



PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO ARREFECIMENTO DO *POWERTRAIN* DE UM VEÍCULO ELÉTRICO

Cláudio Martins da Silva¹

Luan de Campos Corrêa²

Fabio Peruch³

Luiz Carlos de Cesaro Cavalier⁴

Adelor Felipe da Costa⁵

Resumo: Devido ao direcionamento do mercado para alternativas de locomoção mais sustentáveis, veículos híbridos e elétricos têm ganhado muito espaço. Por isso, faz-se necessário a análise do funcionamento e aprimoramento dos componentes do sistema, dentre eles o arrefecimento, objeto de estudo do trabalho. Como forma de analisar os parâmetros envolvidos no processo, utilizou-se o *software LabVIEW®*, juntamente com placas Arduíno® e sensores, para a elaboração de um sistema de medição. Com o objetivo verificar o funcionamento do sistema de medição e analisar o desempenho de diferentes fluidos na troca térmica, foram realizados ensaios utilizando como fluido de arrefecimento primeiramente a água, posteriormente o glicol concentrado e, por fim, a mistura de 50% água e 50% glicol, como é indicado pelo fabricante do módulo inversor. O sistema foi aquecido utilizando sopradores térmicos direcionados ao radiador e posteriormente resfriados de diferentes formas, isto é, com e sem ventoinha. Observou-se que a água obteve os melhores resultados quando se trata de troca térmica, alcançando o valor de 4,81 kW para as condições utilizadas, porém, sabe-se que não é a opção mais indicada devido a problemas como a corrosão causada pela oxidação do sistema. Acredita-se que com o motor em funcionamento, gerando calor anteriormente ao radiador, as curvas de resfriamento e conseqüentemente a troca térmica possam sofrer alterações. O sistema de medição elaborado para o projeto possibilita a obtenção dos valores de temperatura e vazão em diferentes pontos do conjunto, possibilitando também uma posterior análise de calor gerado pelos componentes, contribuindo para a seleção de um trocador de calor condizente com a demanda dos mesmos.

Palavras-chave: Sistema de arrefecimento. Sistema de medição. LabVIEW®. Arduíno®. Troca térmica.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica UniSATC. E-mail: claudiosurfer94@hotmail.com

² Prof. UniSATC. E-mail: luan.correa@satc.edu.br

³ Prof. UniSATC. E-mail: fabio.peruch@satc.edu.br

⁴ Prof. UniSATC. E-mail: luiz.cavalier@satc.edu.br

⁵ Prof. UniSATC. E-mail: adelor.costa@satc.edu.br



1 INTRODUÇÃO

Atualmente, devido a problemas ambientais e a diminuição de recursos como petróleo na natureza, buscam-se meios de transporte que utilizem outra forma de energia para os meios de locomoção. Uma opção muito citada é a do veículo elétrico, que não necessita de um motor a combustão, e conseqüentemente, de combustíveis fósseis, contribuindo para a redução da poluição.

O mercado de veículos elétricos possui uma tendência de crescimento elevado. Uma prova disso é o Reino Unido onde, segundo Morton, Anable e Nelson (2016), por recomendações da Comissão das Alterações Climáticas (2013), todos os veículos vendidos após 2015 devem ser de baixa emissão de carbono. Com a previsão para que até 2050 tenha-se uma frota de carros com zero emissão de carbono, o que aumentaria significativamente o mercado de veículos elétricos. Por isso, faz-se necessário estudos de melhoria dos componentes envolvidos, dentre eles o sistema de arrefecimento.

Visando isso, a SATC iniciou um projeto de conversão de um veículo tradicional a combustão para um veículo movido a motor elétrico. Inicialmente, o veículo adaptado recebeu um motor WEG IND300 e um inversor WEG CVW300, ambos refrigerados a ar. Num segundo momento, deseja-se substituir o motor elétrico e o inversor atuais por um motor elétrico e inversor refrigerados à água, que utilizará no arrefecimento o sistema do veículo tradicional à combustão.

Para que se possa afirmar que o sistema de arrefecimento irá suprir a necessidade dos componentes envolvidos no veículo, deve-se fazer um estudo a respeito do desempenho desse sistema. Com isso, a proposta deste trabalho é desenvolver um sistema de medição que possibilite determinar se os componentes do veículo estão trabalhando dentro dos parâmetros especificados pelos fabricantes.

No sistema atual do veículo em estudo, não se tem informação a respeito da eficiência do sistema de arrefecimento, logo, deve-se buscar os parâmetros utilizados pelos fabricantes dos componentes envolvidos no veículo que permitam comprovar os seus funcionamentos adequados. Após a determinação dos parâmetros de interesse, é possível identificar os sensores necessários para realizar as medições pertinentes, permitindo a instrumentação adequada.



Com a aquisição dos dados obtidos através do sistema de sensoriamento, pode-se comparar as medições com os parâmetros fornecidos pelos fabricantes dos componentes. Isso possibilitará a análise do funcionamento do sistema de arrefecimento, indicando se o sistema atual supre as demandas necessárias ou não, e, se for o caso, comprovar a necessidade de realizar um redimensionamento para um sistema mais eficiente.

Logo, tem-se por objetivo desenvolver uma metodologia de avaliação do sistema de arrefecimento através de uma bancada de testes para o motor elétrico MES-DEA AC *Induction Motor* 200-125 W refrigerado à água. A bancada foi desenvolvida na instituição com o intuito de facilitar a análise dos componentes mecânicos e elétricos, anteriormente à aplicação em um veículo. A avaliação do sistema de arrefecimento será feita a partir da análise dos parâmetros essenciais para a validação do correto funcionamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para que haja uma boa compreensão do assunto tratado, bem como fundamentar e organizar os conhecimentos, serão apresentadas informações consideradas de maior relevância. Os tópicos serão organizados da seguinte forma: Sistema elétrico de propulsão, sistema de arrefecimento, estimativa das trocas térmicas e sistema de medição.

2.1 SISTEMA ELÉTRICO DE PROPULSÃO

De acordo com Novais, Comitra e Nogueira (2014), o motor elétrico é uma máquina destinada a transformar energia elétrica em energia mecânica. É o mais usado de todos os tipos de motores, pois combina as vantagens da utilização de energia elétrica com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos.

Segundo Voigdlener (2004), em um motor de indução, a vida útil é quase exclusivamente dependente do isolamento elétrico. Este isolamento é afetado por muitos fatores, porém, o mais importante é a temperatura de operação dos materiais empregados. De acordo com Novais, Comitra e Nogueira (2014), o calor do motor é gerado pelas perdas do processo de conversão da energia elétrica em mecânica,

decorrente da diferença entre a potência útil fornecida pela máquina elétrica na ponta do eixo e a potência absorvida da linha de alimentação.

No sistema atual do INOWATTIS, veículo elétrico modificado pela SATC, é utilizado motor e inversor refrigerados a ar. Na Fig. 1 pode-se observar a montagem do sistema de propulsão atual.

Figura 1: INOWATTIS



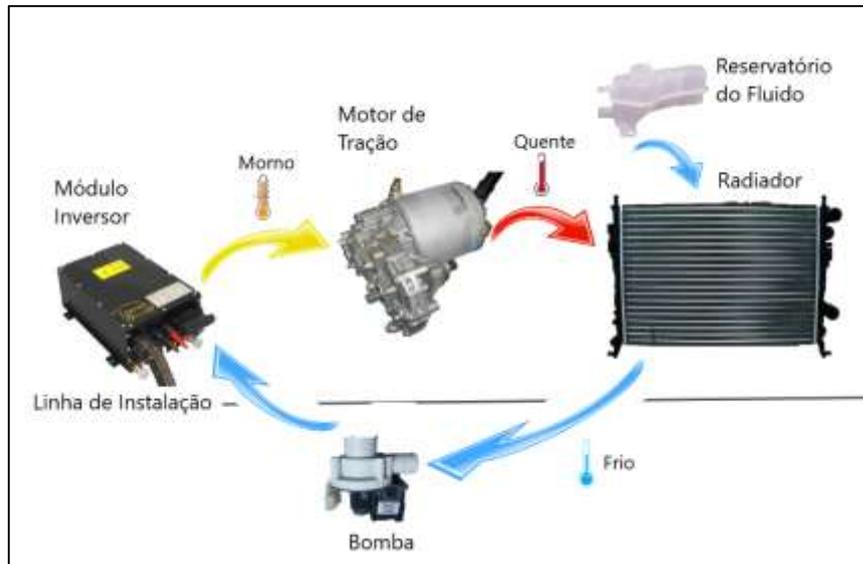
Figura 1a – INOWATTIS. Figura 1b – Motor elétrico acoplado no Veículo
Fonte: Adaptado de Fornasa (2018)

Uma forma de evitar o superaquecimento desse sistema é utilizar motores elétricos refrigerados à água, que, segundo Costa (2015), permitem que a água percorra o interior da carcaça, agindo de forma uniforme sobre todo o motor de acionamento. Essa refrigeração mantém a alta eficiência térmica, mesmo em baixas velocidades, permitindo assim o uso de um inversor de frequência com ampla faixa de velocidade, mesmo em aplicações que exigem um torque constante.

2.2 SISTEMA DE ARREFECIMENTO

De acordo com Cassani (2008), a dissipação térmica do inversor é garantida por um sistema de refrigeração líquida (Fig. 2). Devido ao fato de que a temperatura de trabalho do inversor é muito menor do que a do motor, é importante conectar o inversor após a bomba de circulação e antes do motor no circuito de refrigeração, a fim de evitar temperaturas excessivas. Isto é, recomenda-se colocar a bomba de circulação no ponto inferior do circuito de refrigeração, a fim de simplificar o fluxo.

Figura 2: Instalação do sistema de arrefecimento



Fonte: Baseada em Cassani (2008, p. 10)

De acordo com o fabricante do módulo inversor e do motor elétrico, o fluido correto para ser utilizado no sistema é o glicol combinado com água, na concentração volumétrica de 50 % de fluido e 50 % de água.

Segundo Damasceno e Oliveira (2013), o fluido utilizado em sistemas de arrefecimento de veículos movidos a combustão é o etilenoglicol, que tem como principal função reduzir a temperatura de congelamento e aumentar a temperatura de ebulição da água, além de agir como inibidor de corrosão, protegendo os componentes do sistema. De acordo com Sant'ana (2016), o etilenoglicol é considerado o melhor aditivo em fluidos térmicos a base de água, isso se deve ao fato de não ser volátil, evitando a liberação de vapores, o que contribui para a aplicação mesmo em altas temperaturas.

A fim de obter os valores de calor específico e massa específica do fluido de arrefecimento variando de acordo com a concentração volumétrica, contactou-se o fornecedor Paraflu® e, combinando com os dados da água pura de acordo com Wylen, Sonntag e Borgnakke (2003), tem-se a Tab. 1. De acordo com o fornecedor, o glicol utilizado na linha Paraflu® não é o etilenoglicol, porém, além de elevar a temperatura de ebulição, reduzir a temperatura de congelamento e oferecer lubrificação ao sistema de arrefecimento, o glicol utilizado possui algumas vantagens sobre o etilenoglicol, dentre elas ser atóxico, possuir alta biodegradabilidade, não ser



derivado de combustíveis fósseis e possuir uma condutividade térmica cerca de 15 % superior.

Tabela 1: Propriedades solução água e glicol

Parâmetro	100%água	100% glicol	50%glicol/ 50%água
Calor específico (J/kg°C)	4.184,00	3.768,12	4.144,93
Massa específica (kg/m ³)	997,00	1.130,00	1.070,00

Fonte: Adaptado de Parafllu (2018)

2.3 ESTIMATIVA DAS TROCAS TÉRMICAS

Para que possa ser realizada a análise do correto funcionamento do sistema de arrefecimento, é importante conhecer o comportamento do componente que realiza a troca térmica do fluido, bem como as equações que o regem.

Considerando que os trocadores de calor são dispositivos que atuam com uma vazão mássica de um fluido de trabalho que entra em uma condição inicial e sai a uma condição final que irá depender do processo termodinâmico que ocorreu, realiza-se a análise através da equação da primeira lei da termodinâmica, aplicada a um volume de controle em regime permanente. Essa equação pode ser observada na Eq. (1) (WYLEN; SONNTAG; BORGNACKE, 2003). Nela o subscrito “e” refere-se à condição de entrada do volume de controle, e o subscrito “s” refere-se à saída.

$$\dot{Q} + \dot{m} \left(h_e + \frac{Vel_e^2}{2} + g \cdot z_e \right) = \dot{m} \left(h_s + \frac{Vel_s^2}{2} + g \cdot z_s \right) + \dot{W} \quad (1)$$

Onde:

\dot{Q}	[W]	Transferência de calor
\dot{m}	[kg/s]	Vazão mássica
h	[kJ/kg]	Entalpia
Vel	[m/s]	Velocidade
g	[m/s ²]	Aceleração da Gravidade
z	[m]	Altura
\dot{W}	[W]	Trabalho envolvido

Partindo da Eq. (1), considerando que não há variação de energia potencial e que foi desprezada a parcela de energia cinética, além de que, por se tratar de um



trocador de calor, não há trabalho gerado, a transferência de calor em um trocador se dá pela variação de entalpia e o fluxo de massa no sistema. As considerações citadas acima geram a Eq. (2), observada a seguir:

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_s - h_e) \quad (2)$$

Onde:

\dot{Q}	[W]	Transferência de calor
\dot{m}	[kg/s]	Vazão mássica
h	[kJ/kg]	Entalpia

Segundo Wylen, Sonntag e Borgnakke (2003), a razão entre os diferenciais de entalpia e temperatura tem como resultado o valor do calor específico a pressão constante, como pode ser observado na Eq. (3).

$$c_p = \frac{\Delta h}{\Delta T} \quad (3)$$

Onde:

c_p	[J/kg.K]	Calor Específico
Δh	[kJ/kg]	Diferencial de Entalpia
ΔT	[°C]	Diferencial de Temperatura

Logo, utilizando desses princípios, chega-se a equação citada por Contreras (2017) e Sant'ana (2016) que determina a troca térmica do radiador, considerando que não há mudança de fase do fluido:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad [\text{W}] \quad (4)$$



Onde:

\dot{Q}	[W]	Transferência de calor
\dot{m}	[kg/s]	Vazão mássica
c_p	[J/kg.K]	Calor Específico
ΔT	[°C]	Diferencial de Temperatura

2.4 SISTEMA DE MEDIÇÃO

De acordo com Aguirre (2013), um sistema de medição é um conjunto de dispositivos que tem como objetivo fornecer informação sobre o valor de grandeza física que se deseja medir. Esse sistema é composto principalmente por sensores, conversores, controladores, além do *software* de aquisição.

2.4.1 Sensores

De acordo com Dunn (2013), há uma grande variedade de sensores de temperatura, no entanto, a faixa necessária, a linearidade e a precisão podem limitar a escolha do mesmo. Outros fatores como indicação remota, calibração, sensibilidade a vibração, tamanho e tempo de resposta também podem ser considerados na seleção do dispositivo.

Um sensor muito utilizado para medição de temperatura é o termopar, que segundo Pessa (2006), consiste de dois condutores metálicos, de natureza distinta, soldados em um extremo a qual se dá o nome de junta quente ou junta de medição. A outra extremidade dos fios está conectada ao instrumento de medição de força eletromotriz, fechando um circuito por onde a corrente flui.

Para que se possa realizar a seleção do termopar mais adequado à necessidade do projeto, deve-se analisar fatores como, por exemplo, a faixa de operação do sensor. De acordo com Dunn (2013), o termopar tipo K, que consiste nos condutores Cromel e Alumel, possui uma faixa de operação entre 30 e 1400°C, além de possuir um isolamento que permite o contato com fluidos não corrosivos.

Segundo Cassani (2008), a temperatura máxima de trabalho do motor elétrico em estudo é 150 °C, sendo que o ideal é que a temperatura não ultrapasse os 130°C. Outro parâmetro indicado pelo fabricante do módulo inversor é a temperatura



máxima de trabalho do mesmo, sendo essa 65 °C. Um modelo de termopar muito citado é o termopar tipo K, que apresenta uma boa faixa de medição de temperatura e um erro consideravelmente baixo.

Para locais onde não há contato direto com o fluido de trabalho e as temperaturas não atingem valores elevados, tem-se como opção os semicondutores que, segundo Dunn (2013), são sensores que possuem parâmetros que variam linearmente com a temperatura. Abrangem uma faixa de operação limitada de -50 °C a 150 °C, mas são muito lineares com erros que alcançam no máximo $\pm 1^\circ\text{C}$. O autor afirma que são dispositivos robustos, possuindo vida útil longa e custo reduzido.

O sensor LM35, segundo a *Texas Instruments* (2017), é um dispositivo de temperatura de circuito integrado com uma saída de tensão proporcionalmente linear ao aumento de temperatura. O dispositivo não necessita de uma calibração externa para manter sua precisão entre 0,25 e 0,75 °C. O fabricante afirma que o sensor pode operar entre -55 e 150 °C, o que o torna uma ótima opção para ser utilizado na carcaça externa do motor elétrico em estudo.

A Eq. (4) exige o valor de vazão mássica, porém, sensores para esse tipo de leitura possuem um alto custo, que não se justificaria nessa aplicação. Logo, optou-se por utilizar sensores de vazão volumétrica que, posteriormente, seria convertida em vazão mássica utilizando a massa específica do fluido. A medição de vazão volumétrica, pode ser feita utilizando sensores com efeito Hall, que, segundo Moraes (2016), são transdutores que, quando expostos a um campo magnético, respondem com uma variação em sua tensão de saída. Efeito Hall é o que ocorre quando uma corrente num condutor tem sua trajetória desviada pela ação de um campo magnético. O desvio faz com que a tensão de Hall seja gerada. A tensão de Hall pode ser medida por um circuito externo ou ainda ser utilizada para efeitos de sensoriamento, pois ela é proporcional à intensidade do campo que cria.

2.4.2 Software de Aquisição

Os *softwares* de aquisição são importantes para que possa haver uma boa comunicação entre os componentes eletrônicos, como sensores, por exemplo, e o usuário. Segundo Barela e Duarte (2011), existem *softwares* de aquisição de dados que podem ser adquiridos juntamente com a bancada ou plataforma, isso quando o



equipamento vem pronto para o uso. No caso em estudo, a bancada está sendo desenvolvida na instituição, o que torna mais viável o desenvolvimento do *software* em ambientes de programação próprios para este fim, como por exemplo o LabVIEW® (*National Instrument, Inc.*) e o Matlab® (*Mathworks, Inc.*).

A opção selecionada para o projeto foi o LabVIEW® (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) que, segundo Bitter, Mohjuddin e Nawrocki (2007), é uma linguagem de programação baseada em gráficos. Sua natureza gráfica faz com que seja a solução ideal para medições, automação, controle de instrumentos, aquisição de dados e análise de dados.

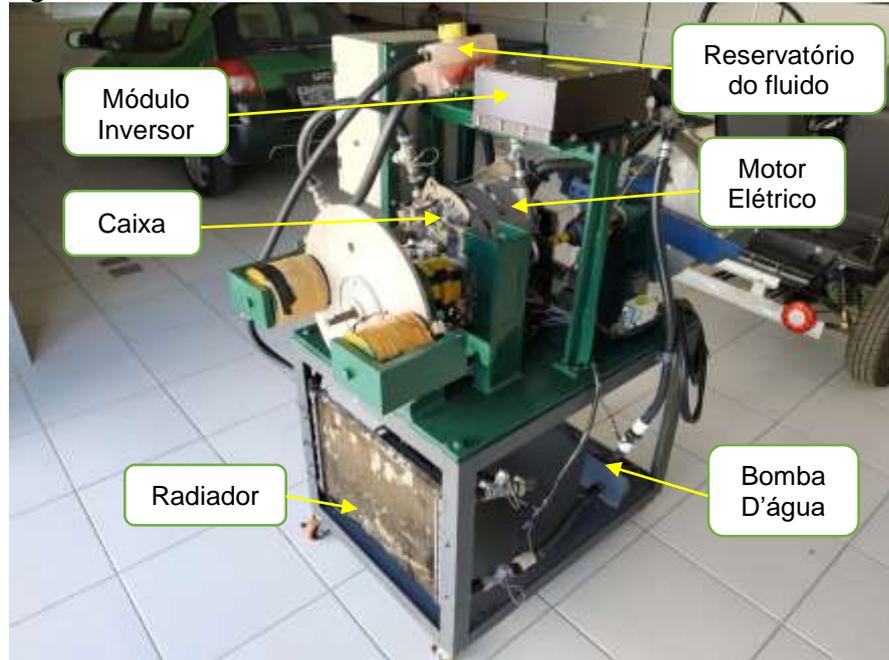
De acordo com Torrinha (2010), os programas que são desenvolvidos utilizando o *software* LabVIEW®, são denominados de Instrumentos Virtuais (VI). Os VI's contêm duas janelas, uma chamada de painel frontal e outra de diagrama de blocos. A interface com o usuário possui controladores e indicadores que nos permitem uma visualização de instrumentos tradicionais reais. Utilizando desta interface, pode-se obter uma visualização de leituras diretas de parâmetros, bem como controlar e selecionar determinadas características. Já o diagrama de blocos é a programação que está por trás do painel frontal, onde são descritos todos os controladores, indicadores e processamentos que se mantêm ocultos ao utilizador. Este assemelha-se a um diagrama esquemático com todas as ligações e ícones utilizados. Por possuir essa linguagem de programação mais intuitiva, relacionando com objetos reais, o LabVIEW® é uma ótima ferramenta, pois facilita a programação, mesmo para usuários iniciantes, tornando maior a velocidade de programação.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO

Para que se possa realizar a aquisição dos dados da bancada, faz-se necessária a seleção dos sensores, bem como dos demais componentes eletrônicos do sistema. Posteriormente realiza-se a programação e ajustes necessários na bancada para realização das medições. A Fig. 3 mostra a bancada em estudo.

Figura 3: Bancada de testes do motor elétrico



Fonte: Do autor (2018)

Na figura acima é possível observar os componentes da bancada em estudo, dentre eles o sistema de arrefecimento, motor elétrico, módulo inversor e demais componentes mecânicos e elétricos, além dos sensores e placas de aquisição utilizados no sistema de medição.

3.1.1 Seleção dos Sensores

Para a seleção dos sensores de temperatura, levou-se em consideração a temperatura em que o mesmo estará exposto bem como o meio em que será inserido.

Os transdutores selecionados para a parte interna da tubulação, onde há contato direto com o fluxo, foram os termopares do tipo K, que possuem um erro consideravelmente baixo levando em conta a aplicação, e uma faixa de medição dentro dos parâmetros necessários para o projeto.

Para as superfícies externas, onde não há contato direto com o fluido de trabalho, foram selecionados sensores LM35, que possuem boa precisão para a aplicação, e podem operar entre -55 e 150 °C. Além disso, os sensores LM35 possuem um custo relativamente menor que outros sensores com o mesmo fim, o que também justifica seu uso no projeto, já que, por se tratar de um trabalho acadêmico, visa também a diminuição no valor investido.

Além da temperatura, é importante ter conhecimento da vazão mássica de fluido refrigerante. Por esse motivo foram instalados sensores de vazão volumétrica, onde os valores, após a leitura pela placa de aquisição, foram convertidos em vazão mássica, utilizando os dados de massa específica do fluido, para que assim possam ser utilizados na Eq. (4).

Na Tab. 2, a seguir, são apresentados os locais de instalação dos sensores, bem como o tipo de sensor.

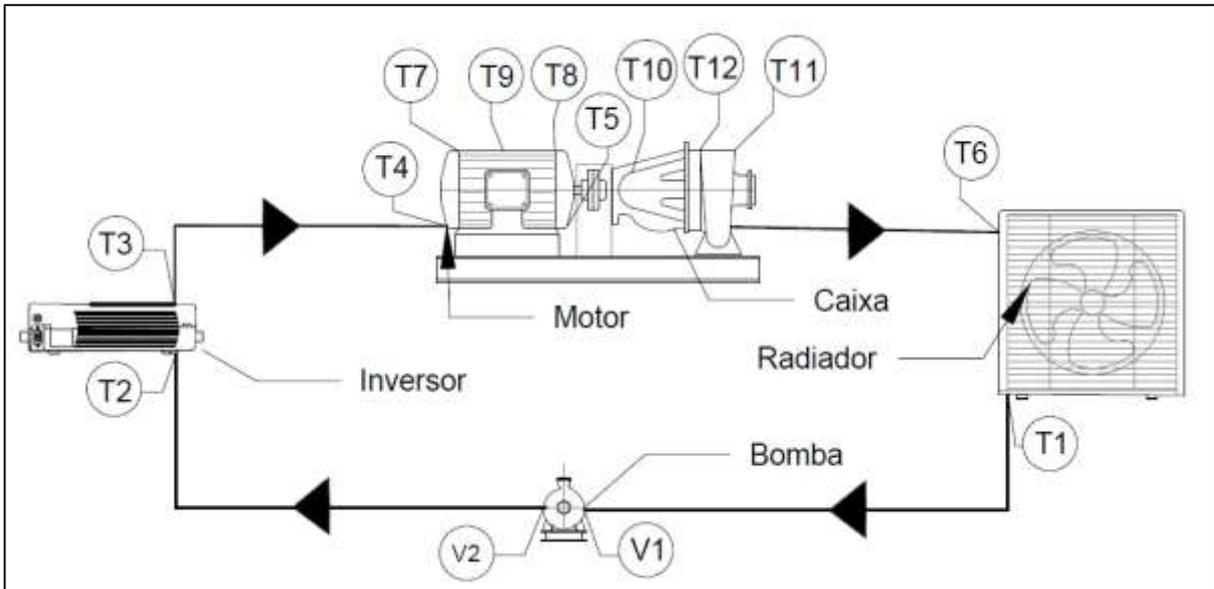
Tabela 2: Localização dos sensores de temperatura e vazão na bancada

Identificação	Local do Sensor	Grandeza	Tipo de sensor
T1	Saída do Radiador	Temperatura	Termopar tipo K
T2	Entrada do módulo inversor	Temperatura	Termopar tipo K
T3	Saída do módulo inversor	Temperatura	Termopar tipo K
T4	Entrada do motor	Temperatura	Termopar tipo K
T5	Saída do motor	Temperatura	Termopar tipo K
T6	Entrada do Radiador	Temperatura	Termopar tipo K
T7	Carcaça do motor (dianteiro)	Temperatura	LM35
T8	Carcaça do motor (traseiro)	Temperatura	LM35
T9	Carcaça do motor (centro)	Temperatura	LM35
T10	Carcaça da caixa (dianteiro)	Temperatura	LM35
T11	Carcaça da caixa (traseiro)	Temperatura	LM35
T12	Carcaça da caixa (centro)	Temperatura	LM35
V1	Entrada da bomba	Vazão volumétrica	Sensor de fluxo
V2	Saída da bomba	Vazão volumétrica	Sensor de fluxo

Fonte: Do autor (2018)

A Fig. 4, apresenta a localização dos sensores de acordo com a identificação da Tab. 2.

Figura 4: Localização dos sensores de temperatura e vazão na bancada



Fonte: Do autor (2018)

A disposição dos transdutores foi selecionada de modo a facilitar a visualização da variação de temperatura em cada um dos componentes da bancada, bem como determinar, através da Eq. (4), a troca térmica dos mesmos.

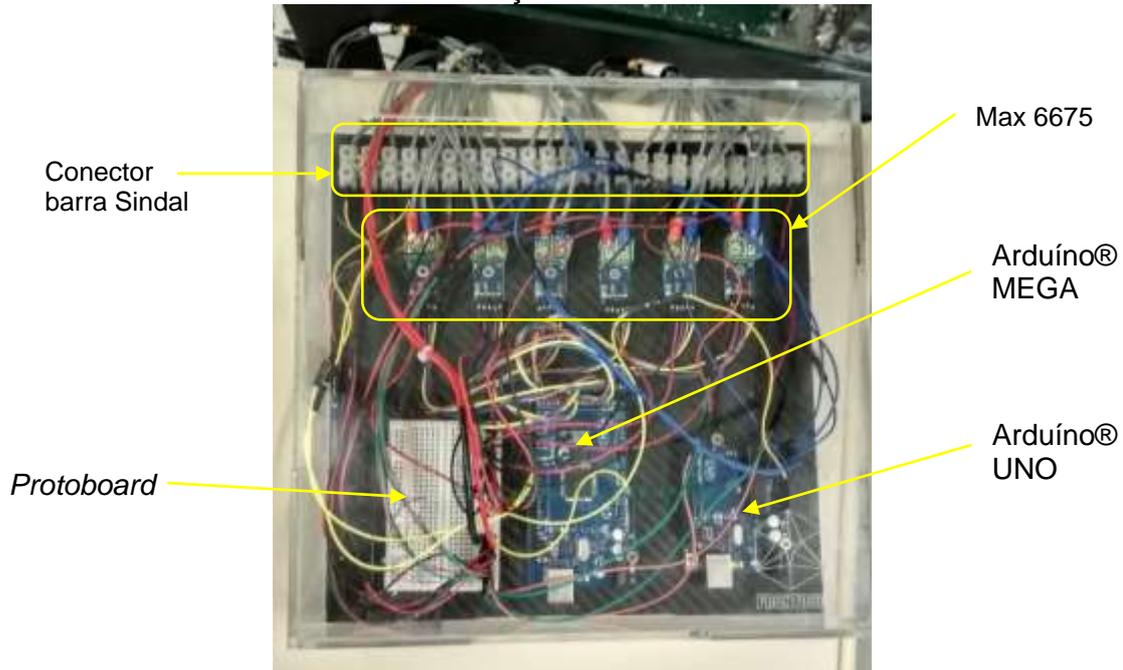
3.1.2 Programação

Para que possa ser realizada a coleta de dados dos sensores, necessita-se de um programa, que no caso foi elaborado utilizando os *softwares IDE* do Arduíno® e LabVIEW®.

Os sensores citados anteriormente foram adicionados a duas placas Arduíno®, uma UNO R3 e uma MEGA 2560 R3 que se diferenciam, entre outras características, pelo número de portas analógicas e digitais disponíveis. Uma outra razão que explica a utilização de dois Arduínos é a separação e organização, já que a placa UNO foi utilizada para leitura dos sensores LM35 e a MEGA para os termopares tipo K e medidores de vazão.

Na Fig.5 pode-se observar a organização das conexões dos sensores, placas de aquisição e conectores.

Figura 5: Organização dos componentes eletrônicos do Sistema de Medição



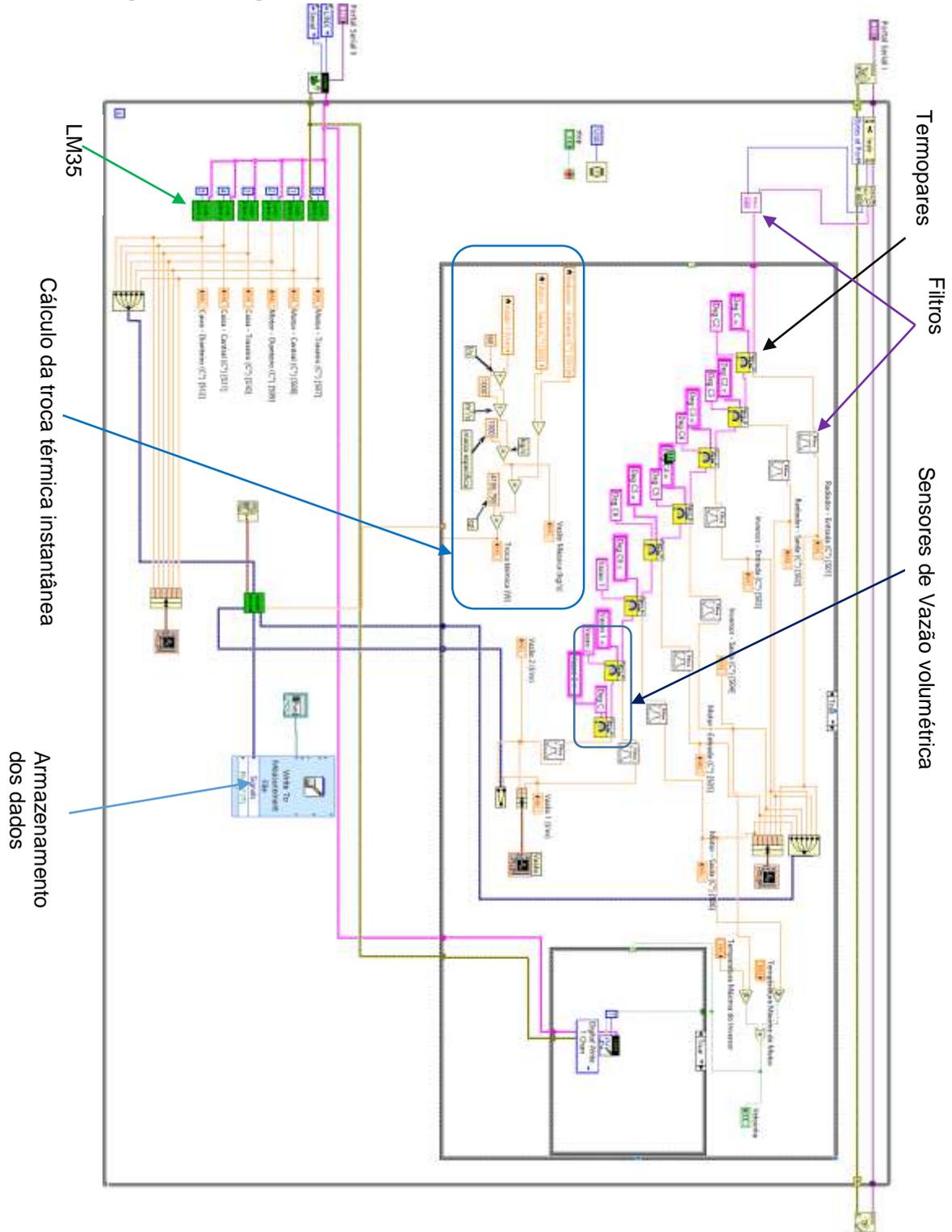
Fonte: Do autor (2018)

A programação no *software* LabVIEW® foi dividida em duas partes principais, uma para a leitura dos termopares e outra para os LM35. Isso se dá ao fato da incompatibilidade dos módulos dos termopares com o LabVIEW®, fazendo-se necessária a programação primeiramente no *software* do próprio Arduíno®, para que assim o termopar possa ser lido, através do complemento VISA®, presente no LabVIEW®. Já os LM35, necessitam apenas da biblioteca Linx para que a leitura possa ser realizada pelo LabVIEW®, logo, justificando essa separação.

Na Fig. 6, observa-se o diagrama de blocos da programação realizada. Nela pode-se observar a separação dos sensores, bem como a parte relacionada com o armazenamento dos dados. Observa-se também a presença de subVI's com a função de filtro, que foram utilizados para que não haja leitura de valores não coerentes com o processo.

Além da programação principal, foram utilizados subVI's que tem por objetivo tornar o VI principal mais claro e otimizar a programação. O subVI LM35 (TEMP) faz a leitura dois sensores LM35 e envia o valor de temperatura para a programação principal.

Figura 6: Diagrama de Blocos no software LabVIEW®



Fonte: Do autor (2018)

Para o processamento das informações vindas da placa Arduino® Mega 2560, responsável pela aquisição dos dados dos termopares e sensores de



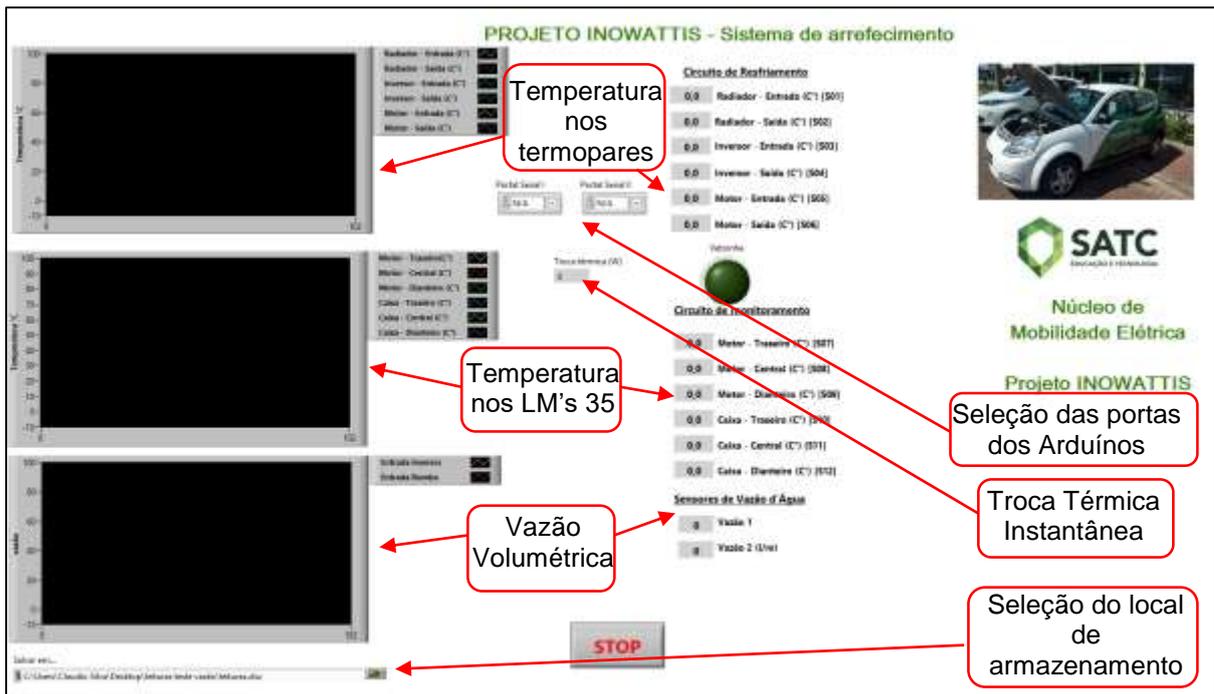
vazão volumétrica, foi utilizado também um SubVI leitor e conversor de dados. A placa Arduíno® envia as informações em forma de *String*, porém necessita-se da informação de forma numérica, logo, a função deste SubVI é separar a *String*, isolando o valor numérico e, em seguida, converter o valor para a forma desejada. Uma constante no valor 100, adicionada antes da saída numérica, foi utilizada para que seja possível a visualização das casas decimais, já que uma operação inversa foi realizada na programação no Arduíno® IDE, pois a placa envia as informações com o caractere separador decimal na forma de ponto final, o que não é interpretado pelo LabVIEW®.

Como citado anteriormente, foi necessário a utilização de filtros na forma de SubVI, pois constatou-se em ensaios preliminares que, em alguns momentos, a comunicação entre os componentes do sistema sofria interferência, gerando resultados não condizentes com a situação real. Logo, o filtro foi adicionado para corrigir essa falha, pois se o mesmo receber um valor maior que o mínimo aceitável estabelecido, salva esse valor em uma variável local. Porém, se o valor lido for inferior, o valor salvo anteriormente é repetido, tornando assim as informações, posteriormente analisadas, mais coerentes.

Outro subVI foi utilizado para processar todas as informações recebidas, reunindo e gerando uma tabela que posteriormente será salva em um arquivo no formato .xlsx. Neste SubVI, foram recebidas informações de três locais distintos. Na primeira parte são processados os dados provenientes dos termopares, enquanto na segunda, são os dados dos LM's que são recebidos. Já na terceira, as informações lidas vêm dos sensores de vazão. Todos esses dados, juntamente com a informação de data e hora fornecida pelo *TimeStamp*, são reunidos para posterior armazenamento e análise.

O diagrama de blocos principal, visualizado na Fig. 6, está relacionado com o painel frontal, que é a interface com o usuário e foi pensada de modo a ser intuitiva e mostrar de forma clara os valores obtidos através do sensoriamento. No painel frontal também é possível selecionar as portas onde estão conectados os Arduínos, além do local onde serão salvos os valores, para que assim possa ser feita uma posterior análise. Na Fig. 7, é possível visualizar a interface com o usuário.

Figura 7: Painel Frontal no software LabVIEW®



Fonte: Do autor (2018)

A interface com o usuário, visualizada na Fig. 7, mostra as temperaturas medidas nos termopares e LM35, além da vazão volumétrica. Essas informações são apresentadas na forma numérica e gráfica, possibilitando uma análise e controle em tempo real. Outra informação visualizada é a troca térmica que, na imagem, é a do radiador, porém, com algumas mudanças na programação, é possível adicionar também o calor gerado pelo motor elétrico e módulo inversor.

3.2 TROCA TÉRMICA

Os dados de temperatura e vazão obtidos através do sensoriamento da bancada, após filtrados, ainda dentro da programação, foram inseridos na Eq. (4), retornando assim o valor correspondente à troca térmica instantânea promovida pelo radiador.

Os valores fornecidos pelos sensores de vazão eram de vazão volumétrica. Como a equação utilizada necessita da vazão mássica, calculou-se o mesmo utilizando a massa específica do fluido de trabalho, que inicialmente foi a água, posteriormente foi utilizado fluido de arrefecimento a base de glicol na forma pura e, por último, foi realizado o ensaio utilizando fluido com uma composição volumétrica de 50% água e 50% glicol, como indicado pelo fabricante do módulo inversor.



A informação de calor específico para o caso do fluido concentrado puro e também da mistura, necessárias na equação, foi obtida através da Tab. 1. Essas informações, juntamente com a diferença entre as temperaturas nos termopares da entrada e saída do radiador, retornam a quantidade de calor trocada pelo radiador, possibilitando assim a análise do mesmo.

3.3 ENSAIOS

Em um primeiro momento, a ideia do projeto era utilizar o sistema de medição com a bancada em pleno funcionamento, assim possibilitando analisar se o arrefecimento supria as necessidades do motor e módulo inversor, bem como determinar o quanto de calor cada equipamento adicionava para o sistema, permitindo assim uma posterior seleção de um trocador de calor condizente com os valores obtidos.

O projeto que envolve o INOWATTIS e todas as pesquisas correlatas relacionadas ao tema é composto por equipes multidisciplinares, que atuam de forma conjunta para o desenvolvimento das atividades. No caso específico da bancada de testes, não era escopo do presente trabalho realizar o acionamento do motor elétrico. Esta etapa ainda não foi concluída, impedindo a realização dos testes utilizando o próprio motor como fonte de calor. Como forma de contornar esse imprevisto, foram realizados ensaios aquecendo o sistema de forma artificial e então resfriando-o.

Para a validação do sistema de medição desenvolvido, antes do funcionamento integral da bancada, foram utilizados aquecedores, juntamente com o fluxo de fluido obtido através do acionamento da bomba d'água, permitindo a obtenção dos valores medidos pelos sensores, as curvas de aquecimento e resfriamento, assim como os valores de trocas térmicas em cada componente. Quando a temperatura média do sistema alcançou cerca de 60°C, o aquecimento era interrompido e tinha início a etapa de resfriamento, finalizando o ensaio quando a temperatura do sistema atingir os valores iniciais.

Em um primeiro momento, foi utilizado como fluido de trabalho a água e as formas de resfriamento foram variadas para fins de comparação. Primeiramente, analisou-se o resfriamento utilizando convecção forçada na parte externa do radiador, utilizando a ventoinha. Outro ensaio buscou analisar o resfriamento do sistema

apenas com convecção natural na parte externa, isto é, sem o auxílio da ventoinha, possibilitando assim obter valores para a influência da mesma na troca térmica.

Posteriormente, foram realizados os ensaios de forma semelhante ao realizado com a água, porém utilizando somente fluido a base de glicol e após a mistura com concentração volumétrica de 50% água e 50% glicol, como o fabricante do módulo inversor indica.

Para cada condição citada acima, foram realizados três ensaios afim de verificar se o comportamento se mantia semelhante, comprovando assim a veracidade dos valores obtidos, porém no artigo será mostrado apenas uma versão de cada ensaio para que o mesmo não se torne repetitivo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões estão apresentados de acordo com a ordem em que foram realizados os ensaios.

4.1 ENSAIO UTILIZANDO ÁGUA COMO FLUIDO DE TRABALHO

Os dados foram obtidos através das placas Arduíno® com um intervalo de 1,2 segundo entre cada medição. Posteriormente os valores foram separados e organizados de forma a facilitar a análise. Na Fig. 8 pode-se observar a curva gerada pelos termopares durante todo o ensaio.

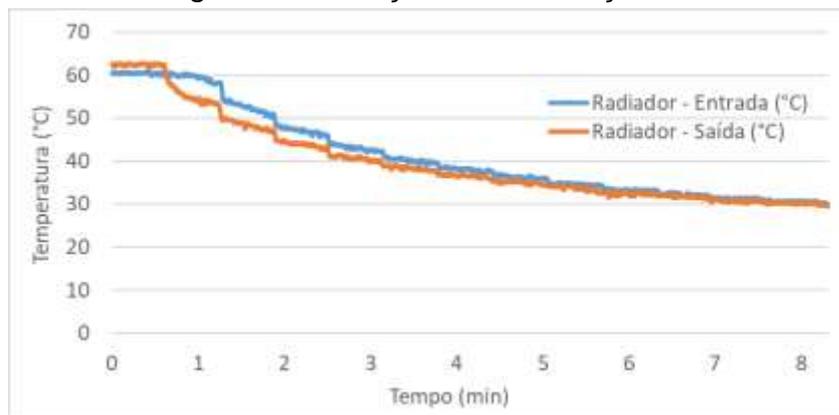
Figura 8: Ensaio 1 - Curva de aquecimento e resfriamento – Água – Convecção externa forçada



Fonte: Do autor (2018)

Com a Fig. 8, pode-se analisar a curva de resfriamento do radiador, e assim observar a ação do sistema de arrefecimento. Para uma análise mais detalhada, optou-se por analisar separadamente as temperaturas de entrada e saída do radiador a partir da temperatura máxima até as mesmas alcançarem 30°C, obtendo assim a curva observada na Fig. 9.

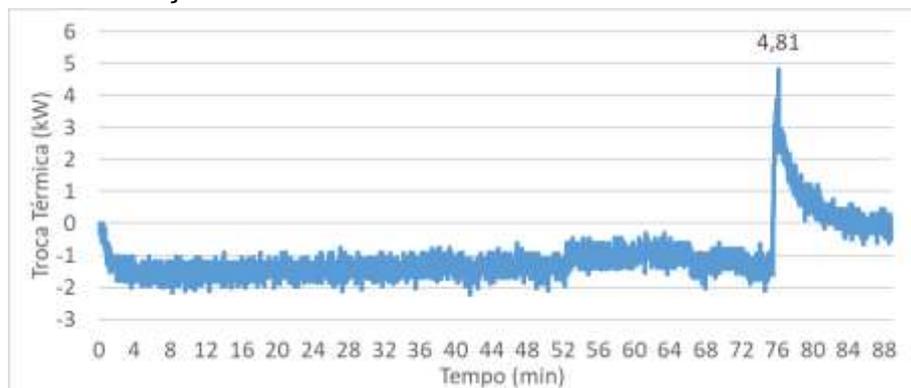
Figura 9: Ensaio 1 - Curva de resfriamento na entrada e saída do radiador – Água – Convecção externa forçada



Fonte: Do autor (2018)

Pode-se observar na Fig. 9 que a troca térmica é mais acentuada no início do processo de resfriamento, o que é confirmado na Fig. 10, que indica a taxa de troca térmica em todo o processo.

Figura 10: Ensaio 1 - Troca térmica no radiador (kW) – Água – Convecção externa forçada



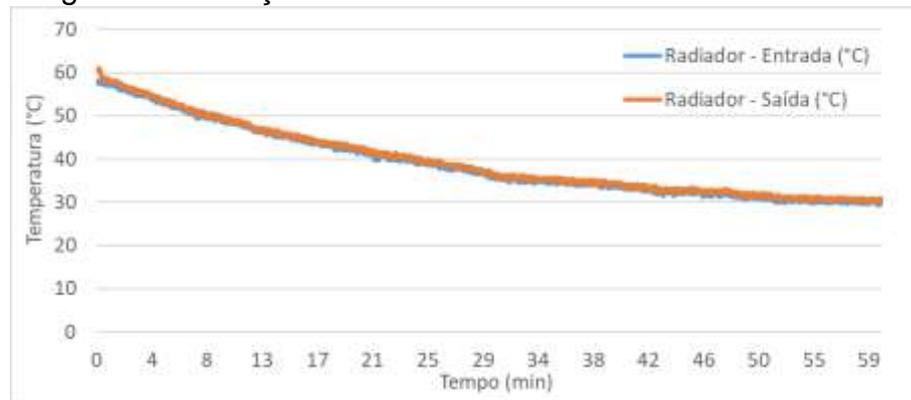
Fonte: Do autor (2018)

Na Fig. 10 é possível observar que a troca térmica do sistema, utilizando como fluido de trabalho a água, e tendo como a ventoinha induzindo a troca térmica

por convecção no exterior do trocador de calor, alcançou um valor máximo de 4,81 kW e teve como ápice o início do processo de resfriamento.

Outros ensaios foram realizados utilizando na parte externa do radiador apenas a troca térmica por convecção natural, isto é, sem a utilização da ventoinha. Na Fig. 11, observa-se a variação de temperatura durante a fase de resfriamento, ainda utilizando a água como fluido de trabalho, porém sem o auxílio da ventoinha.

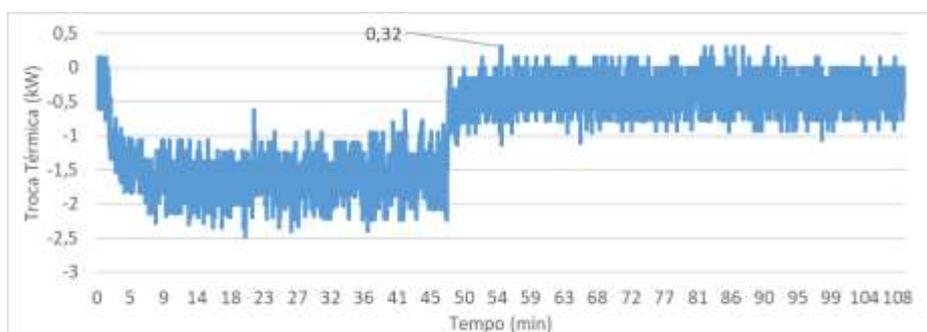
Figura 11: Ensaio 2 - Curva de resfriamento na entrada e saída do radiador – Água – Convecção externa natural



Fonte: Do autor (2018)

Observa-se na Fig. 11 que a curva de resfriamento, principalmente no início do processo de resfriamento sem a utilização da ventoinha, foi muito menos acentuada quando comparada àquela encontrada utilizando convecção externa forçada. Na Fig. 12, visualiza-se a troca térmica durante todo o processo e também a indicação do maior valor obtido.

Figura 12: Ensaio 2 - Troca Térmica no radiador (kW) – Água – Convecção externa natural



Fonte: Do autor (2018)

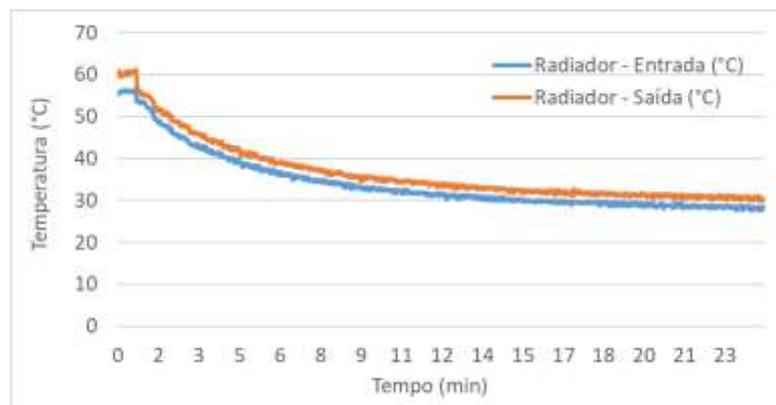
Pode-se observar na figura que a troca térmica máxima foi de cerca de 0,32 kW, consideravelmente inferior àquela obtida utilizando convecção forçada na parte externa do radiador.

4.2 ENSAIO UTILIZANDO GLICOL PURO COMO FLUIDO DE TRABALHO

Após realizar os ensaios com a água, optou-se também por fazer os ensaios utilizando o fluido de arrefecimento puro, para que assim possa ser feita a análise da influência de fluido na troca térmica.

Na Fig.13 observa-se a curva de resfriamento da saída e entrada do radiador, onde a saída foi aquecida até cerca de 60°C e após resfriada, utilizando a ventoinha, até próximo aos 30°C.

Figura 13: Ensaio 3 - Curva de resfriamento na entrada e saída do radiador – Glicol puro – Convecção externa forçada



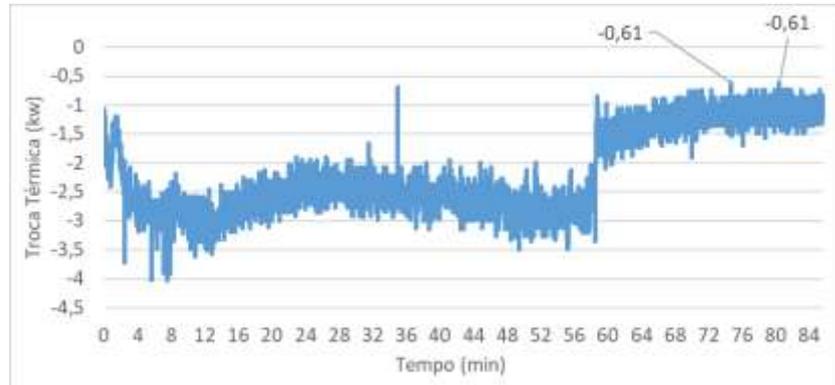
Fonte: Do autor (2018)

Com a Fig. 13, pode-se observar que o tempo necessário para o sistema alcançar a temperatura desejada foi consideravelmente superior quando comparado com o tempo necessário utilizando a água como fluido de arrefecimento, mostrando assim que esta não é a forma mais indicada para o uso do mesmo.

Outra informação que pode-se analisar é o fato de não há uma diferença positiva de temperaturas entre a entrada e saída do radiador, isto é, diferentemente do que aconteceu com água, quando o arrefecimento é acionado, a temperatura na saída continua acima da de entrada. Este fato pode ter ocorrido pela forma com que foi escolhido para aquecer o sistema, utilizando o radiador como aquecedor e, devido às características do fluido, a temperatura aumentou ao passar pelo radiador. Este acontecimento fez com que, de forma equivocada, os valores de troca térmica tenham

vido negativos durante todo o processo, mesmo após o acionamento da ventoinha. Isso pode ser observado na Fig.14.

Figura 14: Ensaio 3 - Troca térmica no radiador (kW) – Glicol puro – Convecção externa forçada

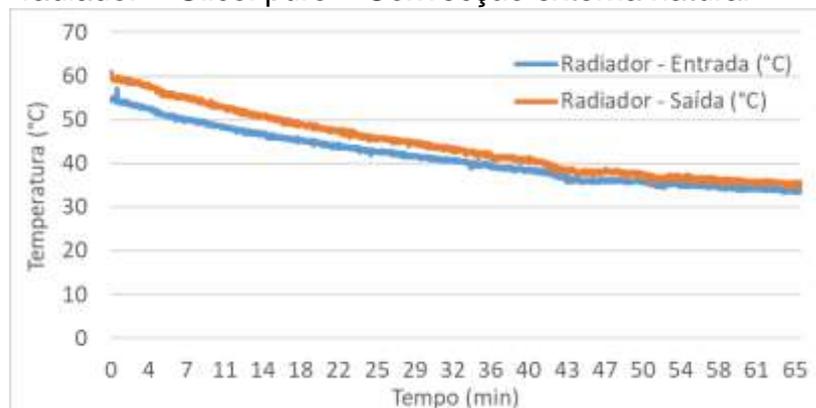


Fonte: Do autor (2018)

Na Fig, 14, observa-se que o padrão de troca térmica muda quando acionada a ventoinha, indicando a ação do sistema de arrefecimento, porém, como explicado anteriormente, não é alcançado um valor satisfatório, tendo como troca máxima cerca de -0,61 kW.

O ensaio realizado com convecção natural na parte externa, sem a utilização da ventoinha, gerou uma curva de resfriamento que pode ser observada na Fig.15.

Figura 15: Ensaio 4 - Curva de resfriamento na entrada e saída do radiador – Glicol puro – Convecção externa natural



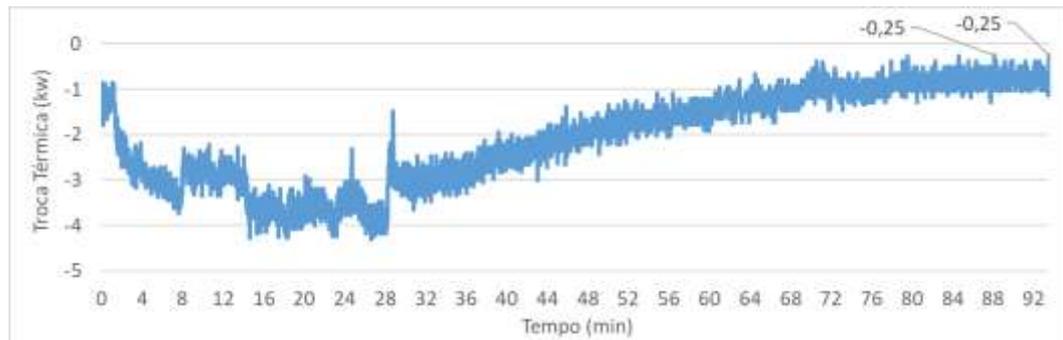
Fonte: Do autor (2018)

Na Fig. 15, observa-se que o tempo de resfriamento sem a ventoinha é muito semelhante ao visualizado na Fig.11, porém, é notável a diferença entre as

temperaturas na entrada e saída do radiador, principalmente no início do processo de resfriamento, o que mostra diferença da condutividade térmica quando se compara com a água.

A Fig. 16, indica a troca térmica do sistema de arrefecimento utilizando glicol e uma convecção natural na parte externa.

Figura 16: Ensaio 4 - Troca térmica no radiador (kW) – Glicol puro – Convecção externa natural



Fonte: Do autor (2018)

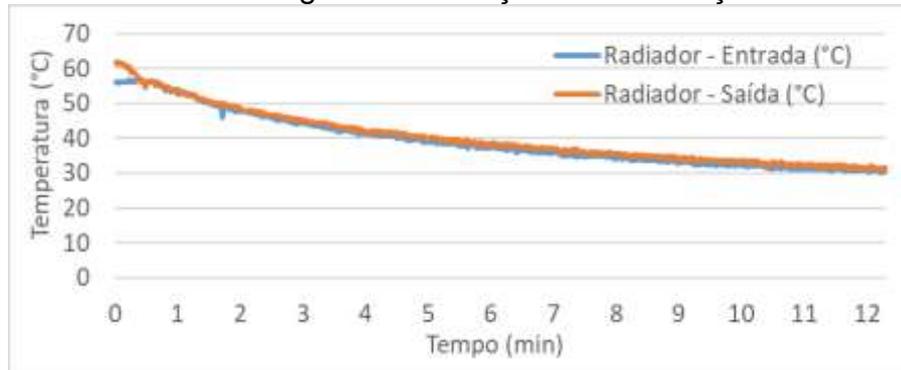
Na Fig.16, observa-se também que a troca térmica foi negativa durante todo o processo, alcançando um valor máximo de -0,25 kW.

4.3 ENSAIO UTILIZANDO MISTURA 50% GLICOL/ 50% ÁGUA COMO FLUIDO DE TRABALHO

Por fim, optou-se por realizar os ensaios utilizando como fluido de trabalho uma mistura com composição volumétrica de 50% Glicol e 50% Água, pois essa é a concentração indicada pelo fabricante do módulo inversor.

Em um primeiro momento, realizou-se o ensaio com convecção forçada, isto é, utilizando a ventoinha para resfriar o sistema. A curva de resfriamento pode ser observada na Fig.17.

Figura 17: Ensaio 5 - Curva de resfriamento na entrada e saída do radiador – 50% Glicol/ 50% Água – Convecção externa forçada



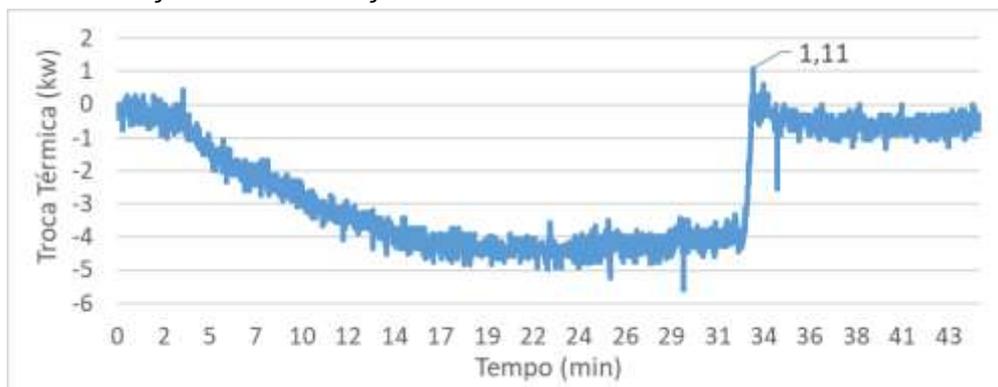
Fonte: Do autor (2018)

Analisando a curva da Fig. 17, é possível observar que a diferença entre as temperaturas durante o processo de resfriamento já se tornou muito mais próxima àquela visualizada na Fig. 9, quando se utilizou a água como fluido de trabalho, além de que o tempo necessário para resfriar o sistema foi relativamente inferior àquela obtido na Fig. 13, utilizando glicol puro. Uma diferença maior só é observada no início do resfriamento, onde a saída encontrava-se cerca de 5 °C mais quente que a entrada, diferença essa causada principalmente pela forma de aquecimento.

Devido a essa diferença de temperaturas no início do resfriamento, a troca térmica máxima não foi condizente com a realidade, já que é no início desse processo que é encontrado um valor mais acentuado de transferência de calor, como foi possível observar nas curvas vistas anteriormente.

Na Fig. 18, pode-se observar a curva referente à troca térmica utilizando a mistura como fluido de trabalho e convecção forçada na parte externa do radiador.

Figura 18: Ensaio 5 - Troca térmica no radiador (kW) – 50% Glicol/ 50% Água – Convecção externa forçada

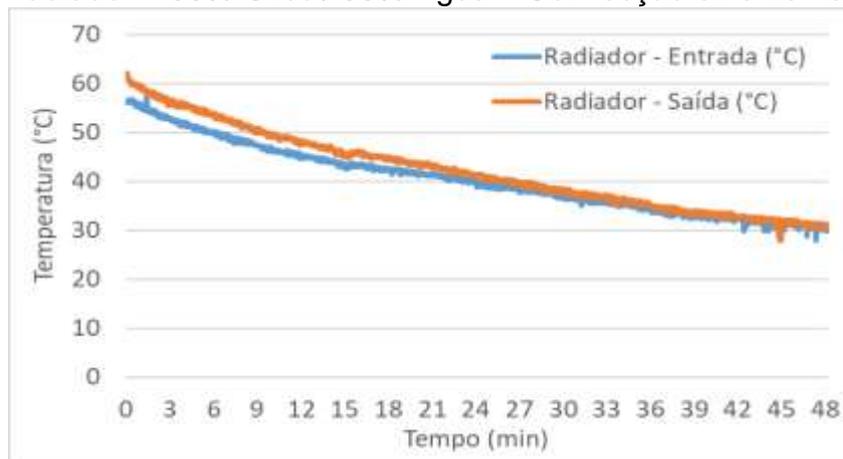


Fonte: Do autor (2018)

Como é observado na Fig.18, o valor de troca térmica máxima obtida no ensaio foi de 1,11 kW, acima do obtido com glicol puro, porém abaixo do valor obtido quando utilizado água como fluido de trabalho. Como citado anteriormente, essa diferença se dá devido à característica do fluido e também da forma com que o sistema foi aquecido, utilizando o radiador para esta função. Assim não foi possível obter com maior exatidão o valor máximo de troca térmica, pois no início do processo, onde a troca térmica é mais acentuada, o sistema, primeiramente, teve que igualar as temperaturas na entrada e saída, para só então obter uma diferença positiva de temperaturas.

Da mesma forma que com os fluidos anteriores, foram realizados ensaios utilizando convecção natural na parte externa do radiador. Com esses ensaios obteve-se a curva de resfriamento, que pode ser observada na Fig.19.

Figura 19: Ensaio 6 - Curva de resfriamento na entrada e saída do radiador – 50% Glicol/ 50% Água – Convecção externa natural

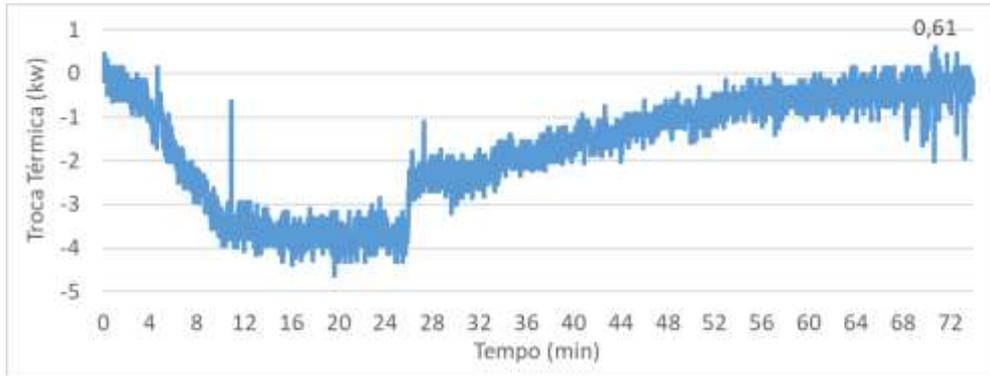


Fonte: Do autor (2018)

Na Fig. 19, observa-se que a diferença entre as temperaturas de entrada e saída não foi tão acentuada quando comparada com a obtida com o glicol puro. Além disso, pode-se observar também que o tempo necessário para a temperatura atingir o valor desejado foi inferior àqueles obtidos nos ensaios anteriores que utilizaram convecção natural na parte externa do radiador, o que indica a mistura de glicol e água nessa concentração, uma ótima opção para fluido de arrefecimento.

Na figura a seguir, observa-se a curva de troca térmica obtida durante o ensaio.

Figura 20: Ensaio 6 - Troca térmica no radiador (kW) – 50% Glicol/ 50% Água – Convecção externa natural



Fonte: Do autor (2018)

Na Fig. 20 observa-se que a troca térmica máxima durante o processo de resfriamento foi de 0,61 kW, sendo assim inferior àquela encontrada com a utilização da ventoinha, comprovando mais uma vez a influência da convecção forçada na capacidade de troca térmica do radiador.

Na Tab. 3 e Tab. 4 é possível observar os principais resultados obtidos com os ensaios.

Tabela 3: Comparação dos resultados utilizando convecção forçada

Fluido	Troca Térmica (kW)	Tempo de resfriamento (min)
Água	4,81	8
Glicol puro	-0,61	23
50% Glicol/ 50% Água	1,11	12

Fonte: Do autor (2018)

Tabela 4: Comparação dos resultados utilizando convecção natural

Fluido	Troca Térmica (kW)	Tempo de resfriamento (min)
Água	0,32	59
Glicol puro	-0,25	65
50% Glicol/ 50% Água	0,61	48

Fonte: Do autor (2018)

5 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste trabalho, pode-se concluir que o fluido interfere diretamente na efetividade do sistema de arrefecimento. A troca térmica obtida com a água foi superior às obtidas com o glicol puro e a mistura. Parte dessa diferença se dá devido a forma com que o sistema foi aquecido.

O fluido puro se mostrou menos eficaz do que as outras duas formas ensaiadas, tratando-se de troca térmica, além disso, o mesmo teve uma variação



maior de vazão, o que pode significar uma variação na viscosidade. Isto também é de grande influência na transferência de calor.

Outra conclusão a respeito do sistema de arrefecimento, foi a influência da ventoinha induzindo uma convecção forçada na parte externa do radiador. Nesta condição a troca térmica foi superior em todos os fluido utilizados, comprovando também a necessidade da utilização da grade frontal no veículo, promovendo uma melhor transferência de calor com o veículo em movimento, reduzindo assim o tempo de ventoinha ligada e, por consequência, o consumo de bateria.

O LabVIEW® se mostrou uma grande ferramenta, pois facilita a programação e torna a mesma mais visual, além de possibilitar a criação do painel frontal, que faz a comunicação com o usuário mais intuitiva e agradável.

Os SubVI's criados para a programação principal podem ser utilizados para diversas outras aplicações e, por esse motivo, podem ser utilizados em trabalhos futuros da instituição.

As placas Arduíno® e sensores utilizados suprimam a necessidade do projeto, pois, por se tratar de uma aplicação educacional e que busca um custo de implementação baixo, não exige maiores precisões do que as obtidas.

Uma sugestão para trabalhos futuros é realizar os ensaios com o motor elétrico e módulo inversor em funcionamento, obtendo assim o valor de calor gerado pelos equipamentos, possibilitando o correto dimensionamento do trocador de calor.

A bomba utilizada no projeto atual é de vazão fixa, logo, uma outra sugestão é utilizar uma bomba variável, gerando assim diferentes vazões de fluido de arrefecimento fazendo com que assim seja possível mensurar a influência deste fator na capacidade de troca térmica do radiador.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Luis Antonio, **Fundamentos da Instrumentação**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013. 331p. ISBN 9788581431833.

BARELA, Ana Maria Forti; DUARTE, Marcos. Utilização da Plataforma de Força para Aquisição de Dados Cinéticos Durante a Marcha Humana, **Brazilian Journal of Motor Behavior**, Vol. 6, pp. 56-61. 2011.



BITTER, Rick; MOHJUDDIN, Taqi; NAWROCKI, Matt. **LabVIEW™ – Advanced Programming Techniques**. 2 ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2007. 500p. ISBN 0849333253

CASSANI, Uilli. **User Manual: Installation guide of Electric Powertrain MES-DEA**, 72p. 2018.

CONTRERAS, Edwin Martin Cárdenas. **Avaliação Experimental do desempenho Termohidráulico de Nanofluidos de Grafeno em um Sistema de Arrefecimento Automotivo**. 125f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2017. Disponível em: <
<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/19838/1/AvaliacaoExperimentalDesempenho.pdf>>
Acesso em: 2 junho 2018.

COSTA, Marcos de Oliveira. **Projeto de Plataforma de Análise de Conversão de Tração de Veículos com Motor a Combustão Interna para Tração Elétrica**. 96f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <
http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/19315/1/2015_MarcosOliveiraCosta.pdf>
Acesso em: 20 abril 2018.

DAMASCENO, Eduardo Guedes; OLIVEIRA, Paulo Henrique Marques de. **Projeto do Sistema de Arrefecimento e da Caixa de Redução para o uso Aeronáutico d Motor Toyota 2ZR-FE**. 86f. Monografia (Graduação) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: <
http://bdm.unb.br/bitstream/10483/7634/6/2013_EduardoDamasceno_PauloHenriqueOliveira.pdf>
Acesso em: 13 maio 2018.

DUNN, William C. **Instrumentação Industrial e Controle de Processos**, Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013, 326p. ISBN 9788582600917.

FORNASA, Igor. **Análise de Desempenho de um Veículo Elétrico**, Faculdade SATC, Criciúma, 2018. 8f.

MORAES, Diogo Luis de. **Desenvolvimento de um Sistema de Controle e Medição de Vazão para Bombas Peristálticas**. 2016. 61f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016. Disponível em: <
http://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/277/1/MONOGRAFIA_DesenvolvimentoSistemaControle.pdf>
Acesso em: 29 outubro 2018.



MORTON, Craig; ANABLE, Jillian; NELSON, John D. Consumer Structure in the Emerging Market for Electric Vehicles: Identifying market segments using cluster analysis, **International Journal of Sustainable Transportation**, Vol. 11, pp. 443-459. Dez. 2016. Disponível em: < https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/28304/1/Morton_et_al_2017.pdf>
Acesso em: 22 maio 2018.

NOVAIS, Ariane Silva; COMITRA, Roberta Duarte Ferreira Chagas; NOGUEIRA, Élcio. Análise teórica de desempenho térmico de motores de indução elétrica aletados. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, nº 25, quadrimestral, p. 19-34, ago. 2014. Disponível em: < <http://revistas.unifoa.edu.br/index.php/cadernos/article/download/222/193>>
Acesso em: 17 maio 2018.

PARAFLU. **Ficha Técnica PARAFLU bio Concentrado**. São Sebastião do Caí, 2018.

PESSA, Rogério. **Instrumentação Básica para Controle de Processo**, Centro de Treinamento Smar, 2006, 94p.

SANT'ANA, Rony Oliveira de. **Análise da Transferência de calor de Fluidos Térmicos Aditivado com Etilenoglicol e Polímeros**. 125f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em: < <http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/22571/1/RonyOliveiraDeSantana DISSERT.pdf>>
Acesso em: 15 maio 2018.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>>
Acesso em: 26 maio 2018.

TORRINHA, Iolanda Maria Dinis. **Desenvolvimento de Software em LabVIEW para Banco de Ensaios de motores de UAV'S SBE-VIEW v.1**. 44f. Monografia (Graduação) - Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2010. Disponível em: <<https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/3653/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20M2650.pdf>>
Acesso em: 14 junho 2018.

VOIGDLENER, Thiago. **Escoamento e Transferência de Calor em Motores Elétricos de Indução**. 157f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em:



<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87014/208191.pdf?sequence=1>> Acesso em: 21 maio 2018.

WYLEN, Gordon J. Van; SONNTAG, Richard E.; BORGNAKKE, Claus.
Fundamentos da Termodinâmica. 6. Ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2003,
577p. ISBN 8521203276.