



(IMPACTO DAS CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO NAS FALHAS DE BOP: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA) Contribuições da Engenharia de Produção para a Gestão de Operações Energéticas Sustentáveis

Cibele Balieiro (UFF)
cibelebalieiro@id.uff.br

Iara Tammela (UFF)
iara.tammela@id.uff.br

Flávio Silva Machado (UFF)
flaviomachado@id.uff.br

Rodolfo Cardoso (UFF)
rodolfo_cardoso@id.uff.br

Mateus Carvalho Amaral (UFF)
mateus_amaral@id.uff.br

As falhas do Blowout Preventer (BOP) representam um risco potencial à vida dos operadores, aos ativos de sonda e ao meio ambiente, portanto, são fundamentais os esforços para a redução das falhas desses equipamentos. Este trabalho teve como foco a preocupação com a deterioração de componentes durante armazenamento, devido às condições adversas a que são submetidos. Uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi conduzida e recuperou estudos das bases Scopus, Science Direct, OnePetro e os realizados pelo SINTEF (Stiftelsen for Industriell og Teknisk Forskning), contendo dados coletados de 677 poços, ao longo de 39 anos. Uma meta-análise desses dados foi realizada e permitiu identificar que os preventores anulares e de gaveta, e seus sistemas de controle podem ser considerados os componentes vitais do sistema BOP, em termos de número de falhas. A síntese da literatura expôs a relevância dos cuidados com a preservação desses componentes para a redução dos efeitos de degradação e, consequentemente, redução dos riscos de falhas prematuras.

Palavras-chave: Revisão Sistemática da Literatura (RSL); Blowout Preventer (BOP); Degradação de Componentes; Condições de Armazenamento.

1 Introdução

Um *blowout* é um fenômeno no qual ocorre um vazamento descontrolado de fluidos do poço para o meio ambiente durante a exploração, perfuração e produção de campos de petróleo. Os principais fatores que causam o *blowout* são a alta pressão de formação, baixa densidade de lama, pouca altura de coluna de lama (ROBERTS; FLIN; CLELAND, 2015), ou seja, um *blowout* se desenvolve quando a pressão da formação e o peso equivalente da lama entram em desequilíbrio (TSUKADA; YAMAMOTO; MOROOKA, 2007). O *blowout preventer* (BOP) é um equipamento que possibilita o controle da pressão hidrostática, permitindo o fechamento do poço quando esse desequilíbrio ocorre (MARTINS et al., 2018). Dessa forma, o BOP configura uma importante barreira de controle, sendo essencial para se prevenir danos potenciais ao meio ambiente, às pessoas e às estruturas e equipamentos (CHUNG; KIM; YANG, 2016), uma vez que o *blowout* pode ocasionar acidentes de grande impacto.

O sistema BOP é formado por um conjunto de componentes empilhados e com funcionamento redundante, além dos sistemas de controle, que acionam e monitoram tais componentes (HAN et al., 2015). Fowler (1994) sugere que, ainda que haja redundância no sistema de funcionamento dos componentes, ambos os dispositivos de redundância são passíveis de falharem, cada um deles de modo singular, por estarem sujeitos às mesmas condições ambientais. Ao longo dos anos, diversos acidentes têm ocorrido devido às falhas de BOP (ASAD et al., 2018; ISMAIL et al., 2014).

Após o acidente de Macondo, houve um aumento nas exigências em termos de segurança operacional do BOP (RASSENFOSS, 2012), e as atenções foram voltadas aos processos de manutenção, com planos mais robustos e níveis de requisitos redefinidos por agências regulatórias (MARTINS et al., 2015; RASSENFOSS, 2016). Afinal, a falha de um BOP, pode significar a ocorrência de um *blowout* com graves consequências financeiras, ambientais e sociais.

Uma pesquisa exploratória prévia identificou diversos métodos utilizados na análise de falhas do BOP. No entanto, a maioria dos estudos aborda causas relacionadas a falhas de equipamentos; de procedimento (MUTLU et al., 2017); de comunicação e liderança (TAYAB et al., 2016) e de manutenção (LINDLEY, 2016). Ainda, a degradação de propriedades dos materiais durante seu armazenamento tem sido uma preocupação em outros segmentos industriais (LIU; LIU, 2018; ZHAO; XIE; ZHANG, 1995), portanto, questionou-se sobre a

importância de se explorar a relação entre condições de armazenamento e a deterioração de componentes do BOP, que pode ocasionar o mau funcionamento. Os componentes do BOP são constituídos de materiais metálicos e poliméricos, diretamente afetados pela ação do ambiente, devido à ação da umidade, temperatura e tensões mecânicas (CALLISTER, 2002), e, cuja degradação pode levar a falhas funcionamento. Assim sendo, a necessidade de se monitorar os efeitos das condições a que estão submetidos, durante seu armazenamento, é uma preocupação real também na indústria de petróleo e gás, e mais especificamente, no caso dos BOPs.

Esta pesquisa teve como objetivo identificar a influência das condições de armazenamento nas falhas de funcionamento do BOP. A fim de estudar essas relação, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) e alguns objetivos específicos foram delineados, como o levantamento do percentual de acidentes com BOP em sondas marítimas, para avaliação da relevância da pesquisa; a identificação de componentes do BOP com maior percentual de falha; a busca por estudos relacionados ao desgaste de componentes, de indústrias diversas, durante seu armazenamento; e a verificação de estudos sobre processos de degradação de metais e elastômeros na indústria de petróleo.

Este estudo limitou-se ao BOP de perfuração, uma vez que, historicamente, a maioria dos *blowouts* ocorre durante operações de perfuração (HOLAND, 1997). A RSL englobou estudos de 1979 a 2020. Quanto à localização geográfica, considerou-se a região de Macaé e Rio das Ostras, devido à concentração de empresas do setor de óleo e gás e às condições atmosféricas agressivas, com alta umidade relativa do ar, altas temperaturas, presença de chuvas e ventos (INEA, 2020), que catalisam os efeitos nocivos da corrosão atmosférica (GENTIL, 2011).

O estudo pretende trazer um alerta para a importância da atenção a outros processos dentro da indústria, além da fabricação e manutenção, despertando o interesse na melhoria das condições de armazenamento, com medidas eficazes de preservação. Medidas que visam ao aprimoramento da confiabilidade dos componentes armazenados, reduzindo o risco de falhas de BOP, com conseqüente redução dos eventos de acidentes e os danos que eles representam, tais como riscos aos operadores e ao meio ambiente, prejuízos financeiros e danos à imagem das empresas. Como colaboração acadêmica, a pesquisa pretende complementar os avanços e resultados de outras pesquisas referentes ao BOP, bem como deixar sua contribuição científica para trabalhos futuros, ao passo que procura suprir lacunas nessa área de conhecimento.

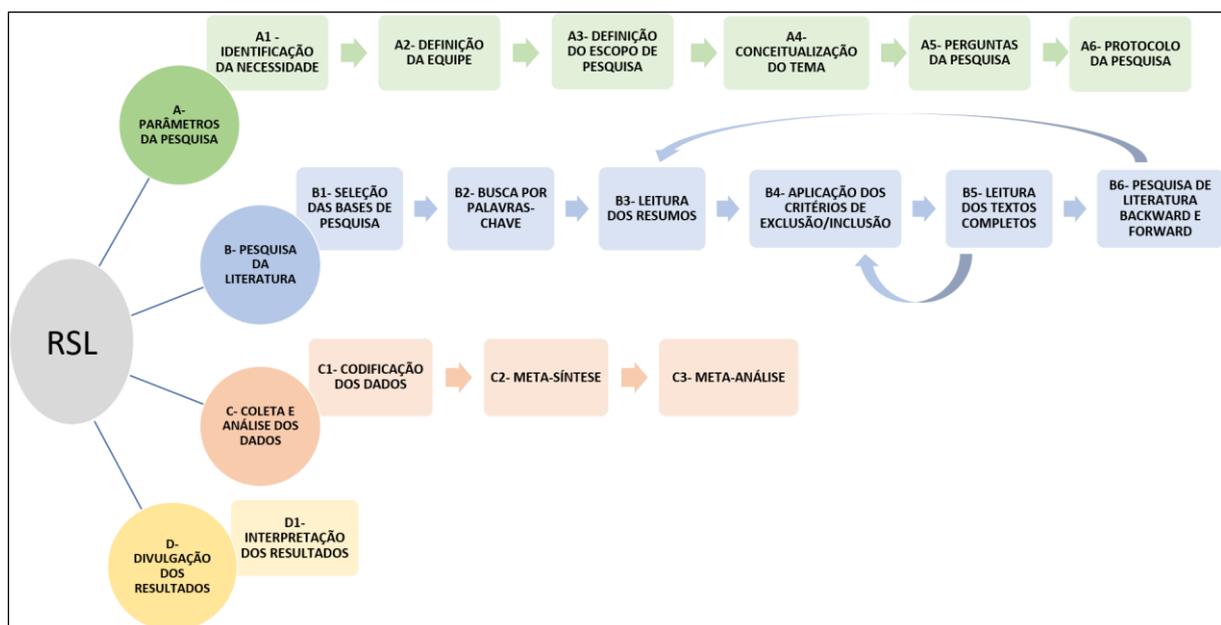
Após essa seção introdutória, são apresentados os procedimentos metodológicos para a condução da pesquisa. Em seguida, apresenta-se a descrição dos resultados da RSL e, por fim, as contribuições do trabalho são sintetizadas nas conclusões.

2 Método

Neste trabalho, foi conduzida uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que combinou abordagens de Cooper (2016); Denyer; Tranfield (2009) e Higgins; Green (2008), para a definição das etapas a serem executadas, conforme

Figura 1.

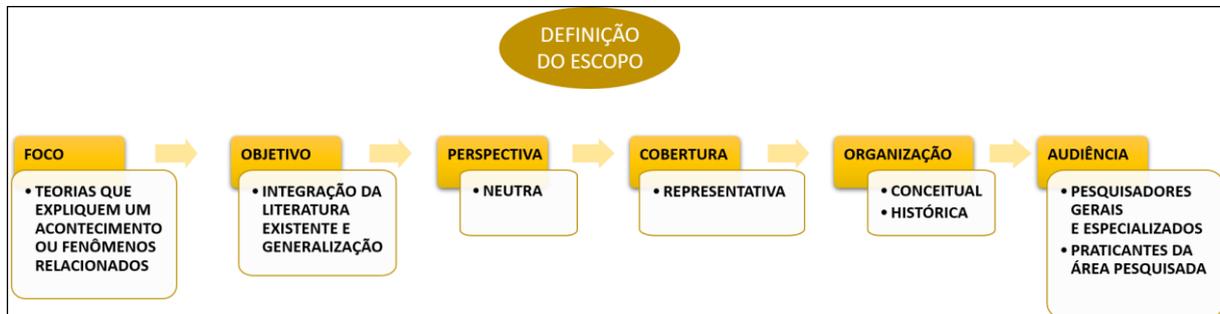
Figura 1 – Etapas e Sub-etapas da RSL Conduzida



Fonte: Autoria Própria

Na etapa A - 'Parâmetros da Pesquisa' - foi identificada a necessidade (A1), com planejamento e formulação do problema das falhas de BOP. A equipe de pesquisa foi definida (A2) com base nas características do estudo, selecionando-se profissionais de Logística e Engenharia de Materiais, e estabeleceu-se o escopo da pesquisa (A3) por meio da definição das 6 (seis) instâncias sugeridas por Cooper; Hedges; Valentine (2009): foco, objetivo, perspectiva, cobertura, organização e audiência, conforme Figura 2.

Figura 2 – Definição do Escopo da RSL Conduzida



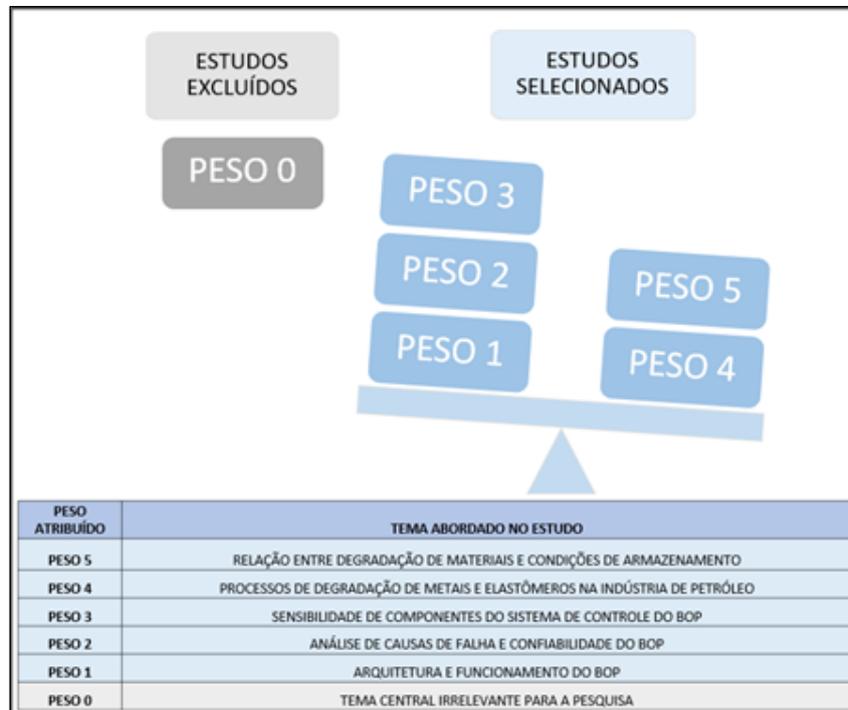
Fonte: Autoria Própria

A conceitualização do tema (A4) explorou características do problema formulado (TORRACO, 2005) e as perguntas da pesquisa (A5) serviram de base para o desenvolvimento do estudo, na medida em que direcionaram os objetivos do trabalho (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003), tendo sido declaradas como mostrado a seguir:

- P1- É possível delimitar o estudo das causas a um grupo de componentes que respondem pela maioria das falhas com BOPs?
- P2- Existem estudos sobre a degradação de materiais utilizados na indústria de petróleo?
- P3- A relação entre as condições de armazenamento e mau funcionamento de componentes tem sido explorada?

O protocolo da pesquisa (A6) definiu as estratégias de busca, critérios de codificação e parâmetros para guiar a exclusão de estudos (MOHER et al., 2015; WHITE, 2009). Estabeleceu-se, também, a atribuição de pesos aos estudos recuperados, que auxiliaram no processo de decisão de exclusão de artigos. Os pesos foram definidos, utilizando-se como base as perguntas da pesquisa. A relação entre a temática dos estudos recuperados e os pesos atribuídos é mostrada na Figura 3.

Figura 3 – Pesos atribuídos por Tema Central dos Estudos



Fonte: Autoria Própria.

A etapa B – 'Pesquisa da Literatura' – seguiu um procedimento documentado a fim de garantir o rigor necessário e característico da RSL (COOPER, 2016). Inicialmente, foram escolhidas 2 (duas) bases de pesquisa (B1), – ScienceDirect e Scopus – nas quais foram realizados 4 (quatro) ciclos de buscas por palavras-chave (B2), definidas com base nas perguntas da pesquisa. A fim de aumentar a abrangência, foram estabelecidos novos termos buscadores e realizados outros 3 (três) ciclos de buscas, dessa vez executados apenas na base Scopus.

Foram utilizados recursos de refinamento para expurgar os artigos de outras áreas e, como a quantidade de estudos de outras áreas retornados foi significativa, um novo ciclo de buscas foi realizado, utilizando-se uma base direcionada à área de Petróleo e Gás: a Onepetro. Foram então realizados os 7 (sete) ciclos originalmente executados nas outras bases, e acrescentado 1 (um) ciclo a mais.

As buscas entre foram efetuadas entre novembro de 2018 e julho de 2019, para compor essa primeira base de dados. No entanto, após pesquisa *backward/forward* foram recuperados alguns estudos publicados após esta data.

A Figura 4 mostra as palavras-chave utilizadas e os respectivos estudos retornados, para cada

base de pesquisa visitada.

Figura 4 – Palavras-chave Utilizadas e Estudos Recuperados em Cada Base de Pesquisa

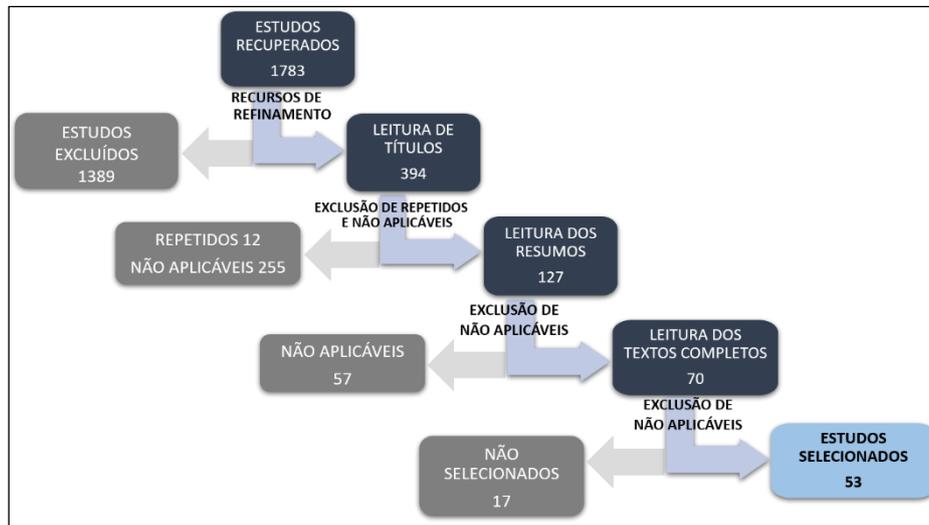
BUSCA	PALAVRAS-CHAVE	RECUPERADOS			LEITURA DOS TÍTULOS			LEITURA DOS RESUMOS			LEITURA DOS TEXTOS COMPLETOS			SELECIONADOS			
		ONP	SCO	SCD	ONP	SCO	SCD	ONP	SCO	SCD	ONP	SCO	SCD	ONP	SCO	SCD	
1	<i>blowout preventer AND failure causes</i>	87	119	1257	84	43	74	16	17	14	8	13	5	6	11	4	
2	<i>"blowout preventer failures"</i>	10	8	5	10	7	3	3	7	3	3	2	2	2	0	1	
3	<i>preservation plan AND BOP failures</i>	10	6	121	10	2	28	4	0	5	3	0	3	3	0	2	
4	<i>storage conditions AND "corrosion failures" AND "oil and gas industry"</i>	4	24	48	4	12	47	1	8	7	1	2	5	1	0	5	
5	<i>preservation plan AND materials failures and oil AND gas industry</i>	1	22	-	1	11	-	0	6	-	0	1	-	0	0	-	
6	<i>storage conditions AND BOP corrosion failures</i>	12	11	-	12	8	-	2	6	-	2	1	-	2	0	-	
7	<i>influence components degradation on Blowout preventers failures</i>	3	13	-	3	13	-	1	9	-	1	2	-	1	1	-	
8	<i>"BOP failures"</i>	22	-	-	22	-	-	18	-	-	16	-	-	14	-	-	
TOTAL DE ESTUDOS RECUPERADOS		149	203	1431													1783
LEITURA DE TÍTULOS					146	96	152										394
LEITURA DE RESUMOS								45	53	29							127
LEITURA DOS TEXTOS COMPLETOS											34	21	15				70
TOTAL DE ESTUDOS SELECIONADOS														29	12	12	53

Fonte: Autoria Própria

Após recuperação dos estudos, foi realizada a leitura dos resumos (B3) e leitura dos textos completos (B5), sempre seguidos de aplicação dos critérios de exclusão (B4), para avaliação da adequação ao tema pesquisado (NEUENDORF; SHALSKI; CAJIGAS, 2017). A quantidade de estudos recuperada está indicada na

Figura 5.

Figura 5 – Trilha desde os Estudos Recuperados até os Estudos Seleccionados na RSL

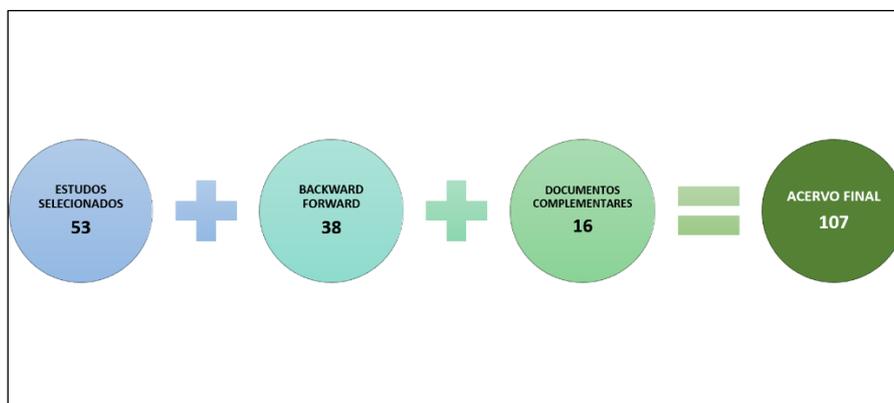


Fonte: Autoria Própria

Um total de 1.783 estudos foi recuperado, considerando todos os ciclos de busca nas três bases. Após refinamento por área de estudo, foram excluídos 1.389 estudos. Foi realizada a leitura dos 394 títulos, dos quais retiraram-se 12 repetições e mais 255 estudos não aplicáveis. A leitura dos resumos envolveu 127 estudos e a partir dessa etapa os critérios de exclusão auxiliaram na seleção das pesquisas que viriam a compor o trabalho. Conforme estabelecido na fase de protocolo da pesquisa, os critérios de peso foram utilizados para auxiliar na exclusão de estudos. Todos que tiveram pesos diferentes de 0 (zero) atribuídos, foram levados ao próximo nível da revisão bibliográfica. Foram lidos 70 textos completos e selecionados 53 deles. Estudos com assuntos bastante específicos foram recuperados e esse foi o principal motivo de exclusão na fase de leitura dos resumos e, também, na fase de leitura dos textos completos.

Finalizando a etapa de ‘Pesquisa da Literatura’, foi realizada a pesquisa *backward/forward* (B6), que configura a pesquisa dos artigos que citam os estudos recuperados na busca e dos que são citados por eles (GREENHALGH; PEACOCK, 2005; THOMÉ; SCAVARDA; SCAVARDA, 2016). Foram selecionados 38 estudos na pesquisa *backward/forward*. Além dos estudos selecionados retornados nas bases Scopus, OnePetro e ScienceDirect e daqueles recuperados na pesquisa *backward/forward*, foram considerados também documentos complementares como dissertações e teses, manuais e relatórios técnicos, pertinentes à pesquisa. O quantitativo total de estudos que compuseram o acervo final é indicado na Figura 6.

Figura 6 – Composição do acervo final da RSL conduzida



Fonte: Autoria Própria

A etapa C – Coleta e Análise de Dados – englobou a codificação dos dados (C1), utilizada para facilitar a interpretação dos resultados. A tomada de dados, após leitura dos estudos, compôs uma tabela com as principais informações como: ano e país de publicação, título, nome da revista e quantidade de citações. Cada estudo recebeu também um peso referente à adequação dos temas abordados às perguntas da pesquisa, conforme estabelecido no protocolo da RSL. A Figura 7 apresenta a distribuição dos estudos ao longo dos anos, mostrando que a maioria dos estudos recuperados foram publicados na última década, em consonância com a preocupação que envolveu a indústria de petróleo após o acidente ocorrido em Macondo, em 2010.

Figura 7 – Distribuição dos Estudos ao Longo do Tempo

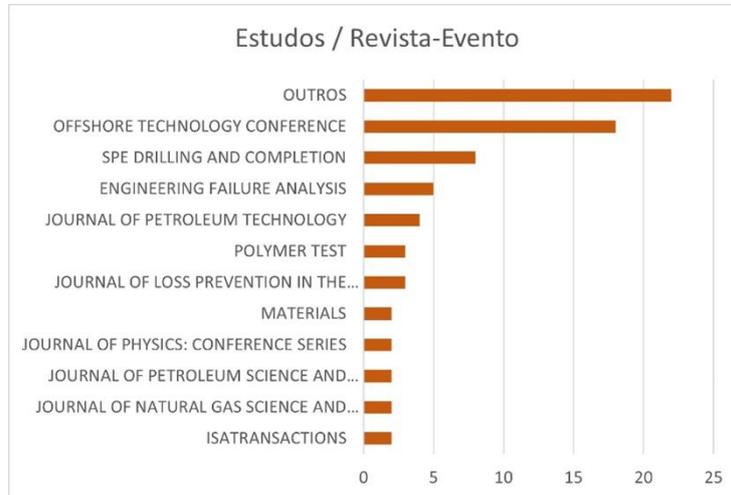


Fonte: Autoria Própria

A Figura 8 mostra a quantidade de estudos publicados em cada revista ou evento, com a *Offshore Technology Conference* responsável por 25% da publicação de estudos considerados na RSL, enquanto a soma das revistas com apenas um estudo selecionado na RSL representa

30%.

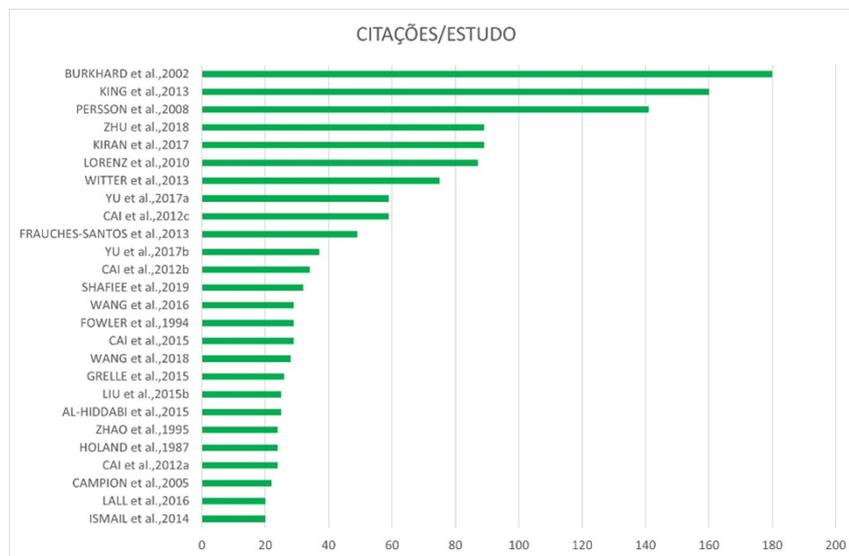
Figura 8 – Quantidade de Estudos por Revista ou Evento



Fonte: Autoria Própria

A Figura 9 apresenta o quantitativo de citações por estudo recuperado. Burkhard et al, 2002 é o autor mais citado, acumulando 180 citações para o seu estudo “*Disk Array Storage System Reliability*”.

Figura 9 – Citações por Estudo Recuperado



Fonte: Autoria Própria

A síntese da literatura (C2) pode ser definida como a compilação de conjuntos específicos em que os elementos de cada grupo possuem características semelhantes entre si, com o objetivo

principal de agrupar características, ideias e descobertas (WHITE, 2009). Para a RSL conduzida neste trabalho, optou-se pelo termo ‘meta-síntese’, definida por Finfgeld (2003) como integração de conclusões qualitativas para generalização e interpretação dos resultados. Uma vez que, uma análise de dados robusta envolve tanto abordagens qualitativas quanto análise quantitativa (SEURING et al., 2012), também foi realizada uma meta-análise (C3), que utilizou procedimentos quantitativos a fim de combinar estatisticamente resultados de estudos (WHITE, 2009).

3 Resultados

A etapa seguinte é a de Divulgação dos Resultados (D), responsável por apresentar os resultados da meta-síntese e meta-análise conduzidas, bem como as conclusões gerais da RSL.

3.1 Meta-síntese

Os estudos recuperados foram contabilizados apenas uma vez, considerando-se o tema central abordado. Os temas centrais foram definidos a partir do interesse da pesquisa, de acordo com a necessidade de aprofundamento do conhecimento dos assuntos e com base nas perguntas da pesquisa. Logo, os temas: ‘Sensibilidade de componentes do sistema de controle do BOP’ (peso 3); ‘Processos de degradação de metais e elastômeros’ (peso 4); ‘Relação entre degradação de materiais e condições de armazenamento’ (peso 5), basearam-se na necessidade de resposta às perguntas da pesquisa P1, P2 e P3, respectivamente. Enquanto os temas ‘Arquitetura e funcionamento do BOP’ (peso 1) e ‘Análise de causas de falha e confiabilidade do BOP’ (peso 2), foram importantes no suporte ao conhecimento do equipamento e materiais que o compõem, bem como nos estudos de análise de falha comumente utilizados.

Foram retornados 37 estudos a respeito de análises de falha de BOP, no entanto, nenhum deles abordando a relação entre condições de armazenamento e causas de falha de componentes de BOP. Apesar disso, 11 estudos recuperados, indicam a relação entre desgaste prematuro de componentes durante armazenamento em diversas indústrias. Adicionalmente, outros 21 estudos, abordam processos de degradação de materiais metálicos e elastoméricos na indústria do petróleo. Aprofundam-se na explicação do funcionamento do BOP, 19 estudos e outros 19 abordam questões relativas ao sistema de controle. A quantidade de estudos recuperados para cada tema central considerado é apresentada na Figura 10.

Figura 10 – Quantidade de Estudos por Tema



Fonte: Autoria Própria

A Figura 11 cita as principais contribuições, agrupadas por tema, e os respectivos estudos de onde foram extraídas as citações.

Figura 11 – Principais Contribuições Recuperadas na RSL

MUTLU et al., 2017 RASSENFOSS, 2016	<ul style="list-style-type: none"> As principais funções do BOP são o cisalhamento da coluna de perfuração e vedação do poço; Os sistemas redundantes do BOP e suas funções de emergência objetivam o aumento da segurança para o processo, o meio ambiente e as pessoas.
LI; TANG; HE, 2019 ASAD et al., 2018a CAI et al., 2015	<ul style="list-style-type: none"> A retirada do BOP e sua reinstalação demandam de tempo, por isso as falhas relacionadas a BOP são responsáveis pela maior parte do tempo não operacional em sonda; O estudo dos mecanismos de falha é importante para se identificar parâmetros ambientais e operacionais que possam interferir na vida útil dos materiais empregados no BOP.
CAI et al., 2013; SHANKS et al., 2003; WASSAR et al., 2018; HOLAND, 2019; TURNER; LOUSTAU, 2015	<ul style="list-style-type: none"> Influência dos vazamentos no funcionamento dos sistema de controle, resultando em perda de pressão hidráulica e capacidade de atuação do BOP; Parcela significativa de interferência do sistema de controle na disponibilidade e confiabilidade do BOP.
SALEHI et al., 2019 LUXIN, 2016 PATEL et al., 2019 MOHD; PAIK, 2013	<ul style="list-style-type: none"> Maioria das falhas de preventores anulares relacionadas a falhas de vedação; Grande parcela das falhas de barreiras secundárias de poço são devidas a elastômeros; Elastômeros expostos a ambientes corrosivos sofrem degradação física e química, que comprometem sua integridade; Processos corrosivos de metais sujeitos a condições adversas reduzem seu ciclo de vida, levando à falha prematura dos equipamentos.
BURKHARD; MENON, 2002; ZHAO; XIE; ZHANG, 1995; YU et al., 2017a; ZHU et al., 2018; HONG et al., 2012; SINGH et al., 2009	<ul style="list-style-type: none"> Tensões de trabalho não são as únicas a afetarem os materiais, uma vez que o desempenho dos produtos muda durante seu estado de estagnação; O armazenamento impróprio, ou preservação pobre, pode acelerar mecanismos de falha como oxidação, envelhecimento, falhas de vedação, reduzindo, assim a confiabilidade dos equipamentos armazenados; A deterioração precoce, torna o equipamento inadequado ao uso, portanto é fundamental monitorar processos corrosivos desde seu armazenamento.

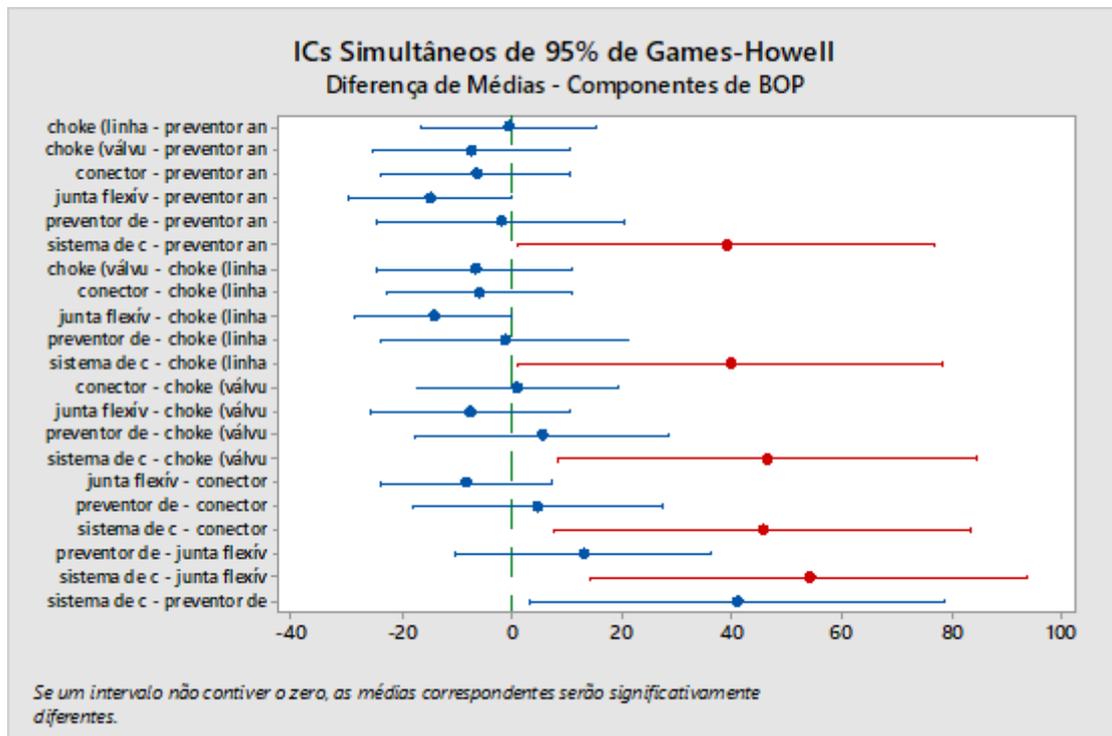
Fonte: Autoria Própria

3.2 Meta-análise

A meta-análise focou nos dados quantitativos recuperados na RSL realizada, objetivando a consolidação e avaliação de dados coletados de estudos distintos (HOLAND, 1991, 2019; HOLAND; AWAN, 2012; HOLAND; RAUSAND, 1987, 2001), referentes a 677 poços no Golfo do México e Noruega, estudados entre 1979 e 2018. O *software* utilizado foi o Minitab 17, adotando-se intervalo de confiança de 95% para todas as análises. Para a comparação das médias do número de falhas dos componentes do BOP, foi aplicada a análise de variância (ANOVA), indicada para variáveis quantitativas, com distribuição normal, de amostras não pareadas, onde concluiu-se que as médias são significativamente diferentes. O Método de Games-Howell foi utilizado, devido à desigualdade de variâncias, para a comparação par a par entre as médias (RYAN; JOINER; CRYER, 2012), conforme indicado na

Figura 12.

Figura 12 – Comparação entre Pares de Médias do Número de Falhas dos Componentes de BOP



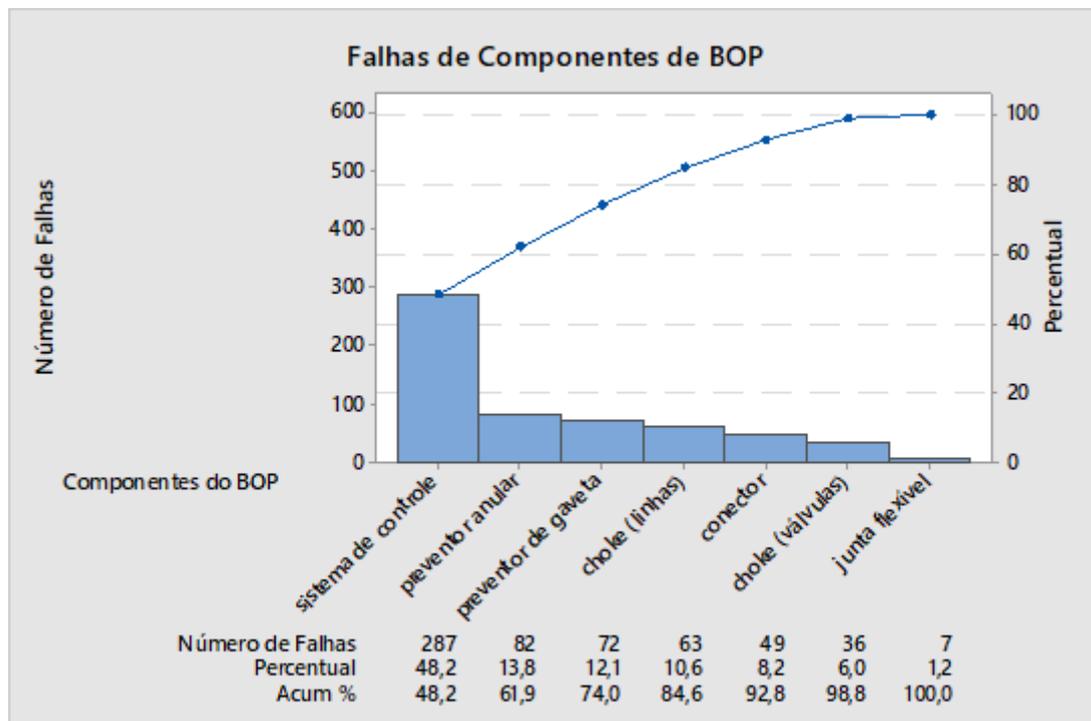
Fonte: Autoria Própria. Elaborado a partir do Minitab 17.

Estão sinalizados em vermelho os intervalos que não contêm zero. Em todos eles o componente comum é o sistema de controle, revelando, portanto, que os sistemas de controle apresentam

maior média de número de falhas.

Foi construído o Diagrama de Pareto, mostrado na Figura 13, e os resultados sugerem que uma análise das causas de falha do sistema de controle, preventor anular e preventor de gaveta, responsáveis pelas principais funções do sistema – sua capacidade cisalhante e de vedação do poço (RASSENFOSS, 2016) – respondem, juntos, por 74,0% das falhas totais.

Figura 13 – Diagrama de Pareto das Falhas de Componentes do BOP



Fonte: Autoria Própria. Elaborado a partir do Minitab 17.

Ainda que a RSL não tenha recuperado quantidade significativa de estudos a respeito do estudo de confiabilidade de armazenamento de materiais da Indústria do Petróleo, estudos envolvendo materiais de outras indústrias foram localizados. Quanto maior o tempo de armazenamento de um produto, menor a confiabilidade quando da sua reutilização, e, após um certo tempo em estoque, quando a confiabilidade baixa até determinado limite, existe a necessidade de reparo e manutenção, a fim de que o equipamento funcione adequadamente quando for reutilizado (ZHAO; XIE; ZHANG, 1995). Hong et al. (2012) citam diversos experimentos realizados durante armazenamento de mísseis, com alteração de variáveis como temperatura, umidade relativa e tempo de estoque, obtendo resultados desde a explosão de mísseis até a mudança

pouco significativa de propriedades mecânicas.

Liu (2018) afirma que o estudo de confiabilidade de armazenamento é bastante significativo e que existem diversos métodos para sua avaliação, a despeito da dificuldade de se construir modelos de degradação de desempenho para os equipamentos, sendo útil no planejamento de ambientes e tempo máximo de armazenamento, com influência no ciclo de vida dos materiais (ZHAO; XIE; ZHANG, 1995). Portanto, a meta-síntese agrupou observações importantes que vão ao encontro das investigações desta pesquisa, uma vez que ratifica a relevância da contribuição das condições de armazenamento na deterioração de materiais, que podem afetar o funcionamento dos componentes, acarretando a falha do próprio sistema BOP.

4 Conclusões

A pesquisa objetivou identificar o impacto das condições de armazenamento nas falhas de BOP. As perguntas da pesquisa auxiliaram na condução do estudo, guiando os pesquisadores na atribuição de pesos por aproximação aos temas pesquisados. A RSL conduzida demonstrou convergência com as hipóteses suscitadas à medida que respondeu às perguntas formuladas:

- P1- As falhas do sistema de controle principal apresentam a maior média em relação a todos os demais componentes, e, ainda, foi verificado que somadas às falhas dos preventores anulares e de gaveta, constituem 74,0% das causas que levaram a falhas de BOPs de 677 poços monitorados ao longo de 39 anos;
- P2- A RSL recuperou 21 estudos que abordam a degradação de metais e elastômeros utilizados na indústria de petróleo;
- P3- Não foram retornados estudos relacionados à influência de condições de armazenamento nas falhas dos componentes do BOP, entretanto, houve retorno de quantidade expressiva de pesquisas a respeito de confiabilidade de armazenamento e considerações quanto à deterioração de componentes em estado de estagnação, os quais sugerem a relevância de aprofundamento no tema.

Portanto, embora essa relação entre condições de armazenamento e falhas de componentes de BOP ainda não tenha sido amplamente explorada, a aplicação de materiais metálicos e elastoméricos nestes componentes, as condições climatológicas do ambiente considerado no estudo, e a identificação de históricos de degradação das propriedades desses materiais durante armazenamento, indicam tanto uma lacuna em pesquisas nessa área, quanto a necessidade do

cuidado com a preservação dos componentes de BOP.

4.1 Desdobramentos da Pesquisa e Pesquisas Futuras

Partindo dos resultados alcançados com a RSL, pretende-se elaborar e propor um plano de armazenamento para os preventores anulares e de gaveta do BOP e seus sistemas de controle, a fim de otimizar seu ciclo de vida útil e minimizar riscos de falhas prematuras.

Referências

ASAD, M. M. et al. Indication of Decision Making through Accident Prevention Resources among Drilling Crew at Oil and Gas Industries: A Quantitative Survey. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1049, n. 1, 2018.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5a. ed. [s.l.] LTC, 2002.

CHUNG, S.; KIM, S.; YANG, Y. Use of hazardous event frequency to evaluate safety integrity level of subsea blowout preventer. **International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering**, v. 8, n. 3, p. 262–276, 2016.

COOPER, H. M. **Research synthesis and meta-analysis_ a step-by-step approach**. 5th. ed. Thousand Oaks, Califórnia: Sage, 2016.

COOPER, H. M.; HEDGES, L. V.; VALENTINE, J. C. **Handbook of research synthesis and meta-analysis 2nd edition**. 2nd. ed. New York: [s.n.].

DENYER, D.; TRANFIELD, D. Producing a Systematic Review. In: D. BUCHANAN AND A. BRYMAN (Ed.). **The Sage Handbook of Organizational Research Methods**. Los Angeles: SAGE Publications Ltd, 2009. p. 671–689.

FINFELD, D. L. Metasynthesis: The state of the art - so far. **Qualitative Health Research**, v. 13, n. 7, p. 893–904, 2003.

FOWLER, J. H.; ROCHE, J. R. System Safety Analysis of Well-Control Equipment. **SPE Drilling & Completion**, p. 193–198, 1994.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6a. ed. [s.l.] LTC, 2011.

GREENHALGH, T.; PEACOCK, R. Information in practice reviews of complex evidence : audit of primary sources. v. 331, n. NOVEMBER, p. 1064–1065, 2005.

HAN, C. et al. Study of the damage and failure of the shear ram of the blowout preventer in the shearing process. **Engineering Failure Analysis**, v. 58, p. 83–95, 2015.

HIGGINS, J.; GREEN, S. **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions**. [s.l.] Wiley-

Blackwell, 2008.

HOLAND, P. Subsea Blowout-Preventer Systems: Reliability and Testing. **SPE Drilling Engineering**, n. December, p. 293–298, 1991.

HOLAND, P. **Offshore blowouts: causes and control**. [s.l.] Norwegian Institute of Technology, 1997.

HOLAND, P. **Subsea BOP Reliability , Testing , and Well Kicks**. Trondheim, Norway: [s.n.].

HOLAND, P.; AWAN, H. **Reliability of Deepwater Subsea BOP Systems And Well Kicks - Report ES 201252**. [s.l: s.n.].

HOLAND, P.; RAUSAND, M. Reliability of Subsea BOP Systems. v. 19, n. June, p. 263–275, 1987.

HOLAND, P.; RAUSAND, M. **Reliability Of Deepwater Subsea Blowout Preventers**. Trondheim: [s.n.].

HONG, W. et al. Overview of storage reliability for high reliability products. **IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)**, n. July, p. 682–687, 2012.

INEA. **Relatório Anual de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro - ano base 2018**. [s.l: s.n.].

ISMAIL, Z. et al. Evaluating accidents in the offshore drilling of petroleum: Regional picture and reducing impact. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 51, n. 1, p. 18–33, 2014.

LINDLEY, R. **Blowout Preventer Control System Reliability**. [s.l: s.n.].

LIU, Z.; LIU, X. Storage reliability assessment for the stored equipment under periodical inspection. **Advances in Mechanical Engineering**, v. 10, n. 6, p. 1–7, 2018.

MARTINS, F. B. et al. Improving BOP reliability...-paper-. **Offshore Technology Conference Brasil**, n. October, p. 27–29, 2015.

MARTINS, F. B. et al. Applying CBM and PHM concepts with reliability approach for Blowout Preventer (BOP): a literature review. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 15, n. 1, p. 78–95, 2018.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. p. 1–9, 2015.

MUTLU, M. et al. Qualitative Fault Tree Analysis of Blowout Preventer Control System for Real Time Availability Monitoring. **Offshore Technology Conference**, p. 1–11, 2017.

NEUENDORF, K. A.; SHALSKI, P. D.; CAJIGAS, J. A. **Content Analysis in the Interactive Media Age**. [s.l: s.n.].

RASSENFOSS, S. BOPs Become the Focus of Data-Driven Scrutiny. **Journal of Petroleum Technology**, v. 68, p. 34–39, 2016.

RASSENFOSS, S. (JPT E. T. E. The Keywords For Blowout Preventers Are Trust But Verify. **JPT – Journal of Petroleum Technology**, n. August, p. 40–48, 2012.

- ROBERTS, R.; FLIN, R.; CLELAND, J. “Everything was fine”*: An analysis of the drill crew’s situation awareness on Deepwater Horizon. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 38, p. 87–100, 2015.
- RYAN, B.; JOINER, B.; CRYER, J. **Minitab Handbook**. 6th. ed. [s.l.] Brooks/Cole CENGAGE Learning, 2012.
- SEURING, S. et al. Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management. 2012.
- TAYAB, M. R. et al. Assessment & Strengthening of Well Control Barriers to Prevent Well Blowout. **Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference**, p. 1–9, 2016.
- THOMÉ, A. M. T.; SCAVARDA, L. F.; SCAVARDA, A. J. Conducting systematic literature review in operations management. **Production Planning and Control**, v. 27, n. 5, p. 408–420, 2016.
- TORRACO, R. J. Writing Integrative Literature Reviews : Guidelines and Examples. v. 4, n. 3, p. 356–367, 2005.
- TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003.
- WHITE, H. D. Scientific Communication and Literature Retrieval. In: COOPER, HARRIS M., HEDGES, LARRY V., VALENTINE, J. C. (Ed.). . **Handbook of Research Synthesis and Meta-Analysis**. 2nd. ed. New York: Russell Sage Foundation, 2009. p. 51–71.
- ZHAO, M.; XIE, M.; ZHANG, Y. T. A study of a storage reliability estimation problem. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 11, n. 2, p. 123–127, 1995.