

ANÁLISE DE RISCO ASSOCIADA A PRAZOS DE EXECUÇÃO DE OBRAS

NUNO MIGUEL GONÇALVES SILVA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro

JUNHO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Dedico este trabalho:

A meus Pais, meu Irmão e a Telma Coelho

Sem um plano, o que é fácil torna-se difícil; Com um plano, o difícil torna-se fácil.

Textos Judaicos

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro, pela sua orientação, através das suas recomendações e rigor exigido, e pelo apoio recebido na realização da dissertação de forma atingir os objectivos propostos.

À Eng^a Armanda Mendes, pelo tempo disponibilizado e a ajuda na realização desta dissertação.

Aos meus Pais e Irmão pela paciência, apoio e conselhos dados durante a elaboração do trabalho.

À minha namorada, Telma, pelo apoio, paciência, força e principalmente o incentivo dado.

A todos os que directa ou indirectamente contribuíram na elaboração deste trabalho, facilitando, sugerindo, criticando, estando por perto ou apenas acreditando na sua possibilidade, a todos o meu reconhecimento e amizade.

RESUMO

A Construção é um sector que apresenta investimentos de grandes dimensões e por ser um sector que apresenta uma grande probabilidade de ocorrerem eventos indesejáveis, torna-se necessário reformulá-lo de modo a criar novas ferramentas de auxílio ao planeamento, que sejam capazes de detectar eventos indesejáveis para os eliminar ou prevenir, controlando assim os custos, prazos e qualidade.

Na dissertação serão referenciadas várias metodologias de análise de risco utilizadas nos vários sectores em que será feita uma descrição para cada método. Com a exigência de rapidez e facilidade na utilização das metodologias foram desenvolvidos programas informáticos, sendo alguns programas referenciados no trabalho, tendo a ideia que apenas auxiliam e não apresentam a resolução do problema.

Tendo por base uma metodologia de Análise de Risco desenvolveu-se nesta dissertação através de uma adaptação uma proposta de um Modelo simples de Análise de Risco relativo a prazos capaz de detectar possíveis falhas, atribuindo ponderações à Severidade, Ocorrência e ao Risco. Após a adaptação do Modelo, realizou-se uma análise de risco relativo a prazos a um projecto de construção. Ao mesmo projecto como complemento deste trabalho, utilizou-se um programa informático de modo apresentar outra forma de realizar uma análise de risco.

Concluí-se que, o modelo tem capacidade preventiva na elaboração de um planeamento, detectando possíveis riscos que advêm de um mau planeamento e torna-se uma alternativa pelo seu baixo custo relativamente aos programas informáticos que apresentam um custo elevado para as empresas.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Risco, Construção, Gestão do Risco, Risco, Metodologias.

ABSTRACT

The construction sector attracts a huge investment which brings about considerable risk. New planning tools are therefore required so that undesirable occurrences may be prevented. As a result, costs, duration and quality are likely to be controlled.

In the present thesis several methods of risk analysis will be described. As a consequence of the current need for speed and methodology use, computer software was developed. Some programs will be studied in this dissertation, which will make clear that they can help rather than solve the problem.

Based on a methodology, a proposal for a Risk Analysis Model was adapted, which is expected to detect possible failures and assign different weights to Severity, Occurrence and Risk. After adapting the Model, was held a risk analysis to a construction design. At the same design as a complement to this thesis, used a computer software in order to present another way to perform a risk analysis.

Concluded that the model is able to design a preventive planning, identifying possible risks arising from poor planning and becomes a low-cost alternative for computer programs that have a high cost for companies.

KEYWORDS: Risk Analysis, Construction, Risk Management, Risk, Methodologies.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. APRESENTAÇÃO DOS OBJECTIVOS	1
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2. ANÁLISE DE RISCO NA CONSTRUÇÃO	3
2.1. GESTÃO DE RISCO NA CONSTRUÇÃO	3
2.1.1. DEFINIÇÃO DE RISCO	3
2.1.2. RISCO VERSUS INCERTEZA	3
2.1.3. ABORDAGEM À ANÁLISE DE RISCO	4
2.2. ANÁLISE DE RISCO NA CONSTRUÇÃO	4
2.2.1. ANÁLISE QUANTITATIVA	5
2.2.2. ANÁLISE QUALITATIVA	5
2.2.2.1. PERT (Program Evaluation and Review Technique)	5
3. METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE RISCO	7
3.1. DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO	7
3.2. ANÁLISE DE CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS	8
3.3. ÁRVORE DE EVENTOS	9
3.4. ÁRVORE DE FALHA	10
3.5. FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS	12
3.6. HAZARD OPERATION PROCESS	14
3.7. ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGO	15
3.8. MÉTODO DE MONTE CARLO	17
3.9. RELATIVE RANKING	18
3.10. WHAT IF ANALYSIS	18
3.11. ANÁLISE DE PERIGOS E CONTROLO DE PONTOS CRÍTICOS	19

3.12. SÍNTESE DAS METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE RISCO	20
3.13. PROGRAMAS INFORMÁTICOS	21
3.13.1. @RISK 4.1.4 FOR PROJECT.....	21
3.13.2. PERTMASTER.....	22
3.13.3. XFMEA.....	23
3.13.4. RELEX 2009	24
4. MODELO DE PLANEAMENTO EM SITUAÇÕES DE INCERTEZA E RISCO	27
4.1. BASE DO MODELO	27
4.2. DESCRIÇÃO DO MODELO	27
5. APLICAÇÃO DO MODELO E DE UMA FERRAMENTA INFORMÁTICA A UM PROJECTO	31
5.1. APLICAÇÃO DO MODELO	32
5.2. APLICAÇÃO DO PERTMASTER.....	35
6. CONCLUSÃO	39
6.1. CONCLUSÕES.....	39
6.2. CONSIDERAÇÕES FUTURAS	40
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	43
BIBLIOGRAFIA	45
ANEXOS.....	51
ANEXO A1	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Incerteza e Risco.....	4
Fig.2 – Distribuições	6
Fig.3 – Distribuição Beta	6
Fig.4 – Exemplo de Diagrama de Causa e Efeito	7
Fig.5 – Exemplo de Diagrama de Causa e Consequência	9
Fig.6 – Exemplo de Árvore de Eventos.....	9
Fig.7 – Exemplo de Árvore de Falha.....	10
Fig.8 – Representação gráfica do RPN	14
Fig.9 – Matriz Frequência/Severidade	17
Fig.10 – Exemplo de Estrutura de Tabela.....	18
Fig.11 – Diagrama para auxílio da identificação do PCC	19
Fig.12 – Software @Risk 4.1.4 for Project	22
Fig.13 – Software Pertmaster.....	23
Fig.14 – Software Xfmea	24
Fig.15 – Software Relex 2009	25
Fig.16 – Matriz Severidade/Ocorrência.....	29
Fig.17 – Fluxograma do Modelo.....	30
Fig.18 – Diagrama de Gantt	31
Fig.19 – Distribuição usada pelo Pertmaster	36
Fig. 20 – Diagrama de Gantt do Pertmaster	36
Fig. 21 – Tabela de riscos do Pertmaster	37
Fig. 22 – Diagrama de distribuição da data final de projecto	37
Fig. 23 – Diagrama de distribuição da duração do projecto	38

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Metodologia para a construção do diagrama.....	8
Tabela 2 – Simbologia de Eventos.....	11
Tabela 3 – Simbologia de Portas Lógicas.....	11
Tabela 4 – Quadro Tipo	12
Tabela 5 – Escala de Severidade	12
Tabela 6 – Escala de Ocorrência	13
Tabela 7 – Escala de Detecção	13
Tabela 8 – Lista de Palavras-chave	15
Tabela 9 – Categorias de Frequência de ocorrência dos cenários	16
Tabela 10 – Categorias de Severidade de ocorrência dos cenários	16
Tabela 11 - Classificação	17
Tabela 12 – Quadro Síntese	20
Tabela 13 – Quadro de Análise de Risco	28
Tabela 14 – Graduação de Severidade	28
Tabela 15 – Graduação de Ocorrência.....	29
Tabela 16 – Classificação do Risco	30
Tabela 17 – Mapa de Tarefas	32
Tabela 18 – Distribuição Triangular	32
Tabela 19 – Duração das Tarefas.....	33
Tabela 20 – Tarefas com a Classificação do Risco	33
Tabela 21 – Quadro com Análise de Risco.....	34

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

APP - Análise Preliminar de Perigo

CPM - Método do Caminho Crítico (Critical Path Method)

ETA - Análise de Árvore de Eventos (Event Tree Analysis)

ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuais

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis

FMECA - Failure Mode, Effect and Critically Analysis

FTA - Análise de Árvore de Falha (Fault Tree Analysis)

HACCP - Hazard Analysis and Critical Control Points

HAZOP - Hazard Operation Process

PCC - Pontos Críticos de Controlo

PERT - Program Evaluation and Review Technique

PHA - Preliminary Hazard Analysis

RPN - Graduação de Prioridade de Risco (Risk Priority Number)

TQM - Gestão de Qualidade Total

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A Construção é um sector que apresenta singularidades e características diferentes das outras indústrias. O projecto é único de obra para obra fazendo com que a probabilidade da ocorrência de eventos indesejados seja enorme, por motivos de falha do projecto, meteorológicos, má qualidade de mão-de-obra, falta de equipamento ou mesmo geológicos.

Sendo um sector em que há grandes fluxos financeiros torna-se necessário utilizar métodos que possam detectar os riscos (eventos indesejáveis) e diminuí-los de modo a conseguir controlar os custos, tempo e qualidade da obra. Considera-se assim, a gestão de risco como uma actividade que acompanha o desenvolvimento do projecto, desde o seu inicio até ao seu final.

Conforme um estudo realizado no Reino Unido [1], verifica-se que a maioria das empresas do sector da construção está ciente da importância da análise de risco, apresentando dificuldades na sua detecção, devido às grandes empresas utilizarem subcontratados, tornando-se assim difícil obter a informação relativa aos três importantes factores do projecto (custo, prazos e qualidade), sendo a análise baseada apenas em experiências de obras anteriores. Esse mesmo estudo indica também que muitas empresas põem de parte a análise de risco devido ao reduzido tempo que têm para desenvolver o projecto. Torna-se assim uma necessidade formar os gestores de projecto em análise de risco, criar modelos que sejam capazes de acompanhar a velocidade do desenvolvimento do projecto e aplicá-los de modo a que as empresas consigam obter benefícios, precavendo falhas que poderão levar a grandes perdas monetárias.

Devido à conjuntura do nosso país tornou-se um requisito em alguns concursos públicos a análise de risco ao projecto, nos seus três factores. O requisito foi imposto porque a análise de riscos pressupõe o estudo detalhado do projecto de modo a detectar todas as possíveis falhas que possam ocorrer de modo a preveni-las. Por esse motivo, em colaboração com a empresa Soares da Costa foi proposto um estudo da análise de risco associada a prazos de execução.

1.2. APRESENTAÇÃO DOS OBJECTIVOS

Na Construção cada vez mais há a necessidade de evidenciar a capacidade das empresas de conseguirem efectuar um planeamento em que seja introduzida a análise de risco, de modo a conseguirem detectar e prever falhas que possam ocorrer no plano de trabalhos. Com essa necessidade criada, o objectivo desta dissertação será, desenvolver um modelo simples de planeamento de incerteza e risco relativo a prazos de um plano de trabalhos, atribuindo graus de ameaça e de

mitigação, de forma a poder dar uma graduação ao risco e realizar uma avaliação básica, indo-se o mesmo aplicar a um exemplo prático e podendo servir de base para um possível estudo mais aprofundado.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação é composta por 6 capítulos:

- O capítulo 1 têm como principio a apresentação do tema a ser estudado e os objectivos a atingir com o desenvolvimento do trabalho;
- O capítulo 2 desenvolve a informação obtida por pesquisa bibliográfica sobre a temática Análise de Risco na Construção;
- O capítulo 3 descreve vários métodos de Análise de Risco onde é feita uma descrição de cada um e apresenta alguns programas informáticos em que o seu funcionamento se baseia nesses métodos;
- O capítulo 4 descreve um modelo simples de Análise de Risco adaptado de uma metodologia do capítulo anterior de uma forma detalhada e para aplicação prática;
- O capítulo 5 apresenta uma análise de risco relativo a prazos a um projecto de construção, utilizando o modelo descrito no capítulo 4 e utilizando uma ferramenta informática, o Pertmaster;
- O capítulo 6 descreve as conclusões obtidas na realização da dissertação, a avaliação dos objectivos propostos no capítulo 1 e considerações futuras.

2

ANÁLISE DE RISCO NA CONSTRUÇÃO

2.1. GESTÃO DE RISCO NA CONSTRUÇÃO

A gestão de risco foca-se essencialmente na ocorrência de eventos futuros em que o resultado é desconhecido. Na elaboração de um planeamento de uma obra a gestão deve englobar uma identificação e análise de riscos e apresentar soluções de modo a eliminar ou atenuar o risco. Torna-se assim necessário definir o que se entende por risco.

2.1.1. DEFINIÇÃO DE RISCO

Ao longo do tempo a definição de Risco tem sido discutida por vários autores. Existem autores que defendem que o Risco encontra-se associado ao negativismo, ao perigo e definem-no como uma variável de um procedimento, em que a sua mudança origina uma incerteza nos custos, tempo e qualidade. Por outro lado outros autores defendem que o Risco não é só perigo e perdas, mas que poderá trazer benefícios. Em relação à definição de Risco na dissertação será entendido como um acontecimento incerto com efeitos negativos nos custos, tempo e qualidade.

2.1.2. RISCO VERSUS INCERTEZA

No âmbito da análise de risco existe uma distinção entre os termos Risco e a Incerteza.

O termo Risco usa-se quando, uma decisão é aceite com o conhecimento da situação, conhece a probabilidade de ocorrência (uso de modelos probabilísticos), o resultado será de uma forma determinada. O termo Incerteza é usado quando, uma decisão é aceite sem nenhuma informação, não conhece a probabilidade de ocorrência, o resultado será de uma forma imprevista.

Em seguida será apresentando um pequeno exemplo na área da construção para se entender melhor a diferença entre os dois termos: Decidiu-se adiar uma betonagem que iria decorrer no dia seguinte porque se pensava que as condições meteorológicas não iriam ser propícias para tal, tomou-se uma decisão em circunstâncias de incerteza. Se adiar a betonagem que iria decorrer no dia a seguir mas com base no boletim meteorológico que informa que as condições meteorológicas para o dia a seguir não são propícios, tomou-se uma decisão em circunstâncias de risco. É de notar que o sujeito tomará melhores decisões se possuir maior quantidade de informação e a avaliação do risco baseia-se em avaliar o resultado das decisões em paralelo com as suas probabilidades.

No sector da Construção os acontecimentos incertos estão associados a valores probabilísticos e por esse motivo deve-se considerar como Risco. Na figura seguinte (Fig.1) relaciona o Risco e a Incerteza em relação a informação ser conhecida ou não, de notar que as figuras se apresentam em escalas diferentes.

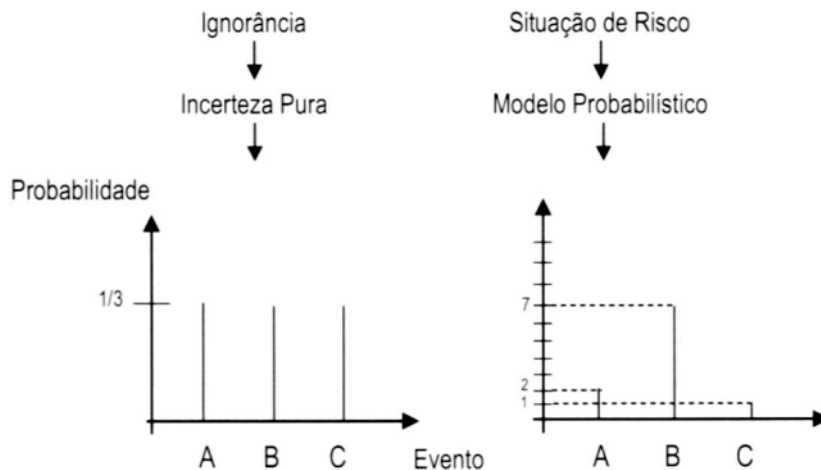


Fig.1 – Incerteza e Risco [2]

2.1.3. ABORDAGEM À ANÁLISE DE RISCO

A Construção é um sector que manifesta diversos riscos. Por esse motivo, tornou-se uma necessidade criar uma metodologia de abordagem à Análise de Risco.

A metodologia consiste numa primeira fase, identificar os riscos com processos de análise realizados por equipas especializadas, numa segunda fase, atribuir impactos e prioridades aos riscos utilizando metodologias de análise de risco e numa terceira fase e última, criação de plano de contenção e recomendação de riscos com políticas de diminuição e prevenção ou de eliminação.

2.2. ANÁLISE DE RISCO NA CONSTRUÇÃO

A Análise de Risco é um processo que deve englobar-se na Gestão de Risco de cada projecto. É uma técnica que identifica e avalia factores que prejudicam o projecto, procura encontrar soluções para prevenir e reduzir os efeitos negativos. Sendo uma análise que apresenta dificuldades em formular o problema divide-se em análise Quantitativa e Qualitativa.

É de notar que, para uma correcta análise deve-se estar familiarizado com os riscos de modo a poder identificar os mesmos de uma forma correcta no projecto e actuar da melhor forma para que não ocorram.

2.2.1. ANÁLISE QUALITATIVA

A análise qualitativa é um processo que permite analisar a probabilidade e o impacto de cada risco atribuindo-lhe uma prioridade. A avaliação dessa prioridade será através da aplicação de uma matriz Probabilidade/Impacto.

O objectivo desta análise é de complementar a análise quantitativa e apoiar o planeamento na identificação dos riscos que possam condicionar o projecto.

Para facilitar a análise torna-se necessário criar um cadastro de riscos, porque quanto maior quantidade de informação, melhor será a Gestão de Risco e na ajuda da transmissão de conhecimento na análise de outros projectos. O que se verifica nas empresas de construção é que a maioria considera a obra como uma singularidade, não apresenta um interesse em guardar a informação obtida durante a obra e por essa razão, não realizam um estudo para entender o que foi feito correctamente ou o que não se poderá repetir. Também se verifica a não transmissão do conhecimento entre projectos.

2.2.2. ANÁLISE QUANTITATIVA

A análise quantitativa é realizada antes da análise referente ao ponto anterior e tem como objectivo atribuir uma classificação numérica aos riscos. Para auxílio dessa análise utiliza-se um método como o PERT que será tratado no ponto seguinte.

2.2.2.1. PERT (Program Evaluation and Review Technique)

O PERT (Program Evaluation and Review Technique) é um método desenvolvido nos anos 50 e foi inicialmente usado pela Marinha Americana [2]. Igualmente nesse período foi desenvolvido o CPM (Critical Path Method). É usado na Construção para estimar durações do projecto que têm em conta a incerteza agregada à duração das tarefas.

Ao deparar com a incerteza o método vai considerar as durações como variáveis necessitando de um tratamento estatístico. Desse modo, a duração para cada tarefa será a média ponderada de três durações: Pessimista, Mais Provável e Optimista.

A duração Pessimista (b) é a duração máxima que uma tarefa possui e ocorre em situações imprevistas, a duração Mais Provável (M) é a duração esperada em situações normais e a duração Optimista (a) é a duração mínima que uma tarefa pode ter e ocorre quando as situações são favoráveis [3]. Ao fim de se obterem as durações, é possível calcular a duração média para cada tarefa [3]:

$$\mu = \frac{a + 4M + b}{6} \quad (1)$$

O grau de incerteza será obtido através da variância, porque a amplitude do intervalo entre a duração Optimista e a Pessimista encontra-se relacionado com a incerteza da tarefa cumprir a duração média [3]:

$$\sigma^2 = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2 \quad (2)$$

Na seguinte figura (Fig.2) é apresentado um exemplo de dois casos em que no caso A apresenta uma variância maior do que no caso B e com isso concluí-se que a probabilidade do caso A cumprir a duração média é muito menor do que no caso B [2].

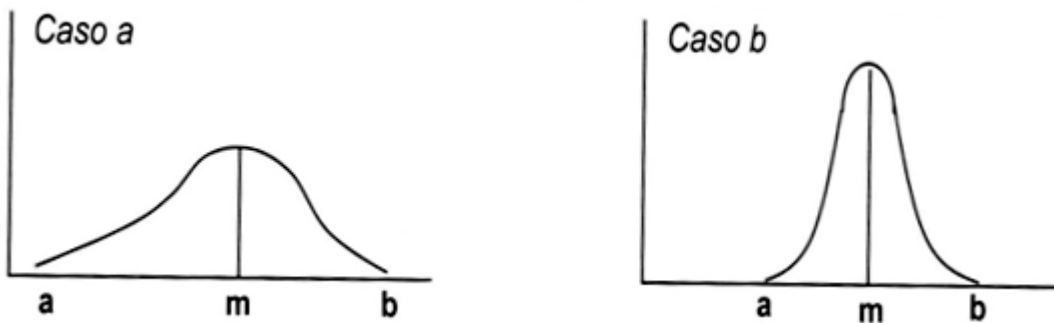


Fig.2 – Distribuições [2]

Para utilização do PERT é importante referir que se poderá utilizar distribuições normais, triangulares ou na falta de conhecimento uma distribuição Beta (Fig.3), sendo esta última por facilidade de cálculo. É de referir que as fórmulas da média e da variância da distribuição normal poderão ser utilizadas em outras distribuições, desde que, as curvas sejam normalizadas, ou seja, transformadas numa curva de distribuição normal equivalente.

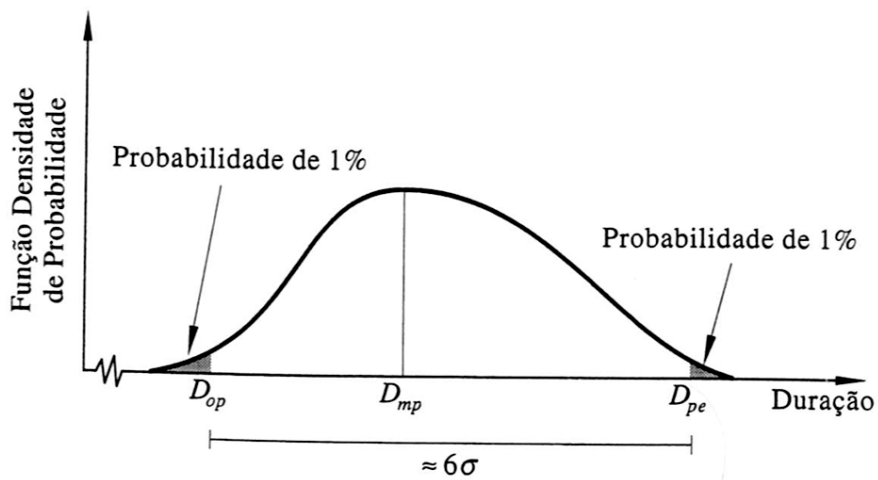


Fig.3 – Distribuição Beta [3]

3

METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE RISCO

3.1. DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

O “Diagrama de Causa e Efeito”, é também designado por “Diagrama de Ishikawa” ou “Diagrama de Espinha de Peixe”, “é uma ferramenta gráfica que tem como função identificar, organizar e apresentar estruturadamente causas de problemas em forma de processos”[4].

Os diagramas são elaborados por equipas envolvendo todos os intervenientes do processo em análise. Identificam o problema e listam as várias causas possíveis, iniciando-se de um nível geral e sendo pormenorizando em forma de sub-causas.

Na construção do diagrama, é necessário inicialmente “identificar o problema, ou inversamente definir o objectivo a atingir” [4]. Portanto, deve ser algo explícito para que os grupos de trabalho possam interpretar da mesma forma e “incentivar a apresentar críticas, complementos e revisões” [4]. Na imagem subsequente (Fig.4) é apresentado um exemplo simples de um digrama causa e efeito. Pode-se observar que as setas apresentam as causas e sub-causas tendendo para a direita onde é indicado o efeito. A representação gráfica permite de uma forma mais acessível a compreensão do problema, a auxiliar a origem das causas do problema.

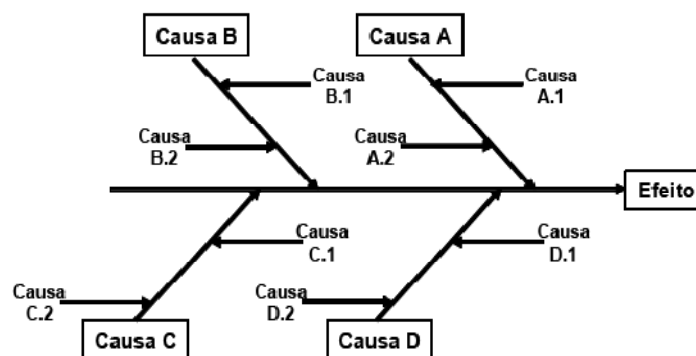


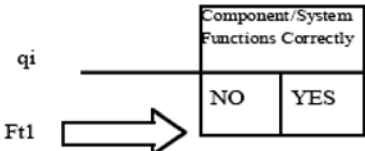
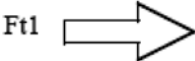

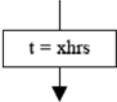


Fig.4 – Exemplo de Diagrama de Causa e Efeito [4]

3.2. ANÁLISE DE CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS

A “Análise de Causas e Consequências”, é um método que foi desenvolvido pelos Laboratórios RISO na Dinamarca para análise de riscos em centrais nucleares. É um método que pode ser adoptado para outro tipo de indústrias [5].

Consiste na combinação da Árvore de Falhas (análise de causas) e Árvore de Eventos (análise de consequências), sendo um método bastante detalhado. O objectivo deste método é a identificação de cadeias de eventos que possam resultar em consequências. Através de probabilidades dos eventos do diagrama de causas e consequências podem ser calculados, obtendo-se assim um nível de risco. Abaixo apresenta-se uma tabela (Tabela 1) com a metodologia para a construção do diagrama e um exemplo de aplicação deste método (Fig.5).

Tabela 1 – Metodologia para construção do diagrama [6]

Símbolos	Função
	<p>A caixa de decisão representa a funcionalidade de um sistema/componente.</p> <p>A caixa do “No” representa a falha de trabalhar correctamente, sendo a probabilidade obtida por uma árvore de falhas ou por falha de um único componente de probabilidade q_i.</p>
	<p>Seta da árvore de falhas representa o número da estrutura da árvore de falhas que corresponde a caixa de decisão.</p>
	<p>O triângulo iniciador representa o iniciar de uma sequência de eventos onde λ indica a taxa de ocorrência.</p>
	<p>Tempo de atraso 1 indica que o tempo começa a partir do momento que se insere o símbolo de atraso e continua até ao final do intervalo de tempo do símbolo de atraso.</p>
	<p>Símbolo de Porta “OR”: Usado para simplificar o Diagrama de Causa-Consequência quando mais de uma caixa de decisão entra na mesma caixa de decisão ou caixa de consequência.</p>
	<p>Caixa de consequência representa o resultado de eventos devido a uma particular sequência de eventos.</p>

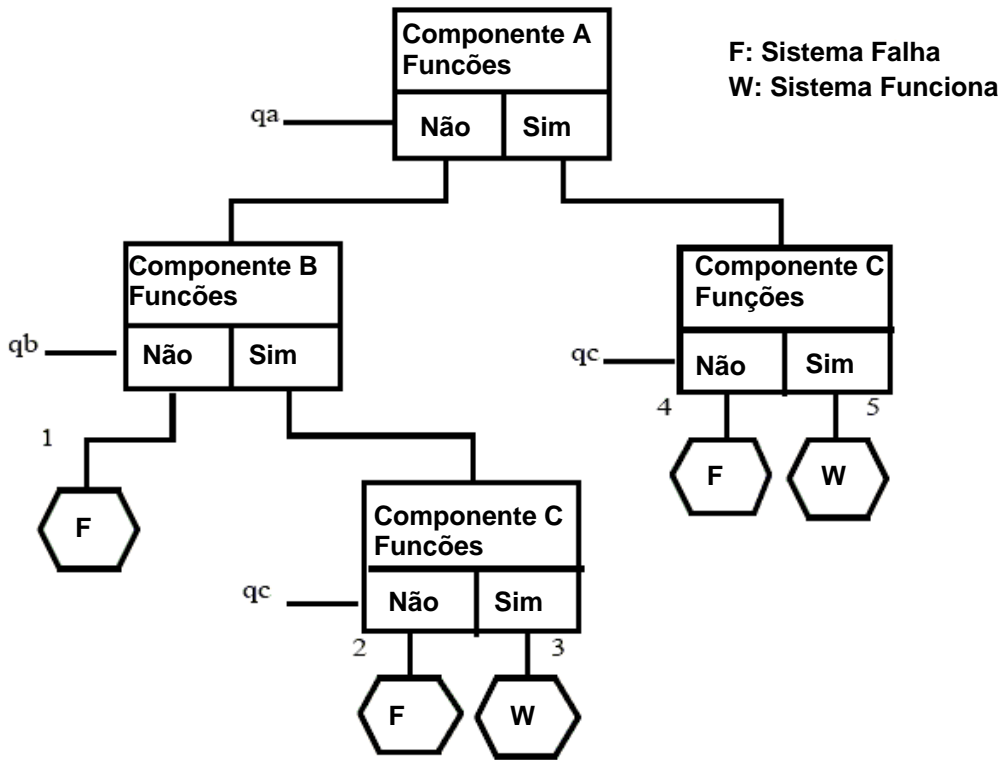


Fig.5 – Exemplo de Diagrama de Causa e Consequência [6]

3.3. ÁRVORE DE EVENTOS

O método de “Árvore de Eventos (Event Tree Analysis – ETA)” é uma ilustração de todos os eventos que possam ocorrer num sistema [7]. A árvore é construída na base de dois princípios fundamentais, o sucesso e a falha. Utiliza perguntas em que a resposta seja “Sim” ou “Não”[8].

É apresentado através de um gráfico ramificado em que está representado por eventos que possam acontecer, sendo que tem início um evento inicial (situação insatisfatória). Se o caminho subir no nó, indica que é um sucesso, caso desça, indica que falhou. Na figura abaixo (Fig.6) demonstra um exemplo de uma árvore de eventos.

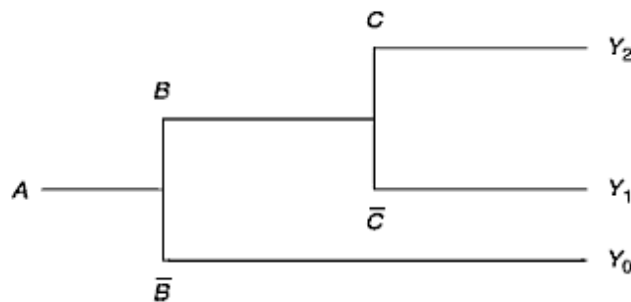


Fig.6 – Exemplo de Árvore de Eventos [8]

3.4. ÁRVORE DE FALHA

O método de “Árvore de Falha (Fault Tree Analysis – FTA)” foi desenvolvido em 1962 pelos Laboratórios BELL, tendo sido adaptado de modo a ser utilizada em computação [8].

Este método tem como princípio a construção de um diagrama lógico, iniciando-se pelo evento indesejável, ou falha, na qual se vai achar a probabilidade de ocorrência. Após revisão de todos os factores intervenientes, determina-se as condições, acontecimentos ou falhas que possam contribuir para ocorrer eventos indesejáveis.

A construção da “árvore” é elaborada por diagramas através de portas lógicas definindo um relacionamento entre Acontecimentos ou Falhas e Evento Indesejável. Através da álgebra de Boole é possível simplificar as expressões matemáticas associadas as operações de adição ou multiplicação referentes a cada porta lógica. Essas expressões matemáticas poderão ser substituídas por valores referentes a tabelas, experiências anteriores, entre outros. Na figura seguinte (Fig.7) pode-se ver um exemplo de árvore de folha.

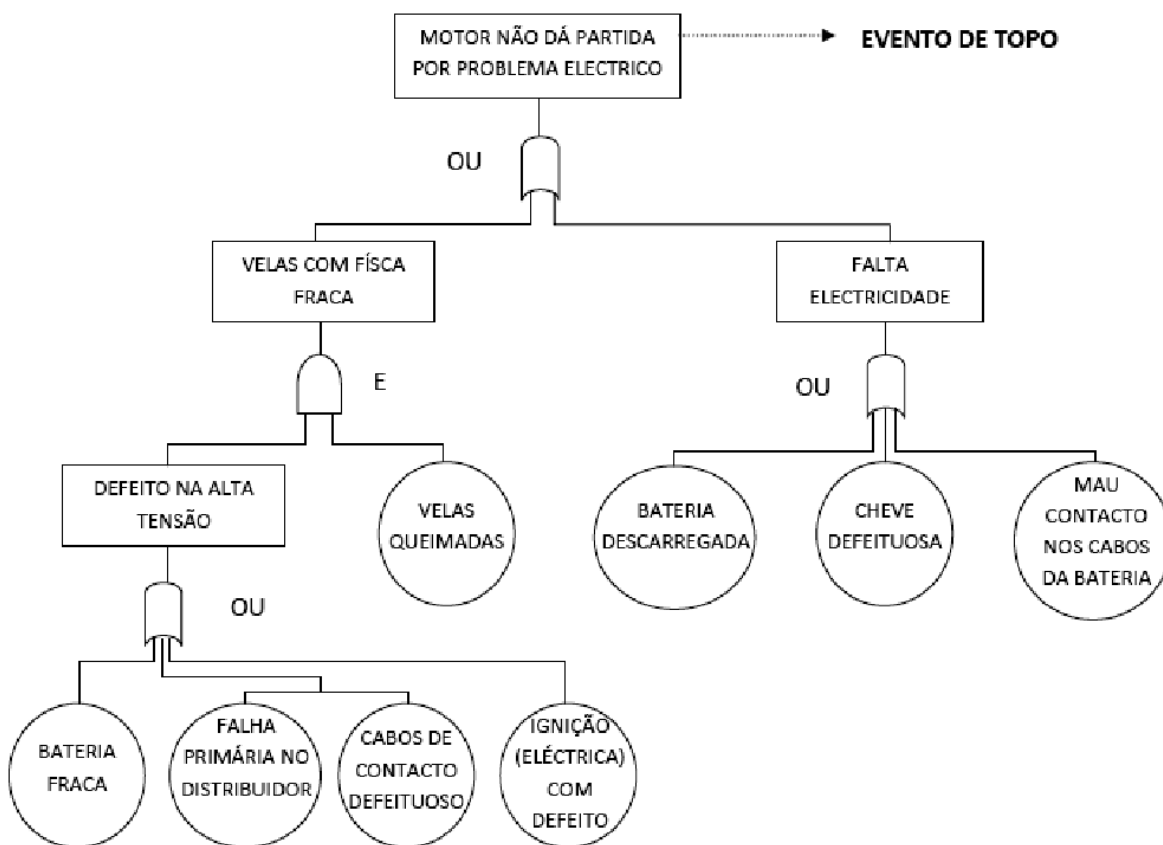


Fig.7 – Exemplo de Árvore de Falha [9]

Na construção da FTA as relações entre os diferentes eventos são utilizadas simbologias de eventos e portas lógicas. Nas tabelas (Tabela 2 e Tabela3) estão representadas as simbologias de eventos e portas lógicas utilizadas no FTA.

Tabela 2 – Simbologia de Eventos [9]

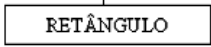


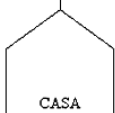
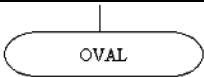
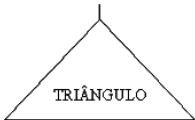






Símbolo	Significado
	Eventos que são saídas de portas lógicas.
	Eventos associados a falhas básicas.
	Eventos não realizados
	Parâmetro associado a um evento que deve ser monitorizado.
	Evento condicional: usado em janelas de inibição.
	Indica a conexão com outro símbolo ou evento.

Tabela 3 – Simbologia de Portas Lógicas [9]

Símbolo	Significado
	E – Evento de saída, só ocorre se todos os da entrada ocorrerem.
	OU – Evento de saída, ocorre se pelo menos um dos de entrada ocorrer.
	INIBIÇÃO (CONDICIONAL) – Evento de entrada, só conduz à saída se o condicional ocorrer.
	E DE PRIORIDADE – Evento de saída, ocorre se os de entrada ocorrerem da esquerda para a direita.
	OU EXCLUSIVA – Evento de saída ocorre, se um, mas não ambos dos da entrada ocorrer.
	M EM N – Evento de saída ocorre, sem em N dos da entrada ocorrerem.

A obtenção da probabilidade de outros factores afectarem a probabilidade do evento indesejável é o principal benefício deste método.

3.5. FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS

O “Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)” é um método indutivo, que examina os modos de falha à procura das causas e das várias sequências a que levam a falhar. Ao fim dessa avaliação deve-se propor medidas de prevenção ou atenuação [10].

O método FMEA poderá ser complementado com uma análise de crítica aos modos de falha, passando-se a chamar “ Failure Mode, Effect and Critically Analysis (FMECA)”, sendo que a avaliação das causas será feita por índices.

Para se proceder a análise pela FMEA deve-se preencher um Quadro Tipo (Tabela 4) em que a informação a preencher nas colunas é descritiva e analítica, à excepção da Severidade, Ocorrência e Detecção (ver tabelas seguintes) que o seu preenchimento é feito através de uma análise probabilística em que possui uma graduação de 1 a 10, sendo que cada uma corresponde a uma condição tipo [11].

Multiplicando os três índices obtêm-se a Graduação de Prioridade de Risco (RPN – Risk Priority Number), isto é, a prioridade que se deve dar a cada Modo Falha, mas devendo ter em conta cada um dos valores dos índices para uma decisão coerente.

Tabela 4 – Quadro Tipo [11]

DESCRICHÃO (Projecto/Obra/Processo)	DEPARTAMENTO (Equipa/Elementos)	DOCUMENTOS ASSOCIADOS (Desenhos/Especificações/...)	Pg x/y Data ____/____/____ Aprovado por						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Funções/ Objectivos	Modos de Falha	Efeitos	Causas	Controlo	Severidade	Ocorrência	Detecção	Recomendações	Estado

Tabela 5 – Escala de Severidade [11]

Escala de Severidade	
1	O efeito não é detectável pelo cliente
2	Efeito muito ligeiro, detectável pelo cliente; no entanto, não perturba ou cria problemas ao cliente
3	Efeito ligeiro que cria alguma perturbação no cliente. No entanto, não é suficiente para levar este a pedir assistência
4	Efeito ligeiro, mas com pedido de assistência por parte do cliente
5	Efeito limitado; o cliente exige assistência imediata
6	Efeito moderado; cria insatisfação no cliente
7	Efeitos moderados múltiplos; séria reclamação do cliente

Escala de Severidade (Continuação)	
8	Efeitos significativos, com interrupções no funcionamento do sistema
9	Efeito crítico, sistema completamente bloqueado, riscos de segurança
10	Efeito crítico com risco de vida

Tabela 6 – Escala de Ocorrência [11]

Escala de Ocorrência			
1	Extremamente remota	< 0,01%	< 1 em 10000
2	Remota, muito pouco provável	0,011 – 0,20	1 em 10000
3	Probabilidade muito reduzida	0,21 – 0,60	1 em 500
4	Probabilidade reduzida	0,61 – 2,00	1 em 150
5	Ocasional	2,001 – 5,00	1 em 50
6	Moderada	5,001 – 9,999	1 em 20
7	Frequente	10,0 – 14,999	1 em 10
8	Alta	15,0 – 19,999	1 em 6.5
9	Muito Alta	20,0 – 25,0	1 em 5
10	Certa	> 25,0 %	> 1 em 4

Tabela 7 – Escala de Detecção [11]

Escala de Detecção		
10	Impossível de detectar	Sem sistema de detecção implementado, sem noção de garantia da qualidade, apoiado apenas na intuição.
9	Remota	Totalmente reactiva aos problemas. Sem sistema formal de inspecção.
8	Muito pouco provável	Inspecção pelo operador. Sem noção ou sistema formal de garantia da qualidade.
7	Pouco provável	Implementação parcial de metodologias da qualidade. Planos de inspecção por amostragem.
6	Baixa	Fases iniciais de Sistemas de Gestão da Qualidade Total (TQM) implementadas.
5	Média	Sistema parcial de inspecção automática.
4	Moderada	Sistema de garantia da qualidade implementado e verificado. Responsabilização do operador.
3	Boa	Rastreabilidade do sistema, revisões de projecto formais, controlo de materiais.

Escala de Detecção (Continuação)		
2	Alta	Sistema de qualidade estabilizando e em utilização corrente. Actualização constante e formação obrigatória dos operadores.
1	Certa	Sistemas de inspecção totalmente automatizados.

Surgiu recentemente, um novo método de cálculo da Graduação de Prioridade de Risco (RPN), em que só se consideram os índices Severidade e Ocorrência, sendo estes representados graficamente em áreas de risco em função da graduação dos mesmos (Fig.8) [11].

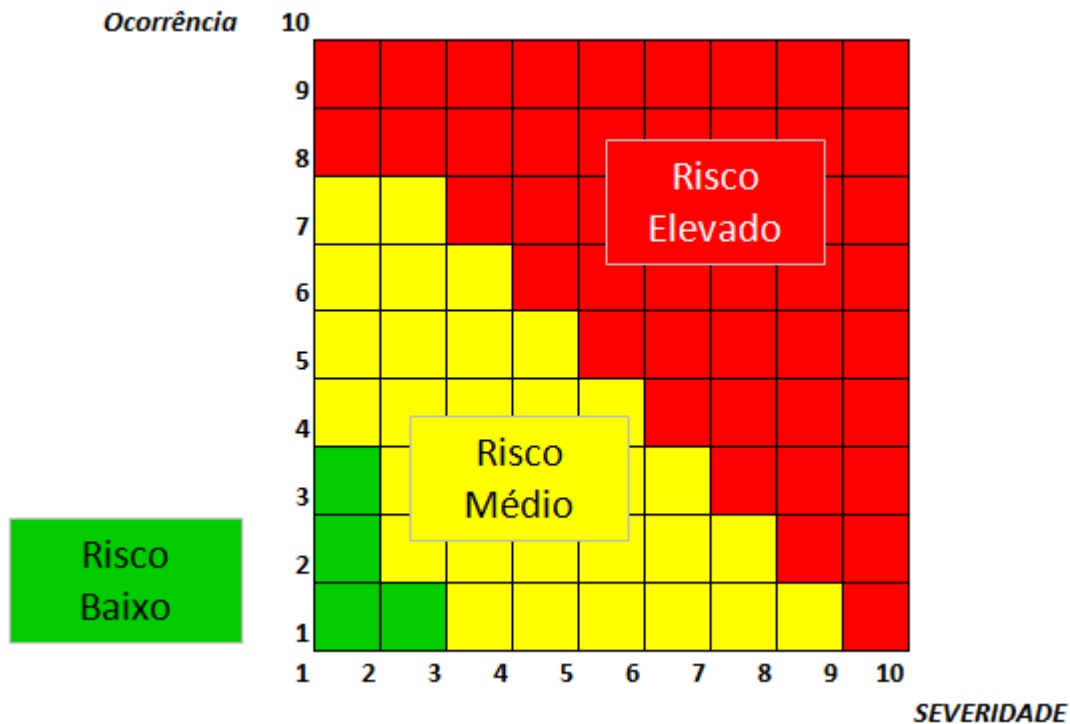


Fig.8 – Representação Gráfica do RPN [11]

3.6. HAZARD OPERATION PROCESS

O “Hazard Operation Process (HAZOP)” é um outro método de estudo de análise de risco que tem como finalidade avaliar e identificar os problemas que possam apresentar risco no projecto.

Este método têm como objectivo a investigação de uma forma aprofundada e repetitiva visando identificar todas as causas e consequências do funcionamento normal das operações.

Este método utiliza um procedimento que consiste em gerar questões, por meio de “palavras-chave” a aplicar aos “nós-de-estudo” (nomenclatura utilizada na referência bibliográfica [12]) de modo a verificar se existem desvios da intenção de operação e caso exista, indicar as causas e consequências de maneira a indicar uma correcção para diminuir a probabilidade de ocorrer ou mesmo elimina-lo.

A construção de um HAZOP com qualidade, só é possível obter com grandes ideias e imaginação fomentadas por equipas especialistas sendo assim mais fácil identificar o maior número de problemas e as suas respectivas soluções. Essa informação poderá ser obtida por documentação como fluxogramas, memórias descritivas, especificações técnicas, matrizes, diagramas ou desenhos [12].

O HAZOP caracteriza-se por ser um método “indutivo qualitativo”[12]. As equipas especialistas através de “palavras-chave” (Tabela 8) são capazes de elaborar perguntas para identificação das causas.

Tabela 8 – Lista de Palavras-chave [12]

Palavras Chave	Desvios Considerados
NÃO, NENHUM	Negação do propósito do projecto
MENOS	Decréscimo qualitativo
MAIS, MAIOR	Acréscimo qualitativo
TAMBÉM, BEM COMO	Acréscimo qualitativo
PARTE DE	Decréscimo qualitativo
REVERSO	Oposição lógica do propósito do projecto
OUTRO QUE, SENÃO	Substituição completa

3.7. ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGO

A “Análise Preliminar de Perigo - APP (Preliminary Hazard Analysis – PHA)” é um método de identificação de riscos de um novo processo ou de um já em funcionamento [12]. O APP ao analisar os riscos de cada processo, procura para cada um, as causas e os efeitos do mesmo. É realizada uma análise onde efectua-se uma avaliação, conforme a avaliação obtida e tendo em conta a prioridade estabelecida, procura a melhor forma de actuar para evitar ou eliminar o risco.

Para se proceder a análise de riscos é necessário o preenchimento de uma folha de APP em contém os seguintes parâmetros: Descrição do Perigo, das Causas, das Consequências, da Frequência, da Severidade, do Risco e das Recomendações. Relativamente ao preenchimento da Frequência, deve ser preenchida indicando as categorias de Frequência de Ocorrência (Tabela 9) em cada um dos cenários esperados. Para a Severidade o preenchimento é feito da mesma forma como na Frequência (Tabela 10).

Tabela 9 – Categorias de Frequência de ocorrência dos cenários [12]

Categoria	Denominação	Faixa de Frequência	Descrição
A	EXTREMAMENTE REMOTA	$f < 10^{-4}$	Conceptualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil do processo/instalação.
B	REMOTA	$10^{-4} < f < 10^{-3}$	Não esperado ocorrer durante a vida útil do processo/instalação.
C	IMPROVÁVEL	$10^{-3} < f < 10^{-2}$	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil do processo/instalação.
D	PROVÁVEL	$10^{-2} < f < 10^{-1}$	Esperado ocorrer até uma vez durante a vida útil do processo/instalação.
E	FREQUENTE	$f > 10^{-1}$	Esperado ocorrer várias vezes durante a vida útil do processo/instalação.

Tabela 10 – Categorias de Severidade de ocorrência dos cenários [12]

Categoria	Nome	Características
1	Desprezável	Não degrada o sistema nem seu funcionamento. Não ameaça os recursos humanos.
2	Marginal	Degradação moderada com danos menores. Não causa lesões. É compensável ou controlável.
3	Crítica	Degradação crítica com lesões. Dano substancial. Apresenta risco e necessita de ações correctivas.
4	Catastrófica	Séria degradação do sistema. Perda do sistema, morte e lesões.

Já em relação ao preenchimento do risco, utiliza-se uma matriz Frequência/Severidade (Fig.9) em que cada número desta corresponde a uma classificação (Tabela 11).

		FREQUÊNCIA				
		A	B	C	D	E
SEVERIDADE	IV	2	3	4	5	5
	III	1	2	3	4	5
	II	1	1	2	3	4
	I	1	1	1	2	3

Fig.9 – Matriz Frequência/Severidade [12]

Tabela 11 – Classificação [12]

Risco	
1	Desprezável
2	Menor
3	Moderado
4	Sério
5	Crítico

Procede-se por fim, a uma análise dos resultados propondo formas preventivas ou atenuantes nas recomendações.

3.8. MÉTODO MONTE CARLO

O Método “Monte Carlo” é um método numérico de modelação de fenómenos aleatórios irregulares.

Baseia-se em aproximações numéricas tornando um processo repetitivo de forma que quanto maior for o número de tentativas (interacções) mais próximo da solução real será [13]. Esta técnica relativamente a análise de risco consiste em alargar a técnica do PERT/CPM, calculando as probabilidades de atrasos do programa e ao mesmo tempo identifica as actividades situadas no caminho crítico. Obtêm assim um estudo em relação a custos e prazos na obra [2].

3.9. RELATIVE RANKING

“Relative Ranking” é um processo sistemático [14], em que os analistas comparam propriedades de processos ou actividades para obter valores de índices que representa o nível relativo de risco [15].

Os analistas poderão simular várias soluções tendo cada uma delas os seus índices, e no fim, fazer um estudo de comparação de maneira a identificar qual apresenta menor nível de risco. Na figura seguinte (Fig.10) apresenta-se um exemplo de estrutura de tabela do “Relative Ranking”.

Proprietário Coluna I		Bandeira Coluna II		Classe Social Coluna III		História de Embarque Coluna IV		Tipo de Embarcação Coluna V	
A.		A.		A. B. C. D. E.		A. B. C. D. E.		A. B. C. D.E.	
Total da Coluna I =		Total da Coluna II =		Total da Coluna III =		Total da Coluna IV =		Total da Coluna V =	
Pontos Máx. ___		Pontos Máx. ___		Pontos Máx. ___		Pontos Ilimitados		Pontos Máx. ___	
Total de pontos da Coluna I à V = ___									

Fig.10 – Exemplo Estrutura de Tabela [15]

3.10. WHAT IF ANALYSIS

O “What If Analysis” é um método que utilize “brainstorming¹” de modo estruturado para identificar problemas e determinar a sua probabilidade e gravidade do mesmo [16]. As respostas obtidas pelas questões, compõem a base para tomar decisões sobre a aceitabilidade dos riscos.

Este método não apresenta uma técnica estrutural como o HAZOP ou o FMEA, em vez disso, adapta o conceito base a uma situação particular [17].

Apresenta-se de seguida importantes passos a dar para a utilização deste método [15]:

- Construção do formulário;
- Selecção das variáveis;
- Construção da tabela de análise;
- Executar a análise de sensibilidade;
- Experimentar desde o início;
- Escolha uma análise de variáveis: Múltiplos “Outputs”;
- Uma análise de variáveis: Conclusão;
- Análise de duas saídas;
- Exemplo de Sensibilidade (Valor Presente Líquido/Taxa Interna de Retorno)

¹ Técnica de Dinâmica de Grupo

3.11. ANÁLISE DE PERIGOS E CONTROLO DE PONTOS CRÍTICOS

A “Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos (Hazard Analysis and Critical Control Points - HACCP)” é um método utilizado para identificar perigos e medidas para os controlar que se baseiam em 7 princípios [18]:

1. Análise de Perigos;
2. Determinação dos pontos críticos de controlo (PCC);
3. Estabelecimento dos limites críticos para cada PCC;
4. Estabelecimento de procedimentos de monitorização para controlo de cada PCC;
5. Estabelecimento das acções correctivas a tomar quando um dado PCC se encontra fora dos níveis aceitáveis;
6. Estabelecimento de procedimentos para a verificação que evidenciem que o sistema de HACCP funciona efectivamente
7. Estabelecimento de Sistemas de registo e arquivo de dados que documentam todo o plano de HACCP.

Este modelo tem sido aplicado essencialmente na segurança de produtos alimentares.

O uso do HACCP consiste na constituição de uma equipa de análise de risco que interpreta o plano de trabalhos à procura de perigos, para os eliminar ou diminuir para valores aceitáveis. Para aplicar medidas de controlo é necessário identificar os Pontos críticos de controlo (PCC) com o auxílio de um diagrama, como representado na figura (Fig.11).

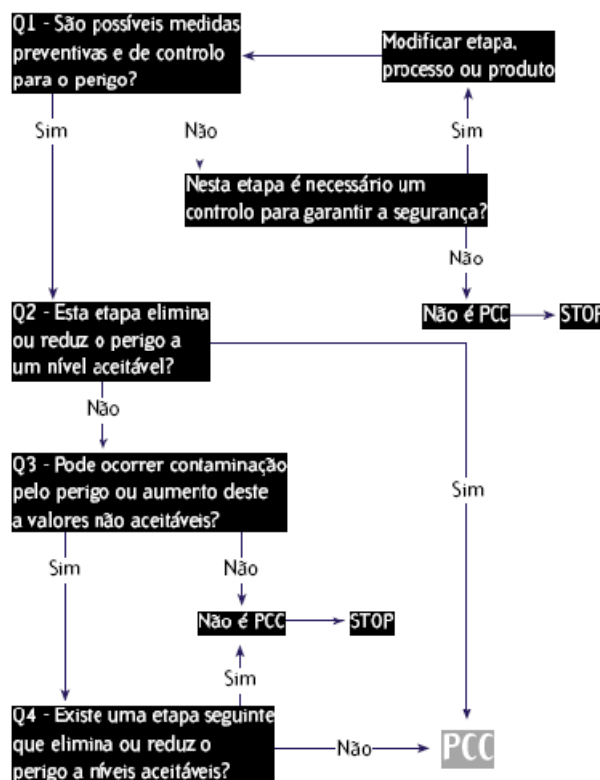


Fig.11 – Diagrama para auxílio da identificação do PCC [18]

Quando todos os pontos críticos forem identificados, devem-se analisar acções correctivas para cada ponto, tendo em consideração a probabilidade de ocorrência e gravidade dos danos. No final desta análise deve-se proceder a uma verificação.

3.12. SÍNTESE DAS METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE RISCO

Foram abordadas onze Metodologias de Análise de Risco. São metodologias que utilizam análises quantitativas, qualitativas ou mesmo ambas. Sendo que a Metodologia Monte Carlo é distinta, porque utiliza uma análise estatística. São métodos capazes de detectar falhas e dependendo de cada um, atribuir ponderações e prioridades do risco, atribuir classificação do mesmo e apresentar recomendações. Apresenta-se de seguida um quadro síntese (Tabela 12) de todas metodologias descritas anteriormente.

Tabela 12 – Quadro Síntese

Análise	Métodos	Forma de Avaliação	Forma de Recomendação
Qualitativa	Diagrama de Causa e Efeito	Identifica apenas as causas do problema.	Não propõem recomendações.
	Árvore de Eventos	Análise situações insatisfatórias através de questões em que a resposta é “Sim” ou “Não”.	Ajuda a adoptar acções de recomendação conforme o resultado ser um Sucesso ou Falha.
	Hazard Operation Process (HAZOP)	Identifica causas do risco através de questões construídas por “palavras-chave”.	Propõem acções de correcção de forma a diminuir ou eliminar a probabilidade de ocorrer o risco conforme as respostas obtidas.
	Árvore de Falha	Identifica a probabilidade de cada risco ocorrer.	Ajuda a adoptar acções de recomendação conforme a probabilidade de ocorrência.
Quantitativa	Relative Ranking	Atribui índices aos riscos.	Elaboração de um estudo de comparação para detectar o que apresenta o menor risco.
	Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos (HACCP)	Identifica os pontos críticos com o auxílio de um diagrama; Identifica a Gravidade e a Probabilidade de Ocorrência do risco; Avalia se o risco apresenta valores aceitáveis.	Propõem acções de correcção.

Análise	Métodos	Forma de Avaliação	Forma de Recomendação
Qualitativa e Quantitativa	Análise de Causas e Consequências	Identifica a probabilidade de cada risco ocorrer; Atribui um nível de risco conforme o valor da probabilidade.	Ajuda a adoptar acções de recomendação conforme a probabilidade de ocorrência.
	FMEA/FMECA	Identifica os riscos atribuindo índices conforme a gravidade do mesmo; Identifica as causas do risco; Identifica a prioridade do risco.	Propõem acções de prevenção e eliminação do risco.
	What If-Analysis	Identifica os riscos e determina a probabilidade de ocorrer; Atribui prioridades aos riscos.	Propõem recomendações baseadas nas respostas às questões propostas.
	Análise Preliminar de Perigo	Identifica os riscos atribuindo índices de Frequência e Severidade; Identifica as causas do risco; Identifica a prioridade do risco.	Propõem acções de prevenção e eliminação do risco.
Estatística	Método de Monte Carlo	Calcula a probabilidade de atrasos no plano de trabalhos.	Não propõem recomendações.

3.13. PROGRAMAS INFORMÁTICOS

Cada vez mais no mercado surgem novos programas informáticos para auxílio do Engenheiro na análise de riscos. Contudo o objectivo destas ferramentas é ajudar no processo de cálculo (acelerando-o) e na reprodução gráfica. Apresento de seguida alguns programas existentes no mercado.

3.13.1. @RISK 4.1.4 FOR PROJECT [19]

O @Risk for Project é uma ferramenta informática de análise de riscos que utiliza como metodologia o método de Monte Carlo.

Com esta ferramenta é possível através da simulação de Monte Carlo criar vários cenários e com eles calcular a probabilidade de ocorrência para cada uma das tarefas, identificando assim, as que apresentam maior risco.

Caso a existência de variáveis com valores incertos no projecto, este programa têm a capacidade de utilizar distribuições probabilísticas (como por exemplo: função normal e a distribuição triangular) de modo a representar todo tipo de valores que a variável possa adquirir.

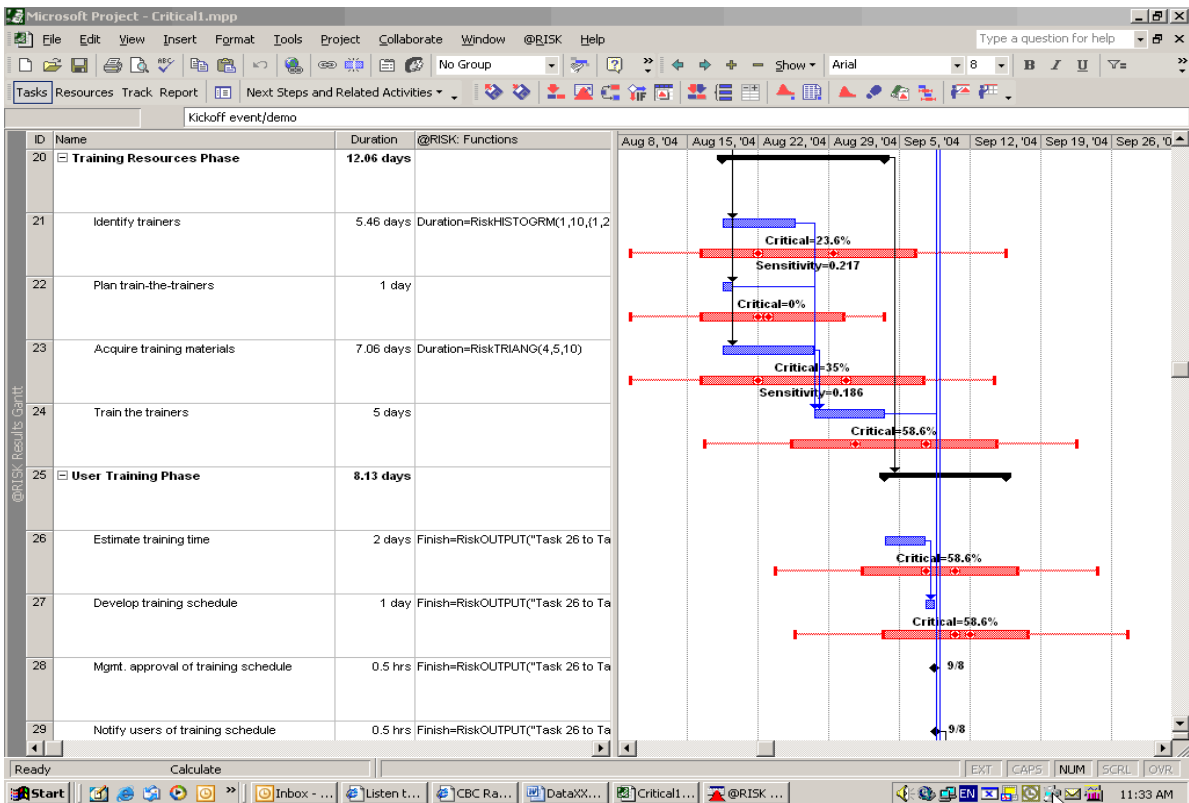


Fig.12 – Programa Informático @Risk 4.1.4 for Project [19]

3.13.2. PERTMASTER [20] [21] [22]

O Pertmaster é outro programa de análise de riscos existente no mercado que usa o método de Monte Carlo e o Caminho crítico.

Através desses métodos é capaz de criar variados cenários do projecto obtendo assim distribuições probabilísticas relativas a custos e tempo. Com isso é possível identificar as tarefas que apresentam maior risco.

Consegue também como no caso do programa anterior quando se depara com variáveis com valores incertos utilizar as distribuições probabilísticas para os obter.

Esta ferramenta tem a capacidade também de calcular a probabilidade do projecto terminar na data estipulada e de cumprir o orçamento.

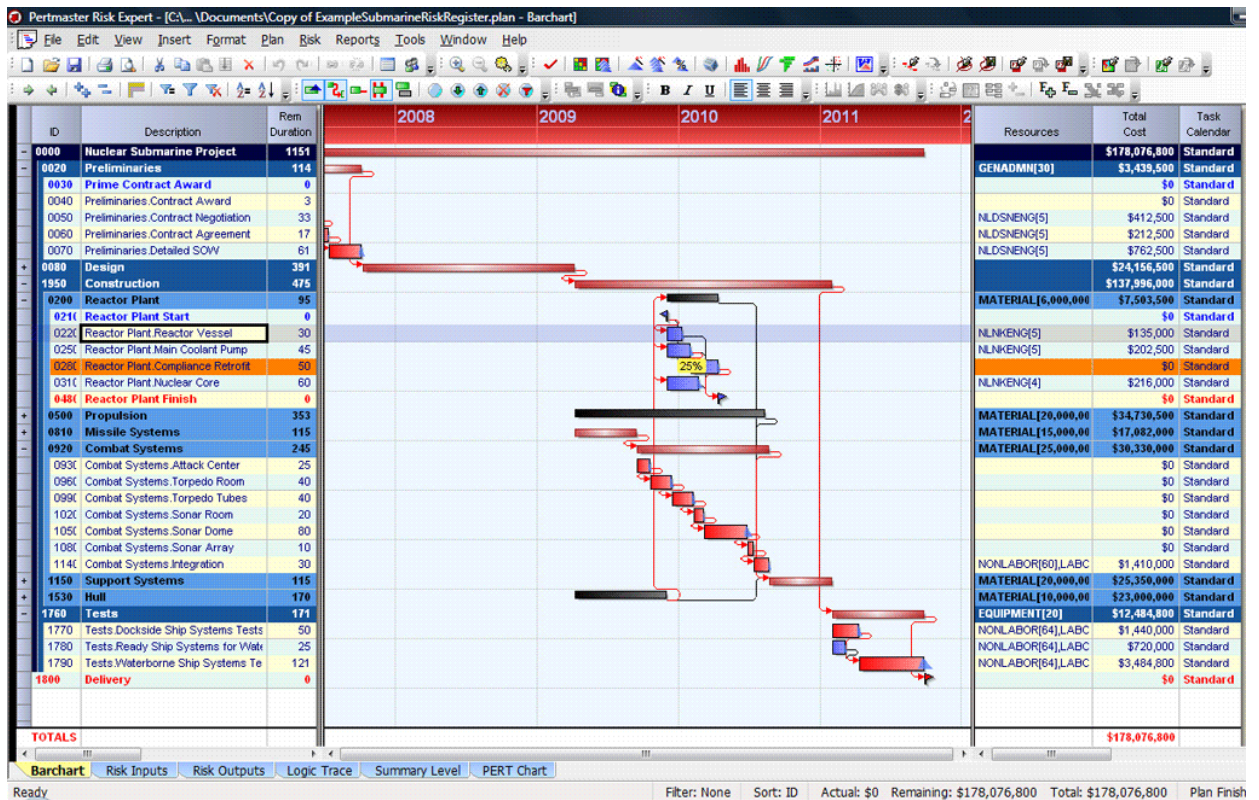


Fig.13 – Programa Informático Pertmaster [23]

3.13.3. XFMEA [24]

O programa Xfmea foi desenvolvido para utilizar os métodos FMEA ou FMECA. Utiliza uma base de dados de modo a que entrada de dados e a sua gestão seja facilitada, sendo construída através de análises existentes e poderá ser aumentada por cada nova análise efectuada.

Com estes dados a avaliação do risco por meio da Graduação de Prioridade do Risco (RPN) ou análise de criticidade será muito mais ponderada.

Esta ferramenta é capaz de apoiar o utilizador a verificar se as recomendações de eliminar ou diminuir o risco estão a ser conseguidas.

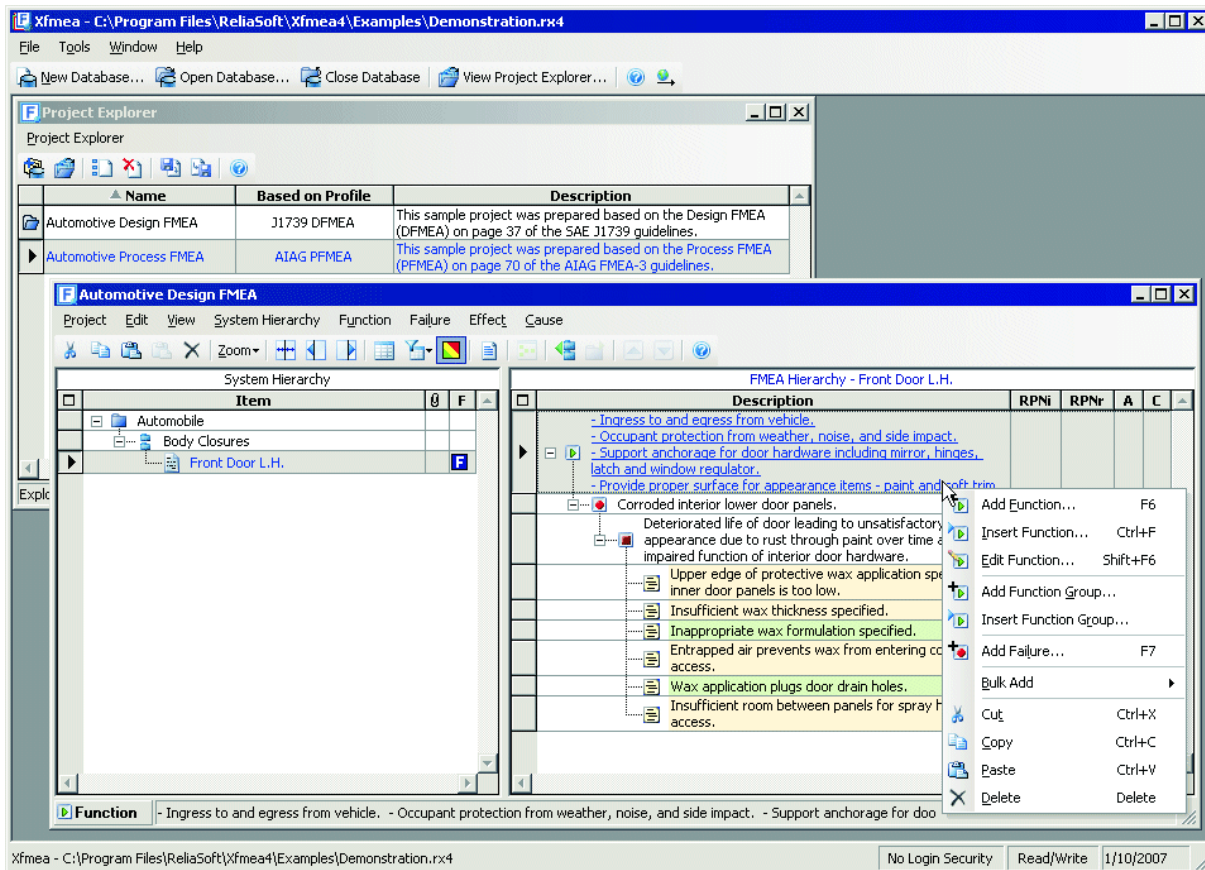


Fig.14 – Programa Informático Xfmea [24]

3.13.4. RELEX 2009 [25]

O Relex 2009 é a plataforma que apresenta o maior número de métodos, como por exemplo: FMEA/FMECA, Árvore de Eventos, Árvore de Falha.

Este programa é o mais interessante em relação aos outros, pois é capaz de utilizar mais do que um método para o mesmo caso em estudo. Os resultados obtidos poderão ser representados via gráficos, tabelas ou diagramas com uma apresentação acessível ao utilizador.

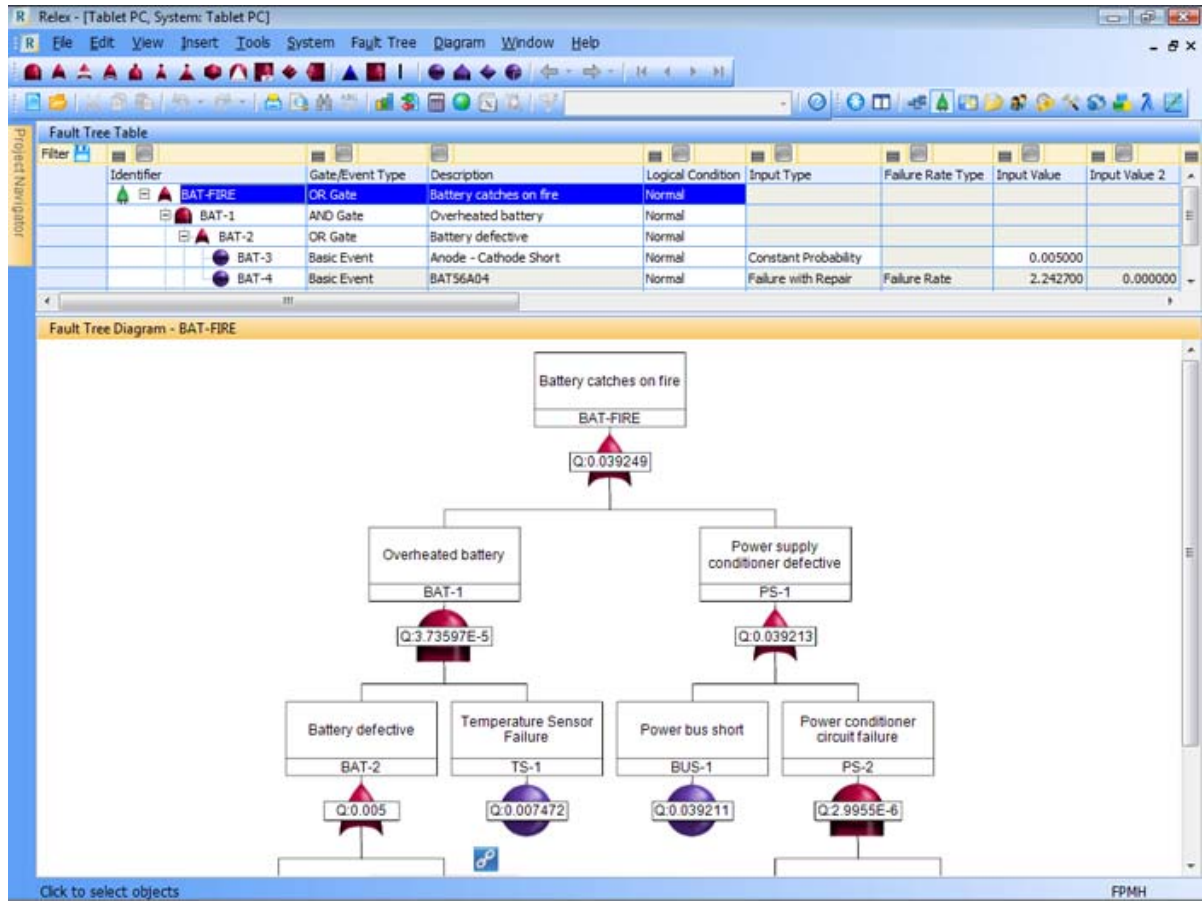


Fig.15 – Programa Informático Relex 2009 [25]

4

MODELO DE PLANEAMENTO EM SITUAÇÕES DE INCERTEZA E RISCO

Cada vez mais na Construção é necessário introduzir uma análise de risco no projecto, quer seja a análise referente a custos, tempo, qualidade e recursos.

Torna-se assim evidente, que a utilização de uma análise de risco deve cada vez mais ser implementada, através da prevenção, esta poderá trazer benefícios a longo prazo (menores custos), do que os riscos acontecerem e o impacto dos mesmos ser bastante prejudicial para o projecto.

É necessário então, fazer um levantamento antecipado de todos os riscos que poderão afectar o projecto, obter uma ponderação conforme a gravidade de cada um e tomar medidas preventivas.

Por esse motivo vários organismos encontraram formas de avaliar os riscos através de criação de metodologias. Dessa forma neste capítulo pretende-se dar a conhecer um modelo de avaliação de riscos de uma forma mais completa.

4.1. BASE DO MODELO

O Modelo de Planeamento em situações de incerteza e risco baseia-se na adaptação do método apresentado no capítulo anterior conhecido como "Análise Preliminar de Perigo" e na Análise de PERT. O modelo a ser estudado vai seguir essencialmente os aspectos chave do APP, identificando as falhas de cada tarefa recorrendo aos índices Severidade e Ocorrência, detectando o nível de risco, procurando mitigar ou mesmo suprimir.

4.2. DESCRIÇÃO DO MODELO

O modelo têm como objectivo ser um método simples de forma a detectar riscos (falhas) num plano de trabalhos atribuindo ponderações ao risco de modo a propor recomendações para atenuar ou eliminar o mesmo. Pretende-se que seja uma avaliação básica do problema, simples de interpretação de resultados e em caso de necessidade de realizar um estudo aprofundado seja um ponto de partida.

Através deste modelo procura-se analisar de uma forma coerente o risco, por questões pré-definidas ou pela experiencia da equipa, de modo a identificar as causas e consequências que levam a tarefa a falhar.

A análise de risco é auxiliada por preenchimento de um quadro (Tabela 13) em que a maioria dos campos é de carácter analítico e descritivo, à excepção da Severidade, Ocorrência e Risco que são índices e por isso os seus campos são quantitativos.

Tabela 13 – Quadro de Análise de Risco

Tarefa	Falha	Causa	Consequência	Severidade	Ocorrência	Risco	Recomendações
--------	-------	-------	--------------	------------	------------	-------	---------------

A Severidade é apresentada por um índice que demonstra a gravidade da falha. Este índice será graduado de 1 a 10 (sendo o 1 desprezável e o 10 crítico) dependendo do valor da variância (quanto maior for o valor mais grave se torna) como apresenta no quadro do grau da severidade (Tabela 14). Em relação aos intervalos da variância, adoptou-se por uma transição mais suave, ou seja, apresenta-se como uma expressão linear. Os intervalos poderão igualmente ser apresentados de um outro modo, mais acentuado, através da representação de uma curva exponencial.

Para se obter a variância é necessário inicialmente proceder a uma análise PERT ao plano de trabalho e assim determinar as durações optimistas, pessimistas. Com essas durações é possível aplicar a fórmula (2) da variância. Opta-se pela variância porque através desse valor é possível verificar se a tarefa apresenta um grau de incerteza elevado ou não, quer dizer que, quanto maior for a amplitude do intervalo entre as duas durações, maior vai ser a probabilidade da tarefa não cumprir a duração estipulada, indicando assim um maior risco.

Tabela 14 – Graduação da Severidade

Grau de Severidade	Variância (V)
1	$V < 4,99$
2	$5 < V < 9,99$
3	$10 < V < 14,99$
4	$15 < V < 19,99$
5	$20 < V < 24,99$
6	$25 < V < 29,99$
7	$30 < V < 34,99$
8	$35 < V < 39,99$
9	$40 < V < 44,99$
10	$V > 45$

A Ocorrência é um índice que indica a probabilidade da falha ocorrer. A graduação deste índice vai ser de 1 a 10 (Tabela 15) e a probabilidade é obtida por estudo de situações idênticas ou por experiência obtida ao longo de outras obras.

Tabela 15 – Graduação da Ocorrência

Grau de Ocorrência	Denominação	Probabilidade
1	Extremamente remota	< 0,01%
2	Remota, muito pouco provável	0,011% – 0,20%
3	Probabilidade muito reduzida	0,21% – 0,60%
4	Probabilidade reduzida	0,61% – 2,00%
5	Ocasional	2,001% – 5,00%
6	Moderada	5,001% – 9,999%
7	Frequente	10,0 – 14,999%
8	Alta	15,0 – 24,999%
9	Muito Alta	> 25,0%
10	É Certa	100%

Em relação ao risco é necessário utilizar uma matriz Severidade/Ocorrência (Fig.16) em que cada número vai corresponder a uma Classificação do Risco (Tabela 16).

Ocorrência	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	9	4	4	4	4	4	5	5	5	5	
	8	3	3	3	4	4	4	5	5	5	
	7	3	3	3	3	4	4	4	5	5	
	6	2	3	3	3	3	4	4	4	5	
	5	2	2	3	3	3	3	4	4	4	
	4	2	2	2	3	3	3	3	4	4	
	3	1	2	2	2	3	3	3	3	4	
	2	1	1	2	2	2	3	3	3	4	
	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
		Severidade									

Fig.16 – Matriz Severidade/Ocorrência

Tabela 16 – Classificação do Risco

Risco	
1	Desprezável
2	Menor
3	Moderado
4	Sério
5	Crítico

Por fim, é essencial proceder a uma análise conforme a classificação obtida, caso o risco seja Moderado, Sério ou Crítico é necessário através de preenchimento do campo das recomendações propor medidas de prevenção ou eliminação. Se o risco for Desprezável ou Menor é necessário propor apenas Recomendações para prevenção de modo que o risco não aumente.

Em conclusão deste capítulo expõem-se um fluxograma (Fig.17) do funcionamento do modelo para cada tarefa de um projecto.

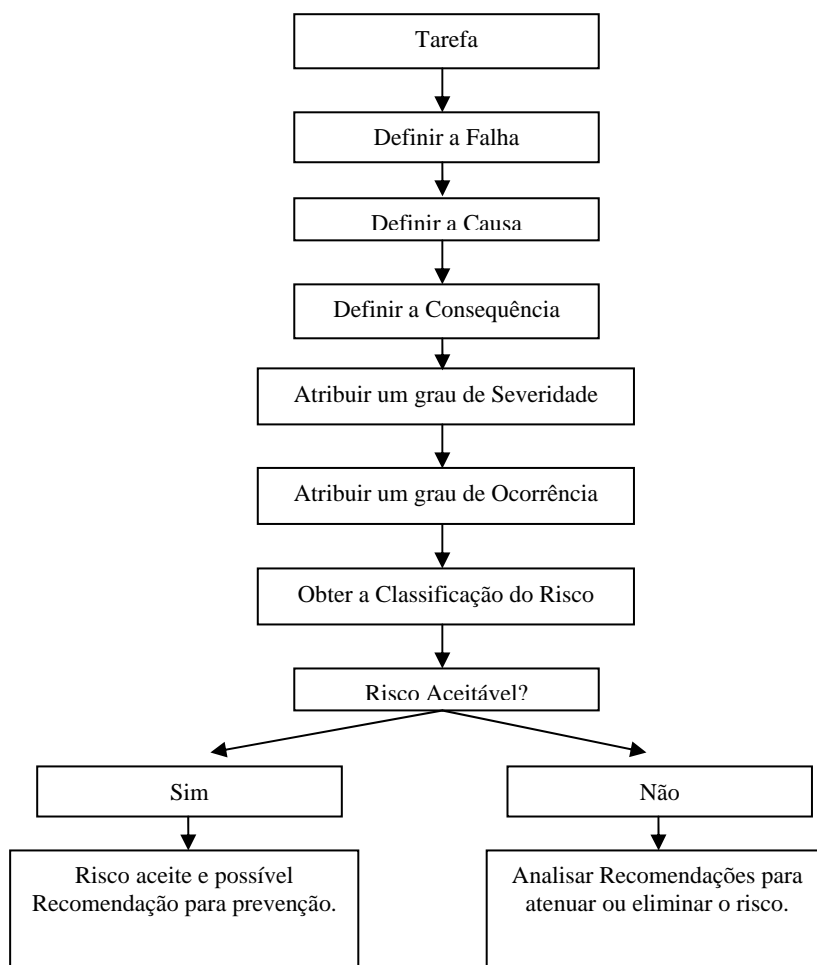


Fig.17 – Fluxograma do Modelo

5

APLICAÇÃO DO MODELO E DE UM PROGRAMA INFORMÁTICO A UM PROJECTO

O presente capítulo têm como finalidade a realização da análise de risco relativo a prazos de um projecto de construção, utilizando o modelo descrito no capítulo anterior, tendo complementarmente para a mesma análise utilizado um programa informático, o Pertmaster.

O projecto de construção é fornecido pela Soares da Costa que consiste na construção de uma ETAR, dividindo-se em três frentes, sendo que cada uma corresponde a uma grua. O plano de trabalhos é constituído por uma grande quantidade de tarefas e tratando-se de um exemplo académico adoptou-se apenas as tarefas do grupo Execução da Plataforma/Trabalhos Preliminares e da Construção dos Órgãos/Edifícios da ETAR em que neste último só se considerou a construção do Reactor Biológico 2. Na tabela seguinte (Tabela 17) são identificadas as tarefas a realizar e respectivas durações e na figura (Fig.18) mostra-se parte do Diagrama de Gantt² retirado do plano de trabalhos base. Na figura as tarefas a vermelho são as que se encontram no caminho crítico.

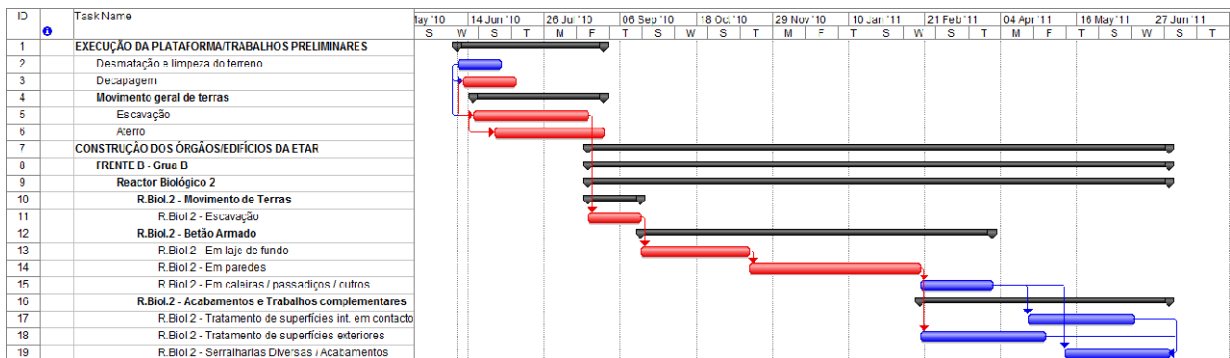


Fig.18 – Diagrama de Gantt

² O Diagrama de Gantt encontra-se a uma escala maior no anexo A1

Tabela 17 – Mapa de Tarefas

Tarefas		Duração
EXECUÇÃO DA PLATAFORMA/TRABALHOS PRELIMINARES		
T1	Desmatação e limpeza do terreno	18
T2	Decapagem	21
Movimento Geral de Terras		
T3	Escavação	45
T4	Aterro	45
CONSTRUÇÃO DOS ÓRGÃOS/EDIFÍCIOS DA ETAR		
FRENTE B - Grua B - Reactor Biológico 2		
Movimento de Terras		
T5	Escavação	21
Betão Armado		
T6	Laje de Fundo	42
T7	Paredes	68
T8	Caleiras/Passadiços/Outros	28
Acabamentos e Trabalhos Complementares		
T9	Tratamento de superfícies interiores em contacto com líquidos	42
T10	Tratamento de superfícies exteriores	49
T11	Serralharias Diversas/Acabamentos	42

5.1. APLICAÇÃO DO MODELO

A análise de risco utilizando o modelo vai ser auxiliada com o preenchimento de um Quadro (Tabela 13) como se encontra no capítulo anterior e tratando de um estudo académico adopta-se uma possível falha para cada tarefa.

Neste estudo é necessário inicialmente proceder-se a uma análise PERT para determinação das durações pessimistas, esperadas e optimistas (Tabela 19). Para realização da análise utiliza-se uma distribuição triangular com as ponderações para cada tarefa como apresenta na Tabela seguinte (Tabela 18).

Tabela 18 – Distribuição Triangular

Duração	Ponderação
Optimista	0,75
Espera	1
Pessimista	1,25

Tabela 19 – Durações das Tarefas

Tarefas	Duração	Duração Optimista	Duração Esperada	Duração Pessimista
T1	18	14	18	22
T2	21	16	21	26
T3	45	34	45	56
T4	45	34	45	56
T5	21	16	21	26
T6	42	32	42	53
T7	68	51	68	85
T8	28	21	28	35
T9	42	32	42	53
T10	49	37	49	61
T11	42	32	42	53

Depois da análise PERT com as durações determinadas para cada uma das tarefas, é possível calcular a variância utilizando a fórmula (2) e atribuir o respectivo grau de Severidade. O grau de Ocorrência será atribuído de um modo subjectivo e ponderado de forma a poder apresentar várias soluções de risco. No final deste processo é possível atribuir a cada uma das tarefas uma Classificação do Risco. Para atribuição do grau de Severidade, do grau de Ocorrência e Classificação do Risco são utilizados os quadros do capítulo anterior.

Tabela 20 – Tarefas com a Classificação do Risco

Tarefas	Variância	Grau de Severidade	Grau de Ocorrência	Risco	Classificação do Risco
T1	2,25	1	4	1	Desprezável
T2	2,78	1	6	2	Menor
T3	13,44	3	7	3	Moderado
T4	13,44	3	8	3	Moderado
T5	2,78	1	8	3	Moderado
T6	12,25	3	9	3	Moderado
T7	32,11	7	7	4	Sério
T8	5,44	2	3	1	Desprezável
T9	12,25	3	5	2	Menor
T10	16,00	4	5	3	Moderado
T11	12,25	3	4	2	Menor

Com os dados obtidos é possível completar o Quadro de Análise Risco (Tabela 19) com os respectivos campos em falta como a Falha, Causa, Consequência e Recomendações.

Tabela 21 – Quadro de Análise de Risco

Tarefa	Falha	Causa	Consequência	Classificação do Risco	Recomendações
T1	Prolongamento da duração da tarefa.	Condições meteorológicas adversas.	Alteração da data de conclusão da tarefa.	Desprezável	Aumentar o número de trabalhadores por equipa.
T2	Atraso na execução da tarefa.	Avaria do equipamento.	Aluguer de um equipamento e alteração da data de execução da tarefa.	Menor	Manutenção do equipamento antes de iniciar trabalhos.
T3	Prolongamento da duração da tarefa.	O terreno apresenta um extracto rochoso.	Aplicar explosivos no extracto rochoso e alteração da data de conclusão da tarefa.	Moderado	Fazer estudos geotécnicos para estudar os extractos possíveis de encontrar no terreno.
T4	Atraso na execução da tarefa.	O solo retirado da escavação não tem características para ser utilizado em aterro.	Comprar solo para aterro e alteração da data de execução da tarefa.	Moderado	Fazer estudos geotécnicos para verificar se o solo de escavação apresenta propriedades necessárias para aterro.
T5	Prolongamento da execução da tarefa.	Nível freático a cota do fundo da escavação.	Ruptura do fundo da escavação e alteração da data de conclusão da tarefa.	Moderado	Rebaixamento da cota do nível freático através de bombagem.
T6	Prolongamento da execução da tarefa.	Betão sem as características exigidas em projecto.	Reforço da estrutura e alteração da data de conclusão da tarefa.	Moderado	Realizar teste do cubo aos 3, 7 e 28 dias e realizar o ensaio Slump.
T7	Atraso na betonagem.	A armadura não se encontra de acordo com o projecto.	Alteração da data de conclusão da tarefa.	Sério	Ações de Fiscalização regulares.

Tarefa	Falha	Causa	Consequência	Classificação do Risco	Recomendações
T8	Prolongamento da duração da tarefa.	Falta de mão-de-obra por parte do subempreiteiro.	Alteração da data da conclusão da tarefa.	Desprezável	Escolha cuidadosa do subempreiteiro.
T9	Má execução do tratamento de superfícies.	Falta de experiência por parte da equipa que executa a tarefa.	Repetição da tarefa provocando a alteração da data final da tarefa.	Menor	Formação prévia da equipa que vai executar esta tarefa específica.
T10	Atraso na entrega do material para a execução da tarefa.	Atraso no pedido de material de tratamento de superfícies ao fornecedor.	Alteração da data de execução da tarefa.	Moderado	Pedir com antecedência o material ao fornecedor.
T11	Atraso na execução da tarefa.	Falta por parte do subempreiteiro.	Alteração da data de execução da tarefa.	Menor	Escolha cuidadosa do subempreiteiro.

Após preenchimento do quadro anterior e de uma análise verifica-se que as tarefas T3, T4, T5, T6, T7 são as que apresentam maior perigo porque se encontram no caminho crítico e possuem uma classificação de risco de Moderado e Sério. Portanto são tarefas que necessitam de um maior controlo devido a cada tarefa condicionar o plano de trabalhos aumentando assim o tempo de execução de obra. A tarefa T10 não se encontra no caminho crítico mas não deixa de necessitar atenção porque apresenta uma classificação de Moderado, requerendo assim, uma prevenção ou mesmo eliminação do risco devido a poder condicionar outras tarefas.

5.2. APLICAÇÃO DO PERTMASTER

A análise de risco neste ponto vai ser realizada utilizando o programa Pertmaster, sendo uma versão de demonstração encontra-se limitada no aspecto de quantidade de tarefas e na distribuição probabilística das durações apenas esta disponível a triangular (Fig.19).

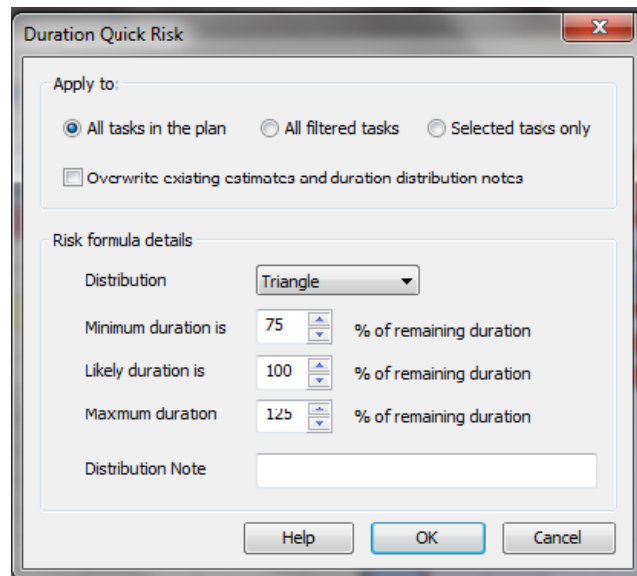


Fig.19 – Distribuição utilizado pelo Pertmaster

Para se dar início à análise é necessário preencher com as tarefas e as respectivas durações sendo o seu funcionamento idêntico ao da ferramenta Microsoft Project. Em relação as durações probabilísticas o seu preenchimento é realizado de um modo automático utilizando a distribuição da figura anterior.

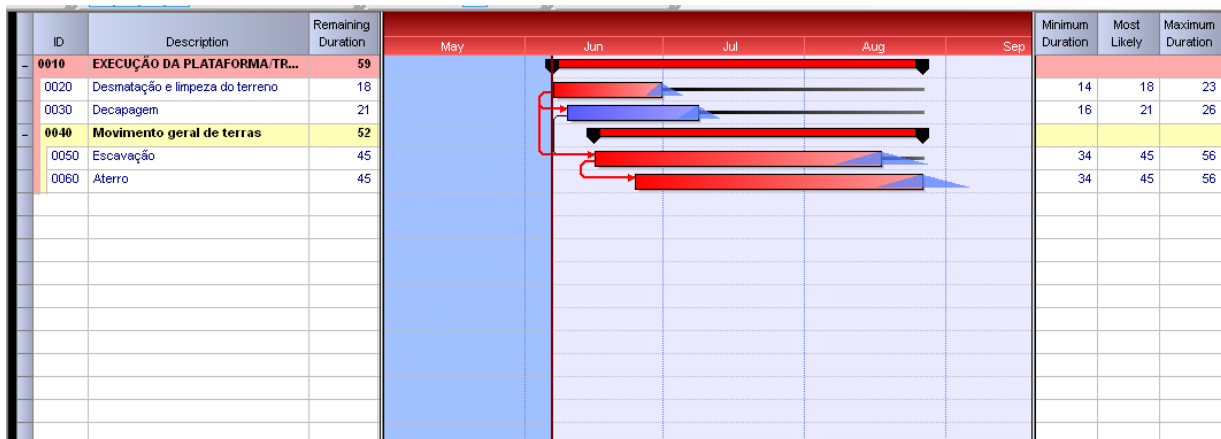


Fig.20 – Diagrama de Gantt do Pertmaster

No fim do processo anterior, atribuí-se às tarefas os mesmos riscos com as mesmas ponderações, causas e consequências utilizadas no Modelo, podendo o Pertmaster armazenar os riscos numa base de dados para possíveis utilizações em outras análises.

Concluído o preenchimento da Tabela de Riscos (Fig.21) executa-se a análise de risco recorrendo à simulação de Monte Carlo sendo necessário escolher o número de interações que se pretende utilizar, no caso deste exemplo adoptou-se 1000 interações.

Qualitative			Quantitative		
Risk					
ID	T/O	Title			
001	T	Condições Atmosféricas			
002	T	Avaria do equipamento			
003	T	O terreno apresenta um extracto rochoso			
004	T	O solo retirado da escavação não tem características para ser utilizado em aterro			

Fig.21 – Tabela de Riscos do Pertmaster

Após correr o programa obteve-se a informação da data de inicio e fim do projecto. Possui também a capacidade de construir um diagrama de distribuição em que a partir do resultado é capaz de se obter a informação da probabilidade de concluir o projecto na data pretendida, da probabilidade do projecto terminar numa data específica ou de escolher uma percentagem e essa indicar a data em que se encontra a conclusão do projecto. Do mesmo modo a informação descrita acima pode ser criada para cada uma das tarefas. Em relação a este exemplo prático obtêm-se os seguintes diagramas de distribuição (Fig.22 e Fig.23).

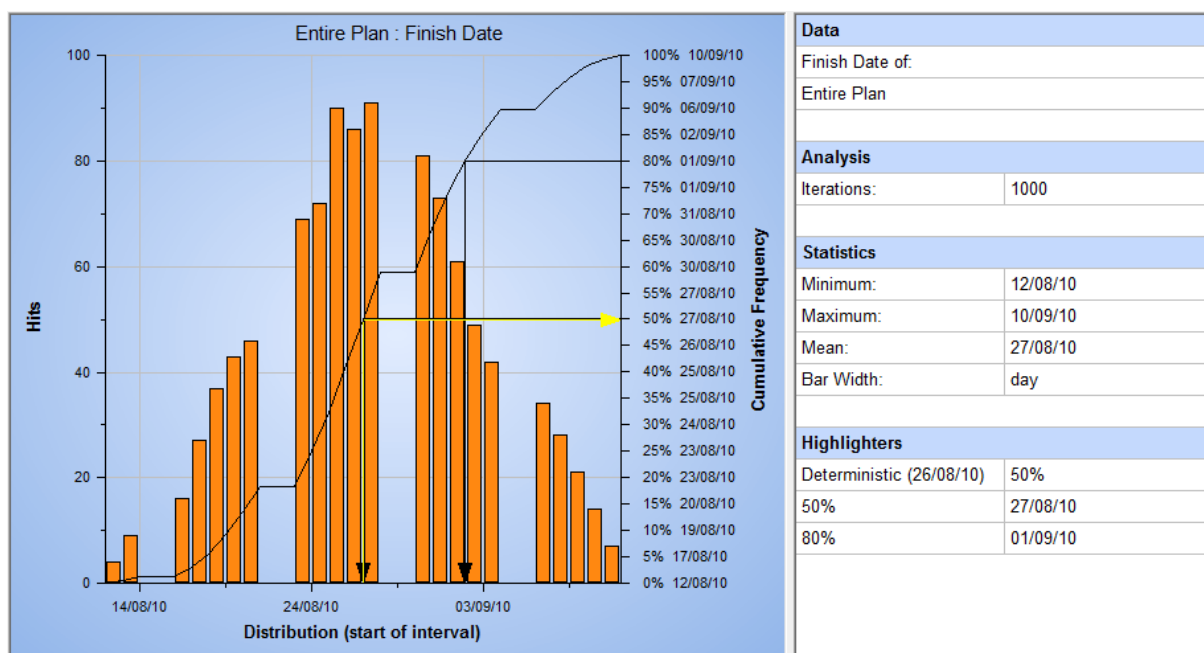


Fig.22 – Diagrama de distribuição da data final de projecto

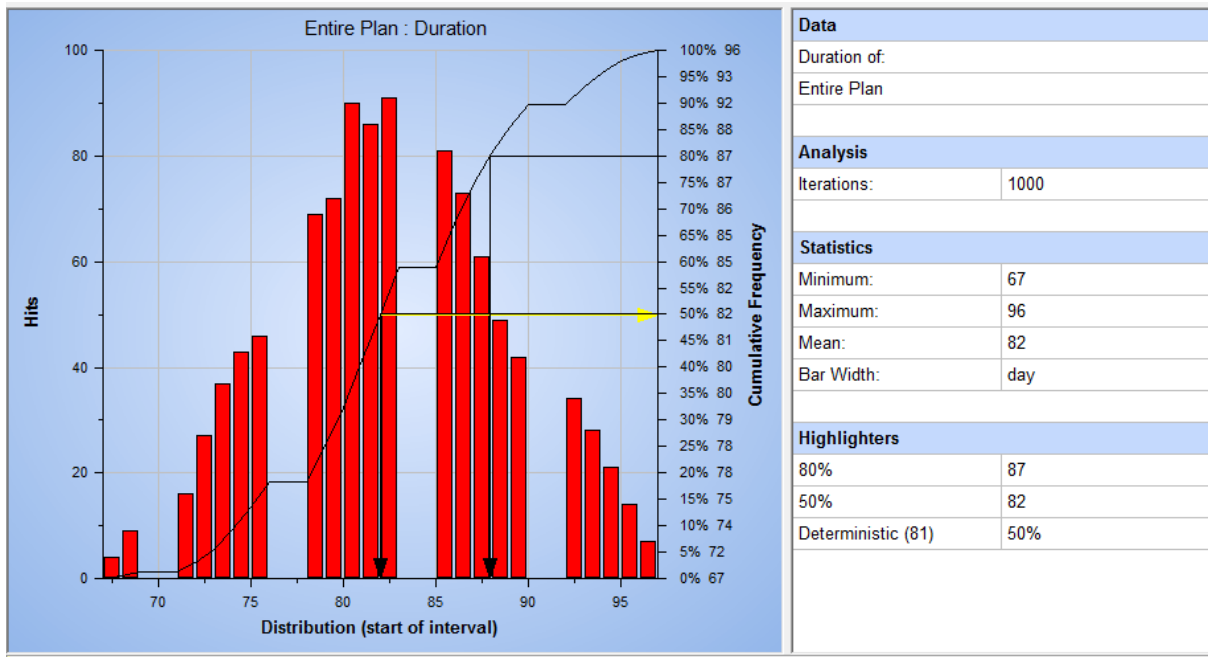


Fig.23 – Diagrama de distribuição da duração do projecto

As tarefas utilizadas neste exemplo deveriam ter um tempo médio esperado de 59 dias. Por análise dos diagramas pode concluir-se que a probabilidade de ter uma duração de 82 dias é de 50%, no caso de a duração corresponder a 87 dias a probabilidade sobe para 80%. Com base nestes resultados serão propostas recomendações para que a duração se aproxime do tempo médio esperado, dessa forma atribuiu-se às tarefas as mesmas recomendações presentes na aplicação do modelo.

6

CONCLUSÃO

6.1. CONCLUSÃO

Em conclusão, o Modelo é um método simples e de fácil utilização. Possui a capacidade de detectar situações de risco num plano de trabalhos de forma a analisá-los e propor recomendações para atenuação ou eliminação do risco. É capaz de realizar uma avaliação básica sendo um ponto de partida para um possível estudo mais aprofundado e apresenta a capacidade de proceder a uma análise de risco de grandes dimensões, mas devido ao curto tempo na elaboração da dissertação não foi possível proceder-se a uma análise dessa dimensão.

É de notar, que o Modelo apresenta uma maior precisão utilizando uma distribuição normal. Contudo, uma vez que o programa informático só pode utilizar uma distribuição triangular, adoptou-se em ambas a mesma distribuição para a realização da análise de risco com os mesmos dados. Verifica-se também que o grau de Severidade será atribuído de modo igual por quem o utilizar, enquanto o grau de Ocorrência será atribuído conforme a experiência da equipa que irá realizar a análise e da empresa que possui o conhecimento das probabilidades das falhas ocorrerem.

Sendo a aplicação Pertmaster um complemento, apresenta-se de seguida algumas conclusões. O programa informático torna-se vantajoso devido a sua rapidez de utilização e no seu fácil uso. Consegue analisar vários cenários para o mesmo problema utilizando a simulação Monte Carlo e com a vantagem de criar uma base de dados de risco que poderá ser utilizada em outros projectos acelerando o processo de análise e tornando-a o mais completa possível.

A vantagem do Modelo em relação ao Pertmaster é o baixo custo da aplicação, sendo uma alternativa a programas informáticos e ser um processo de análise simples, pelo contrário o Pertmaster em relação ao modelo, possui a capacidade de calcular as durações das tarefas ficando estas concluídas conforme os riscos associados.

6.2 CONSIDERAÇÕES FUTURAS

Como considerações futuras, sugere-se, a aplicação do modelo a outros casos práticos para identificação da sua aplicabilidade na vida real e a sua viabilidade.

A criação de modelos idênticos mas associados a custos e a qualidade de modo a complementar o modelo existente e tornar-se uma ferramenta de análise de risco mais abrangente e criar uma pequena ferramenta em Microsoft Excel na base dos três modelos para uma utilização mais acessível e rápida.

E por último a criação de uma base de dados de risco, onde se compilada todos os riscos identificáveis nas diferentes obras, de modo a proceder-se a futuras análises em que seja realizada de forma mais rápida e que a atribuição dos riscos às tarefas de um projecto seja o mais completo possível.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Akintoye, A., MacLeod, M. *Risk analysis and management in construction*. International Journal of Project Management, 1997, Volume 15, Artigo 1, pág. 31-38.
- [2] Rodão, V. *Gestão de Projectos - Abordagem Instrumental ao Planeamento, Organização e Controlo*. Monitor, Lisboa, 2007.
- [3] Tavares, L., et al. *Investigação Operacional*. McGraw Hill, Lisboa, 1996.
- [4] <http://cadeiras.iscte.pt/PTecIII/Docs/Ishikawa.pdf> Março de 2010.
- [5] Aven, T. *Reliability and Risk Analysis*. Elsevier Applied Siena, Londres, 1992.
- [6] <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdocs/summary?doi=10.1.1.20.9649> Março de 2010.
- [7] <http://www.forma-te.com/mediateca/download-document/5404-analise-de-arvore-de-falhas.html> Março de 2010.
- [8] Aven, T. *Risk Analysis: Assessing Uncertainties Beyond Expected Values and Probabilities*. Wiley, Londres, 2009.
- [9] <http://www.scribd.com/doc/14502062/FTA-Fault-Tree-Analysis> Março de 2010.
- [10] Brito, J., Costa e Silva, S., Fonseca, M. *Metodologia FMEA e sua aplicação à construção de Edifícios*. Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção, 21 a 24 de Novembro de 2006, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [11] Moreira da Costa, J. *Apontamentos da disciplina Qualidade na Construção 2009/2010*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [12] Aguiar, L. *Metodologias de Análise de Riscos APP & HAZOP*. Maio de 2006. http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/Josimar/APP_e_HAZOP.pdf Março de 2010.
- [13] <http://www.eltonminetto.net/docs/monteCarloDistribuido.pdf> Abril de 2010.
- [14] http://www.ceet.niu.edu/depts/tech/asse/tech482/relative_ranking.doc Abril de 2010.
- [15] Modvackova, L. *Risk Management in Construction*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia do Porto, 2006.
- [16] <http://risk.arizona.edu/healthandsafety/labchemicalsafety/What-IfHazardAnalysis.pdf> Abril de 2010.
- [17] Chemisinoff, N., Graffin, M. *Environmental and Health & Safety Management: A Guide to Compliance*. Noyes Publications, Estados Unidos da América, 1995.
- [18] http://www.dgv.min-agricultura.pt/higiene_publica/Cod_Boas_Praticas/Plataforma%20CBP_20081215/F%20-%20guia_bolso_HACCP_AESBUC.pdf Março de 2010.
- [19] <http://www.palisade-br.com/riskproject> Abril de 2010.
- [20] <http://www.verano.com.br/pertmaster.html> Abril de 2010.
- [21] <http://acc.dau.mie/communityBrowser.aspx?id=113411> Abril de 2010.
- [22] <http://www.oracle.com/us/products/applications/042371.htm> Abril de 2010
- [23] http://imgrocker.net/images/screnn_1.gif Abril de 2010
- [24] <http://www.reliasoft.com.br/xfmea/index.html>

[25] <http://www.relex.com/products/index.asp>

BIBLIOGRAFIA

- Aguiar, L. (2006). *Metodologias de Análise de Riscos APP & HAZOP*. http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/Josimar/APP_e_HAZOP.pdf Março de 2010.
- Aibune, A. e Odeyinka, H. (2006). *Construction Delays and Their Causative Factors in Nigeria*. Journal of Construction Engineering and Management, Volume 132, Artigo 7, pág. 667-677.
- Akintoye, A., MacLeod, M. (1997). *Risk analysis and management in construction*. International Journal of Project Management, Volume 15, Número 1, pág. 31-38.
- Al-Momani, A. (2000). *Construction delay: a quantitative analysis*. International Journal of Project Management, Volume 18, Artigo 1, pág. 51-59.
- Aven, T. (1992). *Reliability and Risk Analysis*. Elsevier Applied Siena, Londres.
- Aven, T. (2009). *Risk Analysis: Assessing Uncertainties Beyond Expected Values and Probabilities*. Wiley, Londres.
- Ayyub, B. (2003). *Risk Analysis in Engineering and Economics*. Chapman & Hall/CRC, Estados Unidos da América.
- Brito, J., Costa e Silva, S., Fonseca, M. (2006). *Metodologia FMEA e sua aplicação à construção de Edifícios*. Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção, 21 a 24 de Novembro de 2006, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Chan, D., Kumaraswamy, M. (2002). *Compressing construction durations: lessons learned from Hong Kong building projects*. International Journal of Project Management, Janeiro de 2002, Volume 20, Número 1, pág. 23-35.
- Chapman, R. (1998). *The effectiveness of working group risk identification and assessment techniques*. International Journal of Project Management, Volume 16, Número 6, pág. 333-343.
- Chapman, R. (2001). *The controlling influences on effective risk identification and assessment for construction design management*. International Journal of Project Management, Volume 19, Número 3, pág. 147-160.
- Chemisinoff, N., Graffin, M. (1995). *Environmental and Health & Safety Management: A Guide to Compliance*. Noyes Publications, Estados Unidos da América.
- Cho, H. (2002). *A risk assessment methodology for incorporating uncertainties using fuzzy concepts*. Reliability Engineering & System Safety, Volume 78, Artigo 2, pág. 173-183.
- Cottrell, W. (1999). *Simplified Program Evaluation and Review Technique (PERT)*. Journal of Construction Engineering and Management, Volume 125, Artigo 1, pág. 16-22.
- Dawood, N. (1998). *Estimating project and activity duration: a risk management approach using network analysis*. Construction Management & Economics, Volume 16, Artigo 1, pág. 41-48.
- Eco, U. (2009). *Como se faz uma Tese em Ciências Humanas*. Editorial Presença, Lisboa.
- Eom, C., Paek, J. (2009). *Risk Index Model for Minimizing Environmental Disputes in Construction*. Journal of Construction Engineering and Management, Volume 135, Artigo 1, pág. 34-41.
- Feio, R. (2008). *Gestão de Projectos com o Microsoft Project 2007*. FCA - Editora de Informática, Lisboa.

- Griffis, F., Christodoulou, S. (2000). *Construction Risk Analysis Tool for Determining Liquidated Damages Insurance Premiums: Case Study*. Journal of Construction Engineering and Management, Volume 126, Artigo 6, pág. 407-413.
- Jobst, J. (2009). *What Resident Engineers Should Know about Risk Management*. Journal of Construction Engineering and Management, Volume 135, Artigo 6, pág.437-438.
- Kartam, N., Kartam, S. (2001). *Risk and its management in the Kuwaiti construction industry: a contractor's perspective*. International Journal of Project Management, Volume 19, Número 6, pág. 325-335.
- Koller, G. (2000). *Risk modeling for determining value and decision making*. Chapman & Hall/CRC, Estados Unidos da América.
- Kutsh, E., Hall, M. (2010). *Deliberate ignorance in project risk management*. International Journal of Project Management, Volume 28, Número 3, pág. 245-255.
- Lenfle, S. (2008). *Exploration and project management*. International Journal of Project Management, Volume 26, Número 5, pág. 469-478.
- Lo, T., Fung, I., Tung, K. (2006). *Construction Delays in Hong Kong Civil Engineering Projects*. Journal of Construction Engineering and Management, Volume 132, Artigo 6, pág. 636-649.
- Lyons, T., Skitmore, M. (2004). *Project risk management in the Queensland engineering construction industry: a survey*. International Journal of Project Management, Volume 22, Número 1, pág. 51-61.
- Miller, R., Lessard, D. (2001). *Understanding and managing risks in large engineering projects*. International Journal of Project Management, Volume 19, Número 8, pág. 437-443.
- Modvackova, L. (2006). *Risk Management in Construction*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia do Porto.
- Moio, J. (2007). *Planeamento em Situações de Incerteza e Risco*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico.
- Moreira da Costa, J. (2009). *Apontamentos da disciplina Qualidade na Construção 2009/2010*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Mulholland, B., Christian, J. (1999). *Risk Assessment in Construction Schedules*. Journal of Construction Engineering and Management, Volume 125, Artigo 1, pág. 8-15.
- Murch, R. (2001). *Project Management: Best Practices for IT Professionals*. Prentice Hall, Estados Unidos da América.
- Odeh, A., Battaineh, H. (2002). *Causes of construction delay: traditional contracts*. International Journal of Project Management, Volume 20, Número 1, pág. 67-73.
- Olsson, R. (2007). *In search of opportunity management: Is the risk management process enough?*. International Journal of Project Management, Volume 25, Número 8, pág. 745-834.
- Öztas, A., Ökmen, O. (2005). *Judgmental risk analysis process development in construction projects*. Building and Environment, Volume 40, Artigo 9, pág. 1244-1254.
- Pereira, A., Poupa, C. (2008). *Como escrever uma tese, monografia ou livro científico usando o Word*. Edições Sílabo - LDA, Lisboa.
- Rodão, V. (2007). *Gestão de Projectos - Abordagem Instrumental ao Planeamento, Organização e Controlo*. Monitor, Lisboa.

- Ruskin, A., Estes, W. (1995). *What every engineer should know about: Project Management*. Marcel Dekker, Nova York.
- Shen, L. (1997). *Project risk management in Hong Kong*. International Journal of Project Management, Volume 15, Número 2, pág. 101-105.
- Silva, M. (2009). *Microsoft Office Project 2007: Depressa & Bem*. FCA - Editora de Informática, Lisboa.
- Söderholm, A. (2008). *Project management of unexpected events*. International Journal of Project Management, Volume 26, Número 1, pág. 80-86.
- Tavares, L., et al. (1996). *Investigação Operacional*. McGraw Hill, Lisboa.
- Wyk, R., Bowen, P., Akintoye, A. (2008). *Project risk management practice: The case of a South African utility company*. International Journal of Project Management, Volume 28, Número 2, pág. 149-163.
- Zhi, H. (1995). *Risk management for overseas construction projects*. International Journal of Project Management, Volume 13, Número 4, pág. 231-237.

Anexos

Anexo A1

DIAGRAMA DE GANTT

