

## SISTEMATIZAÇÃO FUNCIONAL DE BARREIRAS OCUPACIONAIS: UMA NOVA ARQUITETURA APLICADA AO DIAGRAMA BOWTIE

Carlos Enrique de M. Jerônimo<sup>(1)</sup> (carlosenrique@petrobras.com.br), Daniel S. de Abreu Zoet<sup>(2)</sup>  
(daniel.zoet@petrobras.com.br)

<sup>(1)</sup> PETROBRAS; Engenheiro de Processamento

<sup>(2)</sup> PETROBRAS, Gerente de Segurança Ocupacional

**RESUMO:** *O presente artigo propõe um modelo funcional de agrupamento de barreiras ocupacionais para aplicação em diagramas BowTie, inspirado na estrutura consagrada na segurança de processos. Com base na análise de acidentes reais ocorridos entre 2018 e 2025 em uma empresa de grande porte do setor de petróleo, e à luz das exigências da Norma Regulamentadora nº 1 (NR-1) e da ISO 45001:2018, foi realizada a categorização de barreiras em nove blocos funcionais — cinco preventivos e quatro mitigadores — organizados conforme sua natureza, prioridade e eficácia. A metodologia considerou os fundamentos do Gerenciamento de Riscos Ocupacionais (GRO), os registros do Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) e a eficácia histórica de barreiras identificadas em incidentes investigados. O modelo foi validado por meio de sua aplicação prática em um cenário real de exposição ocupacional, permitindo não apenas a visualização integrada das barreiras de controle, mas também sua instrumentalização para auditorias, treinamentos e planos de resposta a emergências. Os resultados evidenciam que o uso do BowTie com agrupamento padronizado de barreiras contribui significativamente para o fortalecimento da cultura de segurança, a previsibilidade operacional e a gestão contínua dos riscos ocupacionais.*

**PALAVRAS-CHAVE:** *Segurança Ocupacional; Gestão de Barreiras; BowTie; Gerenciamento de Riscos.*

### 1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento de riscos ocupacionais tem evoluído significativamente nas últimas décadas, incorporando metodologias cada vez mais robustas para a prevenção de acidentes e a proteção da integridade física e mental dos trabalhadores. Dentre essas abordagens, destaca-se a aplicação dos diagramas *BowTie*, tradicionalmente utilizados na gestão de Segurança de Processos, como ferramenta visual e estratégica para análise de eventos indesejados e suas respectivas barreiras preventivas e mitigadoras (CCPS, 2008).

A metodologia *BowTie* tem se consolidado como uma representação eficaz dos caminhos causais que levam à ocorrência de eventos perigosos, bem como das defesas implementadas para impedir sua concretização ou minimizar seus impactos. Conforme descrito no “Guia de *BowTie*” da Petrobras, sua aplicação visa mapear, de maneira esquemática e qualitativa, as causas, consequências e barreiras associadas a um cenário acidental, tendo como ponto central um “evento topo” (PETROBRAS, 2023a).

O conceito de evento topo no *BowTie* é definido como o momento crítico de perda de controle sobre uma condição insegura. No caso da Segurança de Processos, esse momento é geralmente uma perda de contenção primária (LOPC – *Loss of Primary Containment*), marco a partir do qual distinguem-se as barreiras preventivas daquelas mitigadoras. Na Segurança Ocupacional, essa estrutura pode ser adaptada para representar o instante em que uma exposição ocupacional ultrapassa os limites de tolerância, levando à materialização de um agravo à saúde ou à segurança do trabalhador.

Essa adaptação do *BowTie* para o campo ocupacional requer uma reinterpretação conceitual de seus elementos constituintes. A literatura técnica já sinaliza que barreiras, neste contexto, devem ser entendidas como qualquer elemento – físico, humano, organizacional ou sistêmico – capaz de prevenir a exposição ou reduzir a severidade das consequências de um risco ocupacional (HOLLNAGEL, 2014). Tal definição alinha-se à abordagem sistêmica de Segurança Ocupacional defendida por Reason (1997), que concebe os acidentes como falhas sucessivas nas barreiras de defesa organizacional.

Na indústria do Petróleo e Gás, os diagramas *BowTie* vêm sendo integrados às práticas de análise de riscos de processo por meio de documentos normativos, fomentados pelo SGSO da ANP, e utilizados como parte das ações de suporte à Gestão Dinâmica de Barreiras. Essa prática reforça o entendimento de que o desempenho das barreiras deve ser continuamente monitorado, com base em indicadores (KPIs) previamente definidos, assegurando que os mecanismos de controle estejam efetivos ao longo do tempo (PETROBRAS, 2023b).

O presente artigo parte da premissa de que, embora a metodologia *BowTie* seja amplamente utilizada em contextos de processos industriais, sua aplicação na Segurança Ocupacional ainda carece de padronização conceitual e estrutural. Em especial, observa-se a ausência de uma taxonomia clara de barreiras voltadas à proteção do trabalhador, o que dificulta a adoção homogênea da ferramenta nos estudos de riscos ocupacionais.

A proposta central deste trabalho é apresentar um modelo estruturado de agrupamento das barreiras ocupacionais para aplicação em diagramas *BowTie*, inspirando-se na lógica já consagrada na Segurança de Processos. A construção deste modelo baseia-se em revisão bibliográfica, documentos técnicos da indústria de óleo e gás e boas práticas internacionais, visando criar um referencial metodológico para aplicação da técnica *BowTie* em cenários ocupacionais.

O modelo aqui proposto organiza as barreiras ocupacionais em grupos funcionais, sendo voltados à prevenção e à mitigação. Essa estrutura se fundamenta tanto em experiências práticas da indústria quanto nas diretrizes normativas estabelecidas pela Petrobras (PETROBRAS, 2023a).

O agrupamento das barreiras por função tem como objetivo facilitar a identificação, análise e monitoramento dos mecanismos de controle existentes, permitindo a construção de *BowTies* mais consistentes e integrados aos sistemas de gestão de SMS (Segurança, Meio Ambiente e Saúde). Essa lógica também possibilita a geração de indicadores mais precisos, que reflitam o desempenho real das defesas organizacionais.

Importante destacar que o modelo proposto neste artigo não pretende substituir as abordagens existentes, mas sim complementar os métodos tradicionais de análise de risco, como a Análise Preliminar de Riscos (APR) e o HAZOP. Na prática, o *BowTie* funciona como uma ponte entre a identificação dos perigos e o plano de ação, contribuindo para uma comunicação mais clara dos riscos e das barreiras associadas.

A Resolução ANP nº 46/2016, que instituiu o Sistema de Gerenciamento da Integridade de Poços (SGIP), reforça a importância da análise de barreiras e do fator humano na prevenção de acidentes (ANP, 2016). Essa orientação normativa embasa a adoção do *BowTie* como instrumento complementar na identificação e monitoramento dos controles críticos associados às atividades de alto risco.

Ademais, o “Manual para Execução das APR de Poços” da Petrobras ressalta a importância de considerar elementos como falhas humanas, incertezas operacionais e integridade das salvaguardas ao longo do ciclo de vida dos poços, aspectos que se traduzem, na prática, em barreiras ocupacionais e sistêmicas a serem representadas nos diagramas *BowTie*.

Autores como Leveson (2011), ao proporem a abordagem STAMP, destacam a importância de compreender a segurança como uma propriedade emergente de sistemas sociotécnicos, o que exige o mapeamento não apenas de equipamentos, mas também de processos de decisão, comunicação e coordenação. Essa visão reforça a relevância de representar barreiras

organizacionais no *BowTie*, em especial na perspectiva ocupacional.

A literatura também aponta que a eficácia das barreiras está diretamente relacionada à sua independência, robustez e auditabilidade (CCPS, 2017). No campo ocupacional, essas características tornam-se ainda mais críticas, uma vez que muitas barreiras envolvem ações humanas ou decisões gerenciais que podem falhar em função de fatores como fadiga, pressão por produtividade ou cultura organizacional deficiente.

O uso do *BowTie* em segurança ocupacional também permite a integração com programas de melhoria contínua e cultura de segurança, como os sistemas de observação comportamental e os programas de reconhecimento de desvios. Isso favorece a construção de uma visão compartilhada dos riscos e da responsabilidade coletiva pela sua gestão (DEKKER, 2011).

É fundamental ainda considerar que a adoção de diagramas *BowTie* com enfoque ocupacional contribui para a conformidade com normas como a ISO 45001:2018, que enfatiza a identificação de perigos, avaliação de riscos e implementação de controles eficazes no âmbito do sistema de gestão de segurança e saúde ocupacional (ABNT, 2018).

Ao organizar as barreiras em grupos funcionais, o modelo aqui apresentado também facilita a identificação de lacunas na gestão de riscos, permitindo que planos de ação sejam mais direcionados e estratégicos. Essa estrutura padronizada pode, inclusive, ser adaptada a sistemas informatizados de gestão de barreiras, ampliando sua aplicabilidade em grandes organizações.

Por fim, a proposta contribui para a consolidação de uma linguagem comum entre profissionais de engenharia, segurança, operação e gestão, promovendo a integração interdisciplinar necessária para a construção de ambientes de trabalho mais seguros e resilientes.

## 2. METODOLOGIA

A construção do modelo de barreiras ocupacionais proposto neste estudo fundamentou-se em uma abordagem metodológica integrada, combinando elementos normativos, análise de eventos históricos e práticas consagradas de gestão de riscos. A proposta metodológica consistiu em três etapas principais: (i) análise normativa das exigências e orientações das Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho, com ênfase na NR-1 e no Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR); (ii) levantamento e categorização dos fatores de falha observados em acidentes registrados por uma empresa de petróleo de grande porte no período entre 2018 e 2025; e (iii) estruturação dos grupos

funcionais de barreiras a partir dos achados empíricos e das boas práticas consolidadas na literatura de segurança.

A primeira etapa consistiu em uma análise técnica das diretrizes contidas na NR-1, em especial quanto à estruturação e ao ciclo de vida do PGR, instrumento central na prevenção de riscos ocupacionais no Brasil. O PGR exige, como eixo estruturante, a identificação dos perigos, avaliação dos riscos e implementação de medidas de prevenção e controle, acompanhadas de um processo contínuo de monitoramento da eficácia dos controles. Assim, partiu-se do entendimento de que cada medida preventiva ou mitigadora descrita no Inventário de Riscos e no Plano de Ação do PGR corresponde, conceitualmente, a uma barreira. Essa correlação permitiu a tradução dos requisitos normativos em categorias operacionais compatíveis com a lógica dos diagramas *BowTie* (BRASIL, 2020).

A segunda etapa envolveu a análise documental de 570 acidentes e quase acidentes ocorridos entre 2018 e 2025 em instalações de produção e manutenção de uma empresa brasileira de petróleo de grande porte, com base em relatórios de investigação interna, atas de comitês de lições aprendidas e dados de sistemas corporativos de gestão de incidentes. Os eventos analisados abrangeram quedas de altura, exposição a agentes químicos, acidentes com máquinas, eventos de pressão não controlada e falhas no isolamento de áreas de risco. A investigação concentrou-se na identificação das barreiras que estavam previstas, mas não foram eficazes, e nos fatores humanos, organizacionais e técnicos associados à falha ou ausência dessas barreiras.

Para garantir a rastreabilidade das análises, adotou-se a classificação de barreiras conforme os princípios do “Guia de Bow Tie” da Petrobras, considerando os critérios de função (preventiva ou mitigadora), tipo (engenharia, administrativa, comportamental) e integridade (presença, confiabilidade e efetividade). Cada evento analisado foi mapeado em forma de diagrama simplificado *BowTie*, permitindo a identificação visual das quebras sucessivas de barreiras e facilitando a categorização das falhas recorrentes.

Após essa etapa, observou-se como as falhas mais recorrentes estavam associadas a barreiras comportamentais mal estruturadas (como treinamentos genéricos ou de baixa retenção), barreiras organizacionais com baixa governança (como planos de ação que não saíam do papel) e falhas de supervisão técnica (com ausência de verificação sistemática de conformidade). Esses padrões de fragilidade orientaram a seleção dos grupos funcionais de barreiras que compõem o modelo proposto.

A terceira etapa metodológica consistiu na organização sistemática das barreiras em **nove**

**grupos funcionais**, com base nos achados da etapa anterior e nas categorias estruturais presentes nos programas de prevenção ocupacional. Os cinco primeiros grupos foram definidos como barreiras **preventivas**: (1) Barreiras de Engenharia, (2) Barreiras de Gestão e Sistemas, (3) Barreiras de Capacitação e Sensibilização, (4) Barreiras de Supervisão Técnica, e (5) Barreiras de Proteção Individual. Os quatro grupos seguintes foram definidos como barreiras **mitigadoras**: (6) Estruturas de Prontidão e Atendimento, (7) Planos de Resposta a Emergências, (8) Treinamentos e Simulados de Contingência, e (9) Planos de Auxílio Mútuo e Apoio Externo.

Cada grupo funcional foi, então, detalhado com base em exemplos práticos coletados nos relatórios de acidentes e articulado com os elementos típicos do diagrama *BowTie*, permitindo a sua futura transposição para ferramentas de gestão informatizada ou dashboards de monitoramento. O foco esteve em garantir que cada grupo pudesse ser auditável, mensurável e vinculado a responsabilidades claras dentro da estrutura organizacional da empresa.

Essa metodologia permite, portanto, uma dupla validação: de um lado, o alinhamento com as exigências legais e normativas vigentes; de outro, a aderência às práticas observadas nos estudos de caso reais, garantindo que o modelo proposto não seja apenas teórico, mas fruto da experiência acumulada com situações de risco concretas. A aplicação prática desse modelo será apresentada nas seções seguintes, com exemplos de *BowTies* construídos a partir de cenários reais e hipóteses simuladas, evidenciando sua aplicabilidade e potencial para padronização das práticas de gestão de barreiras ocupacionais.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos 570 acidentes graves (com perda de membros ou afastamento superiores a 7 dias) ocorridos entre os anos de 2018 a 2025 em uma empresa de petróleo de grande porte, foi possível identificar padrões recorrentes de falha na prevenção e mitigação dos eventos topo. Utilizando a lógica do *BowTie* como estrutura de análise, os eventos foram organizados segundo a cadeia causal: causas → evento topo → consequências. A leitura sistemática de cada evento revelou que, em muitos casos, as falhas e as propostas de planos de ação requeriam medidas apropriadas ao conjunto de causas associadas. Diante disso, fez-se um cruzamento e análise de eficácia.

Esses achados motivaram a construção de um modelo funcional composto por **nove blocos de barreiras ocupacionais**, distribuídos entre barreiras **preventivas** (antes do evento topo) e

**mitigadoras** (após o evento topo), conforme a lógica defendida pelo “Guia de *BowTie*” da Petrobras (PETROBRAS, 2023a). A seguir, detalha-se cada um desses blocos, apresentando sua função no modelo, os tipos de barreiras agrupadas e sua eficácia na prevenção ou contenção dos cenários analisados.

### **3.1. Barreiras de Engenharia (PREVENTIVA)**

Posicionado como a primeira linha de defesa antes do evento topo, este bloco compreende as medidas físicas, estruturais e tecnológicas destinadas a evitar a exposição do trabalhador ao perigo. Incluem-se nesse grupo enclausuramentos, sensores de presença, sistemas de intertravamento, dispositivos de parada de emergência e proteções fixas. A análise dos acidentes demonstrou que a presença de barreiras de engenharia eficazes teria evitado a ocorrência de 38% dos eventos, sobretudo os relacionados a máquinas e quedas de altura. São barreiras altamente confiáveis, de baixa dependência humana, sendo reconhecidas como as mais robustas no modelo (CCPS, 2017).

### **3.2. Barreiras de Gestão e Sistema (PREVENTIVA)**

Este bloco agrupa políticas, procedimentos, permissões de trabalho e rotinas formais de segurança, posicionando-se como suporte organizacional à prevenção de falhas operacionais. A análise evidenciou que em 44% dos eventos havia ausência ou falha na implementação de procedimentos, indicando a necessidade de fortalecer esse conjunto. Estas barreiras são eficazes quando bem documentadas, atualizadas e associadas à cultura organizacional, mas perdem força quando dependem exclusivamente da memória ou iniciativa do trabalhador (REASON, 1997).

### **3.3. Barreiras de Capacitação e Sensibilização (PREVENTIVA)**

Neste grupo situam-se treinamentos técnicos, campanhas de segurança, diálogos de segurança e materiais educativos. A análise dos acidentes revelou que falhas de percepção de risco ou desconhecimento das normas operacionais contribuíram diretamente em 26% dos eventos. Estas barreiras, embora dependentes do comportamento humano, são fundamentais para preparar o trabalhador a reconhecer perigos e atuar conforme o esperado em situações rotineiras e de exceção (HOLLNAGEL, 2014).

### **3.4. Barreiras de Supervisão Técnica (PREVENTIVA)**

Este bloco representa a atuação direta da supervisão de campo na verificação da aplicação das normas, na gestão das permissões de trabalho e na identificação de desvios operacionais. Em 40% dos acidentes analisados, a ausência de supervisão eficaz ou a tolerância a condições inseguras foram determinantes. O posicionamento deste bloco logo antes do evento topo reflete sua função de última linha de controle operacional direto, e sua eficácia depende da frequência, autoridade e preparo técnico dos supervisores (PETROBRAS, 2023b).

### 3.5. Barreiras de Proteção Individual (PREVENTIVA)

Agrupam-se aqui os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), cuja função é evitar ou reduzir a lesão física em caso de falha das barreiras anteriores. Apesar de estarem tradicionalmente sobrevalorizadas, os EPIs só se mostraram eficazes em 12% dos eventos, e quase sempre como barreira complementar. Devem ser posicionados como última barreira preventiva, não substituindo falhas nas barreiras de engenharia ou de gestão (BRASIL, 2020). Ainda assim, sua inclusão no conjunto de barreiras **preventivas** se justifica, pois seu uso adequado tem potencial de interromper o encadeamento causal antes da ocorrência do evento topo, desde que aliado a fatores humanos favoráveis — como disciplina operacional, percepção de risco e comportamento seguro.

Dessa forma, o modelo aqui proposto compreende o EPI não apenas como um artefato físico, mas como parte de um **bloco funcional mais amplo**, denominado “Fatores Pessoais”, no qual também se inserem atitudes, rotinas individuais e decisões críticas no ponto de operação. Essa abordagem é coerente com os fundamentos do **Safety II** (Hollnagel, 2014), ao reconhecer o papel ativo do trabalhador como agente de estabilidade e resiliência do sistema. Portanto, a atuação humana — ao vestir corretamente um EPI, seguir um checklist ou recusar uma tarefa insegura — não apenas mitiga, mas pode **prevenir** a materialização do evento topo, justificando sua alocação no campo esquerdo do BowTie, como última linha de contenção preventiva.

### 3.6. Estrutura de Prontidão e Atendimento (MITIGADORA)

Este bloco representa os meios físicos e humanos de resposta imediata após o evento topo, como equipes de brigada, kits de contenção, unidades móveis de atendimento e sinalizações de emergência. Em 19% dos eventos analisados, a pronta resposta contribuiu para evitar agravamento das consequências. A eficácia dessa barreira depende da prontidão, acessibilidade e treinamento das equipes envolvidas (CCPS, 2008).

### 3.7. Planos de Resposta a Emergências (MITIGADORA)

Compreende a estrutura documental e os protocolos acionáveis de resposta a incidentes, como o Plano de Resposta a Emergência (PRE), o PEI e o PEVO. Estes planos mostraram-se críticos para reduzir o tempo de resposta e garantir a coordenação entre áreas. Contudo, sua eficácia real depende de testes periódicos e integração com a estrutura de prontidão (PETROBRAS, 2023a).

### 3.8. Treinamentos e Simulados (MITIGADORA)

Barreira complementar aos planos e estruturas, este bloco assegura que a equipe saiba atuar corretamente diante de uma emergência. Em 16% dos casos avaliados, a ausência de treinamento prático contribuiu para erros de resposta ou pânico. A eficácia está diretamente relacionada à frequência, realismo e diversidade dos cenários simulados.

### 3.9. Planos de Apoio Mútuo e Suporte Externo (MITIGADORA)

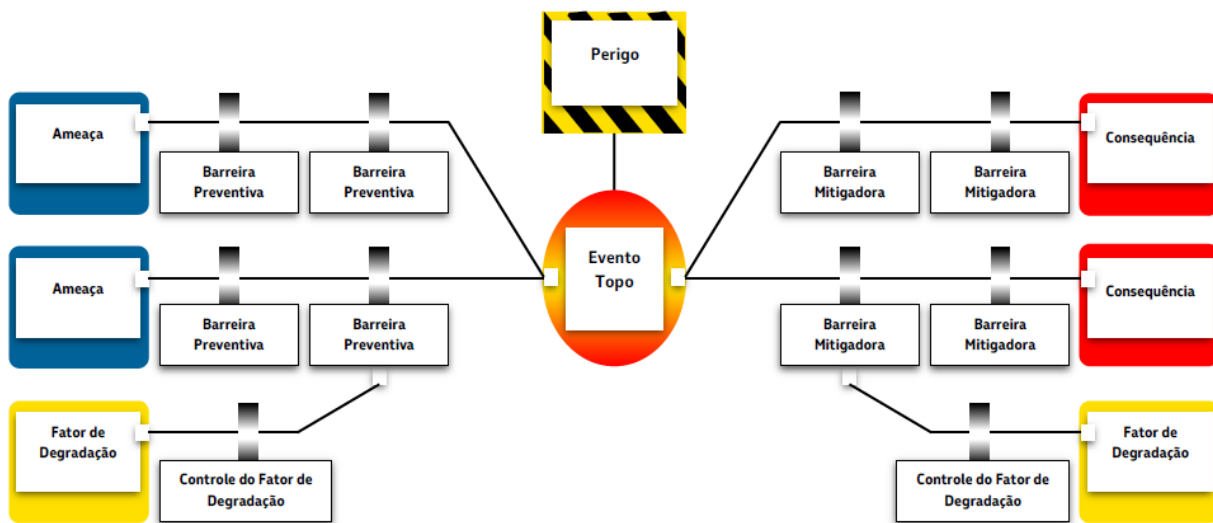
Este grupo inclui acordos com outras empresas, bases externas, serviços médicos e apoio logístico externo. Embora aplicáveis a eventos de maior gravidade, foi observado que em incidentes com múltiplas vítimas ou grande repercussão ambiental, a ausência de um suporte estruturado retardou a contenção dos efeitos. Trata-se de uma barreira estratégica, de ação tardia, mas essencial em situações críticas.

Para compreender plenamente a proposta de agrupamento funcional das barreiras ocupacionais no *BowTie*, é necessário inicialmente reforçar o entendimento da estrutura conceitual dessa ferramenta. O diagrama *BowTie* é uma representação gráfica utilizada para ilustrar de maneira clara e intuitiva os elementos centrais da gestão de riscos, permitindo a análise integrada entre causas, evento crítico e consequências. Essa ferramenta tem sido amplamente adotada pela indústria de petróleo e gás e vem ganhando espaço nas abordagens de Segurança Ocupacional devido à sua capacidade de facilitar a comunicação de riscos e barreiras.

A estrutura básica do *BowTie*, conforme apresentada na Figura 1, é composta por seis elementos principais. O **perigo** representa a fonte potencial de dano, como um processo perigoso, substância tóxica ou atividade de risco. O **evento topo** é o ponto de perda de controle sobre esse perigo – é o momento crítico em que o sistema falha e o risco se materializa. As **ameaças** são os gatilhos ou causas que podem diretamente levar ao evento topo. As **consequências**, por sua vez, são

os efeitos resultantes da concretização do evento, como lesões, perdas materiais ou impactos ambientais. Para conter esse processo causal, são aplicadas **barreiras preventivas**, que atuam para evitar que a ameaça alcance o evento topo, e **barreiras mitigadoras**, que têm a função de reduzir a gravidade das consequências caso o evento venha a ocorrer (PETROBRAS, 2023a).

**Figura 1. Exemplo Básico de Diagrama Bowtie na Segurança de Processos**



A partir da análise dos acidentes avaliados, foi possível identificar não apenas a ausência ou falha de barreiras individuais, mas a desorganização funcional das defesas existentes, muitas vezes aplicadas de forma redundante em alguns pontos da cadeia de risco e negligenciadas em outros. Diante disso, optou-se por organizar as barreiras em nove blocos funcionais, respeitando uma hierarquia lógica de eficácia e prioridade, em consonância com a estrutura do *BowTie*. Essa ordenação permite uma visualização clara da distribuição das barreiras e auxilia na identificação de lacunas no sistema de controle de riscos.

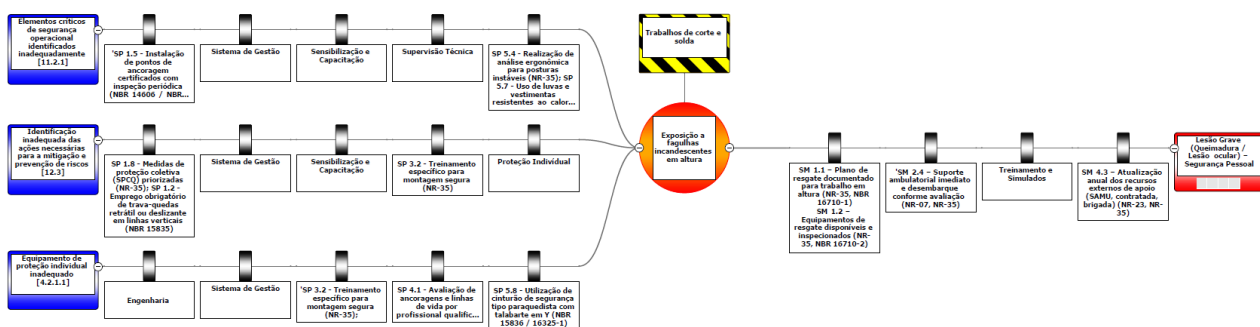
A proposta ocupacional sugerida inicia-se pelo lado esquerdo do *BowTie*, onde devem ser agrupadas as cinco **barreiras preventivas**, que se propõem a evitar a ocorrência do evento topo. A primeira delas, a **Barreira de Engenharia**, corresponde aos controles físicos e tecnológicos que bloqueiam o contato do trabalhador com a fonte de perigo. Sua posição inicial reflete sua natureza robusta e de baixa dependência de fatores humanos. Em seguida, posiciona-se a **Barreira de Sistema de Gestão**, responsável por assegurar que existam políticas, procedimentos e rotinas formais que sustentem o desempenho seguro da operação.

A terceira linha de defesa é composta pela **Barreira de Capacitação e Sensibilização**, essencial para garantir que os trabalhadores compreendam os riscos aos quais estão expostos e saibam atuar corretamente em conformidade com os procedimentos. Logo após, vem a **Barreira de Supervisão Técnica**, cuja função é verificar o cumprimento das normas e atuar em tempo real na correção de desvios. Por fim, a quinta barreira preventiva, nomeada como **Barreira de Fatores Pessoais**, agrupa os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), práticas pessoais de segurança e limitações fisiológicas, sendo considerada a última barreira antes da perda de controle.

No lado direito do *BowTie*, após o evento topo, concentram-se as **barreiras mitigadoras**, voltadas a reduzir os impactos de um evento já iniciado. A **Barreira de Estrutura e Prontidão** compreende as condições operacionais e os recursos físicos de resposta imediata, como alarmes, brigadas e equipamentos de emergência. A seguir, a **Barreira de Plano de Resposta a Emergência** organiza os procedimentos estratégicos para lidar com o cenário acidental, integrando diferentes áreas da organização. A **Barreira de Treinamentos e Simulados** garante que os envolvidos estejam preparados para executar os planos de emergência com eficiência. Por fim, a **Barreira de Plano de Auxílio Mútuo** assegura a existência de articulação com atores externos, como serviços médicos, órgãos reguladores e empresas vizinhas, especialmente em cenários críticos.

Dessa forma, a organização das barreiras proposta neste estudo não é apenas uma representação teórica, mas sim um modelo funcional fundamentado em evidências empíricas, normativas e metodológicas. Sua adoção tem o potencial de padronizar a prática da gestão de barreiras ocupacionais, apoiar auditorias internas e subsidiar o processo decisório na priorização de ações de segurança.

Figura 2. Representação do agrupamento de Barreiras no Diagrama *BowTie*.



Com base na disposição desses blocos, chegou-se à estruturação do modelo funcional final,

no qual os cinco primeiros grupos são posicionados no lado esquerdo do *BowTie* (prevenção), atuando sobre as causas do evento topo, enquanto os quatro últimos estão à direita (mitigação), voltados à contenção das consequências. A visualização padronizada desse modelo facilita sua adoção em diferentes setores industriais e permite a integração com sistemas de gestão como o PGR e a ISO 45001:2018. A Figura 2 ilustra de forma clara como o agrupamento das barreiras por função facilita o entendimento por todos os níveis hierárquicos da organização, promovendo o engajamento e reforçando a cultura de prevenção (JERÔNIMO; ZOET, 2025).

No exemplo apresentado, aplicado à exposição a fagulhas incandescentes em altura durante atividades de corte e solda, o método proposto foi utilizado para estruturar as barreiras em conformidade com o modelo dos nove blocos funcionais. As ameaças que conduzem ao evento topo — como elementos críticos de segurança não identificados, falhas na identificação de medidas de prevenção e uso inadequado de EPIs — foram tratadas com barreiras preventivas alocadas nos grupos de **Engenharia, Sistema de Gestão, Sensibilização e Capacitação, Supervisão Técnica e Fatores Pessoais** (EPI). Essas barreiras, quando representadas visualmente no *BowTie*, oferecem uma vantagem fundamental: facilitam a leitura sistêmica do risco, permitindo que os profissionais de segurança verifiquem com maior clareza se as barreiras estão realmente implantadas, se possuem redundância, se apresentam independência funcional e, principalmente, se estão eficazes. O uso do *BowTie* também contribui para alinhar as percepções de risco entre os diversos níveis da organização, do operador ao gestor executivo.

Além disso, o *BowTie* promove uma mudança de paradigma importante ao tornar visível o que antes era frequentemente fragmentado em planilhas e documentos isolados. Sua aplicação em conjunto com o PGR permite que os cenários de risco identificados no Inventário de Riscos sejam convertidos em diagramas dinâmicos, nos quais é possível não apenas identificar os pontos frágeis do sistema, mas também direcionar investimentos e ações corretivas de maneira mais racional.

Assim, o *BowTie* ocupacional aqui aplicado demonstra não apenas a aplicabilidade do modelo dos nove blocos funcionais, mas também sua aderência a situações práticas de campo e sua capacidade de fortalecer os processos de planejamento, execução e resposta em segurança do trabalho. O detalhamento visual serve como ferramenta para auditorias, treinamentos e melhoria contínua, articulando os fundamentos da análise de risco com a governança operacional e o engajamento das equipes.

Para aplicar o modelo proposto na prática, recomenda-se que o profissional de segurança do

trabalho, em conjunto com os gestores de risco, construa o *BowTie* a partir de cenários previamente identificados no Inventário de Riscos do PGR. Em seguida, devem ser identificadas as barreiras existentes e atribuídas a cada uma delas seu grupo funcional, conforme os nove blocos definidos. A partir daí, pode-se avaliar lacunas, reforçar defesas fragilizadas e estabelecer indicadores de desempenho por tipo de barreira.

Além disso, recomenda-se o uso do modelo como base para auditorias internas e para definição de prioridades de investimento em segurança, privilegiando o fortalecimento das barreiras de engenharia e de gestão, sem negligenciar o papel da supervisão e da cultura organizacional. A clareza do modelo, sua base empírica e a aderência às diretrizes normativas asseguram sua aplicabilidade como ferramenta de padronização e aprimoramento contínuo da gestão de riscos ocupacionais. Ademais, o uso do **software *BowTieXP***, combinado com análises históricas de acidentes e dados de APRs, mostrou-se fundamental para atribuir confiabilidade técnica à representação dos cenários. Foram observados ganhos de maturidade na gestão de barreiras, com destaque para a eficácia do *BowTie* como *checklist estruturado* durante o planejamento prévio de intervenções em campo, elevando o grau de antecipação aos riscos e substituindo abordagens meramente reativas por estratégias de verificação ativa e contextualizada.

Por fim, destaca-se que a adaptação do *BowTie* para a realidade ocupacional não apenas amplia seu campo de aplicação, como também contribui decisivamente para o fortalecimento de uma abordagem sistêmica da segurança do trabalho. Ao integrar variáveis humanas, organizacionais e técnicas, o modelo torna-se uma ferramenta viva, com papel central na gestão de barreiras, na retroalimentação de programas de prevenção e na consolidação de práticas de segurança com base em evidências. Assim, este trabalho fornece não apenas um referencial técnico para a estruturação de diagramas *BowTie* voltados à segurança ocupacional, mas também uma ferramenta metodológica alinhada às exigências normativas e à realidade operacional das empresas. Sua aplicação em conjunto com os estudos de risco e com os instrumentos de gestão de SMS pode promover ambientes de trabalho mais seguros, resilientes e orientados à prevenção proativa de acidentes.

**Quadro 1. Resumo do Agrupamento das Barreiras no Diagrama *BowTie*.**

<b>Bloco de Barreira Ocupacional</b>	<b>Função Principal</b>
<b>Engenharia (Prevenção)</b>	Conjunto de barreiras que atuam na eliminação ou redução de riscos, que envolvem conhecimentos práticos de engenharia e que atuam para isolar fisicamente o trabalhador do perigo por meio de proteções, equipamentos, enclausuramentos e sistemas de segurança embarcados.
<b>Sistema de Gestão (Prevenção)</b>	Garantir a existência e aplicação de procedimentos, permissões de trabalho e rotinas formais.
<b>Sensibilização e Capacitação (Prevenção)</b>	Desenvolver habilidades e percepção de risco das atividades por meio de treinamentos e campanhas educativas.
<b>Supervisão Técnica (Prevenção)</b>	Monitorar e corrigir desvios operacionais por meio da presença ativa da liderança técnica ou profissional de segurança.
<b>Fatores Pessoais / EPI (Prevenção)</b>	Reduzir o impacto direto da exposição por meio do uso correto de Equipamentos de Proteção Individual ou atitudes voltadas ao posicionamento seguro.
<b>Estrutura de Prontidão (Mitigação)</b>	Garantir meios físicos e humanos para resposta imediata após o evento topo (e.g. brigada, kits de emergência).
<b>Plano de Resposta à Emergência (Mitigação)</b>	Coordenar ações de contenção e evacuação com base em documentos e protocolos emergenciais.
<b>Treinamentos e Simulados (Mitigação)</b>	Preparar as equipes para atuação eficaz em cenários de emergência previamente simulados.
<b>Plano de Auxílio Mútuo (Mitigação)</b>	Acionar recursos externos e apoio institucional em situações críticas e complexas.

#### 4. CONCLUSÕES

Conclui-se que a adoção de um modelo estruturado de barreiras ocupacionais, baseado na lógica do diagrama *BowTie*, representa um avanço significativo na gestão de riscos do trabalho. A análise de acidentes reais entre 2018 e 2025 em uma empresa de petróleo de grande porte permitiu identificar fragilidades recorrentes e fundamentar a definição de nove grupos funcionais de barreiras, organizados por prioridade e eficácia entre ações preventivas e mitigadoras. O modelo integra os requisitos do Programa de Gerenciamento de Riscos (NR-1) com a representação visual do *BowTie*, oferecendo uma ferramenta de fácil leitura e alta aplicabilidade para planejamento, execução e auditoria de medidas de controle. Sua eficácia foi comprovada em atividades críticas, como trabalhos em altura e movimentação de cargas, promovendo uma visão integrada dos riscos e favorecendo a



adoção de KPIs orientados por desempenho.

Trata-se de uma proposta inédita no campo da segurança ocupacional, que além de padronizar a estrutura dos diagramas *BowTie* para riscos de natureza humana e organizacional, fortalece o gerenciamento dinâmico de barreiras — frequentemente desafiado pela ausência de medidores online — e oferece um referencial técnico replicável, contribuindo para auditorias mais precisas, melhorias contínuas e o fortalecimento da cultura de prevenção.

## 5. REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora nº 1 – Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais (NR-1)**. Portaria SEPRT nº 6.730, de 9 de março de 2020.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 45001:2018 – Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use**. Geneva: ISO, 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO – IBP. **Norma Técnica IBP N-058: Diretrizes para uso do diagrama Bow Tie**. Rio de Janeiro: IBP, 2020.
- JERÔNIMO, Carlos Enrique de Medeiros; ZOET, Daniel Santos de Abreu. *Diagramas BowTie como suporte na gestão de barreiras ocupacionais*. In: LIÇÕES APRENDIDAS EM SST, SEPRO & ESG. Projeto Editorial Colaborativo, 2025.
- PETROBRAS. **Manual para Execução da APR – Poços**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2023.
- PETROBRAS. **Guia de Bow Tie**. In: Contrato de Serviços de Engenharia – SMS. Rio de Janeiro: Petrobras, 2023.
- SANTOS, Juliano; CARNEIRO, Adilson. **Gestão de Barreiras: Aplicação do modelo *BowTie* em instalações industriais**. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, São Paulo, v. 47, n. 1, p. 1–10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2022-0480>.
- REASON, James. **Managing the risks of organizational accidents**. Aldershot: Ashgate Publishing, 1997.
- HOLLNAGEL, Erik. **Safety-I and Safety-II: The past and future of safety management**. Farnham: Ashgate, 2014.