



APLICAÇÃO DA COMPOSIÇÃO PROBABILÍSTICA DE PREFERÊNCIA NA PRIORIZAÇÃO DE CENÁRIOS CRÍTICOS DE RISCOS

Área temática: Gestão de Riscos e Crises

Andrew de Jesus Freitas Silva

andrewjfsilva@gmail.com

Annibal Parracho Sant'Anna

annibal.parracho@gmail.com

Gilson Brito Alves Lima

glima@id.uff.br

Caroline Machado Silva

carolinesilva@id.uff.br

Resumo: O presente artigo tem como objetivo aplicar a Composição Probabilística de Preferência (CPP) e método derivado, CPP-TRI, à prática de avaliação de riscos do caso reportado em Letta (2014). Aliados aos Padrões Probabilísticos de Riscos (PPR) e fazendo uso do survey com base nos índices de severidade, ocorrência e detecção para cada cenário de risco estudado, tais ferramentas possibilitaram a priorização de eventos com alto potencial de danos daqueles de menor risco.

Palavras-chaves: Classificação, Composição Probabilística de Preferência, CPP-TRI

1. INTRODUÇÃO

Contextualização da situação problema

Utilizados amplamente na construção civil e na exploração de recursos naturais, a fabricação, o manuseio e armazenamento de artefatos explosivos solicitam extrema cautela. Também na indústria química, segundo Lees (1996), as explosões são responsáveis pelas perdas mais sérias, sendo que cerca de 75% das explosões envolvem combustão de materiais ou artefatos explosivos.

Embora nos aspectos do impacto sobre a integridade física das pessoas, ao meio ambiente e a imagem da instituição a ocorrência de acidentes graves com artefatos explosivos não seja frequente, suas consequências são catastróficas, ensejando a necessidade de profundo estudo e consideração.

Neste sentido, tornam-se imprescindíveis o desenvolvimento de estudos que avaliem os riscos em instalações especiais, como instrumentos auxiliares na identificação dos cenários críticos e que permitam a proposição de ações preventivas e de promoção da redução da frequência e da severidade dos riscos de acidentes em instalações e equipamentos que contém artefatos explosivos.

Na gestão da produção devem, sempre que possível, ser priorizadas as principais não conformidades a serem otimizadas. Na maioria dos casos as organizações não dispõem de recursos para solucionar, de forma sistêmica, as não conformidades envolvidas no processo, se fazendo prioritária a utilização de ferramentas e métodos para suporte a decisão e obtenção do resultado esperado.

Palady (2011) descreve o FMEA como uma ferramenta qualitativa para prognóstico de problemas e identificação das soluções mais eficazes.

O FMEA trabalha com dados qualitativos buscando uma análise quantitativa a partir da aplicação do conceito de *Risk Priority Number* (sigla, na língua inglesa, RPN) ou Número de Priorização de Risco (NPR) definido a partir do produto dos fatores ocorrência (O), severidade (S) e detecção (D). Segundo Liu *et al.* (2013) esses valores devem ser coletados para cada modo de falha e sua priorização é obtida pelo NPR.

Os modos de falha que apresentarem um maior valor de NPR representam maior risco ao sistema e, portanto, devem ser objeto de estudo mais aprofundado, tornando tal ferramenta adequada para a realização do estudo proposto no presente artigo.

Todavia, existem deficiências na utilização desta ferramenta, dentre as quais: o fato de não se considerar a importância relativa entre os fatores S, O e D para o cálculo do NPR; distintas combinações de S, O e D, que podem gerar NPR iguais, porém com implicações de riscos diferentes; a existência na dificuldade de avaliar os três fatores de risco com precisão; e o fato dos valores de RPN não serem contínuos, apresentando lacunas (LIU *et al.*, 2013; PALADY, 2011).

Uma primeira proposta para lidar com essas deficiências é desenvolvida por Sant'Anna (2012) empregando a Composição Probabilística de Preferência – CPP (Sant'Anna, 2002) para determinar o risco de cada evento pela probabilidade de prioridade de risco (PPR) em substituição da multiplicação direta dos índices do NPR atribuídos. Mediante uma transformação probabilística, para os valores de severidade, ocorrência e detecção são calculados vetores de probabilidade de preferência para distribuições de probabilidades, em seguida, efetuando-se o cálculo da prioridade global.

Em uma derivação da versão inicial da CPP, Sant'Anna, Costa e Pereira (2012) propõem a CPP-Tri, que atribui uma classificação aos modos de falha a partir do estudo da probabilidade de cada alternativa ter uma avaliação acima ou abaixo dos perfis de cada classe, gerando uma classificação ordenada final.

O presente artigo apresenta uma primeira análise comparativa da aplicação do método CPP nas versões clássica e derivada, a partir dos valores atribuídos aos índices severidade, ocorrência e detecção, obtidos por Letta (2014). Não é objeto deste artigo a apresentação do algoritmo ou cálculos realizados, mas sim a aplicação na prática dos métodos, porque seus procedimentos de cálculo já foram detalhados nos artigos referenciados.

Desta forma, o artigo é dividido em quatro partes: a primeira detalha o método de CPP e alguns outros métodos derivados do mesmo; na parte seguinte é apresentada a metodologia empregada; a terceira parte evolui no contexto de apresentar sistematicamente os resultados dos dados trabalhados na CPP (Clássico e na versão da CPP-Tri); e a última parte sintetiza o conhecimento gerado comparando os resultados gerados por cada um dos métodos.

Abordagem Metodológica

A aplicação do método está ilustrada na Figura 1:

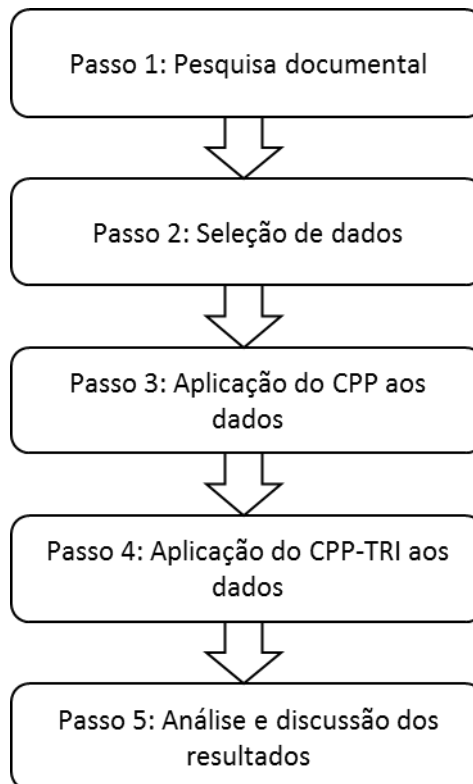


Figura 1 - Processo metodológico aplicado

O passo 1 apresentado na Figura 1 consistiu na realização de uma pesquisa, para embasamento teórico sobre o método CPP e suas variações.

O passo seguinte envolveu a seleção de dados para trabalhar os conceitos de CPP estudados. Os dados escolhidos foram adaptados de Letta (2014) que consistiu em aplicação de um *survey* que trabalham diretamente com EED. A coleta desenvolvida por Letta (2014) foi realizada da seguinte forma:

- Instrumento de pesquisa: a pesquisa foi desenvolvida através do envio de questionários, via correio eletrônico, com perguntas fechadas, tendo como objetivo realizar uma análise de riscos do dispositivo em estudo.
- Amostra: foram coletados questionários de 30 especialistas. Deste universo de avaliadores, 20 deles possuem mais de 15 anos de tempo de experiência com o EED, além de formação técnica e especializações nas áreas discutidas.
- Período e processo de aplicação: A pesquisa foi realizada durante o período de 5 meses, através de rodadas sequenciadas buscando o aprofundamento do nível de conhecimento do processo.
- Ferramentas de análise: O conhecimento obtido foi sintetizado com o uso de *softwares* como o *MS Excel* e o *MS Word* e analisado a partir de gráficos e tabelas, melhor apresentados na análise e discussão de resultados.

O passo 3 aplicou-se o método da Composição Probabilística de Preferência aos dados para obter uma primeira classificação dos dados.

No passo 4 para fim de modelagem e aplicação do método CPP-Tri, foram inseridos os dados de pesquisa no Aplicativo CPP V₁ desenvolvido em Silva, Simões Filho, Sant'Anna e Lima (2015) para obter uma segunda classificação.

A última etapa consistiu em efetuar a comparação dos resultados gerados.

A Composição Probabilística de Preferência

A composição probabilística de preferências (CPP), proposta por Sant'Anna (2002), é um método de ordenação de diferentes opções avaliadas segundo múltiplos critérios. A principal característica da CPP é levar em conta as imprecisões existentes nas avaliações segundo cada critério.

O primeiro passo da aplicação da CPP é a transformação das avaliações em probabilidades de preferência. Do conjunto das avaliações segundo cada critério deriva-se um vetor de probabilidades de cada opção ser a preferida segundo esse critério (SANT'ANNA, 2012). Conforme Sant'Anna (2014), esse vetor de probabilidades é escolhido por meio da comparação da avaliação de cada opção com a de cada uma das outras disponíveis.

A avaliação inicial, que pode ser qualitativa, por exemplo com uso de uma escala de *Likert*, ou quantitativa, no caso de o critério basear-se diretamente na medida numérica de algum atributo. Essa avaliação inicial é tratada como uma estimativa de um parâmetro de posição de uma variável aleatória. A distribuição de probabilidades dessa variável aleatória é determinada com o emprego de outras informações disponíveis. Um modelo simples para essa distribuição é obtido recorrendo à distribuição triangular. Neste caso, a avaliação inicial fornece a moda e a modelagem é completada com informação sobre o valor extremo inferior e o valor extremo superior.

Com a distribuição triangular se consegue levar em conta a assimetria nas perturbações aleatórias que ocorre quando há tendência a compensar avaliações baixas com perturbações positivas e avaliações altas com perturbações negativas. Outra abordagem, mais de acordo com a modelagem estatística clássica, envolve a utilização da distribuição normal. Neste caso assumimos perturbações simétricas (SANT'ANNA, 2014).

Uma vez associada a cada opção segundo cada critério uma distribuição de probabilidades, assumindo independentes as perturbações que afetam diferentes opções, calcula-se a probabilidade de cada uma apresentar avaliação superior à de todas as outras. O conjunto dessas probabilidades de apresentar a maior avaliação define um vetor de avaliações para cada critério.

Depois de obter as avaliações probabilísticas segundo cada critério, podemos usar o cálculo de probabilidades para obter escores globais para as opções. O escore de uma opção pode ser dado, por exemplo, pela probabilidade de ela ser a de melhor avaliação por todos os critérios simultaneamente.

Assumindo que as perturbações que afetam avaliações segundo diferentes critérios são independentes, esta probabilidade conjunta é dada, simplesmente, pelo produto das probabilidades de preferência segundo cada um dos critérios. Esta forma de composição prescinde da atribuição de pesos para os critérios.

Outra forma de empregar preferências probabilísticas encontra-se no método de classificação ordenada CPP-Tri (SANT'ANNA, COSTA E PEREIRA, 2012). Neste caso, em vez de ordenação, o que se realiza é a alocação de cada opção a uma dentre diversas classes representadas por perfis.

Cada perfil representativo é um hipotético vetor de avaliações segundo os múltiplos critérios. Esse método se baseia na comparação dos vetores de avaliações das opções com os perfis de cada classe. Com as avaliações segundo cada critério sendo representadas por distribuições de probabilidades, a classificação da opção é baseada em probabilidades conjuntas de suas distribuições apresentarem valores abaixo ou acima dos valores dos perfis.

Já em Sant'Anna (2013) é detalhado, passo a passo, um procedimento para a utilização do CPP clássico para a classificação de uma opção que possui valores de certa quantidade de atributos segundo um determinado número de critérios e avaliadores. Assim a metodologia de ordenação, conseguiu ser trabalhada para efetuar a classificação.

Há também mais uma variação da CPP, proposto por Martins (2015), denominada Instrumento Híbrido (CPP-HI) que foi desenvolvida com a integração das técnicas de Análise de Modo de Falha e Efeito (*Failure Modes and Effects Analysis - FMEA*), de conceitos da Análise de Confiabilidade Humana (ACH) e da Composição Probabilística de Preferências (CPP).

Essa variação da CPP destaca a importância do estudo de projetos em instalações de alta complexidade, que envolve modelagens robustas, suportadas por ferramentas conceituais e matemáticas, e combina aplicação da CPP e da CPP-Tri para a realização de investigações sistemáticas e estruturadas dos diferentes cenários de risco.

Apesar da existência de vários métodos derivados da Composição Probabilística, neste artigo foram utilizadas a CPP clássica, desenvolvido por Sant'Anna (2002), e a CPP-Tri, desenvolvido por Sant'Anna, Costa e Pereira, (2012).

Resultado

Letta (2014) analisou 20 modos de falha típicos em operações com dispositivos eletro-explosivos, apresentados na Tabela 1.

Tipos de Risco	Riscos	Identificação
Elétrico e Eletromagnético	Descarga eletrostática no iniciador durante testes	E1
	Descarga eletrostática na válvula de alagamento durante testes	E2
	Descarga eletrostática na bateria da unidade de ré durante testes	E3
	Campo magnético alto na bateria da unidade de ré durante testes	E4
	Centelhamento no paiol	E5
Mecânico	Impacto da unidade de guiamento	M1
	Impacto da válvula de alagamento	M2
	Impacto do iniciador	M3
	Impacto da seção do explosivo durante movimentação	M4
	Impacto do equipamento explosivo na ponte rolante	M5
	Queda do equipamento explosivo no veículo de transporte	M6
	Queda equipamento explosivo no guindaste	M7
Químico	Contato com gases da unidade de ré durante limpeza	Q1
	Falha de medição dos gases da unidade de ré durante limpeza	Q2
	Derramamento de propelente durante a limpeza	Q3
	Derramamento de propelente durante o enchimento	Q4
	Derramamento de propelente durante o processo de recuperação	Q5
Térmico	Temperatura alta no equipamento de testes	T1
	Temperatura alta no paiol de armazenamentos	T2
	Temperatura alta durante a entrada ou saída do equipamento	T3

Tabela 1 – Riscos típicos de operações com EED (adaptado de LETTA, 2014)

Na busca de se obter uma classificação adequada de todos os cenários propostos, foi utilizado o método CPP. Para os índices de severidade, ocorrência e detecção, foram calculados os vetores de probabilidade de preferência; obtendo-se o valor do índice de prioridade de risco pela multiplicação dos valores dos três níveis de prioridades. A Tabela 2 apresenta a planilha elaborada com o tratamento dos dados através da Composição Probabilística.

Classe de Risco	Riscos	S	O	D	SxOxD
Elétrico e Eletromagnético	E1	0.0969	0.0228	0.0929	2.05E-04
	E2	0.025	0.0228	0.0929	5.30E-05
	E3	0.0139	0.0326	0.0929	4.21E-05
	E4	0.0097	0.0326	0.0929	2.94E-05
	E5	0.0969	0.0175	0.0171	2.90E-05
Mecânico	M1	0.0097	0.0326	0.0092	2.91E-06
	M2	0.025	0.0326	0.01705	1.39E-05
	M3	0.0969	0.0326	0.0171	5.40E-05
	M4	0.0969	0.0175	0.0171	2.90E-05
	M5	0.0969	0.0326	0.0171	5.40E-05
	M6	0.0969	0.0175	0.0092	1.56E-05
	M7	0.0969	0.1568	0.0171	2.60E-04
Químico	Q1	0.0969	0.0575	0.0929	5.18E-04
	Q2	0.0139	0.0326	0.0929	4.21E-05
	Q3	0.0139	0.1568	0.0171	3.73E-05
	Q4	0.025	0.0575	0.0929	1.34E-04
	Q5	0.0139	0.0228	0.0929	2.94E-05
Térmico	T1	0.025	0.0326	0.0929	7.57E-05
	T2	0.025	0.0326	0.0171	1.39E-05
	T3	0.025	0.1568	0.0092	3.61E-05

Tabela 2 – Valores de S, O e D para a Composição Probabilística (LETTA, 2014)

No método probabilístico proposto, o limite do valor de risco a partir do qual deverá ser realizado seu tratamento, é estabelecido através da comparação com n^{-3} , onde n representa o número de modos de falha analisados. Os limites empregados podem ser conferidos no Quadro 1.

$\leq (n^{-3})/3$	$> (n^{-3})/3 \text{ e } \leq 2(n^{-3})/3$	$> 2(n^{-3})/3 \text{ e } \leq n^{-3}$	$> n^{-3} \text{ e } \leq 3(n^{-3})/2$	$> 3(n^{-3})/2$
Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto

Quadro 1 - Padrões Probabilísticos de Riscos (PPR)

Fonte: Sant'Anna (2012)

Sendo $n = 20$, o patamar de corte para n^{-3} foi estabelecido em 0,000125. A Tabela 3 apresenta a classificação dos modos de falha segundo os Padrões Probabilísticos de Risco por meio dos valores SxOxD representados na Tabela 2.

	Classificação dos Riscos				
	Muito Alto	Alto	Médio	Baixo	Muito Baixo
CPP	Q1 - M7 - E1	Q4	-	T1 - M3 - M5 - E2 - E3 - Q2	Q3 - T3 - Q5 - E4 - E5 - M4 - M6 - T2 - M2 - M1

Tabela 3 - Classificação dos valores para o CPP clássico

Pela análise da tabela, observa-se que há uma clara definição dos quatro primeiros riscos com maior criticidade e que, a partir deste ponto, a classificação decai para o nível de risco “baixo” e “muito baixo”, não existindo cenários com classificação de risco “médio”.

Em seguida foram utilizados os mesmos dados coletados do *survey* para aplicação do método CPP-Tri. Nesse cálculo foi utilizado o Aplicativo CPP V₁. Para ser possível efetuar uma comparação entre os dois métodos de composição probabilística se fez necessário manter a mesma classificação para ambos. Neste sentido, aproveitando que a escala numérica do *survey* foi de cinco pontos (1-2-3-4-5) para cada índice do NPR, convencionou-se corresponder cada escala numérica aos Padrões Probabilísticos de Risco: “1 = muito baixo”; “2 = baixo”; “3 = médio”; “4 = alto”; “5 = muito alto”.

Para encontrar a classificação no método CPP-Tri foram utilizadas algumas condições. Para simplificar os cálculos das probabilidades de sobreclassificação relativas a diferentes classes, foi adotado um único perfil para cada uma das cinco classes existentes.

Foi utilizada a distribuição normal para a transformação probabilística. A média da distribuição foi estimada pela média de todas as notas atribuídas pelos especialistas no critério. O desvio padrão foi estimando assumindo-se constante nas cinco classes. Com isso, foi calculada para cada índice de severidade, ocorrência e detecção de cada modo de falha a probabilidade de apresentar valor respectivamente acima e abaixo de cada classe, comparando com o único perfil para cada classe.

Após encontrar as probabilidades de estar acima e abaixo de cada classe, foi encontrada a classe central de cada modo de falha. Essa classe central foi determinada onde o valor absoluto encontrado da subtração da probabilidade de estar acima e estar abaixo para cada modo de falha fosse o mínimo, isto é, menor valor em módulo da subtração de um determinado risco estar acima ou abaixo de cada classe. Essa classificação está representada na Tabela 4.

Classificação Central		
E1	3	Médio
E2	3	Médio
E3	3	Médio
E4	3	Médio
E5	3	Médio
M1	2	Baixo
M2	3	Médio
M3	3	Médio
M4	3	Médio
M5	3	Médio
M6	2	Baixo
M7	4	Alto
Q1	4	Alto
Q2	3	Médio
Q3	3	Médio
Q4	4	Alto
Q5	2	Baixo
T1	3	Médio
T2	3	Médio
T3	3	Médio

Tabela 4 - Classificação dos valores para a CPP-Tri (adaptado de LETTA, 2014)

Os resultados existentes na Tabela 4 foram exibidos apenas pela classificação central, pois não houve divergências significativas quando comparados com as classificações benevolente e exigente.

Por fim, com as classificações efetuadas na CPP e na CPP-Tri elaborou-se a Tabela 5 para consolidar as classificações utilizando cada método.

	Classificação dos Riscos				
	Muito Alto	Alto	Médio	Baixo	Muito Baixo
CPP	Q1 - M7 - E1	Q4	-	T1 - M3 - M5 - E2 - E3 - Q2	Q3 - T3 - Q5 - E4 E5 - M4 - M6 - T2 - M2 - M1
CPP-TRI	-	Q1- Q4 - M7	E1 - E2 - E3 - E4 - E5 - M2 - M3 - M4 - M5 - Q2 - Q3 - T1 - T2 - T3	M1 - M6 - Q5	-

Tabela 4 - Classificação final dos Riscos

Nota-se que enquanto a CPP-Tri apenas forneceu uma separação menos detalhada, isto é, um pouco mais centralizada dos dados, o CPP promoveu uma melhor distribuição dos dados para os PPR, conseguindo conferir uma ordenação mais diversificada dos dados e permitindo mais detalhes de acordo com as notas conferidas.

Os pontos a se destacar entre os dois métodos envolvem o do modo de falha E1 (descarga eletrostática no iniciador durante testes), que para a CPP se encontrou na classe “muito alto” e para a CPP-Tri como

“médio”, além dos riscos classificados pela CPP como “muito baixo”, foram classificados pela CPP-Tri como “médio”, como os riscos Q3, T2, T3, E4, E5 e M4.

O objetivo da aplicação dos dois métodos era encontrar uma melhor classificação a fim de priorizar aqueles eventos de riscos com maior potencial de causar danos. Então a decisão seria por priorizar os cenários críticos de riscos que se encontram nas classes “alto” e “muito alto” para ambos os métodos. Assim os modos de falha escolhidos seriam o Q1 (contato com gases da unidade de ré durante limpeza), M7 (queda de equipamento explosivo no guindaste) e Q4 (derramamento de propelente durante o enchimento). Pois para as organizações, muitas vezes, o uso dos recursos limitados deve ser dirigido a poucos modos de falha. Então com base nesse objetivo, consegue-se priorizar os eventos que foram comuns as classificações mais altas para cada metodologia.

Conclusões

As metodologias CPP e CPP-Tri permitiram trabalhar com a imprecisão devida à influência da subjetividade de cada especialista no instante em que avalia os cenários de risco de acordo com diferentes critérios. Na aplicação dos métodos aos dados de Letta (2014) foi visto como se comportou cada um na classificação dos riscos.

A CPP, por trabalhar com os dados os transformando em probabilidades de maximizar o risco e depois, baseado nesses valores máximos para cada critério, classifica-los segundo os PPR levando em conta a quantidade de modos de falha estudados, conseguiu dar uma maior diversidade na classificação. Já a CPP-Tri, que por trabalhar desde o início com uma classificação prévia, que neste estudo foi baseado na média dos dados, promoveu uma maior concentração nos valores centrais.

Para o objetivo proposto, que foi o de efetuar a priorização de cenários críticos de risco, ambas as técnicas apresentaram resultados semelhantes que permitem ao pesquisador ou gestor identificar quais dentre uma dada quantidade grande de riscos em seu processo, são as que devem ser mitigadas a priori.

Referências Bibliográficas

LEES, F. P. **Loss prevention in the process industries: hazard identification, assessment and control.** Oxford: 2.ed., Butterworth-Heinemann, 3 v. 3500 p. 1996

LETTA, M. **Avaliação de Riscos em Instalações Especiais: Estudo da Aplicação da Técnica de Análise de Modos de Falha e Efeitos como Instrumento de Suporte de Estratégias de Ação.** Dissertação de Mestrado (orientador: Gilson B. A. Lima). Universidade Federal Fluminense. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Niterói, RJ, 2014.

LIU, H. C.; LIU, L.; LIU, N. **Risk evaluation in failure mode and effects analysis: a literature review.** Expert Systems with Applications, 40, 828-838. 2013.

MARTINS, E. F. **Instrumento híbrido aplicado ao estudo da confiabilidade humana em evento de perda de energia elétrica externa em usina nuclear.** Tese de Doutorado (orientador: Gilson B. A. Lima). Universidade Federal Fluminense. Programa Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia De Produção, Niterói, RJ, 2015.

PALADY, P. **FMEA - Análise dos Modos de Falhas e Efeitos, prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram,** São Paulo, Editora IMAM, 5ª Ed, 2011

SANT'ANNA, A. P. **Aleatorização e composição de medidas de preferência.** Pesquisa Operacional, 22, 87-103. 2002.

SANT'ANNA, A. P. **Probabilistic Priority Numbers for Failure Modes and Effects Analysis.** International Journal of Quality & Reliability Management. Vol 29 no. 3, p. 349-362. 2012.

SANT'ANNA, A. P.; COSTA, H. G.; PEREIRA, V. **Cpp-tri: um método de classificação ordenada baseado em composição probabilística.** Relatórios de pesquisa em engenharia de produção v.12, n.8, p. 104-117. 2012.

SANT'ANNA, A. P. **Detalhamento de uma metodologia de classificação baseada na composição probabilística de preferências.** Relatórios de pesquisa em engenharia de produção, v.13, Série C, n. 2, p. 12-21. 2013.

SANT'ANNA, A. P. **Alternativas Probabilísticas para a Composição do Indicador de Desenvolvimento Humano.** X Congresso de Excelência em Gestão. 2014

SILVA, A. J. F.; SIMÕES FILHO, S.; SANT'ANNA, A. P.; LIMA, G. B. A. **Desenvolvimento de Aplicativo para Suporte a Cálculo do Índice de Criticidade.** Projeto de Apoio a Pós-Doutorando UFF 2014-2015. 2015.