



COMPORTAMENTO TÉRMICO DO SISTEMA DE FRENAGEM DO PROTÓTIPO BAJA SAE POR TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO

Yuri Gubert Souza, yurigubert@gmail.com¹
Orlando Moreira Junior, OrlandoJunior@ufgd.edu.br¹
Augusto Salomão Bornschlegell, augustosalomão@ufgd.edu.br¹

¹Universidade Federal da Grande Dourados, Rodovia Dourados/Itahum, km 12,

Resumo. O sistema de freio é um conjunto dinâmico para a segurança do projeto BAJA SAE. A compreensão do comportamento da temperatura é importante para o estudo e dimensionamento do mesmo, para que não venha a ocorrer falha no sistema de freio, causada por evaporação de fluido de freio, vitrificação, “fading” ou fadiga térmica. Objetivou-se nesse trabalho a análise experimental do disco de freio em bancada, por meio de uma câmera infravermelha, podendo assim analisar em toda a superfície do disco o comportamento da curva de aquecimento e de resfriamento do sistema.

Palavras chave: BAJA SAE, Bancada experimental, Análise térmica, Análise experimental

1. INTRODUÇÃO

O projeto BAJA SAE é um projeto que visa o desenvolver habilidades acadêmicas na área de engenharia, no desenvolvimento de um protótipo automotivo. Em 1995, a Society of Automotive Engineers (SAE), entidade norte-americana que reúne empresários, acadêmicos, executivos, engenheiros e técnicos do mundo inteiro, organizou a primeira competição, no Brasil, de bajas. A proposta é construir um veículo monoposto, como visto na “Figura 1”, off-road, que consiga cumprir com as etapas e normas da competição, além de ser comercializável para um público entusiasta. A competição consiste em diversos tipos de avaliação e provas dinâmicas. Entre as provas de análise dinâmica, existe a prova de frenagem, prova essa que constitui as provas de segurança. Segundo o regulamento da competição o sistema de acionamento de freios deve ser completamente hidráulico, tendo linhas independentes de ação, sendo uma para dianteira e outra para a traseira, isso garante o seu funcionamento no caso da falha de uma delas.

Figura 1. Protótipo G4 submetido em competição, sendo exposto a condições extremas e adversas



O sistema de frenagem é um dos sistemas mais importantes no desenvolvimento do projeto. Durante competições de alta performance, o sistema de freio é exaustivamente solicitado se analisarmos o ponto de vista mecânico. Ao

analisarmos pelo ponto de vista térmico, o disco de freio sofre diversos esforços térmicos, devido aos momentos de desaceleração brusca sofridos em competição. A alta carga térmica aplicada acaba por gerar altas variações de temperatura, o que leva a gerar o fenômeno de fadiga térmica, vaporização de fluido de freio e “fading”. Vale lembrar que ao analisarmos a tradução do verbo to fade em inglês, significa desvanecer, sumir lentamente e o substantivo “fading” representa desvanecimento, sumiço lento, esmaecimento. No contexto de análise de freios, o termo “fading” representa a perda de eficiência, parcial ou total, do freios pelo efeito de superaquecimento. Ao analisarmos o fenômeno de fadiga térmica, podemos notar que a constante variação de temperatura no disco de freio, gera um fenômeno de histerese na geometria do disco. Assim, essa dilatação e contração do disco acaba por gerar a formação de trincas. Se analisarmos no âmbito off-road, o sistema fica muito exposto ao ambiente, sendo comum acontecer o fenômeno de vitrificação de detritos.

Souza (2018), utilizou análises analíticas para se obter as fases de aquecimento e resfriamento respectivas a uma frenagem, sendo assim, o objetivo desse trabalho é através da análise experimental, analisar o comportamento térmico, como feito por Ruan (2015). Para o estudo abordado neste artigo foi utilizada a câmera térmica FLIR E50, do disco de freio dianteiro do protótipo G4 desenvolvido pela equipe Baja Guaicurus. Tendo em vista o tema abordado, teve como objetivo a obtenção das imagens térmicas, tendo assim um conhecimento maior do comportamento térmico do sistema de freio, levando a prevenir situações de excessividade térmica das pastilhas e do disco, visto que situações de elevação de temperatura são extremamente perigosas no âmbito da frenagem e dinâmica veicular.

2. METODOLOGIA

Os ensaios realizados na bancada de teste foram feitos com rotações variadas: 500 rpm, 800 rpm e 1000 rpm. Os ensaios foram feitos em uma bancada que foi elaborada para obtenção de imagens térmicas do conjunto de frenagens, com todas suas dimensões projetadas para a acoplação de todos os componentes de acionamento. Não foi permitido que a temperatura de ensaios ultrapassasse 120 °C, visto que após esta temperatura o material começa a perder suas propriedades estruturais. Entre os demais fatores que influenciam o ensaio e a obtenção dos resultados, temos a pressão e sua variação durante toda a linha de frenagem, os materiais das pastilhas, a vida útil dos componentes, quantidade de pistões na pinça e o tipo do perfil do disco (flutuante ou não flutuante). Segundo Choa (2005), fatores como a pressão em demasia, acabam por gerar um fenômeno de distorção do disco, conhecido como “conning angle”. Este fenômeno em associação com a elevação de temperatura do sistema gera por sua vez um empenamento do disco de freio.

Foram realizados ensaios mais espaçados em relação à rotação. Isso se deve ao fato de que as rotações quando muito próximas não oferecem uma variação expressiva de temperatura na frenagem. Os testes foram realizados com a utilização de um tacômetro a laser do modelo MDT-2245B MINIPA. Houve também o controle de reflexões externas, principalmente para baixas rotações, onde o disco era um “espelho” das irradiações provindas do ambiente. Para isso foi necessário tomar o cuidado de gerar o acionamento da bancada de maneira que a irradiação de corpos diferentes não influenciassem na medida de temperatura, como visto na “Figura 2”.

Figura 2. Região de influência de radiação de corpos externos, destacada em verde



O controle da pressão ocorre através de acionamento manual. Infelizmente, a variável do tempo não houve como controlá-la. Não havia disponível nenhum equipamento ou acionamento que nos possibilitasse o acionamento programado do pedal do freio, podendo assim realizar um ensaio mais periódico, e elaborar uma sequência de

frenagens. Por questões de segurança, o acionamento foi interrompido quando o disco atingiu temperaturas superiores a 150°C .

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Câmera térmica

A câmera térmica obtém sua imagem através de um sensor que capta a radiação na frequência do infravermelho. Após receber a radiação do infravermelho, converte-as para o espectro visível, permitindo uma avaliação de determinados objetos em temperaturas distintas, no caso nosso objeto de estudo, o sistema de freio. O estudo foi realizado com a câmera FLIR E50, vide “Figura 3” O princípio se baseia no fato físico de que qualquer corpo que não se encontre em 0 K emite radiações infravermelhas, sendo essas frequências dependentes diretamente da temperatura dos corpos, sendo um grande aliado para o estudo térmico de corpos, que embora estejam quentes, não estão quentes o suficiente para atingirem a faixa do espectro visível, como visto na análise na “Figura 4”.

Figura 3. Câmera FLIR E50 utilizada para captação de imagens térmicas



Figura 4. Câmera térmica focando o sistema de frenagem



3.2. Tacômetro

Para a obtenção de valores e imagens térmicas que fossem fiéis a realidade, foi utilizado em conjunto composto pela câmera térmica e um tacômetro. O tacômetro é um instrumento que mede a rotação em RPM de sistemas rotativos. O tacômetro utilizado no trabalho é o tacômetro digital de contato MDT-2245B MINIPA, vide “Figura 5”. Além da opção de contato, o tacômetro propicia ao operador a opção por medição a laser. Para se aferir as medidas, coloca-se uma fita branca no sistema rotativo, deixando o sistema ótico de frente para o sistema rotativo. Assim, a fita, ao rodar, gera um período que é registrado pelo tacômetro, e afere-se a rotação do sistema. Através dele foram obtidas as faixas de rotações e aplicadas, respectivamente.

Figura 5. Tacômetro MDT-2245B MINIPA utilizado para controle de rotações



4.RESULTADOS

A configuração experimental foi feita de maneira semelhante ao que Duan (2016) executou. Consiste um controlador de velocidade variável, um equipamento de teste de rotor, uma câmera térmica infravermelha e um tacômetro. O motor funcionou em rotações de 500 rpm, 800 rpm e 1000 rpm, tendo capacidade máxima de 1750 rpm.

4.1. 500 rpm

No ensaio de 500 RPM, a variação de temperatura, embora tenha sido pequena, foi mais expressiva, como podemos ver pela “Figura 6”. Neste caso, a temperatura da região onde a pastilha do freio atua se destaca em relação ao restante do domínio, como visto na “Figura 7”. Pode-se notar uma variação e resfriamento maiores até chegar a temperatura ambiente de 25 °C.

Figura 6. Gráfico do da evolução da temperatura após frenagens utilizando 500 rpm

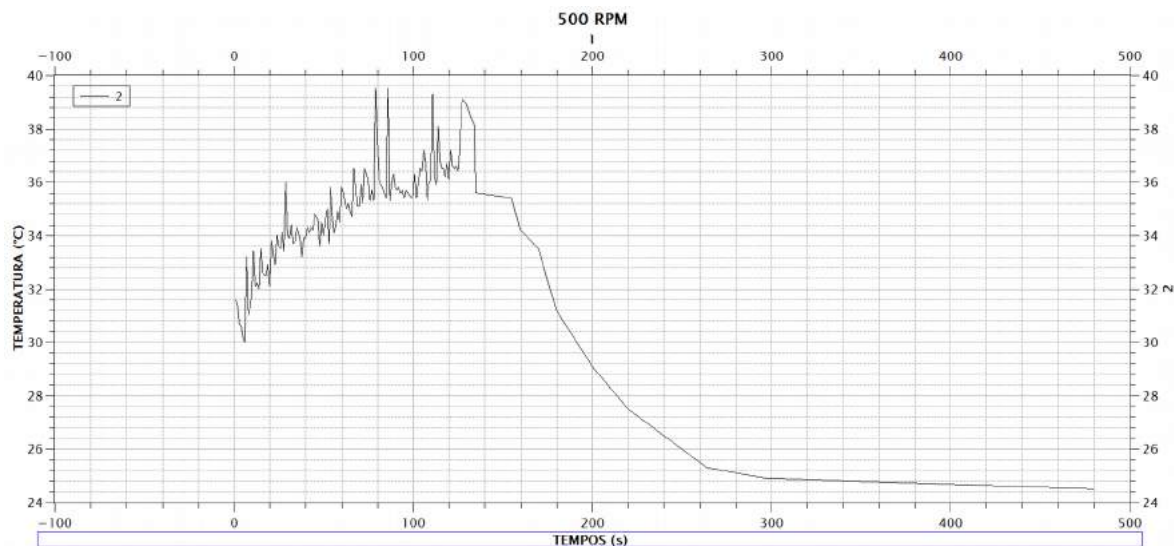
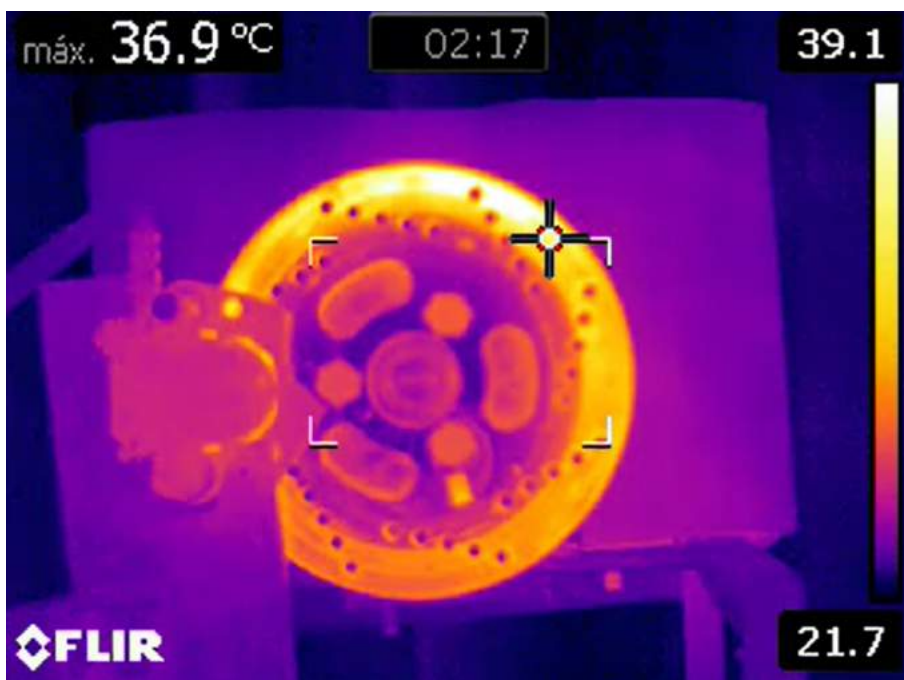


Figura 7. Valor máximo de temperatura obtido em ensaios a uma rotação de 500 rpm



4.2 800 rpm

O ensaio a 800 RPM se mostrou mais atrativo e mais perto do gráfico obtido analiticamente por Souza (2018). Pode-se notar nitidamente uma curva de aquecimento, como visto na “Figura 8”, e a elevação mais brusca da temperatura, e uma temperatura final maior que a temperatura obtida a 500 rpm, como podemos notar pela “Figura 9”, que vai se eleva de forma brusca. A sua parte de resfriamento também se comporta do modo esperado e do modo que foi calculado de maneira analiticamente.

Figura 8. Gráfico do da evolução da temperatura após frenagens utilizando 800 rpm

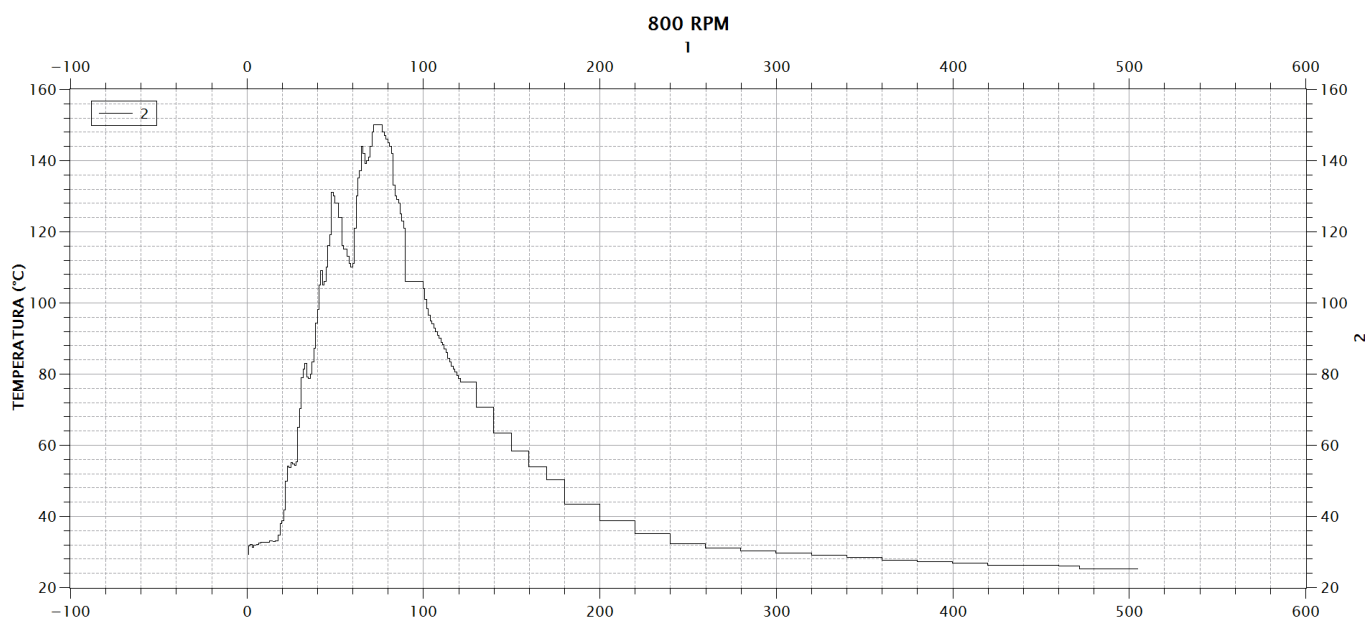
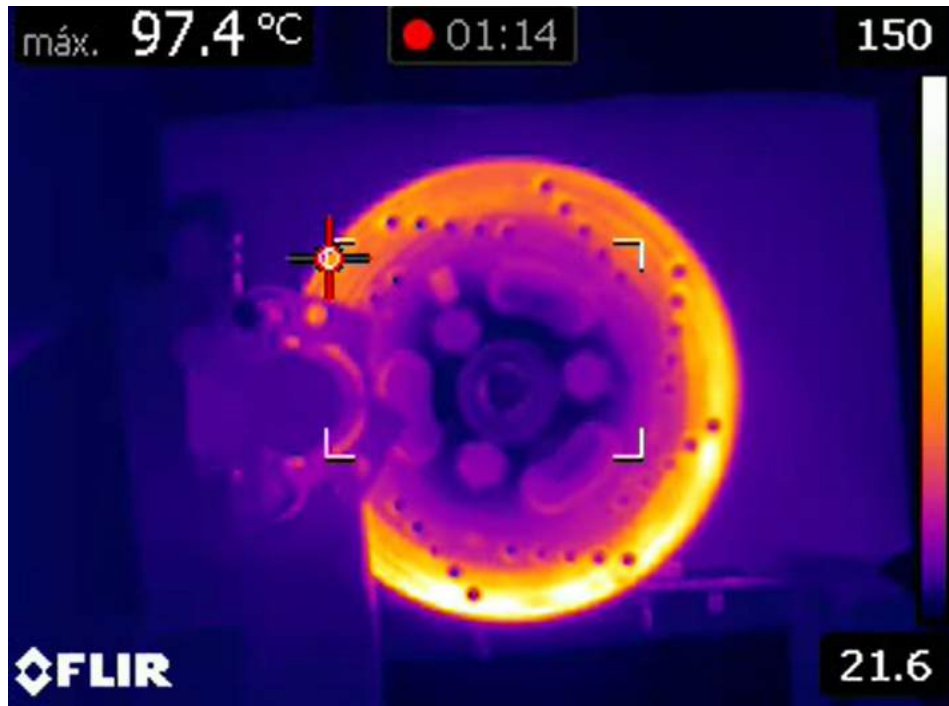


Figura 9. Valor máximo de temperatura obtido em ensaios a uma rotação de 800 rpm



4.3 1000 rpm

A uma rotação muito mais alta o comportamento da curva de temperatura é mais notável e mais acentuado. Assim, pode-se estimar que quanto maior a rotação, melhor será o comportamento da curva. É importante dizer que nesse ensaio estavam presentes temperaturas superiores a 150 °C, vide “Figura 10” e “Figura 11”, contudo estas temperaturas não se mostram presentes no gráfico, pois a câmera só estava configurada para um range até 150 °C, e por questões de segurança não se atingiram temperaturas superiores a 150 °C.

Figura 10. Gráfico do da evolução da temperatura após frenagens utilizando 1000 rpm

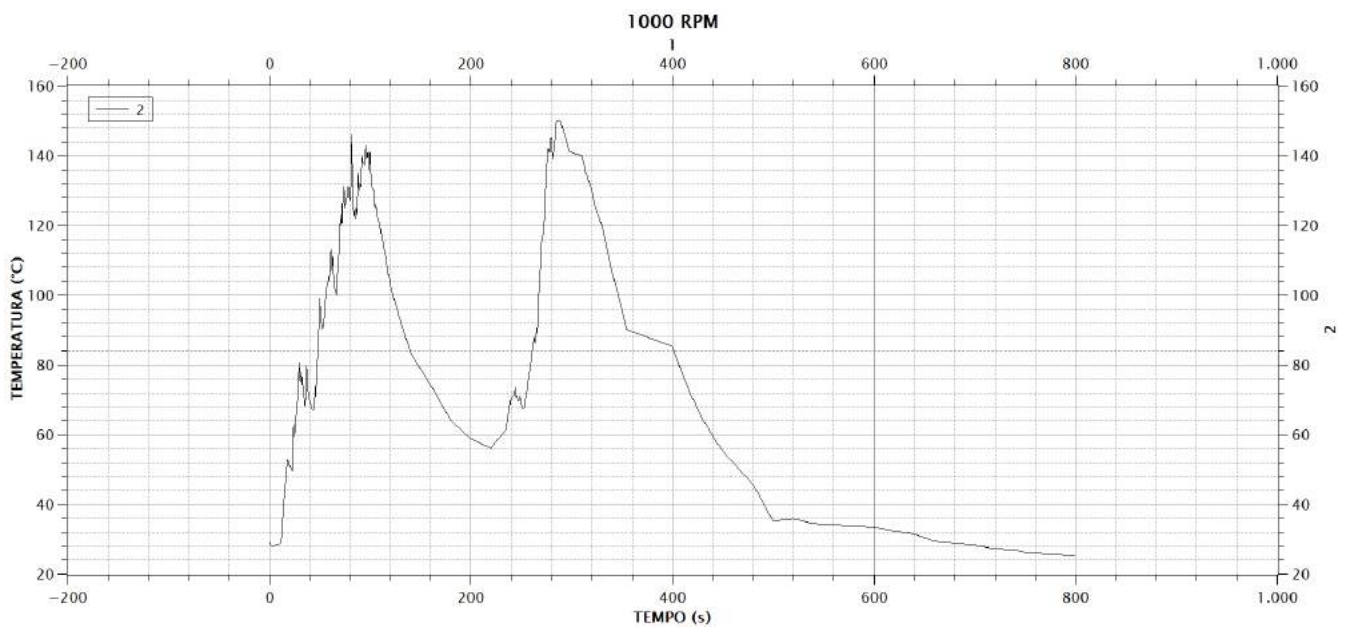
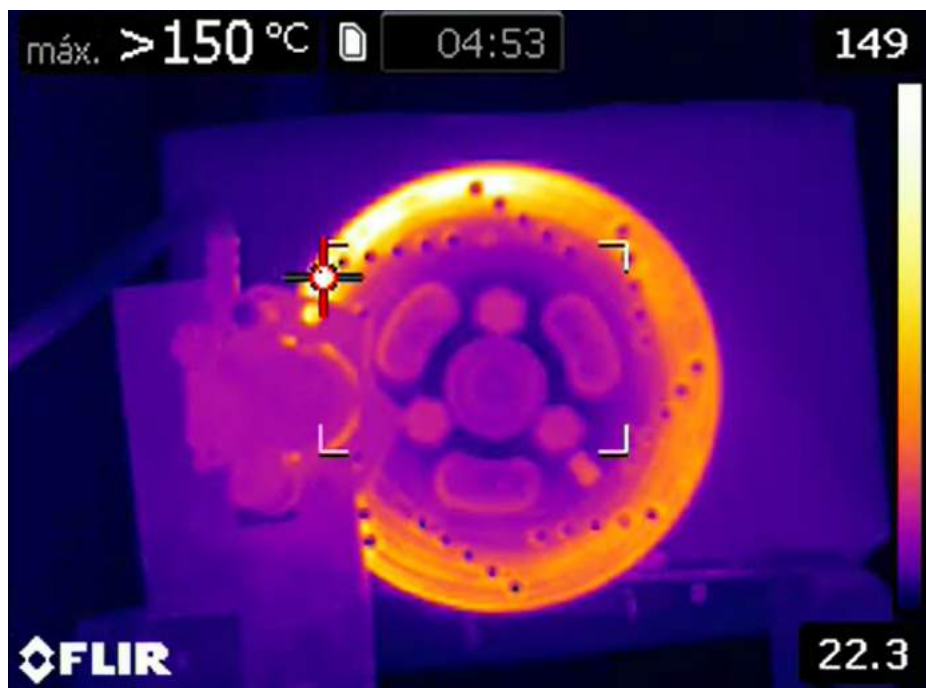


Figura 11. Valor máximo de temperatura obtido em ensaios a uma rotação de 800 rpm



5.AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Prof. Dr. Ramon Eduardo Pereira Silva, pela disponibilização da câmera térmica para análises. Agradecimentos a Equipe Baja Guaicurus pelo auxílio na contribuição com a construção do acionador do freio e pela disponibilidade das peças para o mesmo, e ao corpo técnico da faculdade de engenharia FAEN pelo auxílio prestado para realização dos experimentos.

6.CONCLUSÃO

Conclui-se que o trabalho alcançou seu objetivo, contempla a obtenção da curva de comportamento térmico do freio com as imagens térmicas obtidas pela câmera. Tal obtenção de dados, nos fornece dados para uma melhor compreensão do que ocorre durante frenagens, sendo estas normais de competição, ou críticas. Na condição de 500 rpm, temos características mais próximas das encontradas em projeto de 39 °C. Já em situações críticas, utilizando uma rotação de 1000 rpm, as condições encontradas foram de temperaturas superiores a 150 °C.

Com esse estudo constatou-se que as temperaturas encontradas no protótipo, não ultrapassaram temperatura 40 °C em situações comuns de competição. Com uma melhor compreensão do sistema de frenagem, abrem novas possibilidades de desenvolvimento de estudo para o estudo de sistema de frenagens, como o desenvolvimento de novas geometrias e estudo sobre a utilização de novos materiais para a confecção de discos de freio, a aplicação de um estudo sobre a reutilização da energia desperdiçada durante a frenagem e a elaboração de um sistema de resfriamento forçado nos discos do protótipo. Tais estudos e desenvolvimentos serão de muito contribuição para o estudo de sistemas de frenagens.

7. REFERÊNCIAS

- Choa, M.H.; Choa, K.H.; S.J. Kimb, S.J.; Kimc, D.H.; Janga, H. *The role of transfer layers on friction characteristics in the sliding interface between friction materials against gray iron brake disks*. Tribology Letters, Vol. 20, No. 2, 2005, p.101.
- Duan, L.; Yao, M.; Wang, J.; Bai, T.; Zhang, L. *Segmented Infrared image analysis for rotating machinery fault diagnosis*. Infrared Physics & Technology, Vol.77. No. , 2016, p.267.
- Ruan, C.; Zhang, L.; Meng, D.; *A Study on the Bench Test of Friction-Induced Hot Spots in Disc Brake*, SAE Int. J. Commer. Veh. 8(2), 2015
- Souza, Yuri Gubert; “*Estudo analítico do comportamento térmico dos componentes do sistema de freio BAJA SAE*”, Anais: XXV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, Brasília: UnB, 2018.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.