

5

Simulação de Redução de Downtime Corretivo

Nesse capítulo deseja-se estudar os benefícios de redução de downtime corretivo trazidos pelo sistema proposto, caso este fosse utilizado para tomar a decisão de programar a parada do equipamento seguindo o critério de decisão descrito na seção 3.5. Para a simulação foram escolhidos 3 períodos, onde o *downtime* corretivo dos 10 equipamentos foi alto, e verificada a redução do *downtime* corretivo das máquinas na semana subsequente à simulação.

Para a simulação não estão sendo consideradas as falhas de Alternador, pois nenhuma variável foi selecionada pela método utilizado, nem as falhas de Filtro de Óleo Obstruído, pois o erro médio de classificação foi de 40%, erro muito alto, o que inviabiliza a utilização dessa rede no critério de decisão.

A coluna M/T expressa em qual componente do equipamento a falha ocorre, sendo que M identifica o Motor e T a transmissão.

M/T	Nome Falha	Tempo médio de reparo (horas)
M	Super aquecimento no Motor	0,61
M	Falta de Óleo no Motor	0,8
M	Baixo rendimento do Motor	1,28
M	Filtros de combustível Obstruídos	1,25
M	Bateria Danificada	1,72
M	Sem Partida	1,24
M	Filtro de ar Obstruído	1,25
M	Nível de óleo no conversor de torque fora do normal	1,09
T	Falha no freio retardo.	2,22
T	Marcha não engata	2,75
T	Super aquecimento conversor de torque	2,15

O modelo de decisão, conforme descrito no item 3.5, compara o tempo esperado de reparo pós-falha do equipamento com o tempo gasto em uma revisão da máquina.

$$\sum_{i=1}^n y_i * C_a > C_r$$

y_i é o valor de saída da rede para a classificação positiva, ou seja, se a amostra foi classificada com padrão pré-falha, y_i assume o valor da saída da rede, caso contrário assume o valor 0. C_a expressa o custo em tempo de manutenção após a falha e C_r expressa o tempo de revisão do equipamento.

Os tempos médio de reparo pós-falha de cada uma das falhas padronizadas foram obtidos calculando a média aritmética dos tempos registrados nas respectivas ordens de serviço e seguem descritos na tabela 5.1.

A simulação deseja se aproximar ao máximo da realidade da realização da manutenção em uma mina. Deseja-se avaliar diariamente o estado das máquinas por meio da classificação dos padrões pré-falha, e decidir se sua parada deve ser antecipada ou se deve ser aguardada a próxima revisão do equipamento.

Para as simulações estudadas, foram avaliados os estados de todos os equipamentos simultaneamente e, se após a avaliação do critério de decisão, for decidido que a parada do equipamento deve ser adiantada, será considerado que a parada é realizada em no máximo 2 dias.

Para se calcular a redução de downtime foram considerados os tempos referentes às paradas corretivas na semana subsequente 2 dias após a simulação, pois a antecedência máxima das redes utilizada na classificação dos padrões pré-falha foi de sete dias.

Nas próximas seções são apresentados os resultados da aplicação das redes neurais na detecção de estado pré-falha e a avaliação do critério de parada da máquina para três períodos distintos.

5.1

Primeiro Período

O primeiro período selecionado possui 153,33 horas de manutenção corretiva para os 10 equipamentos em estudo. Na Tabela 5.1 são apresentados os valores esperados do tempo de manutenção para cada um dos problemas estudados. O valor de cada célula é resultado da conta $\lambda_i * C_{a_i}$, que representa o valor esperado de máquina parada para uma determinada falha.

Tabela 5.1 – Valores de tempo esperados de máquina parada (em horas)

M/T	Nome Falha	EQ.1	EQ.2	EQ.3	EQ.4	EQ.5	EQ.6	EQ.7	EQ.8	EQ.9	EQ.10
M	Super aquecimento no Motor	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,60	0,00	0,60	0,00	0,00
M	Falta de Óleo no Motor	0,00	0,59	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	0,70	0,67	0,00
M	Baixo rendimento do Motor	0,00	0,00	1,20	1,26	1,27	0,00	1,24	0,94	0,00	0,94
M	Filtros de combustível Obstruídos	0,00	1,20	1,10	0,00	1,19	0,00	0,00	1,21	1,24	0,00
M	Bateria Danificada	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,57	0,00	0,00
M	Sem Partida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M	Filtro de ar Obstruído	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	0,00	1,03
M	Nível de óleo no conversor de torque fora do normal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06	0,00	0,92	0,00
T	Falha no freio retardo.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T	Marcha não engata	0,00	2,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,68	0,00	0,00
T	Super aquecimento conversor de torque	0,00	0,00	0,00	1,77	0,00	1,77	0,00	0,00	0,00	0,00
	Valor Esperado de máquina Parada	2,69	5,11	2,30	3,73	3,07	2,37	2,30	8,74	2,83	1,97

Quando a saída da rede é maior que 0,6, a rede classifica o padrão em questão como um problema. Neste caso, para calcular o tempo esperado de reparo, a saída da rede é multiplicada pelo tempo médio de reparo do problema, dado que o problema existe, ou seja, as células que possuem o valor maior que zero indicam que o equipamento está propenso à falha em questão, conforme discutido no capítulo 3. Assim, para os equipamentos 2 e 8, os quais, segundo o critério de decisão, o qual determina que os equipamentos cujo o valor médio de downtime seja maior que o tempo da revisão preventiva devem ser parados, as manutenções das falhas assinadas na Tabela 5.1 devem ser realizadas.

A Tabela 5.2 apresenta o tempo de máquina parada real na semana posterior à simulação. Foram registrados os tempos de manutenção corretiva para os itens monitorados e assinalados em vermelho os erros de classificação

Tabela 5.2 – Valores reais de máquina parada (em horas)

M/T	Nome Falha	EQ.2	EQ.8
M	Super aquecimento no Motor	0,00	0,66
M	Falta de Óleo no Motor	1,66	0,50
M	Baixo rendimento do Motor	0,00	0,00
M	Filtros de combustível Obstruídos	1,00	1,21
M	Bateria Danificada	0,00	0,00
M	Sem Partida	0,00	0,00
M	Filtro de ar Obstruído	0,00	1,00
M	Nível de óleo no conversor de torque fora do normal	0,00	0,00
T	Falha no freio retardo.	1,66	0,00
T	Marcha não engata	2,50	3,66
T	Super aquecimento conversor de torque	0,00	0,00
T	Downtime total	6,72	7,03

Assim, seriam evitadas 12,09 horas de manutenção corretiva caso as redes fossem utilizadas nessa semana (valor obtido após subtrair do total o tempo 1,66 referente ao freio retardo, cujo problema não foi detectado pela rede neural).

5.2

Segundo Período

O segundo período de análise possuía 135,82 horas de manutenção corretiva para os 10 equipamentos de estudo. A Tabela 5.3 resume o valor esperado do downtime corretivo de cada equipamento para as falhas estudadas.

Tabela 5.3 – Valores esperados de máquina parada (em horas)

M/T	Nome Falha	EQ.1	EQ.2	EQ.3	EQ.4	EQ.5	EQ.6	EQ.7	EQ.8	EQ.9	EQ.10
M	Super aquecimento no Motor	0,00	0,00	0,59	0,00	0,56	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00
M	Falta de Óleo no Motor	0,00	0,00	0,00	0,76	0,76	0,00	0,70	0,61	0,00	0,65
M	Baixo rendimento do Motor	0,93	0,00	1,16	0,00	0,00	0,00	1,28	0,00	1,21	0,00
M	Filtros de combustível Obstruídos	0,00	1,22	0,00	0,00	1,21	1,21	0,00	0,00	1,24	0,00
M	Bateria Danificada	0,00	0,00	0,00	0,00	1,59	0,00	1,65	1,57	0,00	0,00
M	Sem Partida	0,00	0,00	0,00	0,97	1,23	1,17	0,00	1,23	0,00	1,24
M	Filtro de ar Obstruído	1,07	0,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19	0,00	0,00
M	Nível de óleo no conversor de torque fora do normal	0,00	0,00	0,00	0,85	1,08	1,03	1,08	1,08	0,00	1,09
T	Falha no freio retardado.	0,00	0,00	0,00	0,00	2,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T	Marcha não engata	0,00	0,00	0,00	0,00	2,73	2,60	0,00	2,73	0,00	0,00
T	Super aquecimento conversor de torque	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Valor Esperado de máquina Parada	2,00	2,10	1,75	2,59	11,29	6,00	5,19	8,40	2,45	2,98

Os equipamentos 5, 6, 7 e 8 apresentaram downtime esperado maior que 4 horas, e por isso devem ser parados, segundo o critério de decisão adotado. A

tabela 5.4 apresenta o tempo de máquina parada real no período selecionado. Em vermelho estão assinalados os erros de classificação.

Tabela 5.4 – Valores reais de máquina parada (em horas)

M/T	Nome Falha	EQ.5	EQ.6	EQ.7	EQ.8
M	Super aquecimento no Motor	0,00	0,00	0,50	0,00
M	Falta de Óleo no Motor	0,50	0,00	0,00	0,00
M	Baixo rendimento do Motor	0,00	0,00	2,33	0,00
M	Filtros de combustível Obstruído	1,00	0,66	0,00	0,00
M	Bateria Danificada	2,00	0,00	1,65	1,33
M	Sem Partida	0,00	1,17	0,00	1,66
M	Filtro de ar Obstruído	0,00	0,00	0,00	2,00
M	Nível de óleo no conversor de torque fora do normal	0,33	1,00	1,00	1,00
T	Falha no freio retardo.	1,33	0,00	2,00	0,00
T	Marcha não engata	3,50	1,50	0,00	2,33
T	Super aquecimento conversor de torque	0,00	0,00	0,00	0,00
T	Tempo total parada dos problemas monitorados	8,66	4,33	7,48	8,32

Para esse cenário o downtime seria reduzido em 26,79 horas, caso o critério de decisão proposto fosse adotado durante a semana posterior a classificação dos padrões pré-falha.

5.3

Terceiro Período

No terceiro período o *downtime* corretivo de todos os equipamentos em estudo foi de 152,50 horas. Na tabela 5.5 são apresentados os valores esperados do tempo de manutenção para cada uma das falhas estudadas nesse período.

Tabela 5.5 – Valores esperados de máquina parada (em horas)

M/T	Nome Falha	EQ.1	EQ.2	EQ.3	EQ.4	EQ.5	EQ.6	EQ.7	EQ.8	EQ.9	EQ.10
M	Super aquecimento no Motor	0,00	0,00	0,59	0,43	0,50	0,00	0,00	0,00	0,57	0,00
M	Falta de Óleo no Motor	0,00	0,00	0,77	0,73	0,00	0,67	0,78	0,00	0,79	0,69
M	Baixo rendimento do Motor	0,00	0,00	0,00	0,00	1,07	0,00	0,00	0,00	1,05	1,09
M	Filtros de combustível Obstruído	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02	0,00	0,00	0,96	0,00	0,00
M	Bateria Danificada	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,36	0,00	0,00
M	Sem Partida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19	0,00	0,00
M	Filtro de ar Obstruído	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	1,25
M	Nível de óleo no conversor de torque fora do normal	0,00	1,02	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06	0,00
T	Falha no freio retardo.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,21	0,00	0,00
T	Marcha não engata	0,00	2,14	2,45	0,00	0,00	0,00	0,00	2,17	0,00	0,00
T	Super aquecimento conversor de torque	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,69	0,78	1,83	0,00	0,00
T	Valor Esperado de máquina Parada	0,00	3,16	4,74	2,40	2,59	2,35	2,79	9,73	4,67	3,03

Os equipamentos 1, 2, 4, 5, 6, 7 e 10, segundo o critério de decisão, não devem ter suas paradas programadas. Para os demais deve ser realizada a manutenção dos itens cujo valor esperado do equipamento parado seja maior que zero, conforme assinalado em vermelho na tabela 5.5.

Tabela 5.6 – Valores reais de máquina parada (em horas)

M/T	Nome Falha	EQ.3	EQ.8	EQ.9
M	Super aquecimento no Motor	0,33	0,50	1,00
M	Falta de Óleo no Motor	1,66	0,00	1,16
M	Baixo rendimento do Motor	0,00	0,00	1,00
M	Filtros de combustível Obstruídos	0,00	1,50	0,00
M	Bateria Danificada	0,00	1,00	0,00
M	Sem Partida	0,00	2,33	0,00
M	Filtro de ar Obstruído	1,00	0,00	1,50
M	Nível de óleo no conversor de torque fora do normal	0,00	0,00	0,00
T	Falha no freio retardo.	0,00	3,66	0,00
T	Marcha não engata	6,00	2,00	0,00
T	Super aquecimento conversor de torque	0,00	0,00	0,00
T	Tempo total parada dos problemas monitorados	9,00	11,00	4,66

Para esse cenário o valor esperado do downtime seria reduzido em 23,16 horas.

5.4

Avaliação dos Benefícios

Para avaliar a redução do downtime corretivo, foi somado todo o tempo de manutenção corretiva dos 10 equipamentos na semana subsequente à análise da rede para os componentes motor e transmissão, chamado de tempo total de corretiva (T_c). O tempo evitado pela utilização do critério de decisão baseado nas redes neurais (T_e) foi somado. Assim, a redução do tempo de máquina corretiva parada é dado por:

$$Re = \frac{T_e}{T_c} \quad (5.1)$$

Tabela 5.7 – Redução de Downtime

	Número de EQ	T_c	T_e	Re
Cenário 1	2	153,33	12,09	8%
Cenário 2	4	135,84	26,79	20%
Cenário 3	3	152,50	23,16	15%

O melhor resultado da simulação reduziu em 20% o downtime corretivo da frota de 10 equipamentos, o que é um resultado satisfatório para esse estudo, pois estão sendo monitorados apenas 11 problemas desse tipo de equipamento.