

## **AHP na Gestão de Risco Operacional: Uma Abordagem para Suportar o Cálculo do Risco Residual Operacional de Unidades de Perfuração Offshore.**

Emanuel I. Santos, Rodrigo Ribeiro, Paulo Cury, Leandro Duarte, Romulo Neves  
Serviços de Petróleo Constellation S.A.

Marcilene F. D. Viana, Carlos F. O. Barros  
Universidade Federal Fluminense

### **RESUMO**

A metodologia de análise de barreiras conhecida como Bowtie tem sido muito utilizada entre as empresas do setor de perfuração para óleo e gás, como uma ferramenta de apoio ao processo de gestão do risco da segurança operacional. Com a finalidade de reduzir o impacto da subjetividade na tomada de decisão sobre a continuidade operacional e viabilizar o processo de análise sistêmica do risco residual. Este artigo tem o objetivo de propor um novo método de gestão de risco contemplando o uso da metodologia AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para suportar o cálculo de Risco Residual baseado nas degradações das barreiras. Para validar esta proposta foi realizado um estudo de caso em Bowtie da análise de risco de uma unidade de perfuração do tipo Navio Sonda, da empresa Serviços de Petróleo Constellation. Os resultados da gestão de risco para um cenário de Bowtie, exemplificado neste trabalho, foram considerados eficazes a partir da implementação do método AHP. A implementação desta abordagem possibilitou a classificação em grau de prioridade das barreiras de segurança operacionais a partir do cálculo de risco residual.

**Palavras-chaves:** Risco residual; Análise de Multicritério; AHP; Óleo e Gás; Bowtie.

## **AHP in Operational Risk Management: An Approach to Support the Calculation of the Residual Operational Risk of Offshore Drilling Units**

### **ABSTRACT**

The barrier analysis methodology known as Bowtie is widely used among companies in the oil and gas drilling industry, as a tool to support the operational safety risk management process. In order to reduce the impact of subjectivity in decision-making on operational continuity and enable systemic analysis process of residual risk. This article aims to propose a new method of risk management contemplating the use of the AHP (*Analytic Hierarchy Process*) methodology to support the calculation of Residual Risk based on the degradations of the barriers. To validate this proposal, a case study was carried out in a Bowtie for the risk analysis of a Serviços de Petróleo Constellation drilling unit of the Drill Ship type. The results of risk management for a Bowtie scenario, exemplified in this work, were considered effective with the implementation of the AHP method. The implementation of this approach made it possible to classify operational safety barriers in priority degree from the calculation of residual risk.

**Key words:** Residual risk; Analysis hierarchical process; AHP; Oil and gas; Bowtie.

### **1. INTRODUÇÃO**

As empresas do setor de energia, mais especificamente do mercado de óleo e gás, têm buscado cada vez mais aprimorar os seus processos de gestão de risco diante dos desafios de operar em águas mais profundas e de fazer uso de novas ferramentas e tecnologias. Neste sentido, torna-se visível a necessidade de se ter uma gestão de riscos cada vez mais robusta e eficaz.

Para a elaboração deste trabalho foi realizada uma análise no processo de gerenciamento de risco da Constellation Serviços de Perfuração, empresa de grande porte que atua no segmento de óleo e gás e que tem como seu principal valor a segurança. A gestão de riscos da empresa estabelece diferentes ferramentas de análise que são utilizadas de acordo com a necessidade e etapa de um processo. Uma das ferramentas

utilizadas para suportar a análise de cenários de grandes emergências é o Bowtie, que tem como objetivo identificar as barreiras de prevenção e mitigação dos eventos indesejáveis [1].

Durante o desenvolvimento do estudo foi identificado uma lacuna na integração entre os processos de gestão da manutenção e a gestão de risco, de modo que as informações de degradação registradas nos softwares da empresa não realimentavam o processo de gestão de risco.

Este trabalho de pesquisa foi desenvolvido em torno do seguinte questionamento: “Como calcular o risco residual a partir das degradações das barreiras de segurança operacionais?”. Calcular o risco residual é de vital importância para suportar a tomada de decisão sobre a continuidade operacional.

As técnicas de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) viabilizam a tomada de decisão quando os problemas apresentam aspectos não tangíveis, e através do estabelecimento de critérios e prioridades é possível tornar a decisão mais racional e robusta, incorporando informações qualitativas à análise [2]. Neste contexto, observa-se que para identificar as degradações das barreiras de segurança é necessário avaliar tanto os aspectos quantitativos quanto os qualitativos.

O Processo Hierárquico Analítico (Analytic Hierarchy Process – AHP) é um dos métodos mais utilizados para apoio multicritério à decisão em várias áreas de conhecimento, [3, 4], principalmente devido a característica de incorporar em sua estrutura critérios qualitativos e quantitativos. Alguns autores utilizam o método AHP como ferramenta de suporte à decisão no processo de gerenciamento de risco [4, 5].

Neste artigo foi aplicado o método AHP com a abordagem de Agregação Individual de Julgamentos (AIJ) no processo de classificação das degradações das barreiras de segurança com o objetivo de estabelecer um método de cálculo do risco residual, de modo a diminuir a subjetividade empregada ao processo de análise de risco convencional, possibilitando o cálculo do risco residual a partir da inclusão de diferentes níveis de degradação nas barreiras.

O objetivo deste artigo é propor um novo método de gestão de risco contemplando o uso da metodologia AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para suportar o cálculo de Risco Residual baseado nas degradações das barreiras. Pretende-se ainda demonstrar a eficácia da implementação do artefato desenvolvido para mensurar o risco residual associado ao grau de degradações das barreiras de segurança operacionais a partir da incorporação do método AHP avaliado por um comitê de especialistas, realizado em 2021 durante o desenvolvimento do projeto de monitoramento em tempo real das barreiras de processo, em um Bowtie de uma unidade de perfuração da empresa Constellation, e compará-los com o método anterior de análise de risco, utilizando apenas a análise estática do Bowtie.

## 2. DESCRIÇÃO

### 2.1 Bowtie

Amplamente difundida na indústria offshore, o método Bowtie facilita o entendimento de questões ligadas à segurança [6]. São ferramentas em forma de diagrama de causa e efeito, de problemas relacionados às atividades operacionais de negócios, vide figura 1. Que considera seus impactos e resultados, além de possibilitar a implementação de controles para diminuição das consequências caso o evento venha a ocorrer [7]. Neste contexto, o método Bowtie pode ser aplicado para controlar diversos tipos de riscos, em diversas indústrias e setores de negócios [8].

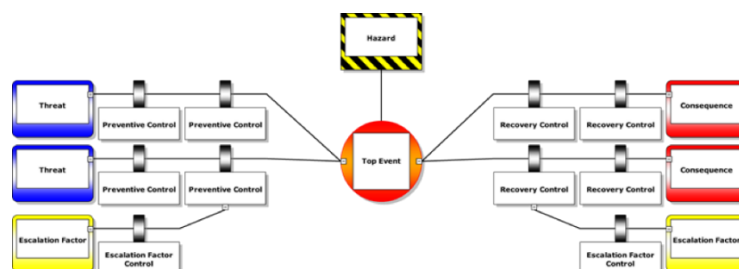


Figura 1 – Estrutura de um modelo de Bowtie

Uma das vantagens do Bowtie é facilitar a comunicação para as partes interessadas, no que tange às principais questões relacionadas ao controle de riscos. O Bowtie é um método que, não só identifica barreiras para evitar a ocorrência de um potencial evento, mas leva em consideração medidas em caso de falhas destas barreiras [9]. Tornando-se importante técnica a ser empregada na análise de riscos para determinar quão suficiente são os mecanismos de proteção, e na quantificação do risco residual se estas proteções não são suficientes [8].

## 2.2 Método AHP

O método AHP foi desenvolvido por Thomas L. Saaty da universidade de Pittsburg no início da década de 70 com o objetivo de refletir o modo como as pessoas realmente pensam. Atualmente, é um dos métodos mais utilizado e conhecido para apoio multicritério à decisão [10].

O AHP é muito indicado e utilizado para apoio à tomada de decisões complexas de multicritério por conseguir representar todos os aspectos de um problema e estruturando-os hierarquicamente em diferentes níveis, onde podem ser considerados a aplicação de critérios quantitativos e qualitativos [11].

O método AHP se baseia em três princípios do pensamento analítico [2]:

- Construção de hierarquias: Elementos-chaves para a decisão são estruturados em uma hierarquia;
- Definição de prioridades: As prioridades são definidas a partir do julgamento entre as alternativas;
- Consistência lógica: A consistência dos julgamentos é feito por meios da proposição de índices.

Este pensamento analítico pode ser representado de maneira mais detalhada no fluxograma da figura 2 [12].



Figura 2 – Fluxograma do Procedimento Analítico do AHP.

O método AHP é fundamentado em uma análise hierárquica genérica onde o primeiro nível é o objetivo geral do problema, o segundo nível é representado pelas áreas de interesse da avaliação, ou seja, os critérios e subcritérios, e no terceiro nível estão as alternativas, as quais podem ser representadas por classes [13]. A figura 3 representa um modelo de hierarquia AHP, construído para solucionar a classificação as barreiras de segurança do Bowtie estudado em nível de importância. Deste modo, a hierarquia passa a ser uma maneira fácil de representar um problema complexo, dividindo-o em diferentes níveis, critérios, subcritérios e alternativas, que influenciam a tomada de decisão e que serão comparados entre si [10].

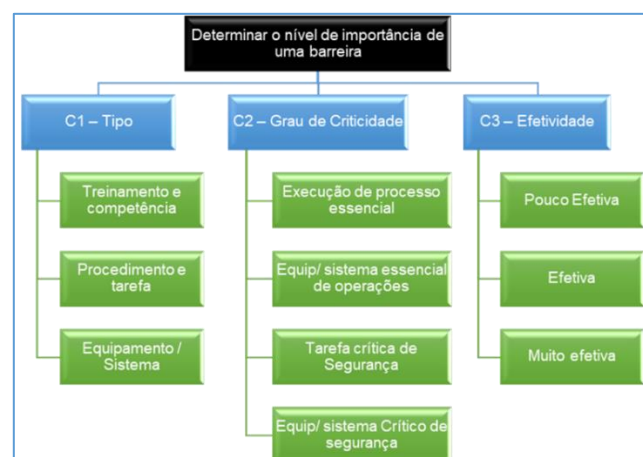


Figura 3 – Estrutura hierárquica da 1ª aplicação

Na etapa de definição de prioridades, os julgamentos são realizados na forma de comparação paritária, ou seja, o decisor compara de dois em dois os critérios e as alternativas, avaliando qual é mais satisfatória e o quanto mais satisfatória uma alternativa é em relação a outra [10]. Nesta etapa o decisor deve seguir os seguintes axiomas: Comparação recíproca, Homogeneidade, Independência e Expectativa, sendo:

- Comparação recíproca: Ao julgar o grau de importância de um par de critérios o decisor define que o critério 1 é “X” vezes mais preferível que o critério 2, logo C2 é 1/X vezes mais preferível que o C1. Representado pela equação (1).

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \quad (1)$$

- Homogeneidade: o julgamento da importância dos critérios tem uma escala limitada em 9, conforme tabela 1.
- Independência: os critérios devem ser independentes das propriedades das alternativas.
- Expectativa: Espera-se que a estrutura esteja completa com todas as alternativas avaliáveis para uma tomada de decisão.

Os decisores atribuem pesos relativos aos critérios comparando-os para diferenciar a importância relativa de cada um [14]. As comparações são realizadas com base em uma escala de prioridades representadas de 1 a 9, denominada de Escala Fundamental do AHP conforme a tabela 1.

Tabela 1. Escala Fundamental do AHP

Intensidade	Definição	Explicação
1	Igual importância	Ambos os elementos contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	Experiência e juízo favorecem levemente uma atividade com relação à outra
5	Importância grande ou essencial	Experiência e juízo favorecem fortemente uma atividade com relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida, sendo sua dominância evidenciada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorecendo uma das atividades é a maior possível, com o mais alto grau de segurança
2,4,6,8	Valores Intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Alguns estudos psicológicos apontam que a capacidade humana de julgamento é de 7 pontos variando em +/- 2, chamado de limite psicológico, e foi baseado neste conceito que Saaty propôs nove pontos para determinar as diferenças entre os elementos em sua escala fundamental [3].

Após realizar a comparação pareada é possível estruturar a matriz de decisão AHP, também conhecida como matriz de julgamento, conforme figura 4.

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{3n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 4 - Formato da Matriz de decisão.

A análise de Consistência pode ser entendida como sendo a consistência do julgamento do decisor, determinado pelo vetor de prioridades e aceito quando a razão de consistência (RC) indicar coerência, ou seja, quando  $RC < 0,1$  [13].

Neste sentido, após a comparação de par a par dos elementos, realizam operações de normalizações dos pesos relativos e obtém-se o autovetor normalizado dos critérios, conforme os seguintes passos:

paper 2855:

- Passo 1: Normalizar os valores: Deve-se dividir cada valor da matriz pela soma total da sua respectiva coluna.
- Passo 2: Vetor de prioridades: Deve-se calcular a média aritmética dos valores de cada linha da matriz normalizada.
- Passo 3: Calcular o  $\lambda_{max}$ : é obtida pela equação (2), que representa o maior autovalor da matriz A e w é o vetor de prioridades;

$$Aw = \lambda_{max}w \quad (2)$$

- Passo 4: Calcular o Índice de consistência (IC): o IC é dado a partir da equação (3);

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

- Passo 5: Calcular a Razão de Consistência (RC): é obtida pela equação (4), onde IR é o índice de consistência referente de acordo com o número de comparações necessárias, conforme tabela 2:

$$RC = IC/IR \quad (4)$$

Tabela 2 - Índice de Consistência (IR) randômico do AHP.

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

A valoração global de cada alternativa é dada pela soma ponderada, de acordo com a equação (5). A classificação das barreiras será dada a partir do cálculo do valor global de cada alternativa [13].

$$V(a) = \sum_i^n P_i V_i(a) \quad (5)$$

Onde:

- $V(a)$  é o valor global da alternativa analisada;
- $P_i$ , importância relativa do critério  $i$ ;
- $V_i$ , nível de preferência da alternativa analisada no critério  $i$ .

Análise de Sensibilidade é a etapa final do método, tem como objetivo avaliar se o modelo criado para o problema está condizente com a realidade. Esta análise é importante, pois contribui para a compreensão da abrangência e das limitações do problema por parte do decisor. A análise pode ser realizada a partir de alterações nos pesos relativos dos critérios, na quantidade de critérios e/ou de alternativas, verificando assim o comportamento do modelo [3].

### 2.3 Decisão em Grupo no Método AHP

As decisões de natureza empresarial são geralmente tomadas em grupo nas situações complexas, tornando altamente relevante a aplicação de estudos científicos da análise de conflitos e facilitação da chegada ao consenso. Estas decisões envolvem indivíduos com diferentes pontos de vista, crenças e valores, elucidando a necessidade de estruturar um processo de tomada de decisão com critérios e alternativas bem definidos [3].

O método AHP pode ser aplicado para satisfazer as necessidades e apoiar a tomada de decisão de um grupo de indivíduos, mesmo que estes tenham opiniões e visões distintas. O resultado da decisão do grupo pode ser alcançado de diferentes maneiras: a partir da interação entre os indivíduos para chegarem a um consenso e posteriormente aplicar o método AHP, ou através do julgamento individual das prioridades, onde neste caso, a aplicação do método AHP pode ser realizada através de duas abordagens diferentes: Agregação Individual de Julgamentos (AIJ) e Agregação Individual de Prioridades (AIP) [3].

A escolha da abordagem mais adequada para suportar a decisão em grupo está diretamente ligada ao comportamento do grupo [15]. No caso de grupos coesos e focados, que tomam decisões a partir de consenso e sinergia, utiliza-se a abordagem Agregação Individual de Julgamentos (AIJ). Já para grupos com dificuldades de trabalhar em consonância e que preferem manter a análise individual utiliza-se a Agregação Individual de Prioridades (AIP). Em ambas as abordagens pode-se atribuir pesos diferentes aos decisores ou considerá-los de mesmo grau de importância para a análise de decisão.

A propriedade recíproca tem um papel fundamental para a construção da decisão em grupo a partir de escolhas individuais [16]. Os julgamentos devem ser combinados de modo que a recíproca dos julgamentos sintetizados sejam iguais as sínteses dos recíprocos julgamentos.

### 2.3.1 Abordagem Agregação Individual de Julgamentos AIJ

A abordagem AIJ é fundamentada no fato de que os indivíduos do grupo agem de modo que o grupo se torne um novo indivíduo. Os julgamentos individuais são sintetizados em um só, por meio da média geométrica do valor do julgamento de cada indivíduo. Portanto, obtém-se uma única matriz de decisão a partir da agregação das matrizes individuais de decisão para análise das alternativas perante cada critério, bem como obtém-se uma única matriz de decisão para análise da importância dos critérios estabelecidos com respeito ao objetivo final [16].

Os julgamentos devem ser combinados de forma que a recíproca dos julgamentos sintetizados devem ser iguais às sínteses dos recíprocos desses julgamentos [16]. Ainda segundo os mesmos autores, ficou provado que a média geométrica é a única maneira de satisfazer as condições de Separabilidade (S), Unanimidade (U) e Homogeneidade (H), onde:

1. *Separability condition* (S):  $f(x_1, \dots, x_n) = g(x_1) \dots g(x_n)$ , logo (S) significa que as influências dos julgamentos individuais podem ser separadas conforme demonstrado.
2. *Unanimity condition* (U):  $f(x, \dots, x) = x$ , logo (U) significa que se todos os indivíduos derem o mesmo julgamento  $x$ , esse julgamento também deve ser o julgamento sintetizado.
3. *Homogeneity condition* (H):  $f(ux_1, \dots, ux_n) = uf(x_1, \dots, x_n)$ , onde  $u > 0$ , logo (H) significa que se todos os indivíduos julgam uma razão  $u$  vezes maior que outra razão, então o julgamento sintetizado também deve ser  $u$  vezes maior.

Considerando a relação de paridade de um conjunto de alternativas  $P(A_i, A_j)$ , logo o procedimento de agregação dos julgamentos paritários “ $f$ ” é dada pela equação (6), segundo a média geométrica dos julgamentos individuais.

$$f(P)(A_i, A_j) = \left[ \prod_{k=1}^m P_k(A_i, A_j) \right]^{\frac{1}{m}} \quad (6)$$

Nesta abordagem, apesar das identidades individuais serem perdidas ao sintetizar a hierarquia, elas são mantidas para cada grupo de elementos onde um indivíduo fornece julgamentos. Isto ocorre quando os indivíduos agem em sintonia e realizam seus julgamentos de modo que o grupo se comporte como um novo indivíduo. Caso seja identificado que há inconsistências num conjunto de julgamentos de um indivíduo, o grupo pode pedir ao indivíduo para considerar a revisão dos julgamentos, caso a inconsistência seja considerada alta, o grupo pode decidir por excluir os julgamentos de um indivíduo da média geométrica de uma análise, com base na razão de consistência (RC) [15].

Na etapa de julgamento do grupo, é necessário que haja um consenso para definir a importância relativa dos critérios, calculada a partir da média geométrica dos julgamentos individuais. Em casos, onde os grupos são formados por pessoas que não apresentam entrosamento entre si, torna-se difícil a aplicação do método AIJ para a tomada de decisão consensual do grupo, sendo assim, deve-se optar pela aplicação do método AIP [3].

### 2.3.2 Abordagem AIP



A abordagem AIP é fundamentada no fato de que a decisão do grupo leva em consideração a análise de decisão de cada indivíduo separadamente [3]. Nesta abordagem o método AHP é aplicado completamente para os julgamentos de cada indivíduo, o qual elabora os seus julgamentos de acordo com suas crenças e valores a partir de critérios estabelecidos, obtendo assim as suas prioridades.

As prioridades individuais podem ser agregadas tanto a partir da aplicação da média geométrica quanto da média aritmética. Ainda segundo os mesmos autores, a média aritmética foi fortemente difundida entre a maioria das pessoas como sendo o método para se calcular a média. De uma forma geral as pessoas se sentem mais confortáveis quando utilizam a média aritmética [15].

A média geométrica é mais consistente com o significado de ambas as abordagens, os julgamentos e prioridades no método AHP, dado que os julgamentos do AHP representam a razão de quantas vezes uma alternativa é mais importante do que outra [16].

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As pesquisas são classificadas quanto à sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos [17]. Este trabalho de pesquisa pode ser considerado de natureza aplicada, abordagem quali-quantitativa e objetivo descritivo, pois visa estudar a aplicação do método AHP para classificar as barreiras de segurança operacional uma unidade de perfuração do tipo Navio Sonda e descrever as características do problema que envolve a gestão de risco.

Como procedimento metodológico, apresenta-se um estudo de caso, o qual tem como objetivo elucidar os problemas estruturais relacionados ao cálculo do risco residual da empresa analisada. Através da aplicação do método AHP o processo de gestão de risco será capaz de determinar o risco residual associado às degradações das barreiras. O estudo busca esclarecer o problema que foi definido para uma determinada ação ou um conjunto de ações, como foram implementadas e quais os resultados obtidos.

Para condução do estudo de caso foi realizado uma adaptação na estrutura do estudo de caso, conforme figura 5, o qual considera que as decisões metodológicas são de cunho estratégicos e operacional [18]. Sendo o estratégico relativo à escolha da abordagem mais adequada para o problema estudado e o operacional aos procedimentos de condução da pesquisa.

Durante o planejamento do Estudo de Caso, foi selecionado o Bowtie a ser estudado, realizado as adequações no modelo do método LOPA (*Layer Of Protection Analys*), foram definidos quais seriam os softwares de apoio para coleta de dados, as equipes que participariam dos workshops, a utilização do método de brainstorming, da ferramenta estatística Bloxplot e do software Minitab para análise dos dados. E por fim, foi elaborado um fluxograma para melhor orientar os passos da aplicação do método AHP figura 6.

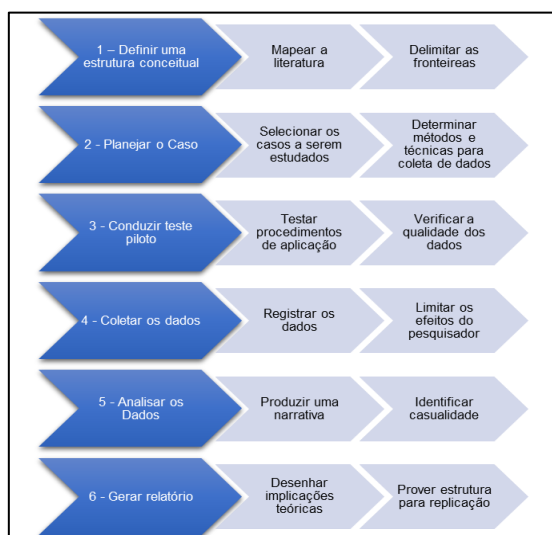


Figura 5 – Estrutura do estudo de caso

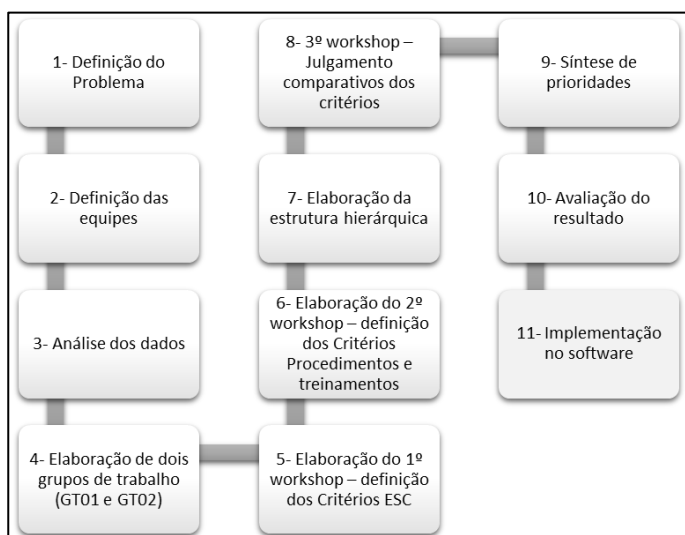


Figura 6: Estrutura da condução do estudo de caso

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

Neste trabalho, o método AHP foi aplicado em dois momentos: A primeira aplicação teve como propósito classificar em ordem o nível de importância das barreiras contidas no Bowtie do cenário de risco MAH-09 – Colisão/Perda de posição, e a partir desta classificação, definir o PFD inicial (probabilidade de falha sob demanda) de todas as barreiras. Na segunda aplicação o objetivo foi classificar em ordem de prioridade o nível de degradação das barreiras, à luz dos critérios estabelecidos para cada tipo de barreiras.

##### 4.1 Primeira Aplicação do AHP

Neste primeiro caso, o problema a ser resolvido foi definido a partir do seguinte questionamento: Como classificar as barreiras de segurança de um Bowtie de acordo com o seu nível de eficácia para prevenir ou mitigar as consequências dos cenários de incidentes? A fim de solucionar este problema, esta primeira aplicação do método AHP teve como objetivo classificar, em ordem de importância, à luz dos critérios e subcritérios.

Os critérios foram definidos a partir da utilização da técnica de *brainstorming* aplicada no primeiro *workshop* do grupo de trabalho, com foco nos atributos comuns entre as barreiras capazes de influenciar o nível de importância de cada barreira, sendo: O tipo da barreira, grau de criticidade e efetividade, conforme demonstrado na figura 3 (Estrutura hierárquica).

A estruturação da matriz de decisão AHP foi elaborada de acordo com a escala fundamental de Saaty, comparando par a par de cada critério e classificando-os em escalas de 1 a 9 e respeitando os axiomas: comparação recíproca, homogeneidade, independência e expectativa. Em seguida, foram realizadas as operações de normalizações dos pesos relativos, obteve-se o autovetor normalizado dos critérios e foram realizados os cálculos do  $\lambda_{\max}$ , IC e RC, conforme representado na tabela 3.

Tabela 3 – Matriz de decisão AHP

	C1 - Tipo	C2 - Criticidade	C3 - Efetividade	Autovetor Normalizado
Tipo	1	4	1/2	33,39%
Criticidade	1/4	1	1/5	9,82%
Efetividade	2	5	1	56,79%
RC = 0,021 (Consistente)				

Após a definição da hierarquia dos critérios, a próxima etapa do método AHP consiste em comparar as alternativas entre si (par a par) de cada critério, repetindo os mesmos passos apresentados acima para os critérios. A fim de sintetizar a apresentação do resultado deste trabalho, na sequência será apresentada apenas a tabela das alternativas referentes ao critério “Tipo” - vide tabela 4. O resultado da avaliação das demais alternativas será apresentado diretamente na tabela 5, onde os valores dos pesos locais das alternativas equivale ao resultado do Autovetor normalizado de cada análise paritária. Para determinar os pesos globais de cada alternativa deve-se multiplicar o peso local pelo peso obtido no critério correspondente.

Tabela 4: Matriz de decisão AHP –  
Comparação das alternativas do critério C1: Tipo

	A1	A2	A3	Autovetor Normalizado
A1	1	3	1/7	15,49%
A2	1/3	1	1/9	6,85%
A3	7	9	1	77,66%
RC = 0,071 (Consistente)				



Tabela 5: Critérios de classificação do nível de importância das Barreiras

Objetivo	Critérios	Alternativas (Classes)	Peso local	Peso global
Determinar o nível de importância das barreiras	C1 – Tipo			33,39%
		Treinamento e competência	15,49%	5,17%
		Procedimento e tarefa	6,85%	2,29%
		Sistemas e equipamentos	77,66%	25,93%
	C2 – Grau de Criticidade			9,82%
		Execução de processo essencial	5,61%	0,55%
		Equipamento/ sistema essencial de operações	10,94%	1,07%
		Tarefa crítica de Segurança	25,09%	2,46%
		Equipamento/ sistema Crítico de segurança	58,36%	5,73%
	C3 – Efetividade			56,79%
		Pouco Efetiva	6,37%	3,62%
		Efetiva	26,74%	15,18%
		Muito efetiva	66,89%	37,98%

Tabela 6: Classificação das Barreiras

Total de barreiras	Tipo	Grau de Criticidade	Efetividade	RESULTADO	Boxplot	PFD - AHP
16	Sistemas e equipamentos	Equipamento/ sistema Crítico de segurança	Muito efetiva	69,65%	Q4	1E-03
1	Sistemas e equipamentos	Equipamento/ sistema essencial de operações	Muito efetiva	64,99%		
20	Sistemas e equipamentos	Equipamento/ sistema Crítico de segurança	Efetiva	46,85%		
8	Procedimento e tarefa	Tarefa crítica de segurança	Muito efetiva	42,73%	Q3	1E-02
1	Sistemas e equipamentos	Equipamento/ sistema essencial de operações	Efetiva	42,19%		
23	Procedimento e tarefa	Execução de Processo Essencial	Muito efetiva	40,82%		
3	Sistemas e equipamentos	Equipamento/ sistema Crítico de segurança	Pouco Efetiva	35,28%	Q2	1E-01
1	Sistemas e equipamentos	Equipamento/ sistema essencial de operações	Pouco Efetiva	30,63%		
53	Procedimento e tarefa	Tarefa crítica de segurança	Efetiva	19,94%		
59	Procedimento e tarefa	Execução de Processo Essencial	Efetiva	18,02%	Q1	5E-01
34	Treinamento e competência	Tarefa crítica de segurança	Pouco Efetiva	11,26%		
43	Procedimento e tarefa	Tarefa crítica de segurança	Pouco Efetiva	8,37%		
44	Procedimento e tarefa	Execução de Processo Essencial	Pouco Efetiva	6,46%		9E-01

A classificação das barreiras aplicadas no Bowtie estudado foi estabelecida com base no cálculo da avaliação global (equação 2) do método AHP apresentado em ordem decrescente na coluna “RESULTADO” da tabela 6.

Para definir os PFD’s foi realizada uma pesquisa nos principais bancos de dados de confiabilidade, como por exemplo o (OREDA, 2006), no entanto não foi possível determinar os PFD’s para os diferentes tipos de barreiras aplicadas no Bowtie estudado. Assim, foi estabelecido que a definição dos PFD’s levaria em consideração os três critérios analisados e classificados via AHP: tipo, criticidade e efetividade. A distribuição dos valores globais foram analisadas via ferramenta Boxplot e logo foram determinados os grupos de barreiras para cada quartil, sendo:  $6,46\% \leq Q1 < 14,64\%$ ,  $Q2 < 35,28\%$ ,  $Q3 < 44,79\%$  e  $Q4 < 69,65\%$ .

O resultado do estudo para classificação e definição dos PFD’s das barreiras foi possível através da aplicação do método AHP e da análise estatística utilizando Boxplot, onde 306 barreiras foram analisadas e classificadas à luz dos critérios estabelecidos. A percepção dos especialistas que formaram o GT01 foi que: “O resultado final da classificação das barreiras, considerando os três critérios principais, fez muito mais sentido do que a definição baseada somente na efetividade”.

## 4.2 Segunda Aplicação do AHP

Na segunda aplicação do método AHP, o problema a ser resolvido foi definido pelo seguinte questionamento: Como quantificar o nível de degradação das barreiras de segurança operacional utilizadas nos Bowtie’s da companhia?

Para solucionar o problema supracitado, esta aplicação do método AHP teve como objetivo classificar em ordem de importância, o nível de degradação de cada tipo de barreira, à luz dos critérios e subcritérios estabelecidos durante os *workshop’s* com os grupos de especialistas da empresa formando o GT01 e GT02. Cada tipo de barreira possui características distintas, deste modo, foram elaboradas três estruturas hierárquicas com foco nos atributos que são capazes de influenciar o nível de degradação de cada tipo de barreira.

Cada GT contou com a participação de 5 pessoas com diferentes posições hierárquicas e experiências no processo de gestão de risco da empresa. A estratégia adotada para definição dos julgamentos paritários do grupo nesta etapa foi a aplicação da abordagem de Agregação Individual de Julgamentos (AIJ), onde os julgamentos individuais de cada participante formaram o julgamento do grupo e este será aplicado como sendo um novo avaliador, conforme apresentado na seção 2.4.1 deste trabalho.

A fim de sintetizar, será apresentada a estrutura hierárquica e os julgamentos individuais das barreiras do tipo ESC (Equipamentos e sistemas críticos) na tabela 7. Os critérios, subcritérios e as classes que são capazes de influenciar o nível de degradação das barreiras foram definidos a partir da utilização da técnica de brainstorming aplicada no primeiro Workshop.

Após a definição da hierarquia dos parâmetros para aplicação do AHP na definição do nível de degradação das barreiras do tipo ESC, foi realizada a comparação paritária de cada critério conforme a escala fundamental de Saaty, estabelecendo assim a matriz decisão de cada indivíduo. Na tabela 07 será apresentado todos os julgamentos individuais e o valor do grupo calculado de acordo com a abordagem de agregação AIJ, conforme equação 06, supracitada neste artigo.

Tabela 7 – Julgamento individual dos especialistas  
Equipamento e sistema

Equipamento e Sistemas			Avaliação dos especialistas					Abordagem AIJ
ID	Critério	Comparação	1º	2º	3º	4º	5º	Grupo
C4	Mantenabilidade	C4 C5	1/5	1/9	1/9	1/5	3	0,272
C5	Disponibilidade	C4 C6	3	1/5	1/3	3	1	0,903
C6	Gestão de Risco	C5 C6	7	3	7	7	1/3	3,214
C4.1	Manutenção Corretiva	C4.1 C4.2	1/9	9	1/7	1/7	1/7	0,311
C4.2	Manutenção Preventiva							
A1	> 5 MC abertas	A1 A2	5	5	1/3	1/5	5	1,528
A2	MC crítica atrasada							
A3	Certificação vencida	A3 A4	1/5	1/5	1/7	1/7	1/5	0,175
A4	>5 MP Críticas atrasada	A3 A5	1/3	1/5	3	3	3	1,125
A5	MP crítica sem APR	A3 A6	3	1/3	5	3	3	2,141
A6	Atraso de MP >30 dias	A4 A5	5	3	7	7	7	5,524
		A4 A6	7	5	9	5	5	6,015
		A5 A6	3	3	1	1	1/3	1,246
A7	Equip/ Sistema degradado	A7 A8	1/9	3	1	1/9	1/7	0,351
A8	Equip/ Sistema Inoperante							
A9	Análise de Risco em atraso	A9 A10	1/7	9	1	9	1/5	1,183
A10	Análise de Risco Não realizada							

Após repetir os mesmos passos para os outros tipos de barreiras, foi identificado o peso correspondente de cada classe, ou seja, de cada atributo que pode vir a degradar uma barreira.

As barreiras, as classes e os pesos definidos na aplicação do método AHP, representados na tabela 08, foram cadastrados no CMMS (*Computerized maintenance management system*) da empresa, onde BF – barreira física, BA – barreira administrativa e BH – barreira.

As barreiras foram associadas às classes listadas de acordo com o tipo da barreira, de modo que, o CMMS faça o gerenciamento da ativação de cada uma das classes, possibilitando o cálculo simultâneo de degradação das barreiras de forma automática e sistêmica. E ficará disponível no CMMS, através de relatórios, a classificação das barreiras de segurança do Bowtie segundo o nível das degradações.

Tabela 08: Peso das classes por tipo de barreiras

Tipo de barreira	Classes	Pesos	Tipo de barreira	Classes	Pesos
BF	> 5 MC abertas	2,49%	BA	Resultado da avaliação >= 80%	23,26%
	MC crítica atrasada	1,63%		Resultado da avaliação 80%>N>=50%	24,47%
	Certificação vencida	1,91%		Resultado da avaliação N<50%	52,27%
	>5 MP Críticas atrasada	8,60%	BA	Manutenção atrasada	12,14%
	MP crítica sem APR	1,55%		Manutenção não classificado como crítica	42,61%
	Atraso de MP >30 dias	1,19%		Manutenção vencida > 30 dias	45,25%
	Equip/ Sistema degradado	16,40%	BH	Treinamento vencido	1,86%
	Equip/ Sistema Inoperante	46,79%		Treinamento não realizado	11,39%
	Análise de Risco em atraso	10,54%		Equipe (a bordo) com treinamento válido >= 80% do total a bordo	24,91%
	Análise de Risco Não realizada	8,91%		Equipe (a bordo) com treinamento válido 80%>N>=60% do total a bordo	28,05%
BA	Documento vencido	8,58%		Equipe (a bordo) com treinamento válido <60% do total a bordo	33,79%
	Validade < 30 dias	8,58%			
	>= 80% de aceitação do termo	14,87%			
	80%>N>=60% de aceitação do termo	37,71%			
	N<60% de aceitação do termo	30,27%			

### 4.3 Cálculo do Risco Residual

O estudo realizado para classificação do nível de degradação das barreiras de segurança via aplicação do método AHP, resultou na construção de um modelo de gestão capaz de calcular o risco residual de maneira

sistêmica em uma unidade de perfuração, levando em consideração todos os atributos (classes) de degradações que afetam diretamente cada tipo de barreira. Este modelo pode ser representado pela figura 7, onde o fluxograma apresenta as etapas para realização do cálculo do risco residual:

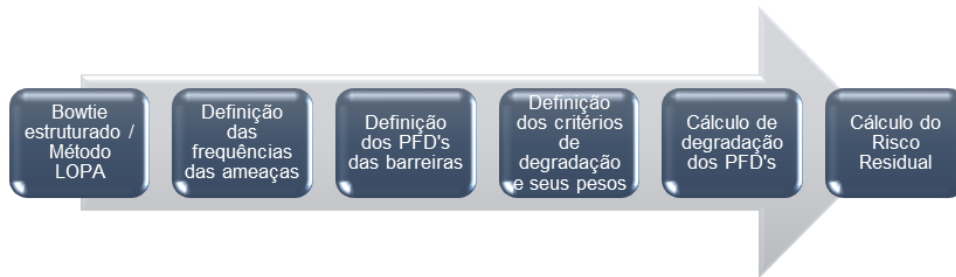


Figura 7: Fluxograma do processo do cálculo do Risco Residual

O cálculo do Risco Residual “ALARP” (*As Low as Reasonable Practicble*) do evento topo do Bowtie é dado a partir da metodologia LOPA, aplicado de acordo com a equação (9) e é atualizado sempre que uma barreira sofrer qualquer tipo de degradação.

$$Risk_k = \sum_{i=1}^I F_i \quad (7)$$

$$F_i = f_i \times \prod_{j=1}^J PFD_{ij} \quad (8)$$

$$Risk_k = \sum_{i=1}^I \left( f_i \times \prod_{j=1}^J PFD_{ij} \right) \quad (9)$$

Onde,

- $Risk_k$  é o Risco Residual de um cenário k do Bowtie;
- $F_i$  é a frequência final de um cenário de liberação i, que é calculada a partir da multiplicação do evento iniciador pelo produto das PFD's das barreiras de uma ameaça i;
- $f_i$  é a frequência do evento iniciador de uma ameaça i;
- $PFD_{ij}$  é a probabilidade de falha na demanda da j-ésima IPL (*Independent Protection Layer*) que protege contra a consequência do evento iniciador i.

## 5. CONCLUSÃO

Este artigo tem como objetivo propor um novo método de gestão de risco contemplando o uso da metodologia AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para suportar o cálculo de Risco Residual baseado nas degradações das barreiras.

Para isso, foi aplicada uma nova abordagem que contribuiu para geração de valor ao processo de gestão de risco da empresa Constellation. Estabelecendo um novo método de gestão capaz de calcular o Risco Residual dos principais cenários do estudo de caso de segurança (HSE case) de suas unidades operacionais. Apoiando na tomada de decisão e contribuindo com o planejamento e gerenciamento das operações de perfuração de petróleo offshore.

Para a aplicação da abordagem sugerida, os especialistas realizaram estudos para determinação dos critérios de degradação das barreiras através do método AHP e revisão do Bowtie MAH-09 para atender às premissas do método LOPA. E o risco residual foi determinado por este estudo pela primeira vez em relação aos cenários de grandes emergências da empresa.

O estudo concluiu que para manter atualizado o risco residual de um Bowtie, a partir do método LOPA, é importante gerenciar o PFD das barreiras nele implementadas e que para calcular os PFD's podem

ser usados os pesos obtidos com o método AHP; desta forma, tanto os níveis de importância quanto as classes de degradações podem ser determinados usando o método AHP.

O uso do AHP da forma sugerida neste estudo é recomendado para determinação dos pesos dos critérios de degradação de todas as barreiras dos demais cenários de risco da empresa e de outras situações semelhantes.

A topologia de comunicação entre os sistemas e as mudanças no processo de gestão de risco da empresa, oriundas da aplicação desta nova abordagem, podem ser demonstradas nos próximos estudos.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] BADREDDINE, A. E. A. "A New Multi-Objectives Approach to Implement Preventive and Protective Barriers in Bow Tie Diagram". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 32, p.238-253, (2014).
- [2] COSTA, H. G. "Introdução ao Método de Análise Hierárquica: Análise Multicritério no Auxílio À Decisão". Niterói,RJ. (2002).
- [3] DA COSTA, C.; BELDERRAIN, M. C. N. "Decisão em grupo em métodos multicritério de apoio à decisão". *Anais do 15º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA*, (2009).
- [4] KOKANGÜL, A.; POLAT, U.; DAĞSUYU, C. "A New Approximation for Risk Assessment Using the AHP and Fine Kinney Methodologies". *Safety Science*, v. 91, p. 24-32, (2017).
- [5] MABROUKI, C.; BENTALEB, F.; MOUSRIJ, A. "A Decision Support Methodology for Risk Management Within a Port Terminal". *Safety Science*, 63, p. 124-132, (2014).
- [6] FRASER, D. et al.; "Operational Risk: Stepping Beyond Bow-Ties". *Society of Petroleum Engineers*, (2015).
- [7] DENNEY, D. E. A.; "Real-World Application of the Bow-Tie Method". *Journal of Petroleum Technology*, v. 64, p. 91-94, (2012).
- [8] BOOK, G. "Lessons Learned from Real World Application of the Bow-tie Method". *SPE Middle East Health, Safety, Security, and Environment Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers, Jan (2012).
- [9] HAYDOCK, P.; "Bowtie Barriers-Adding Offense to Defensive Risk Reduction Models". *SPE International Conference and Exhibition on Health, Safety, Security, Environment, and Social Responsibility*. Society of Petroleum Engineers, (2018).
- [10] DE OLIVEIRA, V. H. M.; MARTINS, C. H.; "AHP: Ferramenta Multicritério Para Tomada De Decisão-Shopping Centers. ed. Appris, Curitiba, Brasil, (2015).
- [11] STOLL, J. . K. R. . S. J. . & L. G.; "Criticality Analysis of Spare Parts Management: A Multi-Criteria Classification Regarding a Cross-Plant Central Warehouse Strategy". *Production Engineering*, v. 9, n. 2, p. 225-235, (2015).
- [12] VIEIRA, G. H.; "Análise e Comparação Dos Métodos de Decisão Multicritério AHP Clássico e Multiplicativo". Trabalho De Conclusão De Curso (Graduação), ITA-Instituto Tecnológico de Aeronáutica, (2006).
- [13] SAATY, T. L.; "*The Analytic Hierarchy Process*". McGraw-Hill, New York, USA, (1980).
- [14] GRANDZOL, J. R.; "Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process". *Bloomsburg University of Pennsylvania. IR Applications*, v.6, (2005).
- [15] FORMAN, E.; PENIWATI, K.; "Aggregating Individual Judgments and Priorities With the Analytic Hierarchy Process". *European Journal Of Operational Research*, v.108, p. 165-169, (1988).
- [16] SAATY, T. L.; VARGAS, L. G.; "*Decision Making with the Analytic Network Process*". 2ª. ed. Science+Business Media, Pittsburgh , USA, v. 195, (2006).
- [17] SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, F. P. "Unidade 2—a pesquisa científica. Métodos de Pesquisa". *UFRGS*, Porto Alegre, p. 31-42, (2009).
- [18] MIGUEL, P. A. C. "Recomendações na Adoção de Estudo de Caso como Abordagem Metodológica". *XII Simpósio de Engenharia de Produção-SIMPEP*, (2005).