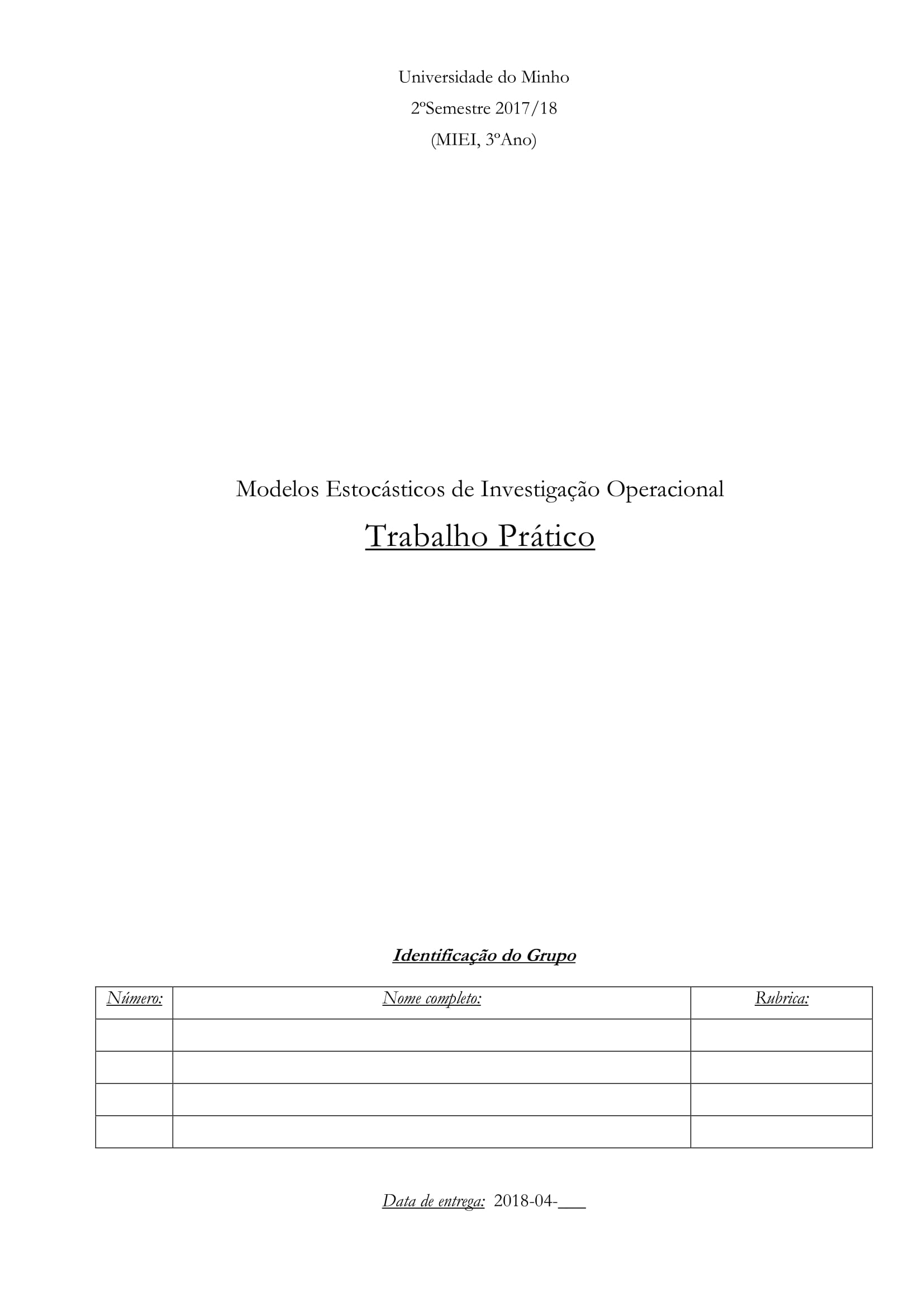
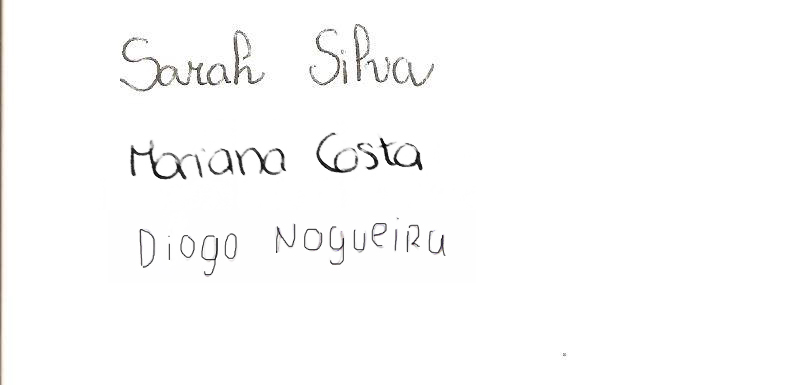
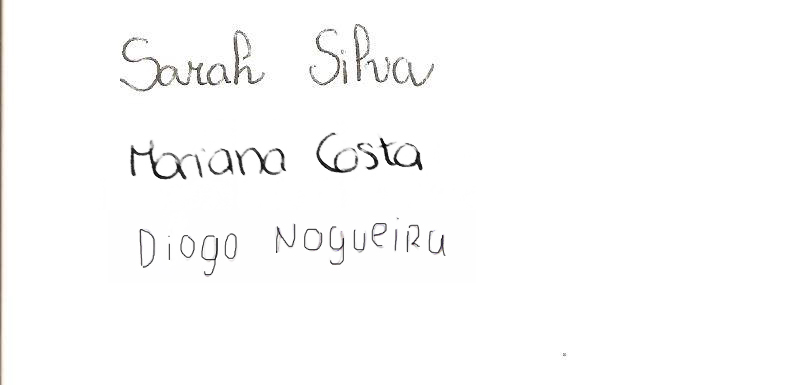
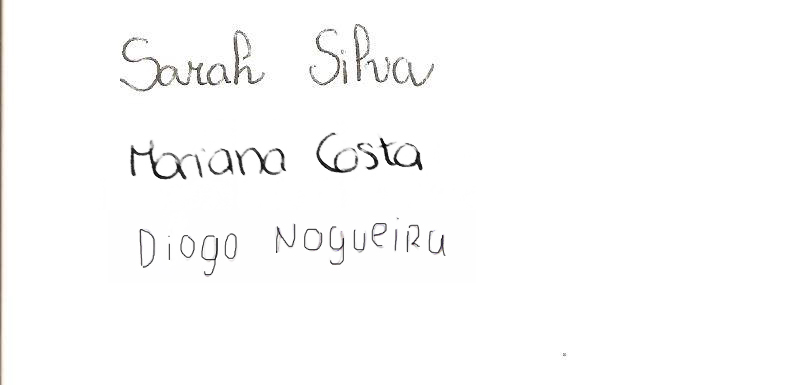
****

****

23

A76867

A78824

A78957

Mariana Lino Lopes Costa

Sarah Tifany Silva

Diogo Emanuel da Silva Nogueira

Índice

[1. Formulação do Problema 3](#_Toc512278120)

[1.1. Estágios 3](#_Toc512278121)

[1.2. Estados 4](#_Toc512278122)

[1.3. Decisões 4](#_Toc512278123)

[1.4. Objetivo 5](#_Toc512278124)

[2. Descrição e Resolução do Problema 6](#_Toc512278125)

[*2.1. Manutenção Tipo 1 e Reparação 6*](#_Toc512278126)

[2.1.1. Matriz de Transição 7](#_Toc512278127)

[2.1.2. Matriz de Contribuição 8](#_Toc512278128)

[2.1.3. Diagrama 9](#_Toc512278129)

[*2.2. Manutenção Tipo 2 e Reparação 10*](#_Toc512278130)

[2.2.1. Matriz de Transição 10](#_Toc512278131)

[2.2.2. Matriz de Contribuição 11](#_Toc512278132)

[2.2.3. Diagrama 12](#_Toc512278133)

[*2.3. Não Reparação 12*](#_Toc512278134)

[2.3.1. Matriz de Transição 12](#_Toc512278135)

[2.3.2. Matriz de Contribuição 13](#_Toc512278136)

[2.3.3. Diagrama 14](#_Toc512278137)

[2.4. Cálculos Finais 15](#_Toc512278138)

[3. Síntese e Discussão dos Resultados Obtidos 16](#_Toc512278139)

[4. Política determinada aplicada em situações da vida real 17](#_Toc512278140)

[5. Aplicação de Processos Markovianos no estudo de problemas reais 18](#_Toc512278141)

[6. Anexos 21](#_Toc512278142)

[6.1. Anexo 1 – Probabilidades de Degradação 21](#_Toc512278143)

[6.2. Anexo 2 – Programa de Resolução do Problema 21](#_Toc512278144)

# Formulação do Problema

O problema apresentado refere-se a um equipamento que semanalmente passa por um inspecionamento onde se determina o seu estado de funcionamento atual. Este estado em que o equipamento se encontra pode, efetivamente, sofrer alterações, consoante a decisão que se opte por tomar aquando da inspeção do equipamento. Apesar destas possíveis decisões, existe ainda a imposição de se efetuar uma reparação imediata ao equipamento caso este se encontre no seu estado de degradação máximo. Sabe-se ainda que a eficiência do equipamento é tanto menor quanto maior é esse mesmo estado de degradação e que varia de acordo com o mesmo, segundo uma fórmula criada para o efeito.

Perante a análise do problema proposto, o grupo consegui também perceber que se trata de um problema com número de estágios indeterminado. Isto é algo que se deve ter em conta não só para a construção das várias redes, mas também para a determinação da finalização do cálculo da solução ótima final.

O objetivo deste problema passa então por averiguar que decisão se deve tomar no início de cada estágio e para cada um dos estados de degradação em que a máquina se pode encontrar.

É com base nestas informações e com um pensamento focado no problema em si que existiu a necessidade de apurar as informações que abaixo iremos abordar para se poder iniciar a resolução do problema com outra organização e método.

## Estágios

No problema em questão, os estágios correspondem ao início de cada semana, existindo 5 dias em cada uma delas. Assim, o início de cada semana e o início da próxima representam a transição de estágios e o renovar de uma nova inspeção em que é determinado o novo estado do equipamento e consequentemente qual a decisão a se tomar para o mesmo.

## Estados

Perante a constatação de que o equipamento se vai deteriorando ao longo do tempo pode-se concluir que o mesmo se pode encontrar num dos seguintes estados i em que i = 1, 2, 3, 4, 5 ou 6:

* O estado 1 é o melhor estado de degradação;
* O estão 6 é o estado máximo de degradação.

## Decisões

No início de cada semana e após o inspecionamento do equipamento, é tomada uma decisão:

* Efetuar uma Manutenção do Tipo 1;
* Efetuar uma Manutenção do Tipo 2;
* Não efetuar qualquer Manutenção;

É imperativo ter em mente que independentemente da decisão que se opte por tomar, caso o equipamento se encontre no seu estado de degradação máximo, é obrigatório efetuar de imediato uma reparação ao equipamento.

## Objetivo

O objetivo do problema é minimizar a fração de tempo não produtivo do equipamento, quer devido às paragens para manutenção e reparação, quer devido a ineficiência do funcionário.

# Descrição e Resolução do Problema

Após a formulação do problema onde se deixou definido as informações essenciais para se ingressar nesta fase do trabalho, estamos mais do que prontos para começar a esboçar a resolução do problema. Para isto, o grupo teve sempre em mente a elaboração de uma folha de cálculo *Excel*, não só por ser mais fácil de trabalhar e manipular valores, mas também por ser mais intuitiva de perceber e justificar

Tratando-se de um problema com um número de estágios indeterminado e com definidos num ciclo semanal, vamos realizar e analisar as iterações semana a semana.

Para uma melhor compreensão de toda a resolução do problema, o grupo decidiu separar as várias decisões e em cada uma delas abordar a matriz de transição, matriz de contribuição e ainda o respetivo diagrama/rede.

## Manutenção Tipo 1 e Reparação

Nesta secção consideramos que é sempre tomada a decisão de se efetuar uma Manutenção do Tipo 1 ao equipamento e por obrigação uma Reparação caso o meso se encontre completamente deteriorado.

Conforme ficou definido ser feito, vamos determinar as probabilidades em que é possível ocorrer a decisão em causa, através da matriz e após isso determinar as contribuições associadas às mesmas, através da matriz .

## Matriz de Transição

A matriz transição representa a matriz com as probabilidades de transição dos estados i para o i+1, entre o conjunto de estados {1,2,3,4,5,6}.

Nesta decisão:

* Um equipamento que se encontre no estado i é reposto, passando para o estado i – 1 ou i – 2 com probabilidades 0.6 e 0.4, respetivamente. Assim sendo, um equipamento que se encontre no estado 2, altera o seu estado para i=1. Um que se encontre no estado 3 pode alterar o seu estado para i=1 ou i=2, e assim sucessivamente.
* Para além da reposição destes estados que passam por uma Manutenção do Tipo 1, existe ainda a obrigatoriedade de um equipamento no estado i=6 ser reparado, passando para o estado i=1.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | P(n,k) | | | | | |
| Estados | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| **1** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **2** | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **3** | 0.4 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **4** | 0 | 0.4 | 0.6 | 0 | 0 | 0 |
| **5** | 0 | 0 | 0.4 | 0.6 | 0 | 0 |
| **6** | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Matriz de Contribuição

A matriz de contribuição representa a matriz com os tempos totais de transição do estado i para o estado i+1, para todos os estados possíveis, isto é, o conjunto {1,2,3,4,5,6}.

Assim, o cálculo das contribuições para cada transição de estado (Cij) foi realizado com base na seguinte fórmula:

Cij = (ineficiência)ij \* (tempo produtivo) + (tempo não produtivo)

* Dos estados 1,2,3,4 e 5 para o estado 1: demorando esta manutenção meio dia a ser efetuada, o tempo produtivo do equipamento é igual a 4.5 e tempo não produtivo igual a 0.5 (em dias). Assim, a fórmula passa ser:

Cij = \* 4.5 + 0.5

Em que o k corresponde à média aritmética dos valores dos estados no inicio de uma semana e no inicio da semana seguinte.

* Do estado 6 para o estado 1: por se tratar de uma reparação e por existir uma dualidade em termos de termos de tempo de serviço é necessário se efetuar uma média de tempo que esta reparação demora a ser efetuada. Assim, a fórmula sofre uma ligeira alteração:

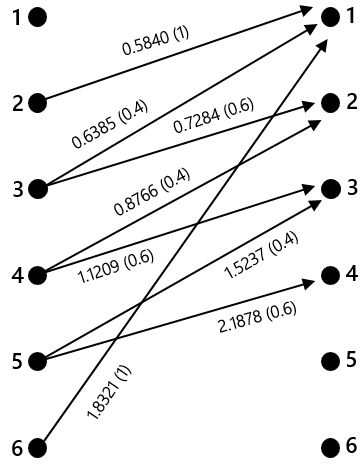
C61 = (ineficiência)61 \* (tempo produtivo) + (R1\*p1 + R2\*p2)

Em que R1 corresponde à primeira possibilidade de tempo de serviço e p1 a respetiva probabilidade. R2 corresponde então à segunda possibilidade de tempo de serviço e p2 a respetiva probabilidade. Assim, a fórmula passa ser:

C61 = \* (3.675) + (1\*0.35+ 1.5\*0.65) .

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | R(n,k) | | | | | |
| Estados | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| **1** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **2** | 0.5840 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **3** | 0.0.6385 | 0.7284 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **4** | 0 | 0.8766 | 1.1209 | 0 | 0 | 0 |
| **5** | 0 | 0 | 1.5237 | 2.1878 | 0 | 0 |
| **6** | 1.8321 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Diagrama



## Manutenção Tipo 2 e Reparação

Nesta decisão consideramos é sempre tomada a decisão e se efetuar uma Manutenção do Tipo 2 e também por imposição uma reparação de um equipamento que se encontre no estado máximo de degradação.

## Matriz de Transição

A matriz de transição da decisão de efetuar uma Manutenção do Tipo 2 é elaborada com base no seguinte princípio:

* Um equipamento no estado i (i > 1) é resposto no estado i=1, como se estivesse novo. Assim, um equipamento que se encontre no estado 2, 3, 4 ou 5 após sofrer este tipo de manutenção, passa a estar no estado i=1.
* Um equipamento no estado i = 6, passa pela tal reparação obrigatória, sendo reposto também no estado i = 1.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | P(n,k) | | | | | |
| Estados | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| **1** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **2** | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **3** | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **4** | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **5** | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **6** | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Matriz de Contribuição

O cálculo das contribuições para cada transição de estado (Cij) foi realizado usando a mesma fórmula da decisão anterior. A única diferença incide no facto de uma Manutenção do Tipo 2 demorar 1 dia a ser efetivamente realizada.

* Dos estados 1,2,3,4 e 5 para o estado 1: demorando esta manutenção um dia a ser efetuada, o tempo produtivo do equipamento é igual a 4 e tempo não produtivo igual a 1 (em dias). Assim, a fórmula passa ser:

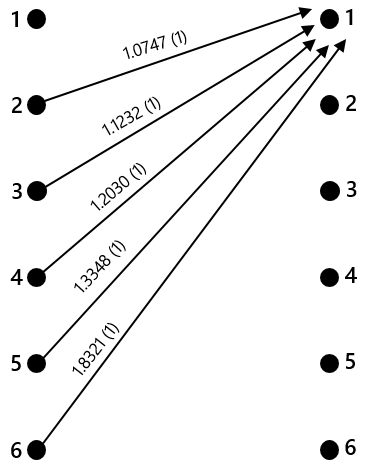
Cij = \* 4 + 1

* Do estado 6 para o estado 1: segue exatamente o mesmo cálculo da decisão anterior:

C61 = \* (3.675) + (1\*0.35+ 1.5\*0.65) .

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | R(n,k) | | | | | |
| Estados | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| **1** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **2** | 1.0747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **3** | 1.1232 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **4** | 1.2030 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **5** | 1.3348 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **6** | 1.8321 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Diagrama



## Não Reparação

Como última decisão existe a possibilidade de não se efetuar qualquer tipo de manutenção ao equipamento. Portanto, nesta secção estamos a considerar que a decisão passa sempre por não reparar o equipamento.

## Matriz de Transição

A matriz de transição da decisão de não se efetuar qualquer tipo de manutenção 2 é elaborada com base no seguinte princípio:

* No início da semana seguinte, o equipamento encontrar-se-á no estado j (j >=i ) com a probabilidade atribuída na tabela abaixo.

Os valores destas probabilidades de degradação foram gerados de acordo com o número de Aluno A78957 (correspondente a um dos elementos do grupo) e tal como pedido, encontram-se comprovadas na Secção (ANEXO 1):

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | P(n,k) | | | | | |
| Estados | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| **1** | 0.65 | 0.3 | 0.05 | 0 | 0 | 0 |
| **2** | 0 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0 |
| **3** | 0 | 0 | 0.8 | 0.1 | 0.05 | 0.05 |
| **4** | 0 | 0 | 0 | 0.7 | 0.05 | 0.25 |
| **5** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.45 | 0.55 |
| **6** | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Matriz de Contribuição

Como estamos perante uma situação em que não existe qualquer tipo de manutenção, o calculo das contribuições vai sofrer alterações.

* Dos estados 1,2,3,4 e 5 para os restantes estados: não existindo tempo não produtivo então o tempo produtivo do equipamento é máximo, ou seja, os 5 dias da semana. Assim, a fórmula passa ser:

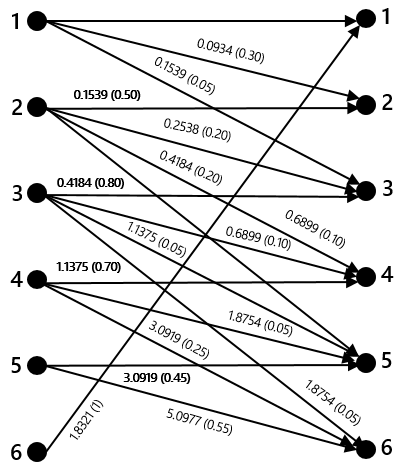
Cij = \* 5

* Do estado 6 para o estado 1: segue exatamente o mesmo cálculo das decisões anteriores:

C61 = \* (3.675) + (1\*0.35+ 1.5\*0.65) .

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | R(n,k) | | | | | |
| Estados | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| **1** | 0.0566 | 0.0934 | 0.1539 | 0 | 0 | 0 |
| **2** | 0 | 0.1539 | 0.2538 | 0.4184 | 0.6899 | 0 |
| **3** | 0 | 0 | 0.4184 | 0.6899 | 1.1375 | 1.8754 |
| **4** | 0 | 0 | 0 | 1.1375 | 1.8754 | 3.0919 |
| **5** | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.0919 | 5.0977 |
| **6** | 1.8321 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Diagrama



## Cálculos Finais

A resolução do problema passou, primeiramente por calcular para cada decisão as matrizes de transição () e de contribuição () respetiva. Após se ter definido estas matrizes foi apenas necessário efetuar um conjunto de cálculos para cada uma das decisões e estágios de modo a se chegar a um resultado ótimo:

* Cálculos dos vetores das esperanças das contribuições (), para cada decisão, utilizando a seguinte fórmula:
* Após a obtenção deste valor, prossegue-se ao cálculo do vetor usando a seguinte formula:
* Por fim, com os três vetores (um por cada decisão), escolhemos o valor mínimo na posição i, para todas as posições do vetor, formando assim o vetor .
* O raciocínio acima é utilizado para todos os estágios. Como o número de estágios é indeterminado é necessário encontrar um número de estágios para o qual exista a solução opima. Isto consegue-se com o cálculo de para cada estágio:

Quando este vetor for constituído por valores todos iguais, sabemos que encontramos a solução ótima do problema em questão.

# Síntese e Discussão dos Resultados Obtidos

Com base nos resultados obtidos, que se encontram apresentados no Anexo, as frações de tempo não produtivo do equipamento estabilizaram ao fim de 4 semanas, ou seja, no estágio 4. O valor obtido foi 0, o que significa, logicamente, que a fração de tempo não produtivo do equipamento, quer seja devido às paragens para manutenção e reparação ou à sua ineficiência de funcionamento, é nulo, ou por outras palavras inexistente.

De seguida é apresentado o plano de decisões de modo a obter o resultado supracitado anteriormente:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Estágios (início de cada semana) | | | |
| Estados | **1** | **2** | **3** | **4** |
| **1** | Manutenção Tipo 1 ou Tipo 2 | Manutenção Tipo 1 ou Tipo 2 | Manutenção Tipo 1 ou Tipo 2 | Manutenção Tipo 1 ou Tipo 2 |
| **2** | Não reparar | Manutenção Tipo 1 | Manutenção Tipo 1 | Manutenção Tipo 1 |
| **3** | Não reparar | Manutenção Tipo 1 | Manutenção Tipo 1 | Manutenção Tipo 1 |
| **4** | Manutenção Tipo 1 | Manutenção Tipo 2 | Manutenção Tipo 2 | Manutenção Tipo 2 |
| **5** | Manutenção Tipo 2 | Manutenção Tipo 2 | Manutenção Tipo 2 | Manutenção Tipo 2 |
| **6** | Manutenção Tipo 2 | Manutenção Tipo 2 | Manutenção Tipo 2 | Manutenção Tipo 2 |

# Política determinada aplicada em situações da vida real

Fazendo uma análise dos resultados obtidos com a resolução deste problema e pensando-se num cenário mais realístico conseguimos facilmente perceber que toda a política determinada se revela razoável e aplicável a uma situação real, tanto em termos positivos como negativos, uma vez que existem diversos fatores que o comprovam.

* Com o cálculo de todas as contribuições e para cada uma das decisões, chegamos à conclusão de que uma Manutenção do Tipo 2, que representa uma reparação por completo é mais dispendiosa em termos de tempo de serviço em comparação com uma Manutenção do Tipo 1,
* Sabe-se que a inatividade do equipamento é um fator determinante no que toca à eficiência do equipamento.

Aplicada à realidade, a ineficiência do equipamento vai sofrer um aumento inevitável ao fim de semana já que é um período de pausa obrigatório de ser feito;

* Pensando numa Manutenção do Tipo 2 aplicada a uma situação real facilmente se deduz a impossibilidade de um equipamento que se encontre num estado de degradação significativo, passar de imediato para um estado que o defina novamente como novo.

# Aplicação de Processos Markovianos no estudo de problemas reais

O artigo "Maintenance strategy selection in electric power distribution systems" vem resolver a problemática dos sistemas de distribuição de energia elétrica nas Organizações de Saúde, apresentando um modelo inovador que contribui para garantir uma melhor qualidade de serviço ao paciente e não só. De facto, é importante salientar que este aspeto relativo aos sistemas de distribuição de energia elétrica é de enorme relevância no que diz respeito às Organizações de Saúde, visto que estes sistemas têm de ser capazes de fornecer energia, por exemplo, para incubadoras de recém-nascidos, salas de operação, iluminação geral, unidades de tratamento intensivos, equipamentos de raio-X, de quimioterapia, entre muitos outros aspetos. Apesar da enorme importância que uma política de manutenção apropriada pode causar nos sistemas de distribuição esta é uma temática que ainda não foi desenvolvida em termos práticos.

Sendo assim, este modelo integra a Atratividade por Medição abordando uma Técnica de Avaliação baseada categoricamente em cadeias de Markov, permitindo obter o melhor resultado para diferentes sistemas de distribuição de energia elétrica. O resultado é uma classificação completa da combinação de políticas e ações de manutenção, escolhendo, a partir destas a melhor estratégia a aplicar nos sistemas de distribuição de energia.

Passando diretamente para a metodologia, é referido neste artigo que as cadeias de Markov têm sido aplicados a sistemas para permitir uma melhor modelação, confiabilidade e segurança nos parâmetros a serem estimados. É feito referência também em que sistemas é que se aplicou este tipo de modelo, como para determinar políticas de manutenção em unidades de fragmentação catalítica, prever o impacto de estratégias de inspeções alternativas e a deteções de vazamentos nos sistemas de tubulação entre muitos outros que mencionados.

Assim sendo, o uso de cadeias de Markov considera um conjunto discreto de estados exaustivos e mutuamente exclusivos, no qual o tempo de mudança de um estado para o outro é aleatório. Por conseguinte, a metodologia aplicada será sucintamente explicada de seguida.

Primeiramente, foi realizada a análise dos sistemas de distribuição de energia elétrica – aspetos técnicos, políticas de manutenção aplicadas atualmente, recursos necessários, entre outros. Posteriormente, encontrou-se os modos de falhas dos sistemas de distribuição de energia elétrica, envolvendo a análise de cada elemento do sistema e a sua operação, as possíveis formas pelas quais ele pode falhar e consequências. De seguida, definiu-se as possíveis estratégias de manutenção para serem aplicadas segundo o sistema em análise como uma combinação de diferentes políticas de manutenção. Foi considerado também a possibilidade de incluir melhorias no sistema como, aumento de partes, entre outros. Esta ações terão um impacto positivo na disponibilidade do sistema. Seguidamente, foi calculado as taxas de falha e reparação através de uma equação, mencionado no artigo.

Nesta etapa, sendo a mais relevante, foi determinado o gráfico de Markov. A modelação do sistema através de cadeias de Markov consiste em obter um gráfico no qual se define os estados do sistema e onde a transição entre estados é realizada devido à falha ou à reparação. Assim, considera-se dois casos: falhas catastróficas ou não catastróficas. As catastróficas causam diretamente a paragem do sistema, enquanto que as não catastróficas são devidas aos estados de degradação ou desgaste.

Assim, o modelo de Markov avalia a probabilidade de ir de um estado conhecido para outro, através das dependências entre eles, quer sejam falhas ou reparações. Logo, o objetivo passa por estudar o desenvolvimento dos sistemas e, portanto, ser capaz de prever os seus comportamentos usando modelos de Markov, considerando sistemas com m+1 estados, de tal forma que cada estado representa um nível desgaste e onde k é o número máximo de estados de desgaste permitido de forma a que o sistema possa continuar a funcionar. Por conseguinte, cada nível de desgaste é identificado pelo nº de elementos que não funcionam. Portanto, os estados são os seguintes:

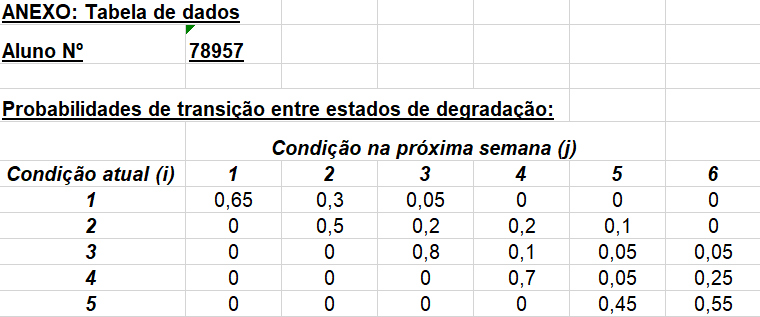
* Estado 0: sistema está a trabalhar normalmente.
* Estado 1: um dos elementos está a falhar ou o sistema está no nível 1 de desgaste.
* Estado 2: dois elementos estão a falhar ou o sistema está no estado de desgaste 2;
* Estado (m-1): (m-1) elementos estão a falhar ou o sistema está no estado (m-1) de desgaste.
* Estado m: todos os elementos do sistema estão a falhar ou sistema está completamente desgastado.

Por conseguinte, foi calculada a matriz de transição onde se é definida através de uma equação probabilidade condicional de transição numa cadeia de Markov homogénea em tempo continuo. Foi obtido a matriz de transição quando t = , sendo esta designada para calcular a disponibilidade em sistemas reparáveis. Resolveu-se os sistemas de equação de tempo continuo de cadeias de Markov para sistemas reparáveis e obteve-se a disponibilidade média dos sistemas.

Assim sendo, através da utilização deste modelo que foi aplicado em diversos sistemas de Distribuição energia elétrica, referidos no artigo, escolheram-se as melhores políticas para cada sistema.

# Anexos

## Anexo 1 – Probabilidades de Degradação



## Anexo 2 – Programa de Resolução do Problema

