



SÃO PAULO
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA
REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA

**CÁLCULO E PREDIÇÃO DA FORÇA RESISTIVA AO DESLOCAMENTO RELACIONADA A
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA VEICULAR UTILIZANDO SOFTWARE CAD E REDES NEURAIAS
ARTIFICIAIS**

**CALCULATION AND PREDICTION OF RESISTIVE FORCES RELATED TO VEHICLE
ENERGY EFFICIENCY USING CAD SOFTWARE AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

Adriano da Silva Galutti^{1, i}
Nelson Wilson Paschoalinoto^{2, ii}

RESUMO

Este artigo estudou a eficiência energética relacionada com os diferentes coeficientes de resistência ao rolamento de um pneu automotivo, comparando os valores por três metodologias: valores obtidos no ensaio em campo, valores obtidos com o auxílio do software CATIA V5 R20 (módulo *Knowledge Advisor*) para a execução de cálculos e valores com a utilização das redes neurais artificiais. A rede neural visou a predição dos resultados, baseados nas amostras colhidas em campo. Utilizou-se a norma ABNT NBR 10312:2014 - Determinação da resistência ao deslocamento por desaceleração em pista de rolamento e simulação em dinamômetro. Algumas configurações de redes foram sugeridas, treinadas e testadas. Obteve-se grande aproximação entre os resultados experimentais e os previstos pela rede neural artificial.

Palavras-chave: Eficiência energética. Resistência ao rolamento. Redes Neurais Artificiais.

ABSTRACT

This article studied the energy efficiency related to the different rolling resistance coefficients of an automotive tire, comparing the values by three methodologies: values obtained in the field test, values obtained with the aid of CATIA software V5 R20 (Knowledge Advisor module) for the execution of calculations and values with the use of artificial neural networks. The neural network aimed at predicting the results, based on field samples. It was used the norm ABNT NBR 10312: 2014 - Determination of the resistance to the displacement by deceleration in rolling track and dynamometer simulation. Some network configurations have been suggested, trained, and tested. A great approximation was obtained between the experimental results and those predicted by the artificial neural network

Keywords: Energy efficiency. Rolling resistance. Artificial neural networks.

Data de submissão: 23/03/2018

Data de aprovação: 18/08/2018

¹ Graduado em Engenharia mecânica. E-mail: adriano.galutti@gmail.com

² Prof. Me da Faculdade SENAI Tecnologia Mecatrônica. E-mail: nelson.paschoalinoto@sp.senai.br

1 INTRODUÇÃO

Programas de incentivo de eficiência energética, como por exemplo, o programa de etiquetagem veicular são poderosos instrumentos para a redução da emissão de poluentes.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) o relatório final do balanço energético nacional de 2016 ano base 2015 pelo lado do consumo foi registrada uma queda de 5,2% de óleo diesel e de 9,5% de gasolina automotiva. O setor de transporte respondeu por 77,8% do consumo final energético de óleo diesel. A redução no consumo de diesel no país foi originada pela queda da atividade econômica brasileira no ano passado. Já, a diminuição do consumo de gasolina automotiva se justificou por preços mais competitivos do etanol hidratado.

No Brasil existem diversos mecanismos de promoção à eficiência energética e conservação de energia, apresentado nas seções 1.1 e 1.2.

1.1 Programa nacional da nacionalização do uso dos derivados do petróleo e do gás natural (CONPET)

O CONPET é um programa do Governo Federal, criado em 1991, por decreto presidencial, para promover o desenvolvimento de uma cultura antidesperdício no uso dos recursos naturais não renováveis no Brasil, garantindo um país melhor para as gerações futuras.

O programa é vinculado ao Ministério de Minas e Energia (CONPET), executado com apoio técnico e administrativo da Petrobras.

O CONPET estimula a eficiência no uso da energia em diversos setores, com ênfase nas residências, nas indústrias e nos transportes, além de desenvolver ações de educação ambiental. O Programa busca mobilizar a sociedade brasileira, contribuindo para o desenvolvimento econômico e o bem-estar social.

Os principais objetivos do programa são racionalizar o consumo dos derivados do petróleo e do gás natural, reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera, promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico, e fornecer apoio técnico para o aumento da eficiência energética no uso final da energia, além de conscientizar os consumidores sobre a importância do uso racional de energia para o desenvolvimento sustentável e melhor qualidade de vida.

1.2 Programa brasileiro de etiquetagem veicular

O Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular é um programa de eficiência energética para veículos leves coordenado e regulamentado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) e desenvolvido em parceria com o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), vinculado ao Ministério de Minas e Energia e implementado pela Petrobras.

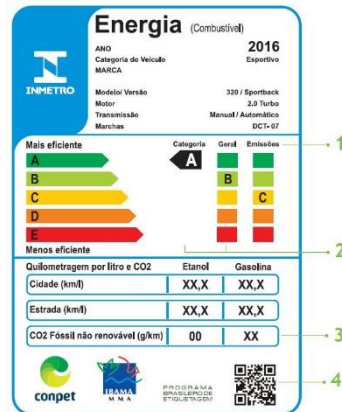
O programa abrange os veículos leves comercializados no país com motores do ciclo Otto, movidos a gasolina e/ou etanol, e do ciclo Diesel.

As informações sobre consumo de combustível dos modelos de automóveis são declaradas por seus fabricantes ou importadores. Os modelos são classificados conforme a categoria (comparação com modelos semelhantes) e também em uma classificação geral (comparação com todos os modelos participantes).

Recebem conceitos de “A” a “E”, sendo que “A” significa menor consumo energético e “E”, maior consumo energético.

A etiqueta nacional de conservação de energia (ENCE) ilustrada na Figura 1 destaca as classificações dos modelos com relação ao consumo energético na categoria e no geral, bem como sua classificação com relação aos poluentes controlados. A ENCE é de uso obrigatório para os modelos participantes do programa.

Figura 1 – Etiqueta nacional de conservação de energia (ENCE)



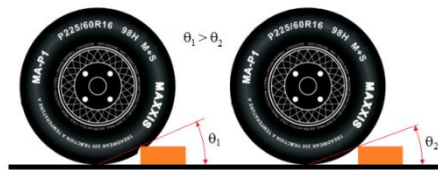
Fonte: CONPET (2016, p. 3)

1.3 Resistência ao rolamento

Resistência ao rolamento é a força que o pneu opõe ao deslocamento do veículo. A resistência ao rolamento é uma manifestação das perdas de energia do veículo, devidas às deformações sofridas pela superfície de contato do pneu com o pavimento e com os obstáculos com que se depara. (CAETANO, 2014).

O que acontece a um pneu com uma menor resistência ao rolamento comparado a um pneu com boa resistência ao rolamento, para ultrapassar um mesmo obstáculo é apresentada em uma forma esquemática na figura 2.

Figura 2 – Resistência ao rolamento (esquemático)



Fonte: CAETANO (2014).

Um pneu com menor resistência ao rolamento deforma-se mais e o ângulo de ataque para ultrapassar o obstáculo é maior que o ângulo que corresponde ao pneu com boa resistência ao rolamento. Esse maior esforço é traduzido no maior valor do ângulo θ . Estas perdas energéticas traduzem-se, na prática, num maior consumo de combustível, fato que constitui uma preocupação por duas razões principais:

- aumento do custo por quilometro percorrido;
- maior impacto ambiental devido à maior quantidade de CO_2 .

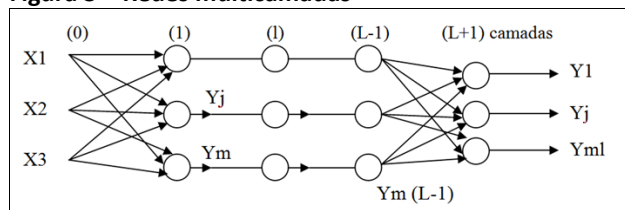
Diante disso os pneus com menor resistência ao rolamento foram designados como *pneus ecológicos* ou *pneus verdes* (CAETANO, 2014).

1.4 Redes neurais artificiais

Uma rede neural artificial se baseia em técnicas de Inteligência Artificial Conexionista (IAC) que tenta simular em máquinas (computadores) o funcionamento o cérebro humano, de uma maneira simplificada por meio de algoritmos de treinamento e reconhecimento.

As redes neurais artificiais consistem de uma rede de elementos de processamento chamados neurônios. Uns deles estão acessíveis para estímulos na entrada (representada pelo número 1), outros acessíveis para estímulos na saída e outros inacessíveis (TEIXEIRA, 1998). Estes inacessíveis são conhecidos como camada oculta, representadas pelas letras (I) e (L-1) na figura 3.

Figura 3 – Redes multicamadas



Fonte: PASCHOALINOTO (2012).

As redes possuem como características mais importantes o aprendizado por meio de exemplos, sem a colocação de conhecimentos, exceto a escolha dos próprios dados e de ser capaz de generalizar após seu treinamento, ou seja, responder corretamente a estímulos desconhecidos desde que pertençam ao mesmo domínio de estímulos para a qual foi treinada (TEIXEIRA, 1998).

Um dos tratamentos mais utilizados é o *perceptron* multicamadas ou rede neural *feedforward*. A rede armazena o conhecimento desejado para aplicação de forma distribuída como os valores dos pesos (aprendizado supervisionado). Neste caso a rede neural artificial possui um algoritmo que vai adequando os pesos baseando-se em uma resposta conhecida. O intuito da rede neural é buscar o resultado final igual ao estipulado no início da corrida.

O treinamento das redes é efetuado diversas vezes com diferentes combinações como número de neurônios, camadas, função de ativação. Assim que um treinamento satisfatório for conseguido, os pesos são fixados e a rede estará pronta para a operação.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo caracterizar a eficiência energética veicular relacionando-a com a resistência ao rolamento do pneu. O estudo foi baseado na norma ABNT NBR 10312:2014 que permite a determinação da resistência ao deslocamento por desaceleração em pista de rolamento e simulação em dinamômetro, sendo os resultados determinados somente por desaceleração em pista de rolamento, utilizando-se um mesmo veículo para dois modelos de pneus A e B com resistência ao rolamento e fabricantes diferentes. A força de resistência ao rolamento (F) foi calculada também com a ajuda do software CATIA V5 R20 e por Redes Neurais Artificiais. Seus resultados foram comparados.

3 MÉTODOS DE ENSAIO

Segundo a norma NBR 10312, o *Coast Down* é obtido através de uma desaceleração livre em uma pista de rolamento. Durante a prova é medido os valores de velocidade, tempo, temperatura ambiente, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento.

Para o cálculo do valor de *Coast Down* inicialmente é necessário calcular o valor da massa efetiva do veículo. Este valor é obtido somando-se a massa real do veículo mais a massa do condutor e todo equipamento necessário mais a massa equivalente à inércia de rotação (esta é estimada como sendo 3% da massa real do veículo).

A norma NBR 10312 estabelece que pista de rolamento em que será realizado o ensaio deve ser plana, sem irregularidades e seca. Não deve também ter uma inclinação maior que 1,5% e variações maiores que $\pm 5\%$.

Condições ambientais mínimas e máximas também são exigidas por norma, mesmo realizando as devidas correções para as condições padrões de ensaio o vento na pista de ensaio não deve ser superior a média de 3 m/s com picos de 5 m/s e não deve haver também ventos transversais superiores a 2 m/s. A velocidade do vento deve ser medida a uma altura aproximada de 0,70 m da pista de rolamento.

A pressão atmosférica deve estar compreendida entre 91 KPa e 104 KPa (680 mmHg e 780 mmHg). Já temperatura ambiente deve estar na faixa de 5°C a 35°C. O veículo utilizado para o ensaio deve estar amaciado em 3000 km e os pneus devem apresentar ter um desgaste de modo que a profundidade do sulco esteja entre 50% e 90% da profundidade inicial. A pressão dos pneus deve ser calibrada de modo a atender as condições a serem consideradas para o ensaio.

3.1 Ensaio em Campo

Segundo a norma NBR 10312 o teste de resistência ao deslocamento consiste em acelerar o veículo a uma velocidade igual ou superior a 105 km/h e inicia-se a desaceleração livre do veículo. Quando o veículo atingir a velocidade igual ou superior a 100 km/h, inicia-se as medições de tempo em intervalos iguais de velocidade (ΔV) de 10 km/h no máximo, até que o veículo atinja uma velocidade igual ou inferior a 30 km/h. Devem ser efetuados pelo menos cinco ensaios em cada sentido da pista de rolamento. Registra-se os tempos de desaceleração a cada intervalo de velocidade (ΔV) fixado, e a temperatura ambiente e pressão barométrica em cada desaceleração.

3.1.1 Determinação dos coeficientes f'_0 e f'_2 a partir da desaceleração do veículo

Segundo a norma para se determinar os coeficientes da equação da força resistiva total do veículo em função da velocidade utiliza-se o método matemático dos mínimos quadrados. Para este método é necessário uma sequência de cálculos cujos resultados são atribuídos a cinco variáveis, A, B, C, D e E. A variável A recebe o valor do somatório das desacelerações calculadas para cada intervalo. A variável B recebe o somatório das velocidades médias em m/s calculadas para cada intervalo. A variável C recebe o somatório das velocidades médias em m/s elevadas ao quadrado calculadas para cada intervalo. A variável D recebe o somatório das velocidades médias em m/s elevadas à quarta potência para cada intervalo. A variável E recebe o somatório da multiplicação da velocidade média ao quadrado pela aceleração em

cada intervalo. O quadro 1 demonstra resumidamente as operações necessárias para se encontrar as cinco variáveis.

A determinação de f'_0 e f'_2 sem as correções para as condições padrões de temperatura e pressão será calculado da seguinte forma:

$$f'_{0,k} = \frac{D \times A - C \times E}{(n-1) \times D - C^2} \times Me \quad (1)$$

$$f'_{2,k} = -\frac{(n-1) \times E - C \times A}{(n-1) \times D - C^2} \times Me \quad (2)$$

Onde:

n é o número de desaceleração em cada sentido da pista;

Me é a massa efetiva do veículo;

Os resultados A, B, C, D e E obtidos estão ilustrados no quadro 1.

Quadro 1 – Cálculo dos valores de f'_0 e f'_2

Pontos de medição	Instante [s]	Velocidade [km/h]	Aceleração média no intervalo [m/s ²]	Velocidade média no intervalo [m/s]	Velocidade média no intervalo elevada ao quadrado [(m/s) ²]	Velocidade média no intervalo elevada à quarta potência [(m/s) ⁴]	Velocidade média ao quadrado multiplicada pela aceleração média no intervalo m/s ² x (m/s) ²
	t_i	V_i	$a_i = \frac{V(i+1) - V_i}{3,6 \times \Delta t}$	$\bar{V}_i = \frac{V(i+1) + V_i}{2 \times 3,6}$	$\bar{V}_i^2$	$\bar{V}_i^4$	$a_i \bar{V}_i^2$
0	0	V_0	-	$\bar{V}_0$	$\bar{V}_0^2$	$\bar{V}_0^4$	$a_0 \bar{V}_0^2$
1	t_1	V_1	a_1	$\bar{V}_1$	$\bar{V}_1^2$	$\bar{V}_1^4$	$a_1 \bar{V}_1^2$
2	t_2	V_2	a_2	$\bar{V}_2$	$\bar{V}_2^2$	$\bar{V}_2^4$	$a_2 \bar{V}_2^2$
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
n-1	t_{n-1}	V_{n-1}	a_{n-1}	$\bar{V}_{n-1}$	$\bar{V}_{n-1}^2$	$\bar{V}_{n-1}^4$	$a_{n-1} \bar{V}_{n-1}^2$
			$A = \sum a_i$	$B = \sum \bar{V}_i$	$C = \sum \bar{V}_i^2$	$D = \sum \bar{V}_i^4$	$E = \sum a_i \bar{V}_i^2$

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1991)

Os valores médios são tomados como representativos do veículo para as condições da pista, sem as devidas correções, isto é:

$$f'_0 = \sum_{k=1}^n \frac{1}{n} \times f_{0,k} \quad (3)$$

$$f'_2 = \sum_{k=1}^n \frac{1}{n} \times f_{2,k} \quad (4)$$

Onde:

n é o número de desaceleração em cada sentido da pista;

O coeficiente de variação das medições dever ser verificado pela comparação dos valores calculados das forças para cada par de ensaios (ida e volta), conforme equação (5) e (6).

$$CVf_{0,0} = \frac{\sigma f'_{0,n}}{f'_0} \quad (5)$$

$$CVf_{2,2} = \frac{\sigma f'_{2,n}}{f'_2} \quad (6)$$

Onde:

CV é o coeficiente de variação para f'_0 ou f'_2 ;

σ é o desvio padrão das forças f'_0 e f'_2 de todos os pares de ensaios;

O valor obtido para CV não pode ser superior a 10%;

Para se corrigir os coeficientes encontrados em (1) e (2) para as condições padrões a norma NBR 10312 sugere as seguintes equações (7) e (8).

A correção de f'_0 para a temperatura padrão é feita através da equação:

$$f'_0 = f_0 [1 + K_T (T - T_0)] \quad (7)$$

Onde:

K_T é o fator de correção estimado em $8,6 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$;

T é a temperatura ambiente na pista de rolamento, expressa em Kelvins (K);

T_0 é a temperatura padrão que é igual a 293,15 K;

A correção de f'_2 para a pressão e a temperatura padrão é feita através da equação:

$$f'_2 = \frac{P_0 T}{P T_0} (f_2 - K_p \times f_0) + K_p \times f'_0 \quad (8)$$

Onde:

K_p é o fator de correção estimado em $2,503 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$;

P é a pressão atmosférica na pista, expressa em quilo pascal (kPa);

P_0 é a pressão-padrão que é igual a 101,325 kPa;

T temperatura ambiente na pista, expressa em Kelvins (K);

T_0 temperatura padrão que é igual a 293,15 K;

3.1.2 Equação da força resistiva ao deslocamento do veículo na pista

A partir dos coeficientes encontrados a equação genérica da força resistiva ao deslocamento em função da velocidade é dada pela seguinte equação:

$$F = f_0 + f_2 V^2 \quad (9)$$

Onde:

F é a força resistiva ao movimento [N]

f_0 é o coeficiente do termo de ordem zero da equação [N]

f_2 é o coeficiente do termo de segunda ordem da equação [$\text{N}/(\text{m/s})^2$]

V é a velocidade do veículo, expressa em metros por segundo (m/s);

3.1.3 Aquisição dos dados experimentais ao deslocamento do veículo na pista

Para as medições dos tempos nos ensaios de desaceleração do veículo considerando a velocidade real foi utilizado o equipamento Racelogic Vbox com antena GPS e realizado uma programação em seu software para iniciar automaticamente a aquisição dos tempos a uma velocidade real de 100 km/h a cada intervalo de 2 km/h até atingir a velocidade de 30 km/h.

Com essas informações e a partir dos coeficientes corrigidos para as condições padrões em (7) e (8) foram determinados os valores da força resistiva ao deslocamento para cada velocidade apresentada na tabela 1 em (3.2).

3.2 Redes Neurais Artificiais (RNA)

De posse da tabela original utilizada no ensaio em campo, tomou-se algumas amostras para treinamento, teste e validação da rede. O software Statistica foi utilizado. A tabela 1, mostra os dados coletados no ensaio em campo e as amostras reservadas para testes em negrito (90, 80, 70 e 50km/h).

Tabela 1 – Dados experimentais do ensaio em campo.

Vel. (km/h)	Tempos nos ensaios (s)										F (N)
	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B	
100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	771,57
98,00	1,71	1,75	1,70	1,57	1,68	1,73	1,72	1,77	1,74	1,72	749,48
96,00	3,57	3,36	3,42	3,21	3,42	3,41	3,50	3,37	3,50	3,25	727,83
94,00	5,60	5,01	5,34	4,78	5,37	5,15	5,31	4,95	5,29	4,88	706,64
90,00	9,55	8,45	9,26	8,13	9,25	8,62	9,17	8,34	9,35	8,30	665,58
88,00	11,69	10,14	11,25	9,87	11,33	10,27	11,19	10,03	11,31	9,92	645,72
86,00	13,77	11,94	13,47	11,63	13,54	12,09	13,33	11,94	13,57	11,85	626,30
84,00	16,04	13,94	15,50	13,58	15,55	14,03	15,49	13,73	15,51	13,81	607,34
80,00	20,65	18,21	20,22	17,90	20,24	18,13	20,03	18,14	20,27	18,05	570,74
78,00	22,88	20,43	22,44	20,11	22,25	20,52	22,14	20,24	22,58	20,28	553,11
76,00	25,16	22,87	24,64	22,40	24,56	22,85	24,56	22,48	24,72	22,64	535,93
74,00	27,48	25,01	26,97	24,47	26,95	25,13	26,70	24,63	27,01	24,77	519,19
70,00	33,11	30,11	32,32	28,87	32,27	29,67	31,66	28,82	32,45	29,39	487,06
68,00	36,21	32,38	35,32	31,32	35,27	32,17	34,58	31,14	35,35	31,79	471,66
66,00	39,42	34,77	38,65	33,75	38,47	34,71	37,59	33,37	38,55	34,27	456,71
64,00	42,65	37,58	41,98	36,26	41,70	37,17	41,00	35,87	41,88	36,79	442,21
62,00	45,75	40,17	45,08	38,88	44,89	39,79	44,35	38,29	44,95	39,44	428,15
60,00	48,47	42,88	47,85	41,56	47,64	42,38	47,35	40,90	48,01	42,00	414,54
58,00	51,29	45,66	50,88	44,53	50,43	45,32	50,37	43,54	50,81	45,03	401,37
56,00	54,25	48,85	53,68	47,57	53,40	48,21	53,16	46,54	53,77	47,97	388,65
54,00	57,00	52,11	56,39	50,60	55,91	51,07	55,99	49,52	56,45	51,16	376,38
50,00	62,92	58,57	62,64	56,93	62,12	57,16	61,90	55,77	62,30	57,57	353,17
48,00	66,11	61,92	65,74	60,58	65,27	60,26	65,01	59,17	65,50	60,98	342,24
46,00	69,85	65,88	69,24	64,60	68,45	63,86	68,23	62,41	68,72	64,58	331,75
44,00	73,71	70,14	72,85	69,02	72,15	67,50	71,64	66,38	72,27	69,27	321,71
42,00	77,03	75,37	76,65	74,08	75,48	71,69	75,20	71,31	76,00	73,71	312,12
40,00	80,76	80,21	80,32	79,03	79,63	76,86	78,92	75,72	79,89	78,71	302,97

Fonte: Elaborado pelo autor

Na tabela 2 está descrita a arquitetura da rede neural utilizada. Uma rede com 11 variáveis na camada inicial, 9 na camada oculta e uma variável de saída foi a configuração de rede neural artificial que mais se aproximou do resultado desejado. A função de ativação da camada intermediária foi uma função exponencial e da camada da saída foi uma função identidade.

Tabela 2 – Arquitetura da rede 11-9-1

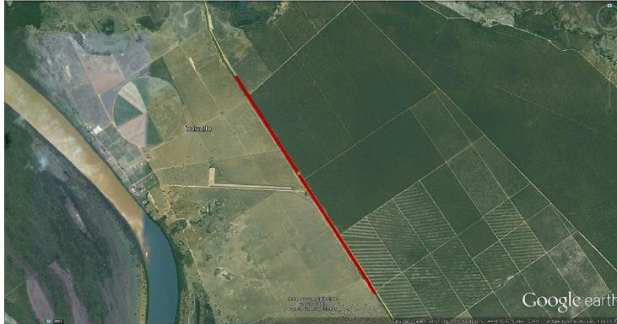
Summary of active networks (Spreadsheet2.sta)											
Rede	Nome	Treinamento	Teste	Validação	Erro de treinamento	Erro de teste	Erro Validação	Algoritmo de	Função erro	Ativação escondida	Ativação saída
6	MLP 11-9-1	0,999998	0,999986	0,999994	0,000000	0,000000	0,000001	BFGS 44	SOS	Exponential	Identity

Fonte: Elaborado pelo autor

4 RESULTADOS

O local utilizado para levantamento dos resultados experimentais foi a cidade de Ibirá em Minas Gerais utilizando um trecho de três quilômetros com asfalto livre de irregularidades da MG674.

Figura 4 – Vista do trecho da pista MG674



Fonte: Google Maps

Na Tabela 3 está descrita o resumo dos valores sendo os coeficientes do termo de ordem zero, segunda ordem, velocidade e força resistiva ao movimento, sendo o pneu B de melhor eficiência devido a força resistiva ao movimento em B ser o menor comparado com A.

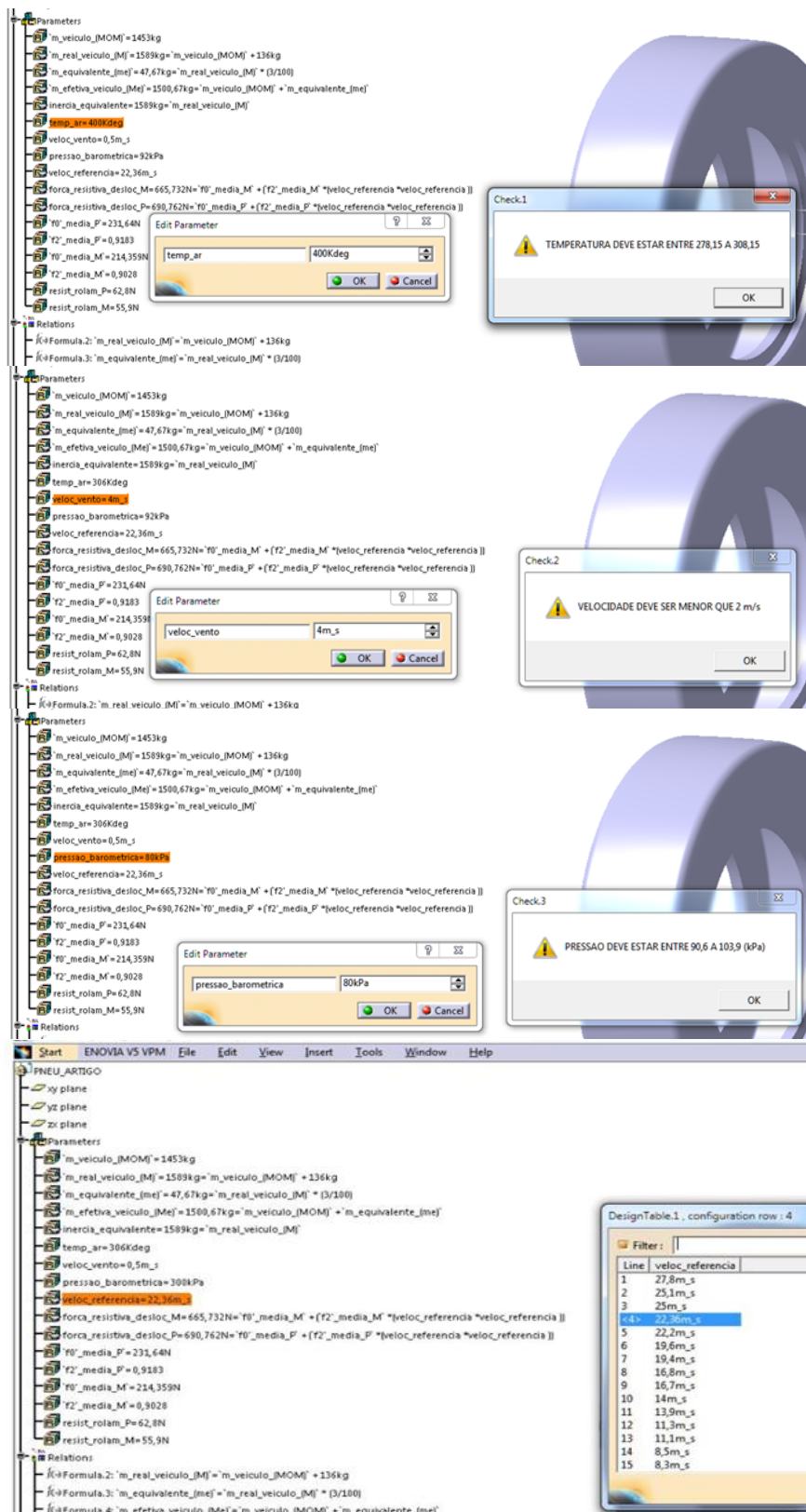
Tabela 3 – Resultados referente a diferente coeficiente de rolamento

Pneus	Resistencia rolamento pneu teórico Kg/Max	f_0 Coeficiente do termo de ordem zero [N]	f_2 Coeficiente do termo de segunda ordem [N/(m/s) ²]	V Velocidade do veículo (m/s)	F Força resistiva ao movimento [N]
A	6,4	231,64	0,9183	22,361	690,828
B	5,7	214,36	0,9028	22,361	665,819

Fonte: Elaborado pelo autor

Algumas fórmulas propostas no item 3.1 foram implementadas no software CATIA por meio de parâmetros utilizando o ambiente *Knowledge Advisor*. Alguns resultados podem ser visualizados na figura 5.

Figura 5 – Check controle da temperatura do ar, controle da velocidade do vento, de controle da pressão barométrica e Design table das velocidades de referências

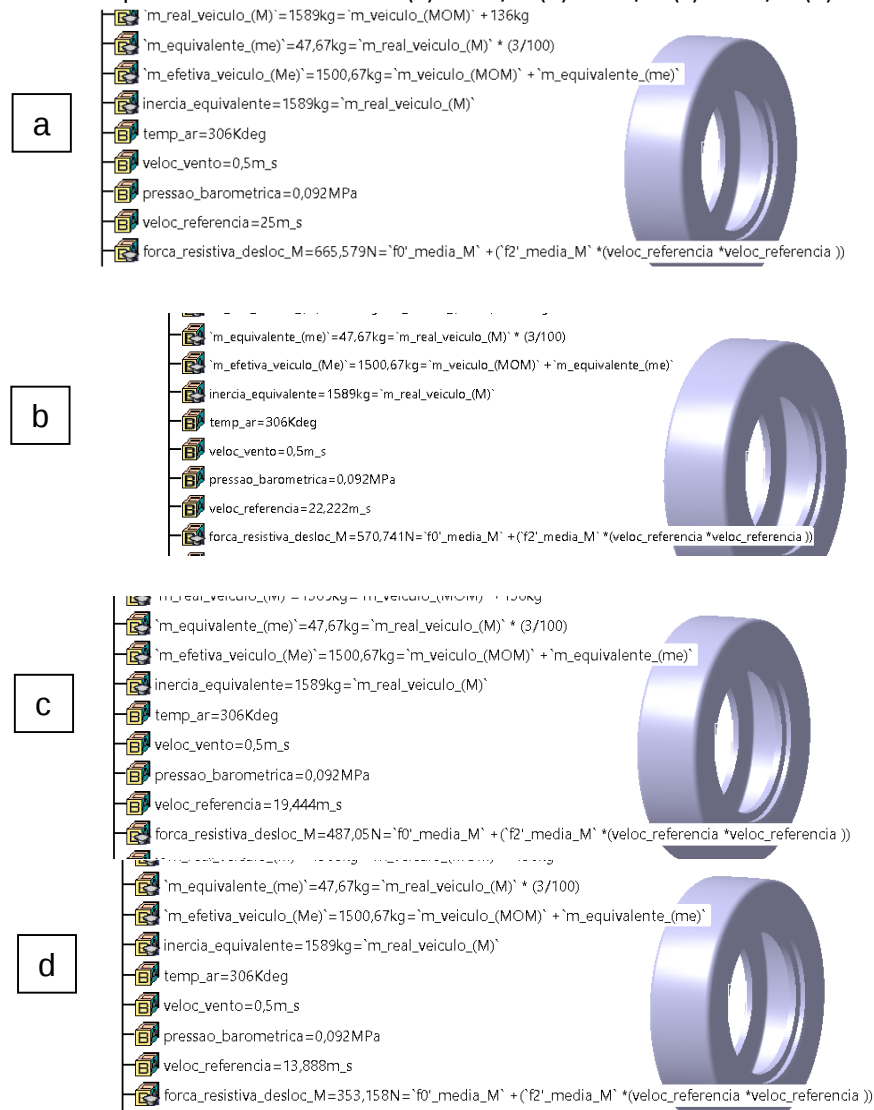


Fonte: Elaborado pelo autor

O cálculo de F (força resistiva ao deslocamento) parâmetro esse implementado no software CATIA por meio do ambiente Knowledge Advisor se faz alterando as velocidades para 90, 80, 70 e 50 km/h com o auxílio de uma *design table*.

Para a velocidade de referência de 90 km/h (25m/s) tem-se o valor da força de 665,579 N. Para a velocidade de 80km/h (22,22 m/s) tem-se o valor da força de 570,741N. Para velocidade de 70 km/h (19,44m/s) tem-se o valor da força de 487,05 N. Para a velocidade de 50km/h (13,888m/s) tem-se o valor da força de 353,17 N. A figura 6 mostra imagens dos parâmetros do software e os respectivos resultados.

Figura 6 – Cálculos para F utilizando o CATIA. (a) 90km/h. (b) 80km/h. (c) 70km/h. (d) 50km/h.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Tabela 4 está descrita o comparativo dos resultados desejados (medidos e parametrizados no CATIA) e os resultados da rede neural através do software Statistica. Para melhor visualização foram escolhidas as amostras com velocidade de 90, 80, 70 e 50 km/h para testar a rede neural criada.

Tabela 4 – Comparação resultados do F experimental (teórico e CATIA) x F redes neurais artificiais

Dados experimental	Dados rede neural
665,81	665,68
570,74	570,53
487,06	487,78
353,17	353,86

Fonte: Elaborado pelo autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Partindo de dados reais de ensaios realizado em campo para a determinação da resistência ao deslocamento por desaceleração em pista de rolamento, calculou-se a força de resistência ao rolamento de uma forma teórica seguindo a norma ABNT NBR 10312.

As respectivas fórmulas foram implementadas por meio de parametrização no software CATIA V5 R20 de forma a obter-se os mesmos valores de F daqueles calculados teoricamente.

A utilização de redes neurais artificiais demonstrou a possibilidade de ter-se resultados de F de uma forma menos trabalhosa. As diferentes técnicas empregadas (Cálculo teórico, CATIA e RNA) demonstraram ser capazes de calcular F com valores muito aproximados.

Cabe destacar, que o trabalho aqui realizado apenas identificou um setor da parcela que influencia no valor total da eficiência energética havendo outros setores do veículo que também podem ser estudados possibilitando investir no desenvolvimento das parcelas que têm maior potencial de contribuição.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6022: informação e documentação: artigo em publicação periódica científica impressa: apresentação**. Rio de Janeiro, 2003. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10312:1991: Veículos rodoviários automotores leves: determinação da resistência ao deslocamento por desaceleração livre em pista de rolamento e simulação no dinamômetro**. Rio de Janeiro, 1991.

CAETANO, Mario L. J. **Resistência ao rolamento**. 2014. Disponível em: <https://ctborracha.com/?page_id=9333>. Acesso em: 01 jun. 2017.

CONPET. **Programa nacional da racionalização do uso dos derivados do petróleo e do gás natural**. 2016. Disponível em: <http://pbeveicular.petrobras.com.br/Arquivos/folder_PBEV_2016.pdf?dt=2088>. Acesso em: 01 jun. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2016**. 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-126/topico-94/Relat%C3%B3rio%20Final%202016.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

PASCHOALINOTO, Nelson Wilson. **Redes Neurais artificiais e planejamento fatorial: um estudo da integridade superficial do aço ABNT 52100 endurecido no processo de torneamento**. 2012. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – FEI, São Bernardo do Campo, 2012.

TEIXEIRA, Marcelo S. **Estudo do monitoramento do desgaste de fresas de topo baseado no emprego de sensores**, 1998. 184 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1998.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, esposa e filhos, por mais uma vez estarem sempre do meu lado para toda e qualquer ajuda que fosse possível e pelo entendimento do tempo que estive ausente em determinados momentos.

Ao orientador, Professor Nelson Wilson Paschoalinoto, pelo apoio e pela presença sempre constante em todas as atividades de desenvolvimento do trabalho.

A todos os amigos, que acompanharam em todas as etapas de desenvolvimento com grande energia.

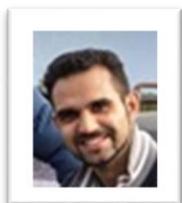
Sobre os autores:

i ADRIANO DA SILVA GALUTTI



Possui graduação em Engenharia Mecânica pelo Instituto Mauá de Tecnologia (2008). Cursando atualmente a Pós-Graduação em Projeto, Manufatura e Engenharia Auxiliados por Computador (CAD/CAM/CAE) pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. Atualmente é Engenheiro de Desenvolvimento de Produto da CAO Montadora de Veículos Ltda. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica com ênfase em automobilística.

ii NELSON WILSON PASCHOALINOTO



Doutorando em Engenharia Mecânica. Mestre em Engenharia Mecânica com ênfase em Materiais e Processos. É pós-graduado em Engenharia de Processos Industriais - Instrumentação, Automação e Controle. Possui graduação em Tecnologia Mecânica - Processos de Produção e Licenciatura Plena em Mecânica. Atualmente é Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Processos de Fabricação, CAD e em Coordenação Pedagógica no ensino técnico.