



“A atuação das Engenharias Humanitárias para o desenvolvimento sustentável do Agro à Indústria 4.0 contribuindo para políticas públicas do Brasil”



ADAPTAÇÃO DA NBR 10312:2019 PARA VEÍCULOS DO TIPO BAJA SAE DA EQUIPE KOMIKETO BAJA UFSJ

Mateus Moreira Guerra ⁽¹⁾ (mt_guerra@hotmail.com), Vinicius Giarola Misson ⁽¹⁾ (viniciusmisson10@gmail.com), Matheus Felipe Rodrigues ⁽²⁾ (matheus29felipe@hotmail.com), Camila Tavares Ribeiro ⁽¹⁾ (camilatavaresrr@gmail.com), José Antônio da Silva ⁽³⁾ (jant@ufsj.edu.br)

⁽¹⁾ Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ); Campus Santo Antônio; DEMEP

⁽²⁾ Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ); Campus Santo Antônio; DEPEL

⁽³⁾ Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ); Campus Santo Antônio; DCTEF

RESUMO: Aspectos como deslocamento e resistência ao rolamento são importantes questões que balizam projetos veiculares. Visto que protótipos baja não atingem altas velocidades, este artigo tem como objetivo a apresentação de uma adaptação da metodologia proposta pela “Norma NBR 10312:2019 Versão Corrigida:2019 de coast down para veículos automotores” à realidade de veículos off road. Essa validação permitiu a captação dos coeficientes de resistência ao rolamento e da força resistiva ao deslocamento do protótipo KB08 da equipe Komiketo Baja UFSJ. Esses dados são usados como parâmetros iniciais em aprimoramentos de projetos e quando aplicados em tabelas de dinâmica longitudinal, é possível calcular os valores de aceleração, velocidade e a cive máximo, que são de suma importância para que as mudanças futuras tanto no protótipo avaliado, quanto em projetos futuros sejam confiáveis. A metodologia pode ser dividida em duas partes, sendo elas uma prática e outra teórica. A parte prática consiste em rebocar o protótipo até determinada velocidade e em seguida, desacoplá-lo, além da captura de dados do ambiente como temperatura e atrito. No entanto, a parte teoria é composta por cálculos que utilizam valores obtidos na etapa anterior. Por fim, adquiriu-se a curva de desaceleração do carro. Os resultados foram satisfatórios.

PALAVRAS-CHAVE: NBR 10312:2019, COAST DOWN, BAJA

ADAPTATION OF NBR 10312:2019 FOR VEHICLES OF THE BAJA TYPE OF THE KOMIKETO BAJA UFSJ TEAM

ABSTRACT: Aspects such as displacement and rolling resistance are important for the issue that guide vehicle projects. Once baja prototypes do not reach high speeds, this article aims to present an adaptation of the methodology proposed by “Standard NBR 10312:2019 Corrected Version:2019 of coast down for motor vehicles” to the off road vehicle reality. This validation allowed the capture of the rolling resistance coefficients and the displacement resistive force of the Komiketo Baja UFSJ prototype. These data are used as initial parameters in design improvements and when applied to longitudinal dynamics tables, it is possible to calculate the values of acceleration, speed and maximum slope, which are of paramount importance for future changes both in the evaluated prototype and in future projects are reliable. The methodology was divided into two stages, one of them is practical and the other’s theoretical. The practical part consists of towing the vehicle up to a certain speed and then decoupling it, in addition to capturing environmental data such as temperature and friction. However, the theory part is composed of calculations that use values obtained in the previous step. Finally, the car’s deceleration curve was acquired. The results were satisfactory.

KEYWORDS: NBR 10312:2019, COAST DOWN, BAJA

1. INTRODUÇÃO

O protótipo da equipe Komiketo Baja UFSJ é um veículo *off road*, produzido para competições nas quais o carro é submetido a uma série de provas de diferentes modalidades que avaliam seu desempenho, entre elas, aceleração, velocidade e capacidade trativa, que são diretamente relacionadas à dinâmica longitudinal. Sendo, o subsistema de Powertrain o responsável pela locomoção e tração do veículo, ele tem grande influência no resultado das provas citadas.

O dimensionamento e aprimoramento do subsistema depende de uma gama de dados que são importantes para a realização dos cálculos de dinâmica, que por sua vez, permite prever como o carro irá se comportar quanto às marcas de velocidade final, aceleração máxima, velocidade média, dentre outros. Visando a melhoria de eficiência da transmissão do baja, surgiu a necessidade de obter o coeficiente de resistência ao rolamento e força resistiva ao deslocamento, pois foi detectada a carência desses dados dentro da equipe. Com isso, foi encontrado a NBR 10312:2019 que disponibiliza ao longo de uma validação a obtenção desses dados.

Uma vez que essa validação é para veículos automotores, foi necessário alterar a forma de executar o experimento, para que os resultados se ajustem à realidade do projeto. Sendo assim, o presente artigo tem como objetivo adaptar a NBR 10312:2019 Versão Corrigida:2019 para que seja possível obter os dados de coeficiente de resistência ao rolamento e força resistiva de um protótipo baja SAE.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Powertrain

O subsistema de Powertrain do protótipo Komiketo Baja UFSJ é constituído atualmente por um motor Briggs & Stratton Série 20 como força motriz e uma transmissão integrada por dupla redução, na qual a primária é uma do tipo CVT (Gaged GX-9) e a secundária é um redutor composto por engrenagens de dentes do tipo reto, além de ter um semieixo conectado ao redutor e ao cubo de roda por um conjunto homocinético.

Em cada etapa ocorrem perdas durante a transmissão de energia do motor aos pneus, transmissão de energia do motor aos pneus, sejam elas de forma interna (resistência mecânica, inércia ou rolamento) quanto de forma externa (Resistência de aclave e aerodinâmica) fato esse que diminui o desempenho longitudinal (BASTOS, 2016).

2.2. NBR 10312:2019 Versão Corrigida:2019

A NBR 10312:2019 prescreve as condições e procedimentos para a determinação da resistência ao deslocamento de um veículo automotor leve e a simulação em dinamômetro de rolos, a partir da desaceleração livre do veículo em pista de rolamento. Essa, fornece dois métodos para calcular os coeficientes de uma equação da força resistiva em questão, o que possibilita a obtenção de uma curva em função da desaceleração do protótipo.

O primeiro método citado pela norma inicia-se quando o veículo é acelerado até a velocidade de 60 km/h e em seguida, é desacelerado até entrar em repouso sem qualquer tipo de interferência,

ou seja, em nenhum momento o condutor do carro deve acionar os freios ou influenciar na sua direção.

A segunda metodologia baseia-se em calcular essa desaceleração no intervalo das velocidades de 90km/h até 60 km/h, esse método é escolhido quando a pista não possui o comprimento necessário para que ocorra a validação de acordo com a lógica anterior fornecida pela NBR.

Como a segunda forma de obtenção dos coeficientes necessita de uma maior velocidade inicial e partindo de princípio que essa condição seria limitante para o veículo do tipo baja, mesmo que rebocado, neste artigo, será abordado, somente, o primeiro método.

Após a coleta de dados, é realizado um tratamento estatístico para a aquisição das forças contrárias que atuam sobre o veículo a cada instante, prevendo assim, o comportamento dinâmico nas diversas situações de rodagem que foram apresentadas durante a validação.

3. METODOLOGIA

3.1. Instrumentação

Para garantir uma maior confiabilidade nos dados a serem analisados, são definidos como base alguns critérios para a escolha do método de captação, como o modelo do sensor, fixação e tratamento dos dados. Por isso, o método de captação da curva de desaceleração do protótipo foi o conjunto sensor indutivo com uma roda fônica.

Escolheu-se o sensor indutivo LJ12A3-4-Z/BX devido à sua geometria de fácil fixação e sua frequência máxima de trabalho de 500 Hz. A geometria da roda fônica foi projetada para ser fixada no lugar do disco de freio e, a fim de facilitar a leitura do sensor, evitando erros na captação. Partindo do diâmetro da face do sensor, da resolução pretendida da medição e do máximo número de dentes possíveis na roda fônica, foram realizados cálculos, e se obteve um número de vinte dentes com uma resolução de 0,0837 m/s, valor próximo ao da NBR 10312:2019 Versão Corrigida:2019 de 0,0555 m/s (<http://www.abnt.org.br/>).

As Figuras 1 e 2 mostram o posicionamento final do sensor e roda fônica no veículo e a Figura 3 a geometria da roda fônica utilizada.



FIGURA 1. Posicionamento da roda fônica. Fonte: Arquivos da equipe Komiketo Baja UFSJ (2019).



FIGURA 2. Posicionamento do sensor. Fonte: Arquivos da equipe Komiketo Baja UFSJ (2019).

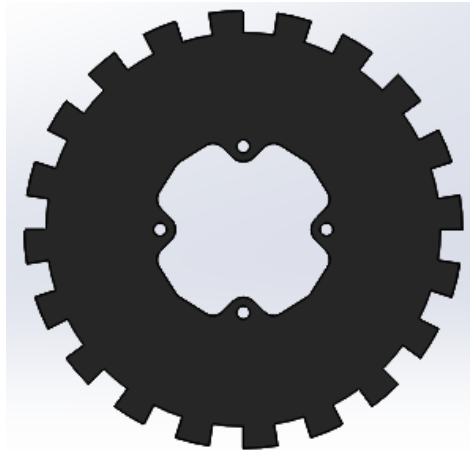


FIGURA 3. Desenho da roda fônica. Fonte: Arquivos da equipe Komiketo Baja UFSJ (2019).

A medição é feita em uma comparação direta entre rotações da roda e o número de pulsos captados pelo sensor. A cada vinte pulsos o micro controlador considera que a roda realizou uma revolução completa, chegando ao pressuposto de que o veículo avançou uma distância equivalente ao perímetro do pneu. O cálculo é realizado medindo o distanciamento percorrido pelo carro a cada segundo, gerando um gráfico de velocidade por tempo, utilizado para analisar a desaceleração do protótipo no ensaio.

3.2. Pré-requisitos da NBR

Para realizar a validação de *coast down*, é importante seguir todos os pré-requisitos para obter dados mais próximos dos reais. O primeiro passo é escolher uma pista sem irregularidades, que seja reta e plana, e que esteja o mais limpa e seca possível, para não haver interferência no resultado. O percurso pode apresentar no máximo um desnível de 1,5%, considerando a dimensão completa do local e os requisitos da NBR, para que as conclusões sejam válidas. Para isso, foi utilizado um Medidor de Inclinação digital Digimess 272.300 360° x 0,1° para medir o desnível (Figura 4).



FIGURA 4. Inclinômetro modelo digital Digimess 272.300 360° x 0,1°. Fonte: LF Ferramentas e Máquinas (2019).

Visto que o veículo tipo baja não consegue atingir velocidades próximas a 60 km/h, adaptou-se o modo para obtenção de tal velocidade. Para isso, engata-se o baja em um veículo automotor e no momento que a velocidade requerida for atingida, o protótipo será desacoplado do automóvel (Figura 5).

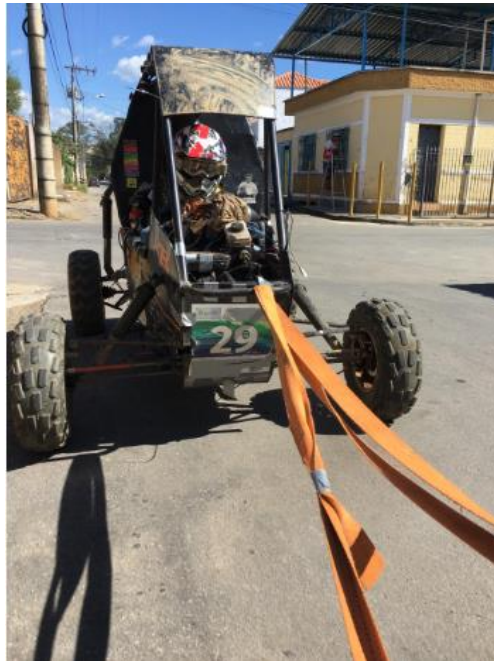


FIGURA 5. Protótipo acoplado ao carro. Fonte: Arquivos da equipe Komiketo Baja UFSJ (2019).

Outro fator é o comprimento da pista, pois essa deve apresentar uma distância suficiente para que o baja seja rebocado por outro veículo e alcance a velocidade de 60 km/h, seja liberado e, conseqüentemente, atinja o repouso. Após realização de uma passagem, constatou-se que seria necessário a metragem de 800 m para atingir os parâmetros desejados.

Durante as passagens do protótipo, a velocidade do vento deve ser monitorada, pois essa não pode apresentar média superior a 3,0 m/s e nem picos iguais ou superiores a 5,0 m/s, para isso, os dados foram monitorados em tempo real por meio do aplicativo Freemeteo.

Outra captação a ser considerada, é a de pressão atmosférica e temperatura visto que essas influenciam nos resultados da captação. A pressão deve estar entre 91 kPa e 104 kPa, enquanto que a temperatura entre 5°C e 35°C. Para obtenção desses valores utilizou-se o mesmo aplicativo citado acima.

Como último critério prescrito pela norma, é necessário que o veículo já tenha rodado no mínimo 3000 Km e que o pneu utilizado tenha altura entre os sulcos entre 90% e 50% do original. No entanto, por se tratar de uma adaptação da NBR, para veículos tipo baja, não foi considerado pertinente tal critério.

Para a realização do experimento, foi utilizado o pneu tipo Carlisle aro 21 por fatores correlacionados a uma melhor capacidade trativa do veículo, além de serem os pneus utilizados pela



equipe para testes e competições. Por fim, finalizadas tais exigências da norma, é necessário captar dados que serão fundamentais para calcular os coeficientes em análise.

3.3. Dados para os cálculos

Para obter a massa específica do veículo, é feito a multiplicação da inércia de rotação com a aceleração angular dividindo ambos pelo raio dinâmico, e em seguida, deve-se somar a ela os valores das massas do protótipo com piloto e dos instrumentos de medição utilizados, caso esses influenciarem no resultado.

É importante conferir, também, especificações de fábrica do pneu e das rodas. Para os pneus, analisa-se o tipo, designação e pressão, enquanto para as rodas, verifica-se a qualidade do componente e o balanceamento.

Para uma boa performance durante a validação, a norma prescreve a importância da regulagem da suspensão e dos freios, buscando um bom estado dos componentes e alinhamento da direção. Após a regulagem, o veículo deve funcionar pelo prazo de 30 min, ao menos, para que os rolamentos não atrapalhem o desempenho do veículo. Durante esse processo, o volante da direção deve ser rotacionado para ambos os lados até alcançar o batente ao longo desse período de qualificação para o ensaio.

No decorrer do ensaio, é imprescindível que o protótipo não tenha interferência do piloto, ou seja, o carro, no qual o protótipo está acoplado deve atingir a marca de 60 km/h e ao soltar o baja, o objeto em análise tem de permanecer com o volante estático até que se capte todos os dados necessários. Caso ocorra algum imprevisto durante alguma passagem e o condutor interferir, existe a possibilidade de continuar, desde que ainda restem 500 m de pista para finalizar a passagem. No entanto, se o freio for acionado durante alguma passagem, todo o processo terá que ser refeito, pois altera os dados obtidos.

Feito todos os processos descritos acima, é preciso comparar as informações captadas com as que eram esperadas, tendo em vista que foram realizadas passagens em ambos sentidos da pista. Uma vez que ocorra uma discrepância com os dados almejados a validação terá de ser refeita.

3.4. Determinação dos coeficientes

Para o cálculo da força resistiva, utiliza-se a Equação 1, onde F é o módulo de força resistiva ao deslocamento dado em Newton (N), f_0 e f_2 são os coeficientes de termo de ordem zero da equação (N) e do termo de segunda ordem da equação ($N/(m/s)^2$) respectivamente, e por fim, V é a velocidade do veículo (m/s).

$$F=f_0+f_2 \times V^2 \quad (1)$$

A determinação dos coeficientes f_0 e f_2 pode ser efetuada de duas formas, a partir da curva de desaceleração do veículo ou com base em dois intervalos dessa mesma curva, a metodologia utilizada foi a da curva de desaceleração, visto que é uma adaptação da NBR e esse apresenta uma gama superior de dados. Os valores f_0 e f_2 precisarão ser corrigidos posteriormente para a condição padrão de temperatura e pressão. Sendo assim, os dados obtidos a seguir serão os f'_0 e o f'_2 .

3.4.1. Determinar os coeficientes a partir da curva de desaceleração

Para encontrar os coeficientes f'_0 e f'_2 a partir da curva de desaceleração do veículo, é fundamental alcançar a velocidade desejada e iniciar a desaceleração livre do protótipo. Ao atingir tal velocidade, deve-se iniciar as medições em intervalos periódicos de 0,5s de sua velocidade e consequentemente a aceleração, até que o carro atinja o repouso. É preciso ser feito pelo menos cinco ensaios em cada sentido da pista.

Para determinar o f'_0 e o f'_2 , elabora-se uma tabela com os valores dos instantes e velocidades extraídos da curva de desaceleração do veículo registrada na pista no modelo da Figura 6. Para esse método, é fundamental uma sequência de cálculos cujos resultados são atribuídos a cinco variáveis pré-definidas pela NBR, sendo elas:

- X1, somatório das desacelerações calculadas para cada intervalo;
- X2, somatório das velocidades médias em m/s para cada intervalo;
- X3, somatório das velocidades médias em m/s para cada intervalo elevado ao quadrado;
- X4, somatório das velocidades médias em m/s para cada intervalo elevado à quarta;
- X5, somatório das velocidades médias em m/s para cada intervalo elevado ao quadrado multiplicado pela aceleração.

Pontos de Medição	Instante	Velocidade	Aceleração Média no intervalo	Velocidade média no intervalo	Velocidade média no intervalo elevada ao quadrado	Velocidade média no intervalo elevada à quarta potencia	Velocidade média ao quadrado mutiplicada pela aceleração média no intervalo
	[s]	[m/s]	[m/s ²]	[m/s]	[m/s] ²	[m/s] ⁴	[s]
	t_i	V_i	$a_i = \frac{V_{(i+1)} - V}{3,6 \times \Delta t}$	$V_i = \frac{V_{(i+1)} + V_i}{2 \times 3,6}$	V_i^2	V_i^4	$a_i V_i^2$
0	0	V_0	a_0	V_0	V_0^2	V_0^4	$a_0 V_0^2$
1	t_1	V_1	a_1	V_1	V_1^2	V_1^4	$a_1 V_1^2$
2	t_2	V_2	a_2	V_2	V_2^2	V_2^4	$a_2 V_2^2$
3	...	...	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...	...	...
...
...
...
...
$n-1$	t_{n-1}	V_{n-1}	a_{n-1}	V_{n-1}	V_{n-1}^2	V_{n-1}^4	$a_{n-1} V_{n-1}^2$
			$X_1 = \sum a_i$	$X_2 = \sum V_i$	$X_3 = \sum V_i^2$	$X_4 = \sum V_i^4$	$X_5 = \sum a_i V_i^2$

FIGURA 6. Fonte de medição para determinação de f'_0 e f'_2 . Fonte: ABNT (2014).

Os valores médios são representativos do veículo para as condições da pista, sem as devidas correções (Equações 2 e 3).

$$f'_{0,k} = \left[\frac{(X_4 X_1) - (X_3 X_5)}{(n-1)X_4 - X_3^2} \right] m_e \quad (2)$$

$$f'_{2,k} = \left[\frac{(n-1)X_5 - (X_3 X_1)}{(n-1)X_4 - X_3^2} \right] m_e \quad (3)$$

No qual, m_e e n representam a massa efetiva e o número de dados captados, respectivamente.

Sendo CV, o coeficiente de variação e é o desvio-padrão para f'_0 e f'_2 , de todos os pares de ensaios, o resultado não pode ser superior a 10%. Esses, precisam ser verificados pela comparação dos valores calculados para cada par de ensaio (ida e volta), por meio da Equações 4 e 5.

Os coeficientes de variação (CV) das medições precisam ser verificados pela comparação dos valores calculados das forças para cada par de ensaios (ida e volta), por meio da Equações 4 e 5.

$$CVf'_0 = \frac{\sigma \times f'_0 \times n}{f'_0} \quad (4)$$

$$CVf'_2 = \frac{\sigma \times f'_2 \times n}{f'_2} \quad (5)$$

3.5. Correção dos coeficientes encontrados para as condições padrões à NBR 10312:2019 Versão Corrigida:2019

Para adequar os coeficientes encontrados às condições padrões à norma em análise, deve seguir as Equações 8 e 9.

$$f_0 = f'_0 [1 + K_T (T - T_0)] \quad (8)$$

$$f_2 = \frac{P_0 T}{P T_0} (f'_2 - K_P \times f'_0) + K_P \times f'_0 \quad (9)$$

Em que T_0 , P_0 , K_T e K_P são, respectivamente, temperatura padrão de 293,15K, pressão padrão de 1013,25 mbar, $8,6 \times 10^{-3} K^{-1}$ e $2,503 \times 10^{-4} (m/s)^2$.

Com os coeficientes corrigidos, basta utilizar a Equação 1 e substituir os coeficientes f_0 e f_2 , com isso, obtém-se a força resistiva do veículo.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados da metodologia

Na Tabela 1 são mostrados os dados obtidos com base na metodologia.

TABELA 1. Dados captados pelos pré-requisitos da norma.

Capitação	Dados
Desnível da Pista	1,27%
Comprimento ideal da Pista	800 m
Velocidade máxima do vento	4,16 m/s
Velocidade média do vento	1,95 m/s
Pressão	101,3 kPa
Temperatura	27 °C

Fonte: Arquivos da equipe Komiketo Baja UFSJ (2019).

4.2. Resultado final

Após a captação de dados, considerando que a passagem foi feita em ida e volta a fim de comprovar que o local usado segue o pré-requisito da norma, no qual a pista tem variação inferior a 1,5%, é preciso separar os resultados e selecionar dentre eles o que possui maior linearidade possível.

Calculou-se os valores de X_1 , X_2 , X_3 , X_4 e X_5 (Figura 6), para que obtivesse os valores de f_0 e o f_2 por meio das Equações 2 e 3 (Tabela 2).

TABELA 2. Resultados das variáveis.

Variáveis	Resultados
X_1	-33,84
X_2	533,95
X_3	5419,96
X_4	850789,37
X_5	-3228,98

Fonte: Arquivos da equipe Komiketo Baja UFSJ (2019).

Por esses valores apresentarem a necessidade de correção com as condições de temperatura e pressão presentes no dia da validação, com base na Tabela 1, calculou-se os valores de f_0 e f_2 (Tabela 3).

TABELA 3. Valores dos coeficientes f_0 e f_2 .

Coeficientes	Resultados
f_0	-98,86
f_2	0,70

Fonte: Arquivos da equipe Komiketo Baja UFSJ (2019).

Por fim, utilizou-se a Equação 1 para obtenção do valor de coeficiente de resistência ao rolamento. A partir dos dados que foram necessários para a confecção da Tabela 2, plota-se o Gráfico 1.

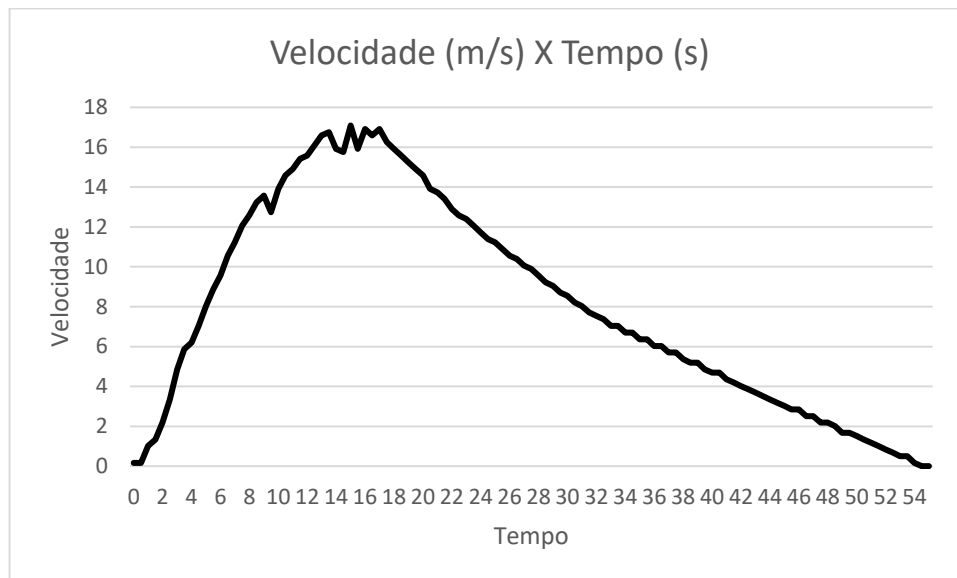


GRÁFICO 1. Velocidade por Tempo de acordo com a captação dos dados. Fonte: Arquivos da equipe Komiketo Baja UFSJ (2019).

A partir do Gráfico 1, é adquirida a curva de desaceleração do protótipo que apresentou uma linearidade, característica dessa validação, a partir do momento que o mesmo foi desacoplado do veículo automotor.

5. CONCLUSÃO

Por fim, conclui-se que, após a correção dos coeficientes e tendo conhecimento da importância que é ter este dado, no qual se utiliza para realizar os cálculos de dinâmica longitudinal do protótipo, encontrou-se para tal pneu em análise valores coerentes, tendo como base que a curva apresentada se assemelha as curvas típicas desse tipo de ensaio.

Com isso, o objetivo de realizar a validação para otimizar o dado de coeficiente de resistência ao rolamento e obter a força resistiva ao deslocamento, além de adaptar a norma para veículos tipo baja foram atingidas, visto que, os resultados obtidos foram coerentes em comparação à NBR.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S. l.], 2014. Disponível em: <www.abnt.org.br>. Acesso em: 20 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10312:2019 Versão Corrigida:2019 Veículos rodoviários automotores leves – Determinação da resistência ao deslocamento por desaceleração



livre em pista de rolamento e simulação em dinamômetro. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=418803>>. Acesso em: 01 jun. 2020.

BASTOS, F. C. Análise da influência dos métodos de cálculo da força resistiva total ao deslocamento de um veículo leve na determinação do consumo de combustível e na emissão de CO₂ no ciclo urbano. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Belo Horizonte, MG, 2016.

LFMAQUINASEFERRAMENTAS. [S. l.], 2019. Disponível em: <www.lfmaquinaseferramentas.com.br>. Acesso em: 23 maio 2019.

Agradecimentos

Agradecemos à Equipe Komiketo Baja UFSJ pela motivação e oportunidade de aplicar os conhecimentos aprendidos em sala de aula.

Agradecemos à Universidade Federal de São João del-Rei pelo auxílio e cooperação.

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro através do edital Santos Dumont Nº APQ-01118-19 pelo suporte à nossa equipe, permitindo o desenvolvimento desse estudo.