

4

Estudo de Casos

A metodologia proposta no capítulo 3 foi aplicada em casos reais coletados de equipamentos Caterpillar da Sotreq. As falhas aqui estudadas são referentes a dois componentes do caminhão: o motor e a transmissão. A partir da base de dados de ordem de serviço foram categorizadas 13 falhas, sendo 9 do motor do equipamento e 4 da transmissão. Para a categorização das falhas foi necessário a leitura de cada uma das Ordens de Serviço, pois os campos em que foram registradas as falhas não são padronizados, ou seja, são campos de escrita livre. Foram utilizados os 130 indicadores, 93 de evento e 37 de tendência, conforme descrito na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Distribuição dos indicadores por tipo

Tipo de Indicador	No. de indicadores
Indicadores de Evento	93
Indicadores de Tendência	37
Total	130

Para esse estudo de caso foram selecionadas as falhas mais recorrentes, isto é, com maior número de amostras categorizadas. A seleção das falhas com maior ocorrência tem como objetivo tratar os maiores problemas dos equipamentos, e obter um número razoável de amostras para o treinamento das redes neurais. Na Tabela 4.2 são apresentados o número de registros para cada tipo de falha categorizada e o nome da falha.

Tabela 4.2 – Sumário de dados utilizados

Motor/Transmissão	Nome da Falha	Número de registros categorizados (N_{cp})
Motor	Super aquecimento no Motor	612
Motor	Falta de Óleo no Motor	636
Motor	Baixo rendimento do Motor	528
Motor	Filtros de combustível Obstruído	201
Motor	Bateria Danificada	282
Motor	Sem Partida	951
Motor	Filtro de Óleo Obstruído	58
Motor	Filtro de ar obstruído	99
Transmissão	Nível de óleo no conversor de torque fora do normal	470
Transmissão	Falha no freio retardo.	174
Transmissão	Marcha não engata	211
Transmissão	Super aquecimento conversor de torque	130
	Total	5136

Além dos dados das falhas, foram utilizados 666 amostras de operação normal, ou seja, em períodos nos quais não ocorreu nenhuma falha.

Para a construção dos padrões que foram utilizados nas fases de treinamento e teste das redes neurais, foi utilizado o número total de elementos da amostra para a classe que se deseja identificar (N_p), e a mesma quantidade de registros formados por elementos de amostras que não pertencem à classe, inclusive amostras de operação normal, de forma a manter o grupo de treinamento balanceado.

Os dados foram agregados para Jt variando de 8 até 20 de dois em dois dias e o atraso Δ de 3 até 8 dias, sendo que a soma $\Delta + Jt$ é limitada entre 10 e 18 dias. Do número total de elementos da amostra, 10% foi separada para a fase de teste.

Para analisar o desempenho da classificação das redes em função dos parâmetros Δ e Jt , foi criado um mapa de desempenho, onde o eixo x representa o

parâmetro Δ e o eixo y representa $\Delta + Jt$, e o desempenho médio da rede é representado por uma escala de cor exibida no lado direito do gráfico.

Para a camada escondida foram selecionadas 3 topologias, com dois, três e quatro neurônios respectivamente, porém, para não super dimensionar a rede, foi utilizada a heurística descrita na seção 3.4, determinando o número de variáveis de entrada utilizadas em cada uma dessas diferentes topologias.

Os resultados serão analisados isoladamente para cada uma das falhas estudadas e depois resumidas no final do capítulo.

4.1

Superaquecimento do Motor

Nessa categoria foram utilizados todos os registros de paradas do equipamento para realizar manutenção causada pelo super-aquecimento do equipamento. O super-aquecimento do motor aumenta o desgaste dos componentes móveis do mesmo.

4.1.1

Topologia da Rede

As Redes treinadas possuíam de 2 a 4 neurônios na camada escondida. Caso o número de variáveis selecionadas seja muito alto, o número de variáveis de entrada foi reduzido com o objetivo de aumentar a quantidade de neurônios na camada oculta, sempre respeitando a heurística descrita no capítulo 3. Para essa falha existem 612 amostras dentro da classe e foram utilizados mais 612 amostras que não pertencem à classe, dentre elas outras classes e amostras de operação normal. Para a fase de testes foi isolado 10% dessa amostra, restando 1102 amostras para a fase de treinamento. A tabela 4.3 expressa o número aproximado de entradas para cada uma das topologias.

Tabela 4.3 – Número aproximado de variáveis de entrada

Número de neurônios na camada escondida	2	3	4
Número de entradas permitidas para a rede	$n_e \approx 38$	$n_e \approx 20$	$n_e \approx 14$

4.1.2

Rede com o Melhor Desempenho

Para a rede com o melhor desempenho na classificação da falha de super-aquecimento do motor foram selecionadas 15 variáveis de entrada pelo método utilizado, que estão listadas na tabela 4.4 em ordem de importância.

Tabela 4.4 – Variáveis utilizadas pela rede de melhor desempenho

Variáveis que foram selecionadas utilizando teste-t*	33;16;28;34;15;123;130;13;82;12;1;129;56;125;124
--	--

* a tabela de decodificação dos indicadores segue no apêndice

As variáveis selecionadas para a classificação dessa falha estão diretamente ligadas ao aumento de esforço do equipamento como, por exemplo, os indicadores 28, 15, 123, 124, 125, 129 e 130, que indicam esforço por alto peso. É importante ressaltar que a temperatura ambiente, indicador 16, também influencia no superaquecimento do equipamento. Alguns indicadores de patinação na transmissão, como os indicadores 13 e 12, também foram selecionados, pois indicam mudança brusca de velocidade ou excesso de esforço.

Conforme é possível verificar no gráfico da Figura 4.1, o melhor desempenho da rede foi alcançado com o parâmetro Δ de 5 dias e uma janela Jt de 9 dias. A tabela 4.5 exibe o desempenho da rede para a classificação de superaquecimento.

Tabela 4.5 – Erro médio de classificação

Erro treinamento	Erro validação	Erro teste
4%	5%	7%

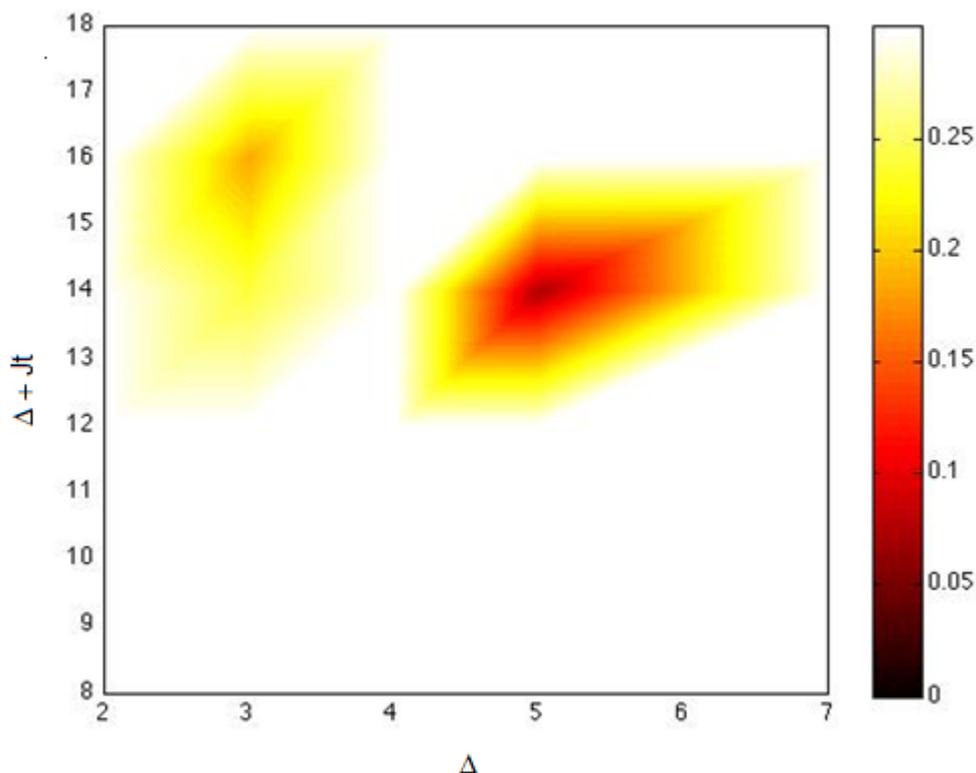


Figura 4.1 – Mapa de desempenho da classificação de Super aquecimento do motor

Os gráficos de mapa de desempenho indicam o erro de classificação da rede em função dos parâmetros Δ e $Jt + \Delta$, que expressam, em dias, a distância entre a falha e o início do período de dados utilizados, e o final do período utilizado, respectivamente. A escala de cores indica o erro médio de classificação da rede em questão.

O índice de acerto da rede ficou, em média, em 93% para o grupo de teste, com uma antecedência de 5 dias à falha, o que para o caso de previsão de falha de equipamentos móveis é muito satisfatório, pois permite a programação da parada com antecedência.

4.1.3

Matriz de Confusão

		Previsão do classificador	
		Falha super aquecimento do motor =1	Falha super aquecimento do motor =0
Classe Real	Falha super aquecimento=1	63	1
	Falha super aquecimento=0	8	56

O número de falsos negativos em média é consideravelmente maior que o número de verdadeiros negativos, o que na verdade é adequado para esse tipo de problema, pois implica em um sistema mais conservador, prevenindo mais do que arriscando. A média foi utilizada para se avaliar o desempenho da rede reduzindo a dependência dos grupos de teste e treinamento de forma que o resultado fique mais significativo, e não enviesado para alguma amostra específica.

A análise detalhada de cada um dos problemas está no apêndice desse documento, os dados resumidos seguem na próxima seção.

4.1.4

Resumo dos Resultados

A tabela 4.6 exibe o resumo do percentual de acerto das redes neurais. A classificação de padrões pré-falha se mostrou eficiente para 11 dos 12 casos. Para os 11 casos nos quais a classificação foi satisfatória será realizada uma simulação pra verificar os benefícios trazidos pela utilização das redes.

Tabela 4.6 – Resultados Sumarizados

Motor/Transmissão	Nome Falha	Percentual de Acerto
Motor	Super aquecimento no Motor	93%
Motor	Falta de Óleo no Motor	92%
Motor	Baixo rendimento do Motor	92%
Motor	Filtros de combustível Obstruídos	94%
Motor	Bateria Danificada	90%
Motor	Sem Partida	95%
Motor	Filtro de Óleo Obstruído	60%
Motor	Filtro de ar obstruído	85%
Transmissão	Nível de óleo no conversor de torque fora do normal	95%
Transmissão	Falha no freio retardo.	85%
Transmissão	Marcha não engata	95%
Transmissão	Super aquecimento conversor de torque	91%