repete até que os vapores atinjam concentração alcoólica suficiente para transpor a barreira térmica do deflegmador, resfriado pelo fluxo de água à temperatura ambiente. Durante a destilação, as frações do destilado apresentam, em média, os seguintes teores de etanol: 65 a 70 % na cabeça, 43 a 48 % no coração e 20 a 25 % na cauda (Maia; Campelo, 2006).

Assim sendo, em determinadas etapas da destilação, coexistem líquidos e vapores no interior da coluna com teores alcoólicos entre 45 e 75% - cujo alto potencial inflamável pode efetivar-se na presença de faíscas, chamas abertas ou superfícies aquecidas acima da temperatura de ignição (Ramamurthi, 2023)

.

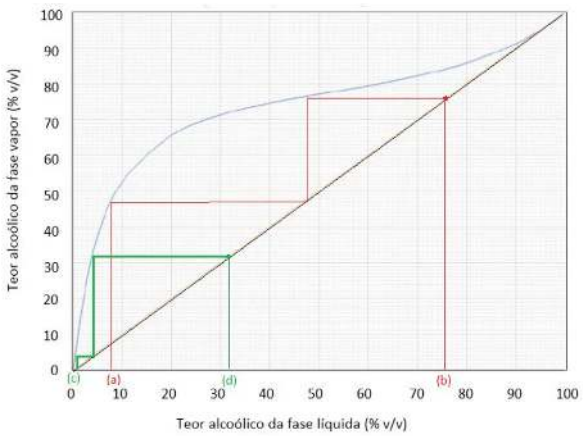


Figura 2. Diagrama de fases da mistura água-etanol aplicado às condições do alambique, com refluxo correspondente a dois pratos teóricos (um na panela e outro na coluna) - Teores alcoólicos: (a) do mosto fermentado, (b) do início da fração cabeça; (c) do resíduo líquido da destilação na panela; (d) do início da fração cauda

3.2. Destilação do etanol combustível

No ambiente dos Alambiques, o etanol combustível é produzido em destiladores de aço inoxidável que também operam por bateladas (Figura 3). De modo geral, a panela é alimentada pela mistura das frações cabeça e cauda do processo de destilação da cachaça, com teor alcoólico em torno de 30%. Para recolhimento do etanol com cerca de 90% vol., a coluna do destilador precisaria contar com quatro a cinco pratos sucessivos (Figura 4). Com frequência, porém, efeito equivalente é obtido mediante emprego de recheio inerte (Curbelo *et al.,* 2025).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

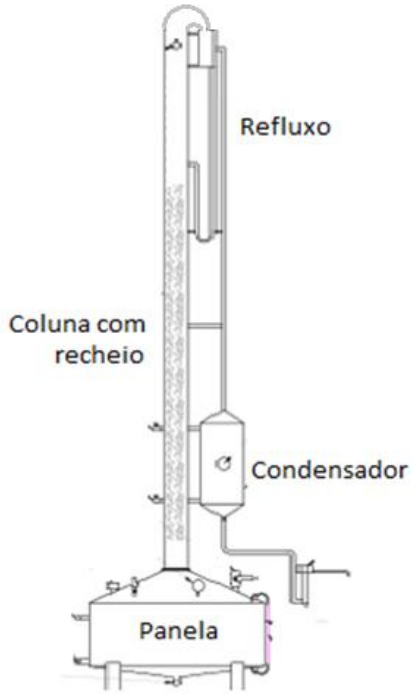


Figura 3. Esquema ilustrativo da geometria de um destilador de álcool por bateladas (coluna com recheio)

No interior da coluna, os vapores iniciais, com cerca de 70% de etanol, já são altamente inflamáveis; na sequência, com os refluxos sucessivos, o teor alcoólico do destilado situa-se entre 90 e 91% vol (Figura 4). Assim sendo, durante toda a operação, as concentrações etanólicas dentro da coluna são altamente inflamáveis (NFPA, 2004).

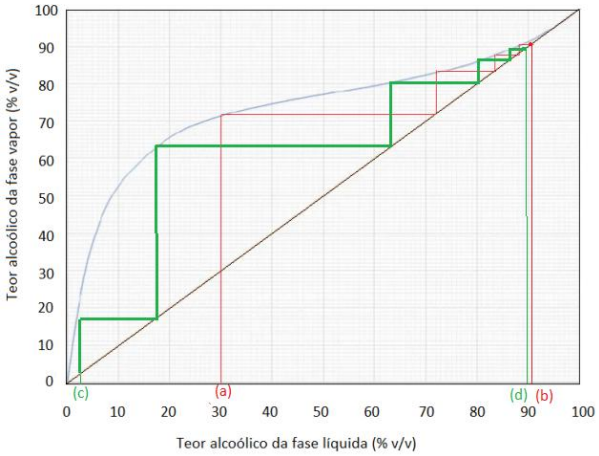


Figura 4. Diagrama de fases da mistura água-etanol, aplicado às condições do destilador de etanol, com refluxo correspondente a 4-5 pratos - teores alcoólicos: (a) da mistura de cauda e cabeça a ser destilada, (b) do início do destilado; (c) do resíduo na panela do destilador; (d) da fração final do destilado.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

4. PRINCIPAIS FATORES DE RISCO

4.1. Faíscas e corrosão

Em destiladores metálicos, o desgaste e a corrosão das superfícies internas não produzem faíscas por si sós, mas podem aumentar o risco de ignição acidental. Isso ocorre porque irregularidades na superfície metálica favorecem a concentração de cargas elétricas provenientes de fontes externas, como faíscas, eletricidade estática ou equipamentos elétricos próximos.

Faíscas podem ser geradas acidentalmente, seja por descuidos na rede elétrica ou pelo manuseio de soldas e serras elétricas (Figura 5).

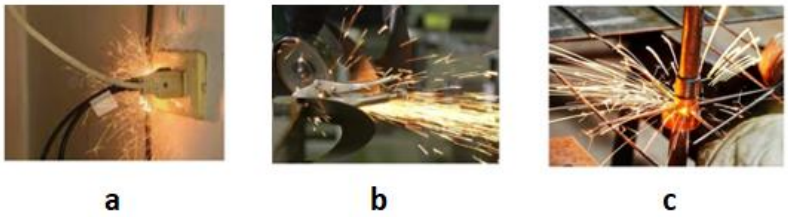


Figura 5. Faíscas de: (a) curto-circuito (b) serra elétrica, (c) solda elétrica

As regiões corroídas indicam maior suscetibilidade a riscos de incêndio e, no caso dos destiladores de etanol, de explosão. Essa suscetibilidade pode ocorrer independentemente da aparência das áreas corroídas, que varia conforme o tipo e o estágio da oxidação (Figura 6).



Figura 6. Vários tipos de corrosão

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

4.2. Entupimentos e obstruções

As colunas preenchidas com recheio apresentam maior eficiência de separação devido à ampla área de contato entre as fases. No entanto, são mais suscetíveis a entupimentos e obstruções, que podem causar elevação súbita da pressão e da temperatura. Nessas condições, há risco de explosão por sobrepressão interna. Além disso, pode ocorrer ignição de vapores inflamáveis caso surjam faíscas associadas à corrosão de superfícies metálicas ou do recheio. Esse risco é maior quando o recheio é constituído de material condutivo ou reativo — isto é, materiais que conduzem eletricidade ou que podem reagir quimicamente com os componentes do mosto ou dos vapores, favorecendo processos de corrosão e aquecimento localizado (Silveira, 2025).

4.3. Ignição por impacto

Quando um corpo se choca com outro em alta velocidade, parte da energia do movimento se transforma em calor no ponto de contato. O aquecimento pode ser tão intenso a ponto de provocar faíscas e dar início a um incêndio. Casos assim podem ocorrer, por exemplo, com projéteis de armas de fogo, pedaços de metal lançados por rotores que giram muito rápido (acima de 3000 rpm) ou até — em situações extremas — com a queda de meteoritos ou fragmentos vindos da atmosfera.

Tanto os alambiques quanto os destiladores de etanol podem ser afetados por esse tipo de risco, embora em graus diferentes. Nos alambiques, o perigo é pequeno, mas existe. O choque entre ferramentas, peças metálicas ou fragmentos pode gerar faíscas ou pontos de aquecimento capazes de inflamar vapores de álcool eventualmente liberados por vazamentos, especialmente na parte superior do destilador (onde os vapores são mais concentrados em etanol e tendem a se acumular). Por isso, é importante evitar deixar objetos soltos próximos aos equipamentos, manter o ambiente bem ventilado e prevenir impactos de qualquer natureza.

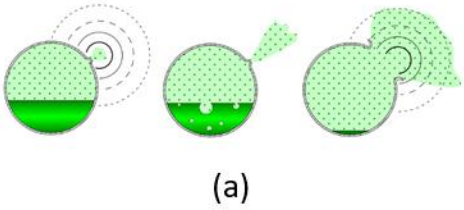
Já os destiladores de etanol costumam ficar em locais abertos, justamente para facilitar a dispersão dos vapores inflamáveis. Nesses ambientes, no entanto, o equipamento pode ficar mais exposto a impactos externos, como a queda de estruturas, colisões com veículos ou máquinas, fragmentos arremessados por ventos fortes e até disparos de armas de fogo. Choques muito fortes podem gerar faíscas ou aquecer partes metálicas, o que representa sério risco de incêndio quando há presença de vapores de etanol em concentrações acima de 45 % v/v (ERT, 2023).

4.4. Descompressão abrupta

Uma explosão por descompressão abrupta ocorre quando um líquido ou gás pressurizado é liberado subitamente, causando expansão rápida e projeção de material. No caso de líquidos superaquecidos em recipientes fechados, a ruptura súbita libera vapor instantaneamente,

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

formando uma nuvem que pode expandir até 200 vezes o volume original**,** gerando ondas de choque, deslocamento de ar e fragmentos projetados (Figura 7)**.** Esse fenômeno específico é conhecido como BLEVE (do inglês: *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)* e pode ocorrer também em tanques de líquidos inflamáveis aquecidos por incêndios. Se houver faísca ou chama, a nuvem de vapor pode inflamar-se**,** produzindo uma bola de fogo secundária (Haddad, 2013; Filipini, 2020).



(a)



(b)

Figura 7. Esquema ilustrativo de uma BLEVE:
(a) etapas que ocorrem em intervalo inferior a 0,1 segundo
(b) BLEVE (explosão física) com combustão

Os alambiques tradicionais, por operarem à pressão atmosférica e possuírem pescoço largo ligado diretamente ao ambiente, estão praticamente isentos do risco de BLEVE. Nos destiladores de álcool, entretanto, podem ocorrer situações que aumentam o perigo, como:

- formação temporária de espuma — causada por aquecimento rápido ou resíduos de álcoois superiores, ácidos graxos ou traços de sabão — obstruindo parcialmente o fluxo de vapor e elevando momentaneamente a pressão;
- redução da resistência do equipamento, devido à corrosão ou falha em válvulas de alívio;
- proximidade de faíscas ou chamas externas.

A combinação desses fatores pode acelerar o aquecimento de líquidos inflamáveis, aumentando o risco de vaporização súbita, projeção de líquido quente e, em casos extremos, BLEVE, mesmo em sistemas parcialmente fechados ou pressurizados.

4.5. Radiação solar

A radiação solar pode representar um fator de risco indireto em locais com vapores inflamáveis, como alambiques e destiladores de etanol. O aquecimento de superfícies metálicas expostas ao sol pode favorecer a emissão de elétrons por efeitos fotoelétrico e termiônico. Embora esses fenômenos raramente produzam descargas visíveis, a combinação de calor

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

intenso, radiação e vapores alcoólicos cria condições favoráveis à formação de micro faíscas, capazes de atuar como fontes de ignição (McCarthy, 2014; Newson Gale, 2024).

Esse risco é mais relevante em destiladores de etanol instalados ao ar livre, onde a exposição direta ao sol pode elevar significativamente a temperatura das superfícies metálicas, aumentando a probabilidade de micro descargas elétricas e ignição (Wang *et al.,* 2022). Nos alambiques o perigo é menor, pois normalmente operam sob cobertura, em ambientes ventilados e à pressão atmosférica, o que reduz a concentração e o confinamento de vapores inflamáveis (Rougier *et al.,* 2021).

4.6. Raios e tempestades

Raios são descargas elétricas de altíssima intensidade, cuja incidência direta em tanques de líquidos inflamáveis pode provocar explosão instantânea (Braskem, 2013).

Mesmo sem incidência direta, raios podem afetar destiladores de etanol localizados a quilômetros do ponto de impacto, dependendo da intensidade da descarga, da configuração metálica do equipamento e da topografia local. Esse efeito ocorre por três mecanismos principais:

- campos elétricos e magnéticos intensos, que induzem correntes em superfícies metálicas e tubulações;
- propagação lateral da corrente pelo solo, criando diferenças de potencial;
- ionização do ar ao redor do impacto, aumentando a condutividade e facilitando centelhas na presença de vapores inflamáveis.

Assim, mesmo na ausência de chuva ou de raio direto, destiladores metálicos podem sofrer indução elétrica suficiente para inflamar vapores, representando risco de incêndio ou explosão.

Nos destiladores de etanol por bateladas, geralmente instalados em áreas abertas, as diversas estruturas metálicas interligadas — corpo, pescoço, colunas, serpentinas, tubulações, tanques e plataformas — formam caminhos condutivos que aumentam a suscetibilidade à indução elétrica e à formação de centelhas, especialmente na presença de vapores concentrados durante a destilação (Kern, 1991; Teixeira, 2020). Nos alambiques, o risco é menor, pois operam sob cobertura, com estruturas mais baixas e desconectadas,

Além disso, os vapores mais inflamáveis ocorrem principalmente durante a coleta da fração cabeça (que corresponde a cerca de 5% do volume total destilado), quando a concentração de etanol é mais elevada (Maia; Campelo, 2006).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

5. PRINCIPAIS VULNERABILIDADES

Embora alambiques e destiladores de etanol operem segundo princípios semelhantes, o tipo de material, a configuração e o ambiente de instalação conferem perfis de risco distintos (Oliveira, 2012; Ramamurthi, 2023).

5.1. Alambiques

Nos alambiques, o principal ponto crítico é a corrosão da panela de cobre, favorecida por ácidos orgânicos, aldeídos e sais presentes no mosto. A oxidação contínua fragiliza a estrutura, e os ciclos de aquecimento e resfriamento promovem microfissuras e incrustações que podem evoluir para vazamentos ou explosões acidentais (Praxedes *et al.,* 2018; Nunes, 2025). O risco, porém, é reduzido, porque os alambiques operam à pressão atmosférica e o teor alcoólico do mosto diminui progressivamente, alcançando níveis residuais (0,3 - 0,5%)

5.2. Destiladores de etanol

Os destiladores de álcool, quando construídos em aço inoxidável, apresentam menor suscetibilidade à corrosão em comparação aos alambiques tradicionais. Contudo, por serem geralmente instalados em áreas abertas, ficam mais expostos à radiação solar intensa e às descargas atmosféricas. Essa condição favorece a indução de correntes elétricas e micro centelhas em superfícies metálicas, aumentando o risco de ignição dos vapores inflamáveis, tanto dentro do equipamento quanto daqueles que possam extravasar para o ambiente externo (IEC, 2013; IEC, 2015). Além disso, o manuseio inadequado — choques, fricções ou falhas operacionais — e o uso de colunas com recheio ou múltiplos pratos, que operam sob maior pressão interna, elevam o risco de acidentes por ignição ou ruptura súbita (CSB, 2007).

6. PRÁTICAS PREVENTIVAS

6.1. Alambiques

Excetuando-se casos de atividades clandestinas, pode-se afirmar que tanto a fabricação quanto o uso de alambiques são práticas amplamente dominadas e bem executadas pelo setor produtivo da cachaça. Além disso, como a destilação se dá a partir de mostos com baixo teor alcoólico inicial (~8%) e as colunas abertas são submetidas à pressão atmosférica, os riscos de incêndio e explosão são relativamente reduzidos.

Ainda assim, é importante destacar a importância da integridade da panela e da coluna. Pois a presença de água, ácidos e aldeídos no mosto contribui para a corrosão gradual da panela, podendo originar pequenos furos. Muitas vezes, esses furos ficam parcialmente obstruídos por incrustações calcáreas, que podem ser dissolvidas durante operações sucessivas de aquecimento

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

e resfriamento, aumentando o risco de vazamentos imprevisíveis. Medidas como limpeza regular, controle rigoroso do aquecimento e inspeções periódicas devem sempre ser reforçadas: além de importantes para a boa qualidade do destilado, são indispensáveis para minimizar riscos operacionais.

6.2. Destiladores de etanol

Os destiladores de etanol, por operarem com líquidos de alta inflamabilidade e envolverem colunas com múltiplos pratos ou recheios inertes, requerem cuidados especiais em sua construção, instalação, operação e manutenção. Em especial:

- Devem ser construídos exclusivamente em aço inoxidável, sem associação com outros metais. As superfícies internas e externas devem ser lisas, contínuas e isentas de oxidação. A panela deve possuir volume suficiente para acomodar a carga máxima com margem mínima de 30%, fundo projetado para escoamento completo e espessura uniforme, compatível com a pressão de trabalho. O equipamento deve dispor de manômetro e válvulas de alívio dimensionadas conforme as normas aplicáveis a vasos de pressão (Brasil, 2022).

- A instalação deve ocorrer em ambientes abertos, ventilados e protegidos da luz solar direta, a fim de evitar o superaquecimento das superfícies metálicas. Toda a estrutura, incluindo tanques de recepção do etanol combustível, deve possuir aterramento elétrico interligado, reduzindo o risco de centelhas por eletricidade estática. A área ao redor do equipamento deve permanecer livre de fontes de ignição, como chamas, faíscas ou fumaça.

- A coluna deve possuir saída superior ampla e cônica, garantindo o fluxo contínuo dos vapores. É indispensável que recheios e/ou pratos estejam íntegros, corretamente posicionados e sem obstruções, assegurando fluxo uniforme e evitando a formação de pontos de alta pressão.

- É indispensável efetuar manutenção preventiva, com verificação periódica de juntas, soldagens, válvulas de alívio, recheio e pratos, bem como a limpeza de condensadores e linhas de saída do destilado. As válvulas de alívio devem ser testadas regularmente, ajustadas à pressão de operação e direcionadas para áreas ventiladas, afastadas de operadores.

- As inspeções devem ser mais minuciosas e abrangentes sempre que o destilador permanecer inativo por períodos prolongados, a fim de garantir a integridade de todo o sistema antes da retomada das operações.

- Antes de iniciar a destilação, é fundamental realizar a purga da coluna para eliminar o ar residual. A presença de ar misturado a vapores alcoólicos inflamáveis pode gerar atmosferas

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

explosivas, cuja ignição pode ocorrer por faíscas, centelhas ou superfícies aquecidas. A purga deve ser feita com gás inerte (nitrogênio ou dióxido de carbono) ou vapor de água superaquecido, de acordo com recomendações do fabricante (ANSI, 2015). O operador deve monitorar constantemente nível do líquido, temperatura da panela e pressão interna**,** prevenindo superaquecimento ou sobrepressão

6.3. Caldeiras de vapor

As caldeiras de vapor utilizadas para o aquecimento dos alambiques e destiladores de etanol operam sob pressões significativamente elevadas, tipicamente entre 6 e 8 atmosferas, o que as distingue acentuadamente dos alambiques e dos destiladores, onde as operações se dão à pressão atmosférica ou ligeiramente acima. Embora o risco de incêndio direto seja geralmente menor do que nos destiladores de etanol — uma vez que o vapor em si não é inflamável —, ele não é inexistente, especialmente se houver vazamentos de combustível (óleo, gás ou biomassa) ou superfícies superaquecidas próximas a materiais combustíveis.

O principal risco decorre de falhas na manutenção ou no pré-tratamento da água, que podem gerar incrustações, corrosão ou superaquecimento, comprometendo a integridade do equipamento. A operação inadequada sob alta pressão pode resultar em explosões acentuadamente graves.

Os parâmetros críticos de controle incluem o nível de água, a pressão interna**,** a temperatura do vapor, a integridade das válvulas de segurança e a qualidade da água, que deve ser adequada para evitar corrosão e acúmulo de sais (Brasil, 2022). Devido à complexidade e aos riscos associados, o manuseio das caldeiras requer o monitoramento de um responsável técnico habilitado e que, de acordo com a NR-13 (Brasil, 2022), deve ser um engenheiro mecânico, com certificação específica para o exercício dessa atividade.

7. CONSIDERAÇÕES

Embora a legislação brasileira exija o Plano de Prevenção e Proteção contra Incêndio em diversas atividades industriais (NR-23), o manuseio do alambique na produção da cachaça tem origem ancestral, sendo razoável admitir que os produtores detenham ampla experiência empírica nessa atividade. Além disso, nas últimas décadas foram desenvolvidos e aprimorados inúmeros dispositivos que aumentaram a segurança na operação dos alambiques. Nesse contexto, a introdução recente dos destiladores de álcool por bateladas — destinados ao aproveitamento das frações cabeça e cauda da destilação da cachaça — pode ter sido acolhida com naturalidade, dada a semelhança conceitual e operacional com os alambiques tradicionais. Entretanto, o destilador de álcool por bateladas apresenta peculiaridades importantes que tornam seu manuseio mais suscetível a diversos tipos de risco, como a operação ao ar livre, a pressão interna e a ampla

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

faixa de teor alcoólico presente na coluna. Torna-se urgente, portanto, que o setor invista na conscientização dos proprietários e, sobretudo, na capacitação prática dos operadores, abordando temas como:

- monitoramento de vapores inflamáveis,
- procedimentos seguros de pressurização e despressurização,
- distâncias mínimas de segurança,
- sistemas de aterramento.

É extremamente importante que o setor produtivo da cachaça de alambique se fortaleça pela conscientização efetiva acerca dos riscos e adoção eficaz de procedimentos seguros para a prevenção de incêndios e explosões.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 17505**: *Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. Disponível em: https://static-sindirrefino-prod.s3.amazonaws.com/upload/noticias/00001643.pdf

ANSI. **Purging Principles and Practice**. EUA: ANSI, 2015. Disponível em: https://www.energy.nh.gov/sites/g/files/ehbemt551/files/inline-documents/purging-principles-and-practice.pdf

BAKER, W. E.; COX, P. A.; WESTINE, P. S.; KULESZ, J. J.; STREHLOW, R. A. **Explosion Hazards and Evaluation.** Amsterdam: Elsevier Sci., 2012. ISBN 9780444599889.

BASTOS, R. A.; REIS, R. J. **Destilação:** princípios e aplicações industriais. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2016.

BRASIL. **NR-23 – Proteção Contra Incêndios.** Aprovada pela Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978 com redação atualizada pela Portaria SIT nº 221, de 6/5/2011. Brasília, DF, SIT/TEM, 2011. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-23

BRASIL. **NR-13 – Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações.** Aprovada pela Portaria nº 3.214, de 8/6/ 1978, com alterações até a Portaria nº 1.846, de 1/6/ 2022. Brasília, DF, MTP, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/normas-regulamentadoras

BRASIL. **NR-20 – Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis.** Aprovada pela Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978, com redação atualizada pela Portaria SEPRT nº 1.360, de 9/12/2019. Brasília, DF, SEPRT/ME, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/trabalhoeemprego/ptbr/assuntos/inspecao-do-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-20

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

BRASKEM. Raio provoca incêndio que consome cinco milhões de litros de álcool em São Paulo. **Petro Notícias**, 2013. Disponível em: https://petronoticias.com.br/raio-provoca-indendio-que-consome-cinco-milhoes-de-litros-de-alcool-em-sao-paulo

CSB. **Final Investigation Report***:* BP America Refinery Explosion. Texas: CSB, 2007. Disponível em: https://www.csb.gov/bp-america-texas-city-refinery-explosion/?utm_source=chatgpt.com

CURBELO, F. D. S.; ASSUNÇÃO, I. C.; DORIGON, J. P. G. S. **Operações unitárias da engenharia química:** uma abordagem experimental. Ponta Grossa, PR, Atena Ed., 2025. ISBN 978-65-258-3530-3. DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.303251707

EM ASSIS. **Incêndio em destilaria mata trabalhador em Palmital**. Assis, SP: Em Assis, 2019. Disponível em: https://emassis.com.br/destilaria-incendeia-e-mata-trabalhador-em-palmital/

ERT. **Destilarias:** os perigos do etanol e do dióxido de carbono. Portugal: ERT,2023. Disponível em: https://www.ert.pt/wp-content/uploads/2023/01/ERT_Crowcon_Destilarias-os-perigos-do-etanol.pdf

FILIPINI, C. H. **Fenômenos de incêndio em tanques**. [S. l.]: Linkedin, 2020. Disponível em: https://www.linkedin.com/pulse/fen%C3%B4menosdoinc%C3%AAndio-em-tanques-carlos-henrique-filipini/

GAZETA SP. Incêndio atinge destilaria de usina no interior de SP. **GAZETA SP**, 2025. Disponível em: https://www.gazetasp.com.br/cotidiano/incendio-atinge-destilaria-usina-interior-sp/1159095/

GREEN, D. W.; SOUTHARD, M. Z. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 9. ed. London: McGraw Hill. 2018. Livro digital. ISBN: 9780071834094

HADDAD, E. **BLEVE:** Explosão de vapor expando pelo líquido em ebulição. São Paulo, CETESB, 2013. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/wp-content/uploads/sites/22/2013/12/bleve.pdf

IEC TS – 60079. **Explosive atmospheres - Part 32-2***: Electrostatics hazards – Tests*. Geneva, IEC, 2015.

IEC. TS - 60079. **Explosive atmospheres – Part 32-1***: Electrostatic hazards - Guidance*. Geneva, IEC, 2013. Disponível em: https://webstore.iec.ch/en/publication/651.

INMETRO. **Manual de boas práticas de fabricação e segurança em unidades artesanais de produção de etanol combustível e aguardente**. Brasília, INMETRO, 2020.

JORNAL DA PARAÍBA. Incêndio atinge engenho produtor de cachaça em Areia (PB). **Jornal da Paraíba**, 2024. Disponível em: https://jornaldaparaiba.com.br/cotidiano/incendio-atinge-engenho-produtor-de-cachaca-em-areia.

KERN, A. **Simulation and measurement of melting effects on metal sheets caused by direct lightning strikes**. USA: NASA Technical Reports Server, 1991. Disponível em: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19910023330/downloads/19910023330.pdf.

McCARTHY, P. T. Thermionic and photo-excited electron emission for solar energy conversion systems. **Frontiers En. Res**., v. 2, n. 54, 2014. DOI: 10.3389/fenrg.2014.00054

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

NEWSON GALE. **Mitigating static ignitions in combustible dust atmospheres**. [S. l.]: Newson Gale, 2024. Disponível em: https://newson-gale.com/wp-content/uploads/2024/08/TECH04-Static-igntions-combustible-dust.pdf

NFPA. **Flammable and Combustible Liquids Code**. Quincy: NFPA, 2004. Disponível em: https://itri.modares.ac.ir/uploads/Shr.Technical.Rar.117.pdf

NOVACANA. ANP divulga relatório sobre explosão na usina Denusa que matou dois trabalhadores. **Novacana Notícias**, 2023. Disponível em: https://www.novacana.com/noticias/anp-relatorio-explosao-usina-denusa-matou-dois-trabalhadores-250823.

NUNES, L. P. **Fundamentos da resistência à corrosão**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2025. ISBN 978-85-7193-505-1

OLIVEIRA, A. R. **Corrosão e tratamento de superfícies**. Belém: Inst. Fed. Educação, Ciência e Tecnologia, 2012.

PEREIRA, A. S. *et al.* **Metodologia de pesquisa científica**. Santa Maria. Editora da UFSM, 2018. [*E-book*]

PRAXEDES, P. N. A.; CUNHA, J. D.; BARBOSA, A. F. B. **Análise do potencial de corrosividade das frações de cachaça**. 2018. TCC (Bacharel) - UFERSA – Univ. Federal Rural do Semiárido, Mossoró, RN, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/22b61fda-f58c-440b-a5f7-b584fcd4bc8c/content

RAMAMURTHI, K. **Ignition Sources**. London: Springer Int. Pub. Ed, 2023. [*Kindle*]. DOI: 10.1007/978-3-031-20687-0

ROUGIER, M.; BELLETRE, J.; LUO, L. An experimental study of a wine batch distillation in a copper pot still heated by gas. **Energies**, v. 14, n. 11, p. 3352, 2021. DOI: 10.3390/en14113352.

SILVA, L. F.; MOURA, G. A. **Tecnologia da Cachaça e do Etanol:** fundamentos e práticas operacionais. 2. ed. Lavras: UFLA, 2018.

SILVEIRA, J. C. **Operações Unitárias:** Destilação e Riscos Associados. São Paulo: Ed. Técnica, 2025.
ISBN 978-85-12345-67-8.

TEIXEIRA, F. **Aplicação da norma NBR 5419 para proteção de estrutura de uma destilaria de álcool**. 2020. TCC (Bacharel) – Universidade Federal do Paraná, Cornélio Procópio, PR, 2020. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/28762/1/CP_COELT_2020_1_13.pdf.

WANG, S.; LIN, S.; LIU, Y.; HUANG, X.; GOLLNER, M. J. Smoldering ignition using a concentrated solar irradiation spot. **Fire Safety J.**, n. 128, p. 103549, 2022. DOI: 10.1016/j.firesaf.2022.10

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.