

GABRIELA DE ALMEIDA

ANÁLISE DE RISCOS DE UMA REVENDA DE GASES INDUSTRIAIS

SÃO PAULO

2021

GABRIELA DE ALMEIDA

Versão Original

ANÁLISE DE RISCOS DE UMA REVENDA DE GASES INDUSTRIAIS

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Especialista em
Engenharia de Segurança do Trabalho.

SÃO PAULO

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores do PECE pelos conhecimentos transmitidos presencialmente e por terem se reinventado para realizar o melhor que podiam no ensino à distância, diante de uma situação tão peculiar que o mundo estava vivendo; aos funcionários do PECE por toda educação e empenho em ajudar a todos; ao crescimento profissional e pessoal proporcionado pelos colegas e amigos feitos durante o curso.

Viva como se fosse morrer amanhã. Aprenda
como se fosse viver para sempre.

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

DE ALMEIDA, Gabriela. **Análise de riscos de uma revenda de gases industriais.** 2021. 41f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Programa de Educação Continuada, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

O objetivo desse estudo de caso é identificar e analisar as condições perigosas relacionadas aos vasos de pressão, pois embora a empresa em estudo não envaze nenhum gás, existem perigos e riscos associados ao armazenamento, medição e manuseio que se não forem gerenciados podem proporcionar danos aos colaboradores, à propriedade, à comunidade ao redor e ao meio ambiente. Para realizar o gerenciamento de risco foi utilizada a ferramenta BTA, através do software BowTieXP, no qual é possível identificar e propor controles para cada ameaça e consequência, derivados de um possível evento crítico. A aplicação do método resultou em uma tendência maior ao gerenciamento de risco para métodos preventivos, por isso é possível identificar e propor mais controles para conter as ameaças do que as consequências, visto que, embora seja um evento raro de acontecer, poderá ter efeito catastrófico. Por fim, conclui-se que a ferramenta é útil para os diferentes níveis hierárquicos envolvidos no processo, pois estimula o senso de responsabilidade e o uso de conhecimentos técnicos e práticos afim de evitar o evento indesejado e possíveis perdas monetárias.

Palavras-chave: Vasos de pressão; Soldagem; Gerenciamento de risco; BTA; BowTieXP.

ABSTRACT

The purpose of this case study is to identify and analyze the hazard conditions related to the pressure vessels, because although the company under study does not contain any gas, there are hazards and risks associated with storage, measurement and handling that, if not managed, can cause damage to the employees, property, the surrounding community and the environment. To carry out risk management, the BTA tool was used, through the BowTieXP software, in which it is possible to identify and propose controls for each threat and consequence, derived from a possible critical event. The application of the method resulted in a greater tendency to risk management for preventive methods, so it is possible to identify and propose more controls to contain threats than the consequences, since, although it is a rare event to happen, it can have a catastrophic effect. Finally, it is concluded that the tool is useful for the different hierarchical levels involved in the process, as it stimulates the sense of responsibility and the use of technical and practical knowledge in order to avoid the unwanted event and possible monetary losses.

Keywords: Pressure vessel; Welding; Risk management; BTA; BowTieXP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aumento da quantidade de processos de soldagem.	14
Figura 2 – Exemplo de informações técnicas de um cilindro.	15
Figura 3 – Conjunto de solda e corte oxiacetilênico.	17
Figura 4 – Processos de gestão de riscos, conforme ISSO 31000.	23
Figura 5 – Hierarquia de controles.	24
Figura 6 – Modelo da teoria do “queijo suíço”.	27
Figura 7 – Esquema do diagrama de BowTie.	28
Figura 8 – Modelo de diagramação da ferramenta BTA.	30
Figura 9 – Armazenamento de cilindros cheios e vazios.	31
Figura 10 – Veículo equipado com elevador de carga/descarga e corrente de fixação dos cilindros.	32
Figura 11 – Gases industriais e especiais revendidos pela empresa em estudo.	32
Figura 12 – Equipamentos e acessórios para os processos MIG/MAG, TIG e Plasma.	33
Figura 13 – Consumíveis de solda e Equipamentos de Proteção Individual.	34
Figura 14 – Equipamentos e acessórios para oxi-combustível.	35
Figura 15 – A: Recebimento do cilindro do fornecedor; B: Retirada do lacre do fornecedor; C: Medição da pressão do cilindro; D: Colocação do lacre da empresa e E: Cilindro lacrado disponível.	35
Figura 16 – Aplicação do método BTA através do software BowTieXP para uma revenda de gases industriais.	36
Figura 17 – Armazenamento de cilindros de acetileno atualmente.	37
Figura 18 – Armazenamento de cilindros sem corrente de fixação.	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Prazo para teste hidrostático de cilindros em estabelecimento que não possuem SIPE.	15
Quadro 2 – Identificação, riscos e usos em soldagem e corte para os cilindros de gases.	16
Quadro 3 – Características de gestão de micro, pequenas e médias empresas.	25
Quadro 4 – Exemplo de método qualitativo.	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NR	Norma Regulamentadora
P	Pressão
V	Volume
kPa	Quilo pascal
m ³	Metro cúbico
BTA	BowTie Analysis
PMTA	Pressão máxima de trabalho admissível
SIPE	Sistema próprio de inspeção de equipamentos
%	Porcentagem
L	Litros
kgf/cm ²	Quilo grama força por centímetro quadrado
Kg	Quilo
°C	Graus Celsius
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
CO ₂	Dióxido de carbono
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>
ALARP	<i>As Low As Reasonably Practicable</i>
m ²	Metro quadrado
m	Metro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
2 REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 SOLDAGEM E CORTE OXIACETILÊNICO	17
2.1.1 OXIGÊNIO	18
2.1.2 ACETILENO	19
2.2 SOLDAGEM ELÉTRICA.....	20
2.2.1 SOLDAGEM TIG	20
2.2.2 SOLDAGEM MIG/MAG	21
2.3 GERENCIAMENTO DE RISCO	22
2.3.1 TEORIAS E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE RISCOS.....	26
3 MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5 CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a “NR-13 – Caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento”, no qual estabelece requisitos mínimos para gestão da integridade de caldeiras a vapor, vasos de pressão, suas tubulações de interligação e tanques metálicos de armazenamento nos aspectos relacionados à instalação, inspeção, operação e manuseio, visando à segurança e à saúde dos trabalhadores, define-se vasos de pressão como o produto P.V superior a 8, ou seja, o produto da multiplicação da pressão (P) máxima de operação em kPa, em módulo, e do volume (V) interno em m³ (CRUZ, 2014; PORTARIA DO MTB, 2018).

Os vasos de pressão são utilizados nas vendas de gases industriais para o armazenamento de oxigênio, acetileno, dióxido de carbono, argônio, nitrogênio, hélio, além de outros gases especiais e misturas, utilizados principalmente nos processos de soldagem. Embora neste estudo de caso não seja envasado nenhum gás, uma possível falha no procedimento interno seria capaz de provocar uma grande explosão, seguida de incêndio. Por isso, surgiu a motivação de se identificar e propor medidas de controle para as condições perigosas associadas ao armazenamento, medição e manuseio dos vasos de pressão, utilizando a ferramenta para análise de riscos definida como “*BowTie Analysis*” (BTA).

A ferramenta BTA é um diagrama em forma de gravata de borboleta, que permite visualizar potenciais ameaças e consequências de um determinado cenário, criando uma clara distinção entre a fase de gerenciamento preventivo e reativo, o que a torna uma excelente ferramenta para um pensamento mais estruturado e voltado para tomadas de decisões baseadas em riscos (USP, 2020).

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é identificar e analisar as condições perigosas associadas ao armazenamento, medição e manuseio de vasos de pressão, em uma venda de

gases industriais de pequeno porte sob gestão familiar, utilizando a metodologia da ferramenta de análise de riscos definida como “*BowTie Analysis*”.

1.2 JUSTIFICATIVA

Devido à complexidade dos riscos envolvidos com vasos de pressão e a importância de identificar e propor medidas de controle para as condições perigosas, surgiu a motivação para detalhar neste trabalho à análise de riscos utilizando a ferramenta definida como “*BowTie Analysis*”, visto que, existem perigos e riscos associados ao armazenamento, medição e manuseio dos vasos de pressão que, se não forem identificados e tratados, podem proporcionar danos aos colaboradores, à propriedade, à comunidade ao redor e ao meio ambiente.

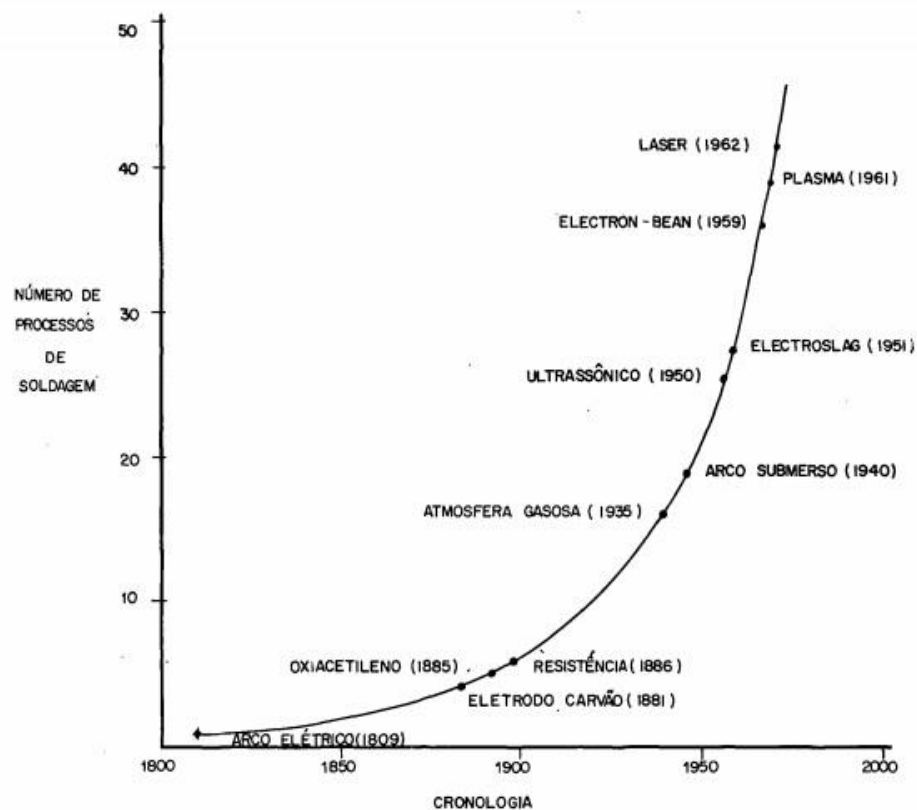
2 REVISÃO DA LITERATURA

Entende-se como soldagem a técnica de reunir duas ou mais partes constitutivas de um todo, assegurando a continuidade do material e de suas propriedades mecânicas e químicas (MAGRINI, 1984).

A história da soldagem mostra que antigamente já havia muitos artefatos confeccionados utilizando-se recursos de brasagem, e mais recentemente, a técnica da soldagem começou a ser moldada a partir da descoberta do arco elétrico, bem como a sintetização do gás acetileno (NERIS, 2012).

A tecnologia da soldagem ganhou grande impulso a partir da Primeira e Segunda Guerra Mundial, desenvolvendo novos processos e aperfeiçoando os já existentes, por isso, estima-se que hoje em dia estão sendo utilizados mais de setenta processos diferentes ao redor do mundo, conforme figura 1 abaixo. No entanto, alguns são amplamente conhecidos, sendo eles: soldagem e corte oxiacetilênico, e soldagem a arco elétrico (NERIS, 2012).

Figura 1 – Aumento da quantidade de processos de soldagem.

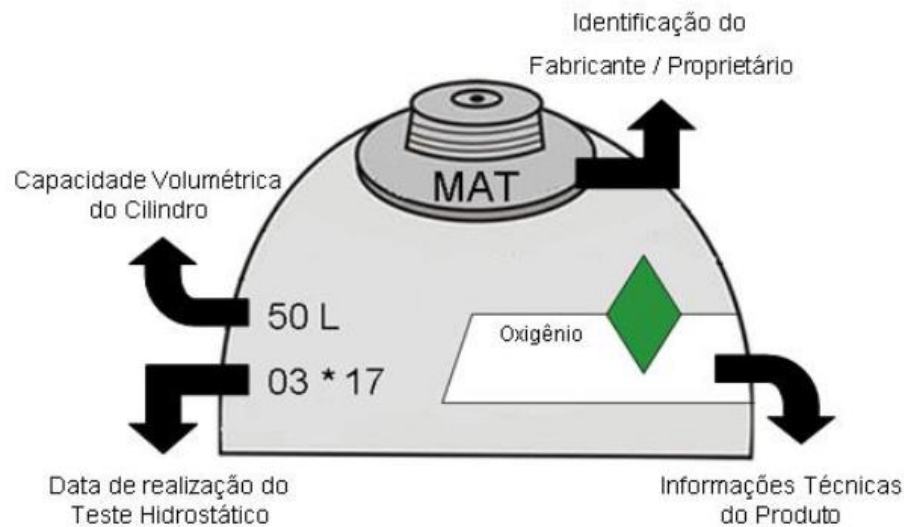


Fonte: MAGRINI (1984).

De maneira geral, em ambos os processos são utilizados vasos de pressão, que de acordo com a “NR-13 – Caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento”, são equipamentos que contêm fluídos sob pressão interna ou externa diferente da atmosférica, e devem ser dotados de alguns itens, tais como: válvula de segurança ou outro dispositivo de segurança com pressão de abertura ajustada ao valor igual ou inferior à pressão máxima de trabalho admissível (PMTA) e instrumento que indique a pressão de operação, instalado diretamente no cilindro ou no sistema que o contenha (PORTARIA MTB, 2018).

Os vasos de pressão devem ser submetidos a inspeções de segurança inicial, periódica e extraordinária, sendo obrigatório a submissão a teste hidrostático em sua fase de fabricação, com comprovação por meio de laudo assinado por profissional habilitado, e valor da pressão de teste afixado em sua placa de identificação, conforme figura 2 abaixo.

Figura 2 – Exemplo de informações técnicas de um cilindro.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

A inspeção de segurança periódica, por sua vez, constitui em exame externo e interno, no qual deve obedecer aos seguintes prazos máximos definidos para estabelecimentos que não possuem sistema próprio de inspeção de equipamentos (SPIE), tal como se aplica a esse estudo de caso, e demonstrado no quadro 1 abaixo (PORTARIA MTB, 2018).

Quadro 1 – Prazo para teste hidrostático de cilindros em estabelecimentos que não possuem SIPE.

CATEGORIA DO VASO	EXAME EXTERNO	EXAME INTERNO
I	1 ano	3 anos
II	2 anos	4 anos
III	3 anos	6 anos
IV	4 anos	8 anos
V	5 anos	10 anos

Fonte: Adaptado da NR-13 (2018).

Os vasos de pressão que não permitem acesso visual para o exame interno ou externo por impossibilidade física devem ser submetidos a outros exames não destrutivos e metodologias de avaliação da integridade física, baseados em normas e códigos aplicáveis à identificação de mecanismos de deterioração (PORTARIA MTB, 2018).

Por último, a inspeção extraordinária deve ser realizada sempre que o vaso de pressão for danificado por acidente ou outra ocorrência que comprometa sua segurança; quando for submetido a reparos ou alterações importantes; antes de ser colocado em funcionamento, se permanecer inativo por mais de 12 meses, e quando houver alteração do local de instalação do vaso de pressão, exceto para os vasos móveis (PORTARIA MTB, 2018).

Devido à natureza explosiva dos cilindros, deve-se dar atenção especial a sua identificação, transporte, armazenamento e uso, sendo que os cilindros são pintados em cores distintas para cada tipo de gás, conforme quadro 2 abaixo (PARANHOS, 1998).

Quadro 2 – Identificação, riscos e usos em soldagem e corte para os cilindros de gases.

TIPO DE GÁS	COR DO CILINDRO	PRINCIPAIS RISCOS	APLICAÇÕES EM SOLDAGEM
Acetileno	Bordô	Fogo	Soldagem e corte oxiacetilênico
Argônio	Marrom	Explosão se o cilindro for super aquecido; asfixia se inalado em elevada concentração	Soldagem MIG e TIG
Dióxido de Carbono	Alumínio	Asfixiante se inalado em elevada concentração	Soldagem MAG e arame tubular
Hélio	Laranja	Asfixiante se inalado em elevada concentração	Soldagem MIG e TIG
Nitrogênio	Cinza	Explosão se o cilindro for super aquecido; asfixiante se inalado em elevada concentração	
Oxigênio	Preto	Explosão se o cilindro for super aquecido; facilita e acelera a combustão	Soldagem e corte oxiacetilênico

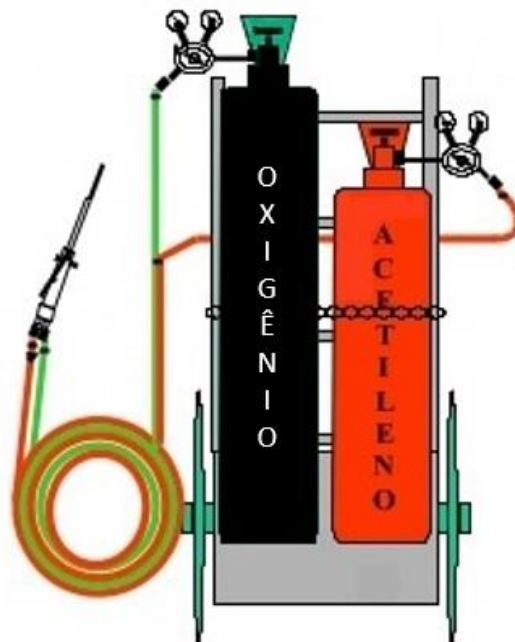
Fonte: Adaptado de PARANHOS (1998).

2.1 SOLDAGEM E CORTE OXIACETILÊNICO

A soldagem oxiacetilênica é a mais comum dos processos de soldagem a gás, por isso é uma tecnologia antiga e usualmente consagrada como simples e de baixo custo, no qual é aplicada em trabalhos que envolvem a necessidade de união de duas partes metálicas (USP, 2020). Neste processo, o gás combustível é o acetileno e o gás comburente é o oxigênio, sendo que a chama produzida pela combustão desses gases atinge temperatura suficiente para a fusão do metal (PARANHOS, 1998).

Os constituintes de um equipamento básico para solda oxiacetilênica são os cilindros dos gases comprimidos (oxigênio e acetileno), reguladores de pressão, manômetros, mangueiras, válvulas de retenção e maçarico, incluindo o bico adequado, sendo que associados a esse sistema deve haver uma bancada para a execução dos serviços e uma série de dispositivos de segurança, conforme figura 3 abaixo (NERIS, 2012).

Figura 3 – Conjunto de solda e corte oxiacetilênica.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

2.1.1 OXIGÊNIO

O oxigênio é utilizado na soldagem em razão das suas características de gás comburente, em que é utilizado para aquecer o metal até seu ponto de fusão, pois emprega-se a chama resultante da combustão, isto é, da reação química processada entre o acetileno e o comburente. Nesse caso, o comburente a ser utilizado poderia ser o oxigênio puro ou ar atmosférico, que contém entre seus constituintes cerca de 21% de oxigênio, 78% de nitrogênio e 1% de gases nobres. No entanto, ao se utilizar o oxigênio puro todas as reações da combustão são intensificadas e a temperatura da chama é fortemente aumentada, além de favorecer algumas substâncias que não queimam em contato com o ar atmosférico (MAGRINI, 1984).

O oxigênio pode ser fornecido no estado líquido, em recipientes criogênicos providos de vaporizadores, ou como é mais comum, em cilindros sem costura para gases comprimidos a alta pressão, podendo ter no máximo 50,3 L de volume geométrico e 10,0 m³ de oxigênio à pressão de 200 kgf/cm². A alta pressão com que o oxigênio é comprimido dentro dos cilindros constitui um grande risco, visto que se a energia armazenada for liberada de uma vez, será altamente destruidora, pois a massa de oxigênio que ocupa 50 litros tenderá a ocupar um volume 200 vezes maior (NERIS, 2012; MAGRINI, 1984).

Como o oxigênio é um gás comburente, a reação dele com hidrocarbonetos pode processar-se de forma violenta, sem a necessidade da presença de chama, se em contato com graxas, óleos e outras gorduras, por exemplo. Além do cuidado com essas substâncias, os cilindros devem ser armazenados em posição vertical, em locais protegidos contra o excesso de umidade, temperatura excessiva e raios solares (MAGRINI, 1984).

2.1.2 ACETILENO

Industrialmente, o acetileno é obtido através da hidrólise do carbureto de cálcio e possui fórmula estrutural $\text{H}-\text{C}\equiv\text{H}$, sendo comercializado em cilindros com capacidade máxima de 9 kg e quando cheio, estará submetido a pressão de 17 kgf/cm². A temperatura do cilindro não deve ultrapassar 50°C, pois pode ocorrer aumento da pressão interna, decorrente do acréscimo de energia no sistema acetileno-acetona, sendo altamente recomendável que os cilindros sejam armazenados longe de quaisquer fontes de calor, incluindo inflamáveis e combustíveis (MAGRINI, 1984).

Nas condições normais de temperatura e pressão, o gás acetileno é um gás altamente inflamável, por isso possui como limite inferior e superior de inflamabilidade o equivalente a 2,5% e 81%, respectivamente, no ar em volume. Devido a ampla faixa característica do acetileno, mesmo as pequenas concentrações desse gás, em mistura com o ar, podem começar uma explosão, que persistirá até que a concentração de acetileno atinja valores elevados (MAGRINI, 1984).

Além dos riscos de explosão acima mencionados, se o acetileno puro for comprimido a pressões superiores à 1 atmosfera, a ligação tripla existente entre os átomos de carbono pode se romper e sofrer um processo rápido de decomposição, que se manifestará em forma de explosão, sendo que, quanto maior a pressão, menor a energia necessária para esse desencadeamento. Além dessas características, o acetileno pode reagir quimicamente, formando acetilenos altamente explosivos quando em contato com cobre, prata ou mercúrio (MAGRINI, 1984).

O acetileno somente pode estar acondicionado em reservatórios especiais ou em cilindros especialmente fabricados para esse fim, sendo que o aço utilizado, bem como a solda, deve estar de acordo com certas características físicas e químicas, de forma que os cilindros possam suportar testes de pressão hidrostática a uma pressão igual a 3 vezes a pressão do serviço. Além disso, os cilindros normalmente são equipados com pequenos “*plugs*” atarraxados no topo e no fundo do cilindro, cuja parte central é composta por chumbo, estanho e bismuto, no qual fundem-se em

temperatura próxima a 100°C, sendo, portanto, um dispositivo de alívio em situações anormais de alta temperatura (MAGRINI, 1984).

O armazenamento dos cilindros deve ser realizado de modo a permanecerem em locais protegidos contra impactos (quedas e choques mecânicos), áreas de circulação de pessoas e de equipamentos, além da necessidade de ser bem ventilado, coberto, protegido contra raios solares e umidade, pois podem provocar a corrosão externa da base dos cilindros e posicionados sempre na vertical, em qualquer situação (armazenamento, transporte ou uso) (MAGRINI, 1984).

2.2 SOLDAGEM ELÉTRICA

A nomenclatura de soldagem elétrica é na verdade a representação de um conjunto de processos de soldagem que utilizam a energia elétrica para obtenção do aquecimento necessário para a fusão dos materiais, sendo que os constituintes básicos de um equipamento para solda elétrica são o gerador de corrente, seus circuitos de controle e a ponta de soldagem propriamente dita (USP, 2019).

A soldagem com arco elétrico simples tem como limitação a oxidação e conseqüente degradação das propriedades do metal na região de soldagem, por isso a evolução natural do processo foi para a utilização de um gás inerte, que propiciasse uma barreira de isolamento para o oxigênio do ambiente, sendo esses processos conhecidos como solda TIG (*Tungsten Inert Gas*) e solda MIG/MAG (*Metal Inert Gas / Metal Active Gas*) (USP, 2019).

2.2.1 SOLDAGEM TIG

A soldagem TIG é um processo de soldagem por fusão a arco elétrico, no qual utiliza o calor gerado pelo arco formado entre o eletrodo de tungstênio não consumível e a peça que se deseja soldar. A proteção da poça de fusão fica por conta do gás inerte

ou da mistura de gases inertes sobre ela, sendo que este também tem a função de transmitir a corrente elétrica quando ionizado durante o processo, auxiliando a resfriar o eletrodo (NERIS, 2012).

Os gases inertes utilizados no processo TIG, ou seja, aqueles que não reagem com o metal líquido na poça de fusão, são o argônio e o hélio, ou uma mistura dos dois, sendo que o argônio é o gás mais utilizado, principalmente devido ao menor custo e maior disponibilidade, além de apresentar vantagens como arco mais suave e estável; menor voltagem do arco; menor vazão de gás para uma boa proteção; facilidade de abertura do arco, pois é mais ionizável e resistente as correntes de ar, enquanto que o hélio é utilizado na soldagem de materiais mais espessos, pois produz mais calor e promove maior penetração do cordão (NERIS, 2012).

Em algumas soldagens são utilizadas misturas especiais contendo hidrogênio, pois este atua como um agente redutor na formação de óxidos, o que resulta em superfícies mais limpas e com mais energia de arco para uma determinada corrente, e o nitrogênio é frequentemente usado como gás de purga ou de proteção de raiz, pois evita a contaminação com o ar atmosférico (NERIS, 2012).

2.2.2 SOLDAGEM MIG/MAG

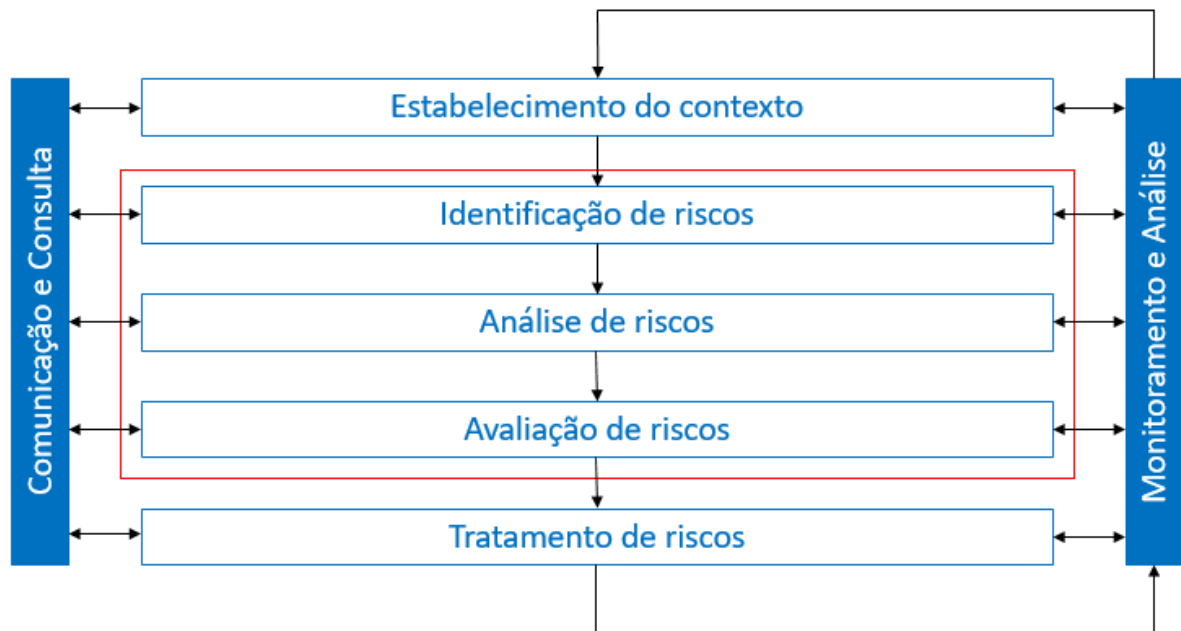
A soldagem MIG/MAG é um processo no qual a fusão por arco elétrico utiliza um arame eletrodo consumível continuamente para alimentar a poça de fusão e um gás inerte para proteção da região de soldagem, sendo que o processo MIG pode ser usado em uma ampla faixa de espessura, em materiais ferrosos e não ferrosos, e o processo MAG é utilizado apenas na soldagem de materiais ferrosos, tendo como gás de proteção o dióxido de carbono (CO_2) ou misturas ricas nesse gás, pois são gases reativos, ou seja, que reagem com o metal líquido da poça de fusão, podendo alterar as propriedades metalúrgicas e mecânicas do metal de solda (NERIS, 2012).

2.3 GERENCIAMENTO DE RISCO

Com referência à norma internacional ISO 31000, que propõe os princípios e diretrizes para a gestão de riscos, tem-se que todas as organizações independentes do seu tamanho enfrentam influências e fatores internos e externos que tornam incerto se e quando atingirão seus objetivos, sendo, portanto, a definição de risco como “efeito da incerteza sobre os objetivos”. Por isso, o gerenciamento de risco deve levar em consideração que dentro de um ambiente de trabalho, os elementos seres humanos; informações e procedimentos; equipamentos e recursos materiais são fatores integrais que podem ou não afetar a realização de um trabalho ou tarefa, no qual separadamente, cada elemento por si só apresenta algum risco (USP, 2019).

A ideia do processo de gerenciamento de riscos é eliminar as falhas ou reduzir as probabilidades de falhas que possam levar a acidentes e danos potenciais, bem como diminuir suas consequências. O gerenciamento de risco, portanto, requer a identificação em tempo dos perigos associados à operação e a consequente avaliação dos riscos, de modo que os perigos devem ser eliminados ou os riscos controlados em determinado nível, para se ter uma segurança aceitável do sistema. Assim, o processo de gestão de riscos tem um eixo central, cujo núcleo forma a avaliação de riscos, composto pelas etapas de identificação de riscos, análise de riscos e avaliação de riscos, sendo antecedido pela fase de estabelecimento dos contextos e sucedido pelo tratamento dos riscos. Ao longo de todo esse processo central, a comunicação e a consulta, o monitoramento e a análise interagem com cada etapa, garantindo a permanência das mesmas, conforme figura 4 abaixo (USP, 2019).

Figura 4 – Processo de gestão de riscos, conforme ISO 31000.



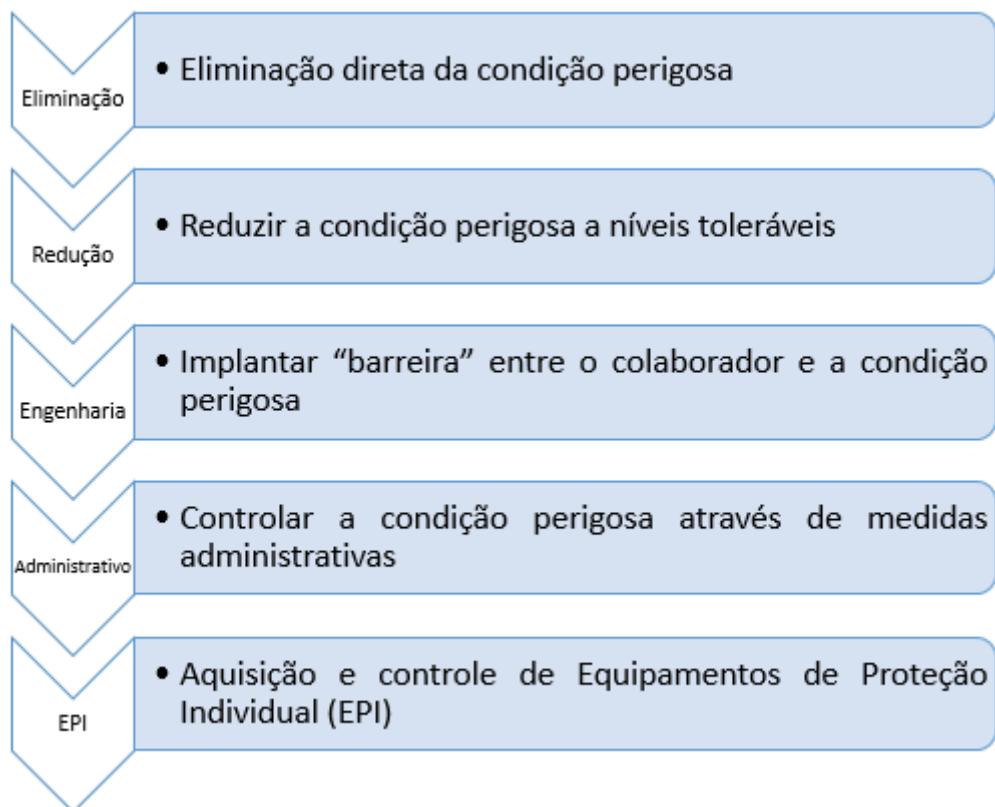
Fonte: Adaptado de USP (2019).

A condição perigosa (*hazard*) pode ser definida como uma situação com potencial de causar danos ao homem, à propriedade, ao meio ambiente ou uma combinação destas. A análise de riscos associada à determinada condição perigosa pode ser analisada sob dois estágios, sendo o primeiro referente à probabilidade de acontecer um evento indesejado decorrente da interação de alguma pessoa com a condição perigosa, e em seguida, avalia-se a severidade da consequência dessa interação, ou seja, estar em perigo não significa obrigatoriamente que algo vai dar errado, significa apenas que há uma chance de algo sair do controle a partir do momento que existe a exposição (ALEO, 2018; USP, 2019).

O risco (*risk*) pode ser definido como uma combinação da probabilidade de ocorrência de um evento perigoso, medido através da combinação das consequências de um evento e suas probabilidades, por isso, risco se estima ou se calcula, mas não se identifica. Os riscos costumam aparecer em série, pois geralmente existe um risco principal (aquele que determina uma catástrofe) e os riscos iniciais e contribuintes, que podem ser mais de um em uma série de riscos, contribuindo em sequência para que ocorra um evento indesejado (ALEO, 2018; USP, 2019).

Dessa maneira, o gerenciamento de riscos procura identificar as situações de trabalho que são potencialmente críticas e propõe controles a serem implantados de modo a, se não eliminar, reduzir o risco de exposição de seus colaboradores. Para tanto, deve-se analisar a redução dos riscos conforme a hierarquia dos controles da figura 5 a seguir (BORGUERESI, 2019; USP, 2019).

Figura 5: Hierarquia de Controles.



Fonte: Adaptado de BORGUERESI (2019).

De acordo com a *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), o conceito dessa hierarquia refere-se à efetividade dos métodos, sendo que os do topo são potencialmente mais efetivos e oferecem uma capacidade maior de prevenção do que os que se encontram na base, pois independem da interação com o colaborador. Além disso, os do topo são mais custosos e complexos de serem implementados, enquanto o inverso é mais barato a curto prazo. Se o processo já se encontra instalado e for essencial, em um primeiro momento as vezes não é possível eliminar a condição perigosa, pois pode-se esbarrar em questões financeiras ou técnicas, por isso,

analisam-se as alternativas de redução da exposição das pessoas à tal condição (USP, 2019).

Assim como os controles mais eficazes são dificilmente empregados em pequenas empresas, o mesmo ocorre com os sistemas de gestão de saúde e segurança, que podem ser voluntários ou obrigatórios. Para as pequenas empresas são implantados somente os sistemas obrigatórios, tais como as Normas Regulamentadoras estabelecidas pelo Ministério da Economia, que de certa forma, abordam somente os controles citados na base da hierarquia (BORGUERESI, 2019).

Para as pequenas empresas, o assunto de saúde e segurança do trabalho é complexo, tendo em vista o baixo nível de gestão de segurança devido à sua escala econômica, sua natureza relativamente isolada e o fato de tenderem a estar geograficamente dispersas, além dos treinamentos terem limitados efeitos para aumentar o nível de segurança dessas empresas, por isso, a garantia de trabalho é tipicamente menor do que o ofertado por grandes empresas. Algumas características de micro, pequenas e médias empresas foram resumidas no quadro 3 abaixo, onde ficam expostas as diferenças entre estas (BORGUERESI, 2019).

Quadro 3 – Características de gestão de micro, pequenas e médias empresas.

ITENS	MICRO EMPRESAS	PEQUENAS EMPRESAS	MÉDIAS EMPRESAS
Gestor de Segurança	Dono e gestor	Dono e gestor semiprofissional	Gestor profissional
Efeitos da Gestão de Segurança	Gestão ineficiente – Dono participa das operações	Gestão efetiva	Gestão melhor, mais efetiva e em tempo integral
Grau de Desenvolvimento	Baixos lucros e crescimento	Lucros e crescimento estável	Fortes lucros e crescimento
Grau de Segurança	Muitos problemas de operação e segurança	Menos problemas com operação e segurança	Pequeno número de problemas com operações e segurança
Padrões de Segurança	Sem padronização de operações e práticas de segurança	Alguma operação e práticas de segurança formalizadas	Operações e práticas de segurança formalizadas

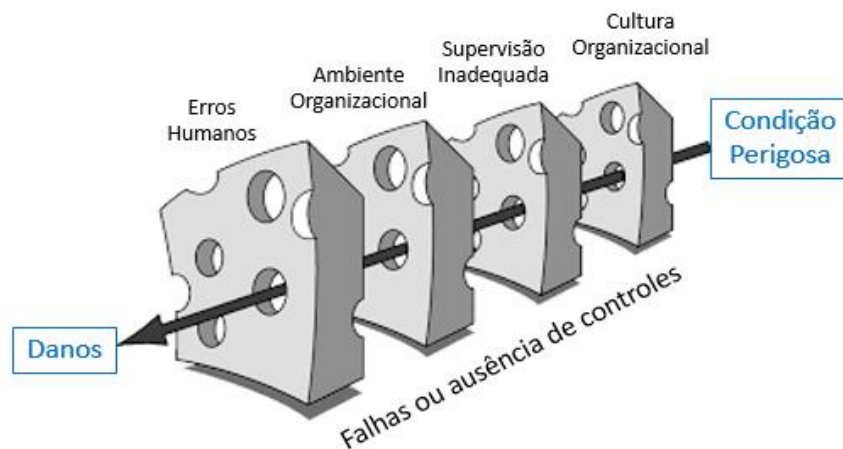
Fonte: Adaptado de BORGUERESI (2019).

A preocupação com a segurança tem evoluído ao ponto de surgirem novos sistemas de gestão e novos métodos para análise e avaliação do risco, sendo que a quantificação dos cenários e eficiência das barreiras de segurança podem ajudar as empresas na tomada de decisões referente a redução do risco (SEQUEIRA, 2010).

2.3.1 TEORIAS E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE RISCOS

Existem algumas teorias que afirmam que o acidente resulta de uma sequência de eventos que vão caindo, tal como a “teoria dos dominós”, desenvolvida por Herbert Willian Heirinch em 1992, baseada na falta de gestão e de gerenciamento pela alta administração com a prevenção de incidentes; o modelo de “fator múltiplo” de V. L. Grose, conhecido como os “quatro ms”, no qual estão relacionados o homem (*man*), a máquina (*machine*), o meio (*media*) e o gerenciamento (*management*), sendo que tal método permite identificar quais características ou fatores estão envolvidos numa dada operação ou atividade, e ainda, a teoria do “queijo suíço”, conforme figura 6 abaixo, desenvolvida por James Reason em 1990, em que a materialização do risco em evento indesejado ocorre quando há um alinhamento de brechas nas camadas de defesa da organização, pois nenhum controle é 100% eficaz, sendo que essas brechas foram chamadas de “fatores de degradação”. Dessa forma, quanto menor o nível de controles internos exercido sobre um processo ou função, maior a probabilidade de ocorrência de um evento decorrente da exposição ao risco (PINTO, 2017).

Figura 6 – Modelo da teoria do “queijo suíço”.



Fonte: Adaptado de USP (2019).

As barreiras de segurança surgiram da necessidade de implementar soluções para prevenir acidentes e minimizar as consequências, sendo definidas como funções técnicas, organizacionais ou a junção destas, por Harms-Ringdahl (2001); meios físicos e/ou não físicos com o objetivo de prevenir, controlar ou mitigar acidentes ou acontecimentos indesejados, estando diretamente relacionados com o cenário do acidente, por Sklet (2006); e a categorização em barreiras ativas, passivas, simbólicas ou humanas, por Dianous & Fiévez (2006) (SEQUEIRA, 2010).

Para avaliação dos controles tem-se a ferramenta designada como diagrama de *BowTie* ou gravata borboleta, que evoluiu dos diagramas de causa e consequência da década de 1970, sendo que a primeira referência a esta metodologia apareceu na Universidade de Queensland, na Austrália em 1979. No entanto, somente foi disseminada pelo Grupo Shell em 1999, através de uma abordagem centrada no acontecimento crítico, por isso combina a árvore de falhas do lado esquerdo e a árvore de eventos do lado direito, permitindo identificar os perigos e avaliar os riscos associados, conforme figura 7 abaixo, sendo necessário percorrer os passos a seguir descritos para sua construção (SEQUEIRA, 2010; WIIRA, 2019):

- Passo 1: Identificação da condição perigosa (*hazard*) - Considerada como a condição que tem potencial de gerar acidentes;

- Passo 2: Definição do evento crítico (*top event*) - Momento em que se perde o controle sobre a condição perigosa identificada;
- Passo 3: Definição da ameaça (*threat*) – Ameaças que podem se tornar um fator gerador do evento crítico com a perda de controle da condição perigosa;
- Passo 4: Definição da consequência (*consequence*) – Consequências que podem surgir após a ocorrência do evento crítico;
- Passo 5: Definição do controle de prevenção (*preventive control*) – Medidas de prevenção e/ou controle a serem adotadas antes da ocorrência do evento crítico de modo a evitá-lo ou mitigá-lo;
- Passo 6: Definição do controle de mitigação (*recovery measure*) – Medidas de prevenção e/ou controle a serem adotadas depois da ocorrência do evento crítico de modo a evitar ou mitigar as consequências do evento crítico;
- Passo 7: Definição do fator de degradação (*escalation factor*) – Condições que podem provocar falhas no controle, deixando-o menos eficaz ou com efeito nulo, podendo ser aplicado tanto no controle de ameaças, quanto no controle de consequências;
- Passo 8: Definição do controle para o fator de degradação (*escalation factor*) – Controles que visam diminuir ou extinguir os fatores de degradação dos controles de ameaças e consequências.

Figura 7 – Esquema do diagrama de *BowTie*.



Fonte: Adaptado de SANTOS *et al.* (2013).

O nível de detalhes e a utilização de todos os campos e recursos do diagrama dependerá do grau de maturidade e desenvolvimento da empresa em relação à segurança do trabalho (WIIRA, 2019). Por isso, tal método face à sua condição

analítica e de controle integral está contemplada no processo de gestão de risco, conforme ISO 31000 (SANTOS *et al.*, 2013).

A aplicação da estrutura do método BTA é particularmente utilizada em gestão de riscos onde a sua análise quantitativa não é possível ou desejável. Por isso, uma de suas desvantagens é a não quantificação em termos absolutos, além da dependência da qualidade do processo de análise e dos seus analistas. Por outro lado, uma de suas vantagens é a comunicação visual, sendo de fácil interpretação por todos os níveis hierárquicos (SANTOS *et al.*, 2013).

Associado ao método BTA aplica-se a valoração de risco classificada como qualitativa, no qual estabelece a relação entre a frequência e as consequências, dentro de grupos pré-estabelecidos, tais como “baixo”, “médio” e “alto”, sem que haja uma escala numérica para aferição do risco, indicando qual seria “menor” ou “maior” dentro de um mesmo grupo, conforme exemplificado no quadro 4 a seguir (USP, 2020).

Quadro 4 – Exemplo de método qualitativo.

PROBABILIDADE	CONSEQUÊNCIA			
	CATASTRÓFICA	CRÍTICA	MARGINAL	DESPREZÍVEL
FREQUENTE	ALTO			
PROVÁVEL				
OCASIONAL	MÉDIO			
REMOTA	BAIXO			
IMPROVÁVEL				

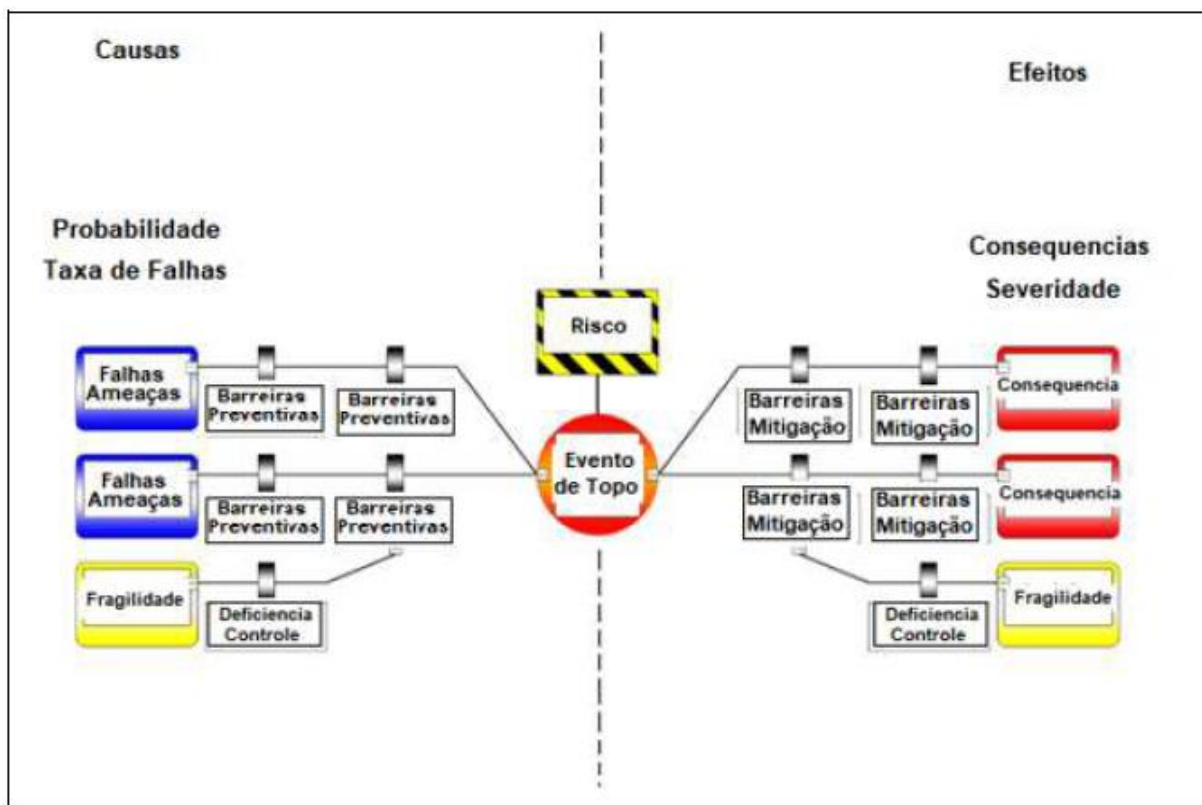
Fonte: Adaptado de USP (2020).

De acordo com os critérios de tolerabilidade ao risco, existe uma zona chamada de ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*), no qual o risco é tolerável apenas se a sua redução for impraticável ou injustificável perante os custos (SEQUEIRA, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia será caracterizada pela utilização de uma ferramenta para análise de riscos definida como “*BowTie Analysis*”, no qual será utilizado o software *BowTieXP*, conforme demonstração genérica na figura 8 abaixo, onde serão identificadas e analisadas as condições perigosas associadas ao armazenamento, medição e manuseio de vasos de pressão e posteriores propostas de medidas de controles.

Figura 8 – Modelo de diagramação da ferramenta BTA.



Fonte: TUKAMOTO (2019).

Para este estudo de caso foi abordada uma revisão bibliográfica descritiva, seguida do estabelecimento do contexto no qual será aplicada a ferramenta BTA. Para tanto, fez-se o download do software através do site www.cgerisk.com, seguido de um cadastro gratuito para conclusão da instalação.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa caracteriza-se por ser uma revenda de gases industriais situada no município de São Bernardo do Campo, estado de São Paulo e possui área total de aproximadamente 328 m², com um quadro de 8 funcionários, entre colaboradores e sócios.

A empresa está sediada em prédio próprio, no qual possui área administrativa, estoque de produtos para soldagem, armazenamento de cilindros cheios e vazios, e atendimento ao cliente. Possui ainda, 4 veículos próprios, sendo 3 adaptados ao transporte dos cilindros e um para entregas rápidas.

A seguir apresenta-se o armazenamento dos cilindros cheios e vazios, e o veículo de transporte equipado com elevador de carga/descarga e suporte para fixação dos cilindros, conforme figura 9 e 10 abaixo.

Figura 9 – Armazenamento de cilindros cheios e vazios.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

Figura 10 - Veículo equipado com elevador de carga/descarga e corrente de fixação dos cilindros.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

Os gases industriais revendidos pela empresa estão mencionados na figura 11 abaixo

Figura 11 - Gases industriais e especiais revendidos pela empresa em estudo.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

Os gases mencionados acima podem ser revendidos em diferentes volumes, sendo os mais comuns 3m³, 7m³ e 10m³ para oxigênio, nitrogênio, mistura para solda MIG, nitrogênio e argônio; 6 kg ou 7 kg para acetileno industrial; e 9 kg e 25 kg para dióxido de carbono.

Em relação aos equipamentos e consumíveis para solda, tem-se os seguintes produtos, conforme figuras 12, 13 e 14 abaixo.

Figura 12 - Equipamentos e acessórios para os processos MIG/MAG, TIG e Plasma.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

Figura 13 - Consumíveis de solda e Equipamentos de Proteção Individual.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

Figura 14 - Equipamentos e acessórios para oxi-combustível.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

Embora nunca tenha ocorrido nenhum acidente grave, existem perigos e riscos associados aos vasos de pressão por si só e aos procedimentos internos necessários para se manter a qualidade do serviço prestado. Por isso, o cilindro ao retornar cheio do fornecedor é armazenado e sua pressão aferida por um colaborador, utilizando um manômetro de pressão, não sendo realizado, no entanto, nos cilindros de acetileno.

Tal procedimento tem como objetivo verificar se não houve erros de enchimento no fornecedor, garantindo que o cliente não receberá um cilindro vazio ou com pressão baixa, e para confirmar que o procedimento foi realizado é utilizado um lacre térmico na válvula de abertura do cilindro, conforme figura 15 abaixo.

Figura 15 – A: Recebimento do cilindro do fornecedor; B: Retirada do lacre do fornecedor; C: Medição da pressão do cilindro; D: Colocação do lacre da empresa e E: Cilindro lacrado disponível.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

degradação existem em ambos os lados, o que indica que uma vez controlados e gerenciados, o sistema torna-se mais confiável.

Na presente análise foram identificados os controles existentes e alguns passíveis de serem implementados para complementar o gerenciamento de risco, tais como a utilização de métodos passivos de identificação e extinção do fogo, como detector de fumaça e *sprinkler*, distanciamento mínimo de 6 m entre os cilindros de acetileno e oxigênio, e barreira física não inflamável de 1,5 m de altura com resistência ao fogo de, no mínimo, 30 minutos.

Atualmente, conforme figura 17 abaixo, tem-se uma grande quantidade de cilindros de acetileno armazenados, sendo que o local de armazenamento não foi construído para tal finalidade, por isso, deve-se respeitar a quantidade de 10 cilindros de no máximo 8 kg ou capacidade total equivalente e distante de qualquer fonte de calor.

Figura 17 – Armazenamento de cilindros de acetileno atualmente.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

Se os cilindros ficarem soltos poderá haver o risco de quedas e conseqüentemente a danificação das válvulas de segurança, ou até mesmo provocar contusões em algum

colaborador, por isso é importante mantê-los presos através de suportes fixados na parede ou no piso. Atualmente, existem baias de armazenamento dos cilindros sem nenhum tipo de contenção, apresentando risco grave e iminente, conforme figura 18 abaixo.

Figura 18 – Armazenamento de cilindros sem corrente de fixação.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

Apesar da necessidade de adequação de algumas medidas preventivas, entre alguns controles adotados pela empresa em estudo estão a negação de recebimento e fornecimento de cilindros fora da norma ou com teste hidrostático vencido, além de não realizar medição e controle de qualidade em nenhum cilindro de gás inflamável.

Em relação ao diagrama BTA, verifica-se que sua versatilidade propicia que diferentes níveis hierárquicos da organização contribuam para a sua construção, sendo com informações técnicas ou práticas do processo, ficando evidente o objetivo da organização e a responsabilidade de cada um para que nenhum evento indesejado aconteça.

5 CONCLUSÃO

Apesar do segmento da empresa em estudo ser considerado de alto risco, a ferramenta BTA se apresentou como uma boa metodologia a ser aplicada para o gerenciamento de risco, pois além de apresentar visualmente as ameaças e consequências da condição perigosa identificada, aborda a responsabilidade e motivação dos colaboradores, com o objetivo de agir com conhecimentos técnicos e práticos para evitarem o evento indesejado.

Para a empresa, a metodologia BTA fornece informações de quais barreiras e fatores de degradação são necessários investimentos a curto e longo prazo, visto que, caso o evento indesejado ocorra, os danos causados serão muito maiores em termos de custos do que a implantação de controles eficientes de prevenção.

REFERÊNCIAS

ALEO, J., 2018. **Análise de risco de processo de uma indústria química.** Monografia de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 90p.

BORGUERESI, J. V. R., 2018. **Desenvolvimento de avaliação preliminar de risco em uma microempresa de esquadrias de PVC.** Monografia de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 97p.

CRUZ, E. R., 2014 **Aplicação da NR-13 em vasos de pressão para dióxido de carbono.** Monografia de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. UFPR - Universidade Federal do Paraná, Paraná. 57p.

MAGRINI, R. O., 1984. **Segurança do trabalho nas operações de solda oxiacetilênica.** FUNDAGENTRO, São Paulo. 72p.

NERIS, M. M., 2012. **Soldagem – Eixo tecnológico: controle e processos industriais.** CETEC, São Paulo. 51p.

PARANHOS, R. P. R., 1998. **Coleção Soldagem.** SENAI, São Paulo. 70p.

PINTO, C. L., 2017. **Auditoria na gestão de suprimentos em um distribuidor de gases industriais e medicinais: um estudo de caso.** Dissertação de mestrado. PUC-Rio – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 103p.

PORTARIA DO MTB, 2018. **Norma Regulamentadora nº 13.** Ministério da Economia, Brasil. 43p. Disponível em: https://sit.trabalho.gov.br/portal/images/SST/SST_normas_regulamentadoras/NR-13.pdf. Acesso em dezembro de 2020.

SANTOS, D. M.; MOREIRA, M.; ALMEIDA, A. B., 2013. **Aplicação do método Bow-Tie no controlo do risco em serviços de abastecimento de água**. SILUSBA, Lisboa. 15p.

SEQUEIRA, D. G. R., 2010. **Análise e avaliação de risco de incêndio através de diagramas “bow-tie”**. Lisboa. 72p.

TUKAMOTO, L., 2019. **Aplicação de ferramentas de análise de gerenciamento de risco na construção de edificações industriais**. Monografia de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 47p.

USP, 2019. Escola Politécnica Programa de Educação Continuada. **Introdução à engenharia de segurança do trabalho**. EPUSP- EAD/ PECE, São Paulo. 146p.

USP, 2020. Escola Politécnica Programa de Educação Continuada. **Prevenção e controle de riscos em máquinas, equipamentos e instalações – Parte B**. EPUSP- EAD/ PECE, São Paulo. 59p.

USP, 2020. Escola Politécnica Programa de Educação Continuada. **Gerência de riscos**. EPUSP- EAD/ PECE, São Paulo. 273p.

WIIRA, V. M., 2019. **Reconhecimento, análise e controle de riscos envolvidos nas atividades de manutenção, eficientização e expansão de sistemas de iluminação pública**. Monografia de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 107p.