

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA  
DETECÇÃO DA FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE ÁGUA CONTIDA NO  
ETANOL**

**TRABALHO DA CONCLUSÃO DE CURSO**

**Diego Disconzi Luceiro**

**Santa Maria, RS, Brasil.  
2017**

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA  
DETECÇÃO DA FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE ÁGUA CONTIDA NO  
ETANOL**

**por**

**Diego Disconzi Luceiro**

**Orientador: Prof. Dr. Mario Eduardo Santos Martins**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2017**

---

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Diego Disconzi Luceiro. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: [diegodisconzi@gmail.com](mailto:diegodisconzi@gmail.com)

## RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso  
Curso de Engenharia de Controle e Automação

Universidade Federal de Santa Maria

### **PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA DETECÇÃO DA FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE ÁGUA CONTIDA NO ETANOL**

AUTOR: DIEGO DISCONZI LUCEIRO

ORIENTADOR: MARIO EDUARDO SANTOS MARTINS

Em busca constante de novas tecnologias para auxiliar e minimizar os impactos econômicos e ambientais, as pesquisas sobre novos combustíveis e seus métodos de utilização para a geração de energia, através da queima destes, vem sendo desenvolvidas em grande escala. Levando em conta a preposição de custos, uma alternativa é a utilização de etanol combustível com elevado percentual de água. Sua produção é menos custosa em função de que não necessita um controle rígido sobre a quantidade de água junto ao etanol. O presente trabalho apresenta um método para a detecção da fração volumétrica de água contida no etanol. Será analisado a viabilidade do método proposto, a descrição de equipamento e métodos envolvidos e os resultados encontrados. A técnica envolvida para a modelagem do método, referente à utilização do efeito de Leidenfrost e o ponto de ebulição de cada mistura, apresentaram bons resultados, com intervalos de tempos bem definidos. A análise desse método é realizado através de um eletroinjeter aquecido. O aquecimento é energizado através de um conversor Buck e o controle deste é desenvolvido através do *hardware* Arduino<sup>®</sup>. A partir da comparação aos métodos desenvolvidos por outros trabalhos, este apresenta resultados semelhantes ao mesmos e assim tornando viável o presente trabalho ser reproduzido como um produto e ser apresentado à indústria.

**Palavras-chave:** Motor a combustão interna, detecção de combustível, etanol.

## ABSTRACT

Trabalho da Disciplina Projeto Integrador  
Curso de Engenharia de Controle e Automação

Universidade Federal de Santa Maria

### **PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA DETECÇÃO DA FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE ÁGUA CONTIDA NO ETANOL**

(DESIGN AND DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR DETECTION OF  
VOLUMETRIC FRACTION OF ETHANOL CONTAINED WATER)

AUTOR: DIEGO DISCONZI LUCEIRO

ORIENTADOR: MARIO EDUARDO SANTOS MARTINS

In a constant search for new technologies to help and minimize the economic and environmental impacts, the research on new fuels and their methods of use for the generation of energy, through the burning of these, have been developed on a large scale. Taking into account the preposition of costs, an alternative is the use of ethanol fuel with high percentage of water. Its production is less costly because it does not require a rigid control over the amount of water next to ethanol. The present work presents a method for the detection of the volumetric fraction of water contained in ethanol. The feasibility of the proposed method, the description of the equipment and methods involved and the results will be analyzed. The technique involved in modeling the method, using the Leidenfrost effect and the boiling point of each mixture, showed good results, with well been defined time intervals. The analysis of this method is performed through a heated electro-injector. The heating is powered through a Buck converter and the control of this is developed through Arduino® hardware. From the comparison to the methods developed by other works, this one presents results similar to to them and thus making feasible the present work to be reproduced as a product and presented to the industry.

**Keywords:** *Internal combustion engine, fuel detection, ethanol.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Energia gasta na destilação (MARTINEZ-FRIAS, 2007) .....	12
Figura 2 - Ciclo Otto (CAPELLI, 2010). .....	13
Figura 3 - Diagrama de válvulas (ADLER, 1988).....	15
Figura 4 - Evolução de tecnologias .....	15
Figura 5 - Tipos de eletroinjetores (a) eletroinjetor em corte (b) (BAUER, 1999). .....	16
Figura 6 - <i>single-point</i> e <i>multi-point</i> respectivamente (BOSCH, 2005).....	16
Figura 7 - Linha de alimentação de combustível (BOSCH, 2005).....	17
Figura 8 - Tabelas de injeção de combustível. (MEGASQUIRT MANUAL, 2016).....	18
Figura 9 - Evaporação e tempo. (REIN, M. 2002) .....	19
Figura 10 - Curva de ebulição de Nukiyama para água saturada a pressão atmosférica. (BERGMAN, 2014) .....	20
Figura 11 - Simbologia de conversores CC-CC (ARRABAÇA, 2013). .....	21
Figura 12 - Topologia conversor Buck (ARRABAÇA, 2013).....	21
Figura 13 - Circuito equivalente $t_{on}$ (Adaptado de ARRABAÇA, 2013).....	22
Figura 14 - Circuito equivalente $t_{off}$ (Adaptado de ARRABAÇA, 2013). .....	22
Figura 15 - Formas de onda dos modos contínuo e descontínuo (ARRABAÇA, 2013).....	23
Figura 16 - Ponte de Wheatstone.....	25
Figura 17 - Delphi Multec <sup>®</sup> 3.5 .....	28
Figura 18 - Estrutura interna do eletroinjetor .....	28
Figura 19 - Divisor resistivo.....	29
Figura 20 - Gráfico para a obtenção da equação característica do sensor.....	30
Figura 21 - Corrente de 60% de etanol e 40% água e leitura de temperatura NTC .....	31
Figura 22 - Esquema de ligação entre termopar e TxBlock .....	32
Figura 23 - Corrente de 60% de etanol e 40% água .....	33
Figura 24 – Corrente de 80% de etanol e 20% água .....	33
Figura 27 - Fluxograma de validação .....	34
Figura 25 - Corrente de 60% de etanol e 40% água e leitura de temperatura termopar.....	35
Figura 26 - Corrente de 80% de etanol e 20% água e leitura de temperatura termopar.....	35
Figura 28 - Relação de comparação entre a média encontrada e as leituras de corrente da mistura E60W40.....	36
Figura 29 - Média dos testes com o E60W40 e cálculo do $\Delta$ antes do ponto de ebulição .....	37

Figura 30 - Média dos testes com o E60W40 e cálculo do $\Delta$ após o ponto de ebulição .....	37
Figura 31 - Média dos testes com o E80W20 e cálculo do $\Delta$ antes do ponto de ebulição .....	38
Figura 32 - Média dos testes com o E80W20 e cálculo do $\Delta$ após o ponto de ebulição .....	38
Figura 33 - Média dos testes com o E96W04 e cálculo do $\Delta$ antes do ponto de ebulição .....	39
Figura 34 - Média dos testes com o E96W04 e cálculo do $\Delta$ após o ponto de ebulição .....	39
Figura 35 - Circuito Buck simulado .....	41
Figura 36 - Comparativo entre conversor simulado e sua equação de estado.....	42
Figura 37 - Referências para lei de controle.....	43
Figura 38 - Simulação com controle discreto.....	44
Figura 39 - Simulação <i>software</i> Proteus.....	45
Figura 40 - Gráfico para seleção do núcleo Kool M $\mu$ .....	46
Figura 41 – Indutor.....	48
Figura 42 - Driver de acionamento <i>Mosfet</i> .....	49
Figura 43 - Montagem final da placa .....	49
Figura 44 - Sistema completo montado .....	50
Figura 45 - Média e desvio padrão .....	51
Figura 46 - Comparativo entre três misturas .....	52
Figura 47 - Teste E99.8 .....	54
Figura 48 - Teste E95W05.....	54
Figura 49- Teste E90W10.....	55
Figura 50 - Teste E85W15.....	55
Figura 51 - Teste E80W20.....	56
Figura 52 - Mapeamento de tempo máximo de cada mistura.....	57
Figura 53 - Teste externo com E99.8 .....	58
Figura 54 - Teste externo com E95W05.....	58
Figura 55 - Teste externo com E90W10.....	59
Figura 56 - Teste externo com E85W15.....	59
Figura 57 - Teste externo com E80W20.....	60
Figura 58 - Resultados obtidos pela patente (Lepsch, 2013).....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Relação A/F estequiométrica em função do combustível (PEREIRA, 2001).....	14
Tabela 2 - Relação de variação de corrente antes e após o ponto de ebulição .....	40
Tabela 3 - Sequência de atividades.....	40
Tabela 4 - Relação de configurações do indutor .....	47
Tabela 5 - Capacidade térmica das misturas .....	53
Tabela 6 - Mapeamento de tempo por mistura.....	56



# SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>5</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....	9
1.2 OBJETIVO .....	9
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	9
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>11</b>
2.1 ETANOL COM ELEVADA CONCENTRAÇÃO DE ÁGUA .....	11
2.2 PRINCÍPIOS FÍSICO-QUÍMICOS .....	12
2.2.1 <i>Capacidade térmica</i> .....	12
2.3 MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA .....	13
2.4 EFEITO DE LEIDENFROST E EBULIÇÃO.....	18
2.5 CONVERSORES DE TENSÃO CONTÍNUA.....	20
2.5.1 <i>Conversor Buck</i> .....	21
2.6 SENSORES DE TEMPERATURA.....	24
2.7 TRABALHOS RELACIONADOS.....	26
<b>3. METODOLOGIA E RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
3.1 ELETROINJETOR AQUECIDO .....	27
3.2 SENSOR PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA.....	28
3.3 VALIDAÇÃO DA TEORIA .....	32
3.4 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO .....	40
3.4.1 <i>Projeto Conversor</i> .....	41
3.4.2 <i>Lei de controle</i> .....	41
3.4.3 <i>Desenvolvimento do software</i> .....	44
3.4.4 <i>Montagem</i> .....	46
3.4.5 <i>Testes e resultados</i> .....	50
3.4.6 <i>Discussão dos resultados</i> .....	60
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>65</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Sempre em busca de novas tecnologias para auxiliar e minimizar os impactos econômicos e ambientais, as pesquisas sobre novos combustíveis e seus métodos de utilização para a geração de energia através da queima destes, vem sendo desenvolvidas em grande escala. Uma alternativa a qual vem sendo amplamente empregada é a utilização do etanol, não somente no Brasil, mas também em muitos outros países os quais estão se aperfeiçoando em sua produção.

Levando em conta essa preposição do custo, uma alternativa é a utilização de etanol combustível com altas frações volumétricas de água, o qual a sua produção é menos custosa em função de que não necessita um controle rígido sobre a quantidade de água junto ao etanol. Na produção desses, não é acessível à identificação da fração volumétrica de cada componente da mistura, esta identificação é essencial para que esse combustível seja utilizado junto aos motores à combustão interna.

O projeto consiste em desenvolver uma tecnologia de detecção da fração volumétrica de água contida no etanol, para permitir o uso racional do combustível.

### 1.2 OBJETIVO

Este trabalho visa avaliar, projetar, desenvolver e testar um método de detecção da fração volumétrica de água contida no etanol o qual será utilizado junto ao motor à combustão interna para geração de energia, sendo elétrica ou mecânica. O método consiste em aquecer a mistura junto ao sistema de alimentação de combustível e assim conseguir a identificar qual a composição de cada mistura através do efeito de Leidenfrost e do processo de ebulição.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente capítulo visa apresentar as motivações e os problemas encontrados sobre o presente tema.

No capítulo 2 serão apresentadas revisões literárias e bibliográficas sobre os temas relacionados ao estudo.

No capítulo 3 serão apresentados alguns testes os quais viabilizaram o processo a ser desenvolvido.

No capítulo 4 serão apresentadas metodologias de desenvolvimento do processo de detecção, resultados encontrados e discussão dos mesmos.

No capítulo 5 serão apresentadas as conclusões obtidas e algumas sugestões de melhorias as quais podem ser agregadas em trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Trabalhos sobre o processo de identificação de compostos presentes em combustíveis, são recentes, por vezes escassos e ainda, utilizam de dispositivos de alta tecnologia o que os torna mais custosos.

O presente capítulo tem como objetivo apresentar o embasamento bibliográfico utilizado na realização deste trabalho.

### 2.1 ETANOL COM ELEVADA CONCENTRAÇÃO DE ÁGUA

As etapas de produção do etanol utilizam os processos de fermentação, maceração e cozimento, fermentação e desidratação. O seu balanço energético de todo o ciclo de vida é positivo quando comparado aos combustíveis fósseis (Foteiniset al., 2011).

Devido ao vasto território brasileiro, posição geográfica, recursos hídricos abundantes e índices de radiação solar, a cana-de-açúcar é uma das matérias-primas para produção de bioetanol mais em conta. Além disso, a utilização do bioetanol no Brasil já tem mais de 30 anos, aumentando a vantagem competitiva do bioetanol de cana-de-açúcar frente à bioetanol de outras fontes e combustíveis fósseis.

A destilação do etanol após o seu processo tendo sido completo, tem como resultado uma mistura de etanol e água, aonde pode ser encontrada uma relação volumétrica de até 95% de etanol contido em água, limite azeotrópico da mistura. Para a obtenção de frações volumétricas superiores a 95% de etanol em água, são necessários gastos muito superiores de energia. O custo energético, para concentrações maiores de etanol, cresce exponencialmente após 80% de etanol em água, como pode ser observado na Figura 1.

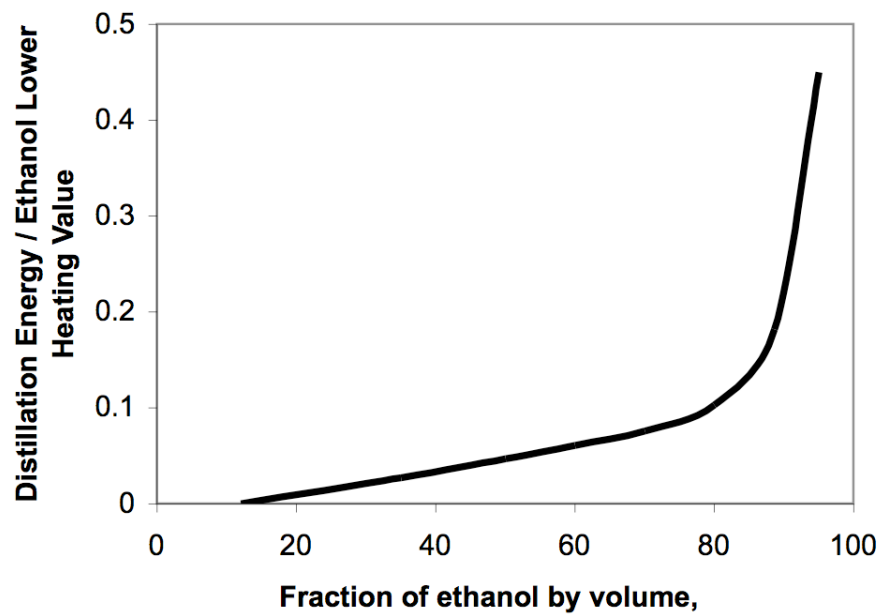


Figura 1 - Energia gasta na destilação (MARTINEZ-FRIAS, 2007)

A Figura 1 representa a justificativa para o desenvolvimento deste trabalho, através do aumento exponencial do gasto de energia a partir de 80%, tornasse necessária a identificação da composição da mistura, para que essa seja utilizada junto a motores a combustão interna.

## 2.2 PRINCÍPIOS FÍSICO-QUÍMICOS

A partir dos princípios, as características de alguns compostos serão apresentados.

### 2.2.1 Capacidade térmica

A capacidade térmica determina a quantidade calor que um corpo precisa receber para alterar sua temperatura em uma unidade. Cada corpo comporta-se de forma diferente ao receber uma determinada quantidade de calor.

Sendo assim, a capacidade térmica é uma grandeza que depende da quantidade de calor recebida e da variação de temperatura sofrida por um corpo.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Equação 1

## 2.3 MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA

Em 1876, o engenheiro alemão Nikolaus Otto desenvolveu um motor com maior eficiência comparado aos encontrados na época. Este motor se denominava, motor de combustão interna, que operava em quatro tempos. O primeiro tempo admite o combustível, que na época era uma mistura de ar e gás de iluminação; o segundo comprime a mistura; no terceiro a mistura é queimada e no quarto tempo ocorre à expulsão dos gases. Essa sequência segue na Figura 2 (Capelli, 2010).

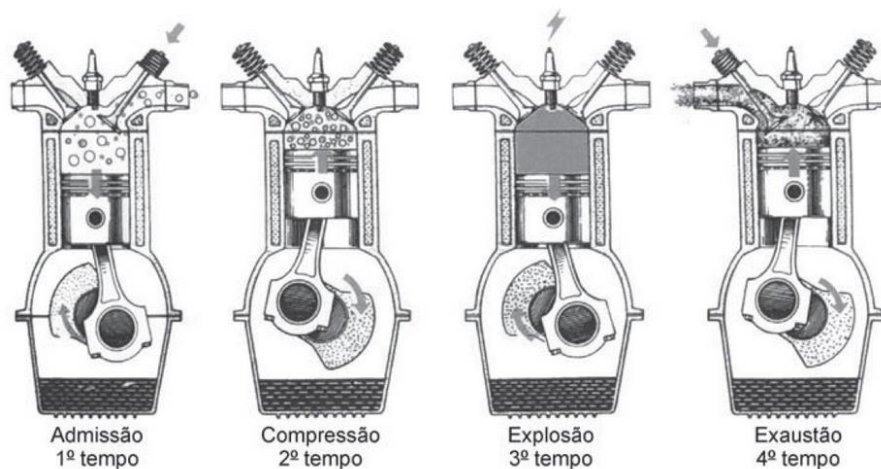


Figura 2 - Ciclo Otto (CAPELLI, 2010).

Inicialmente o sistema de alimentação de combustível e o sistema de ignição, eram realizados através de sistemas eletromecânicos que eram acionados junto aos movimentos realizados pelo motor a combustão interna. Estes sistemas eletromecânicos não leva em consideração nenhuma perturbação externa, a não ser uma abertura proporcional a entrada de ar admitido pelo motor. Essa abertura proporcional é usualmente chamada de “corpo de borboleta”, que apresenta uma válvula permitindo a entrada de ar junto ao motor. Esse conjunto de válvula e o injetor de combustível é denominada, carburador.

A relação ar/combustível que é injetado junto aos carburadores é sempre linear e invariante. Uma “mistura ideal”, é chamada estequiométrica, esta para ter-se noção de grandezas, tem-se cerca de 10.000 litros de ar para cada litro de gasolina. Essa relação estequiométrica ar/combustível ( $A/F_{(s)}$ ) varia para diferentes tipos de combustível, na tabela a seguir temos essa relação.

Tabela 1- Relação A/F estequiométrica em função do combustível (PEREIRA, 2001).

<i>Combustível</i>	<i>A/F<sub>(s)</sub> [Kg/Kg]</i>
Gasolina Pura (E0)	14.7 : 1
Etanol Anidro	9.0 : 1
Gasolina Comum	13.2 : 1
Diesel	15.2 : 1
Hidrogênio	34.0 : 1

A dificuldade é que a mistura ar/combustível não pode ser constante, devendo variar de acordo com as exigências do motor durante seu funcionamento. Por exemplo, no momento da partida com o motor frio, essa mistura deve ser mais "rica", isto é, aumentar um pouco a proporção do combustível em relação ao ar admitido, a fim de compensar o esforço das partes móveis do motor ainda sem dilatação e com maior atrito (Capelli, 2010).

Em muitos casos, a grande quantidade de combustível injetado pelo carburador não são necessárias, o que acarreta em um consumo elevado do motor. Com essa dificuldade, foi necessário inovar e implementar sensores e atuadores os quais, adquirem dados gerados pelo motor e assim auxiliam para uma utilização adequada da relação ar/combustível junto aos atuadores.

Antigamente a injeção de combustível era feito através da interação direta entre a posição do acelerador e do carburador. Hoje em dia, é feito através de um conjunto de sensores, dando a posição exata do ponto morto superior do motor (PMS). O momento em que o eletroinjeter deve ser acionado para formar a mistura ar/combustível é calculado através do PMS. A Figura 3, demonstra o momento (1) em que ocorre a admissão da mistura ar/combustível.

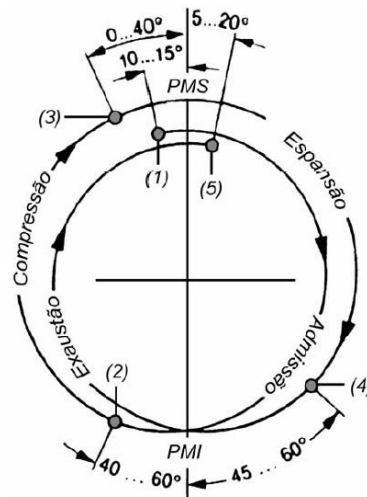


Figura 3 - Diagrama de válvulas (ADLER, 1988).

A partir de inovações pela parte da aquisição dados, foi necessário saber aproveitar essas informações, manipulando as mesmas e aplicando correções em tempo real sobre a quantidade de combustível que seria aplicado no motor através de seus atuadores. Foi necessário evoluir do carburador, para injeção de combustível através de eletroinjetores.

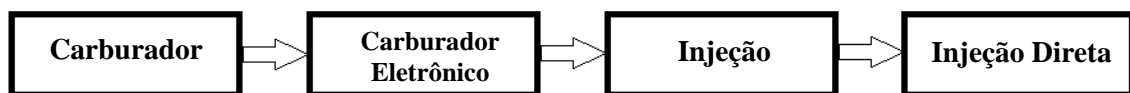


Figura 4 - Evolução de tecnologias

Os eletroinjetores são componentes capazes de controlar a quantidade de combustível injetada no motor, através de um sinal da modulação da largura de um pulso de tensão (*Pulse Width Modulation* – PWM). Em função da largura do pulso (*duty cycle*) aplicado à bobina de indução (4), o campo magnético gerado desloca a agulha (6), permitindo a passagem do combustível desde a entrada (1) até a válvula de vedação (7), montada na saída do eletroinjetor (8) (Bauer, 1999).

No instante em que a bobina de indução (4) é desenergizada, a mola (5) comprime novamente a agulha (6) contra a válvula de vedação (7), bloqueando a passagem do combustível. No momento da desenergização (*driver switch off*), ocorre o surgimento de uma tensão reversa nos terminais do eletroinjetor, induzindo na agulha (6) uma força no sentido de fechamento da válvula de vedação (7), que reduz o tempo de fechamento do eletroinjetor.



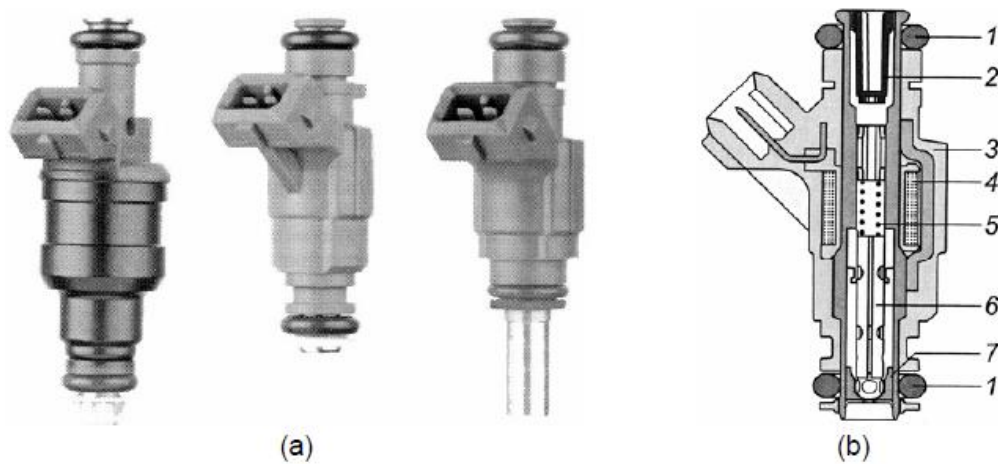


Figura 5 - Tipos de eletroinjetores (a) eletroinjetor em corte (b) (BAUER, 1999).

Essa evolução trouxe a possibilidade e a versatilidade de pode-se injetar combustível em qualquer ponto do duto de admissão do motor, assim, gerando diferentes arquiteturas de injeção de combustível, *single-point*, *multi-point* e direta. A Figura 6, demonstra como é feita a montagem destas arquiteturas.

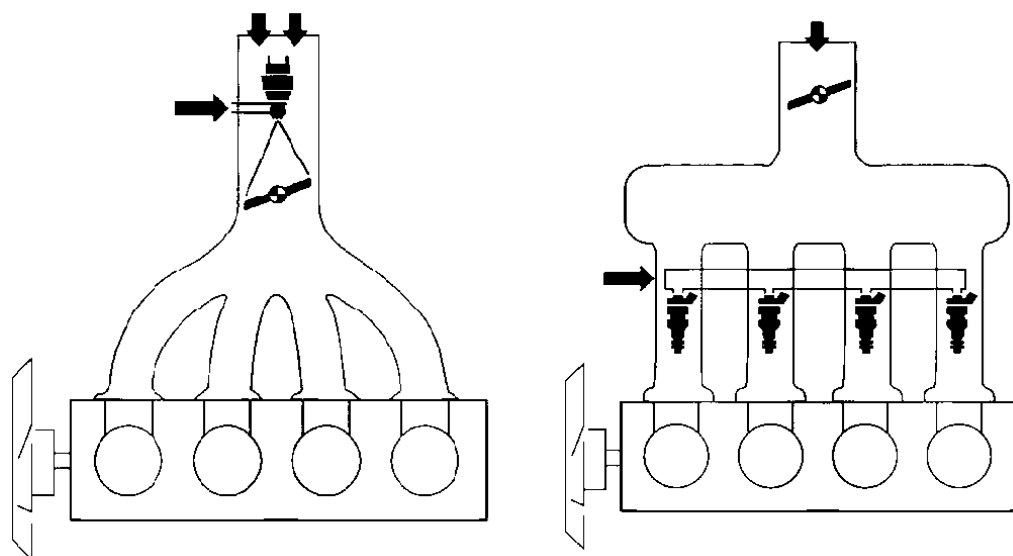


Figura 6 - *single-point* e *multi-point* respectivamente (BOSCH, 2005).

Para que esse dispositivo esteja sempre alimentado com uma pressão de combustível adequada, e seja independente se o motor está ligado ou não, as bombas mecânicas foram substituídas por bombas elétricas e foi acrescentado um regulador de pressão que permite o ajuste necessário da pressão de combustível para cada tipo de injetor e motor. A Figura 7 segue a estrutura de uma linha de combustível completa.

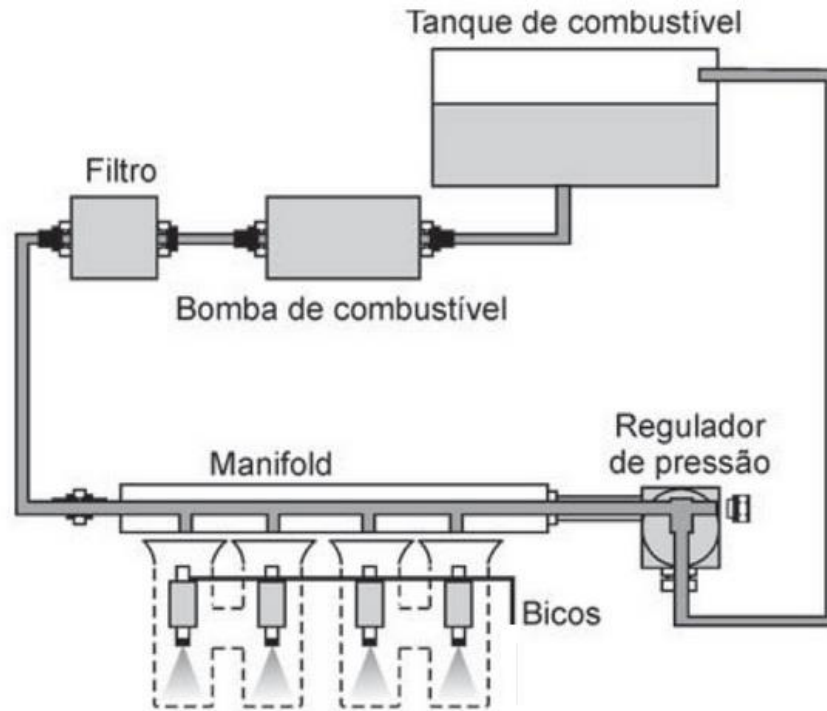


Figura 7 - Linha de alimentação de combustível (BOSCH, 2005).

Ribbens (1998) define como tempo-base de injeção ( $T_{OL}$ ), o período de acionamento do eletroinjeter, cuja unidade é definida em tempo de acionamento por rotação (*duty cycle* em ms/rev), sendo determinado segundo a

Equação 2:

$$T_{OL} = \frac{MAF}{r \cdot \left(\frac{A}{F(d)}\right) \cdot R_F}$$

Equação 2

Aonde (MAF) representa a vazão mássica de ar que está sendo admitida, ( $r$ ) rotação do motor em segundos, ( $A/F(d)$ ) relação ar/combustível desejada e ( $R_F$ ) representa a característica de vazão de combustível do eletroinjeter em função da largura do pulso aplicado para realizar sua abertura.

Para obtenção a partir da vazão massica volumétrica é necessário saber algumas informações do motor o qual vai ser trabalhado e assim aplicar a lei dos gases ideais, que tem como equação principal a Equação 3. (Manual MegaSquirt, 2016)

$$PV = nRT$$

Equação 3

Para ser obtida a temperatura e pressão do ar admitido, é instalado dois sensores junto a duto de admissão que geram esses dados. Além destes parâmetros citados anteriormente, essencial que o tipo de combustível seja reconhecido, pois este tem influencia direta da quantidade de combustível a ser injetado, através da relação estequiométrica ar/combustível.

O controle dos parâmetros de funcionamento de um motor de combustão interna, que utiliza sistemas de gerenciamento eletrônicos, realizado através dos mapas de calibração. A quantidade de combustível injetado junto ao duto de admissão é calculado e carregado em uma tabela/matriz, Figura 8. Quando o motor estiver em funcionamento ele não necessita fazer o calculo a cada ciclo, e assim só obtendo uma relação de parâmetros, interpolar entre eles, procurar na matriz qual valor encontrado em milissegundos, corresponde essa interpolação.

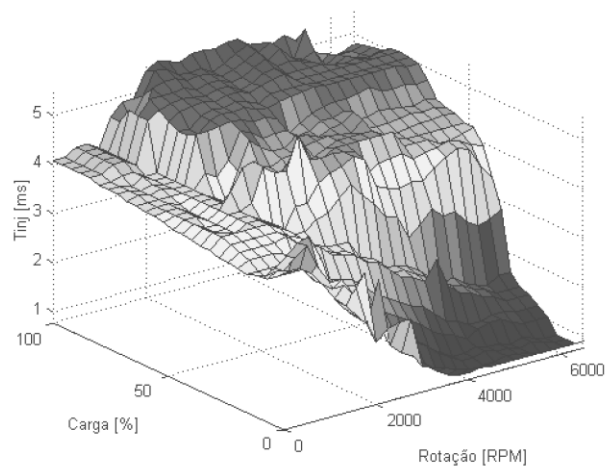


Figura 8 - Tabelas de injeção de combustível. (MEGASQUIRT MANUAL, 2016)

Assim como a tabela de injeção de combustível, de relação entre demanda de combustível e rotação, temos outras tabelas de relações diferentes como pressão do duto de admissão e rotação e vazão mássica de ar por rotação.

## 2.4 EFEITO DE LEIDENFROST E EBULIÇÃO

O efeito de Leidenfrost é um fenômeno no qual um líquido, em contato próximo com uma massa significativamente mais quente que o seu ponto de ebulição, produz uma camada isolante de vapor que previne que o líquido evapore rapidamente. (David , 2016)

Neste caso, o vapor que se forma abaixo do líquido e sobre a superfície mantém a gota em suspensão, não havendo contato direto entre o líquido e a superfície quente. Como consequência, o líquido demora mais tempo para evaporar do que demoraria caso a superfície estivesse acima da temperatura de ebulição, mas abaixo da temperatura do ponto de Leidenfrost, mas ainda acima do ponto de ebulição.

Do ponto de vista formal, chama-se Leidenfrost a temperatura à qual o tempo de evaporação total atinge um máximo e o fluxo de calor atinge um mínimo local.

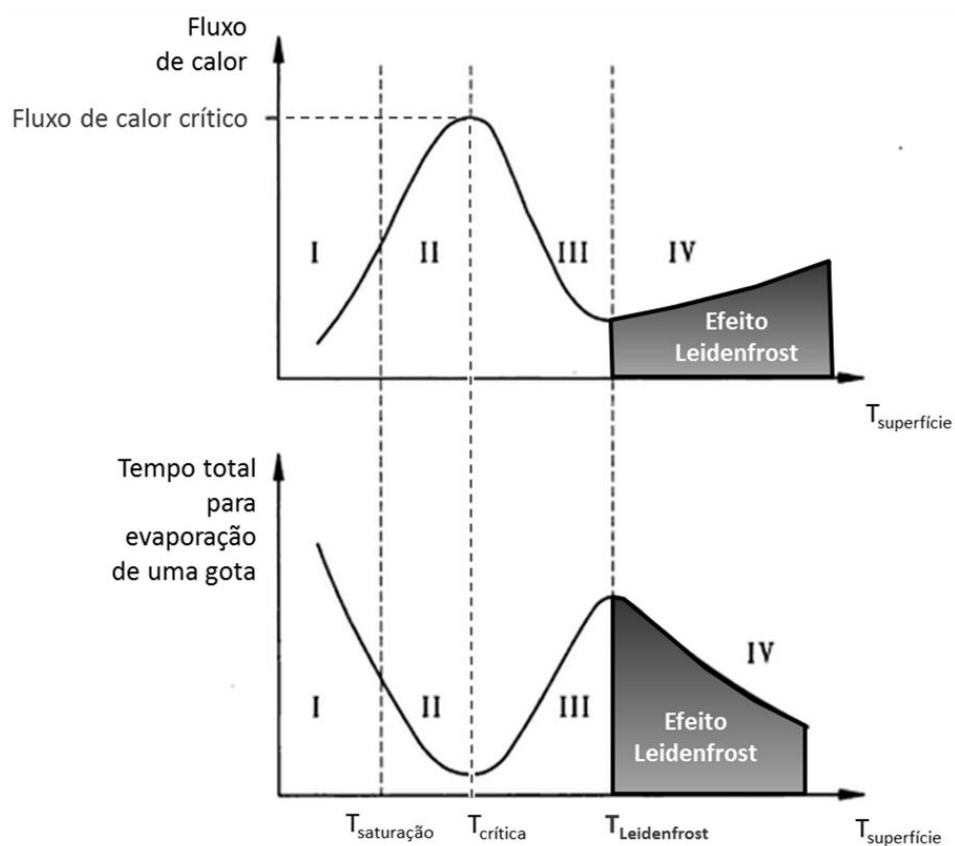


Figura 9 - Evaporação e tempo. (REIN, M. 2002)

Quando a evaporação ocorre em uma interface sólido-líquido, ela é chamada ebulição. O processo ocorre quando a temperatura da superfície  $T_s$  é superior à temperatura de saturação  $T_{sat}$  correspondente à pressão no líquido. O calor é transferido da superfície sólida para o líquido, sendo a forma apropriada da lei do resfriamento de Newton:

$$q''_s = h(T_s - T_{sat}) = h\Delta T_e$$

Na qual  $\Delta T_e \equiv T_s - T_{sat}$  é chamado de excesso de temperatura. O processo é caracterizado pela formação de bolhas de vapor que crescem e, em seguida, se desprendem da superfície. O crescimento e a dinâmica da bolha de vapor dependem, de forma complicada, do excesso de temperatura, da natureza da superfície e de propriedades termofísicas do fluido, como, por exemplo, sua tensão superficial. Por sua vez, a dinâmica da formação da bolha de vapor afeta o movimento do líquido próximo à superfície e, portanto, influencia fortemente o coeficiente de transferência de calor. (Bergman, 2014)

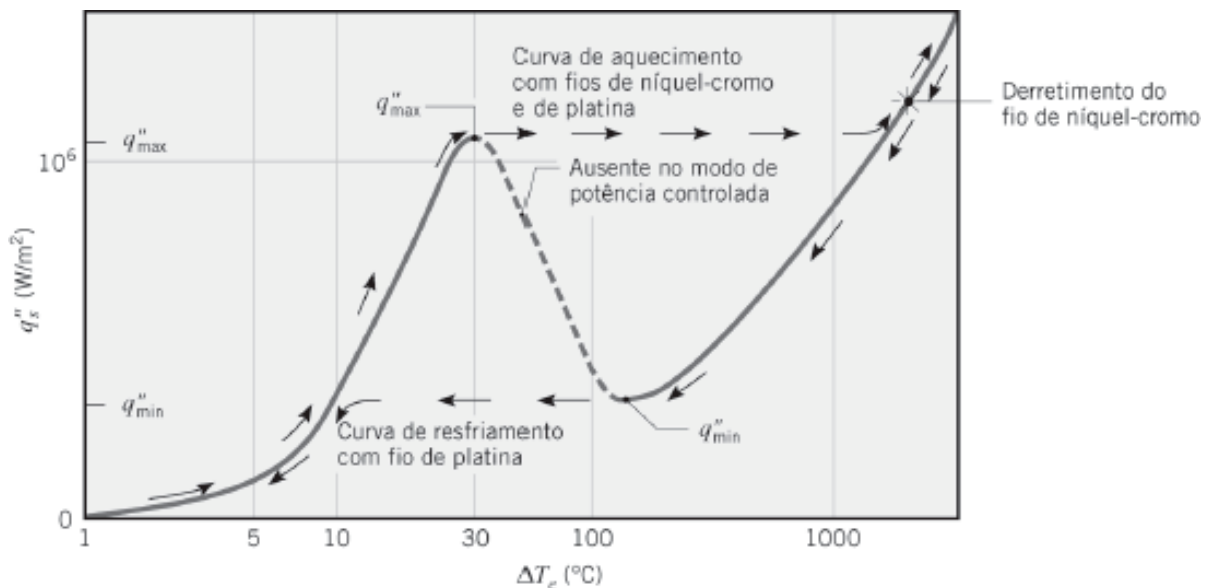


Figura 10 - Curva de ebulição de Nukiyama para água saturada a pressão atmosférica. (BERGMAN, 2014)

A partir da teoria apresentada sobre efeito de Leidenfrost e ebulição, estes serão a base para o desenvolvimento do método, tendo em vista que cada mistura apresenta curva de ebulição própria.

## 2.5 CONVERSORES DE TENSÃO CONTÍNUA

Os conversores CC-CC convertem uma tensão contínua em outra tensão contínua com valor controlado, podem ser divididos em dois tipos:

- Não isolados: não apresentam isolamento elétrico entre a entrada e a saída.
- Isolados: apresentam isolamento elétrico entre a entrada e a saída, normalmente através de transformadores em alta frequência.

Os conversores CC-CC são formados por dispositivos semicondutores e elementos passivos, os quais controlam o fluxo de energia elétrica entre suas duas fontes, a que fornece energia e a que recebe energia, Figura 11.

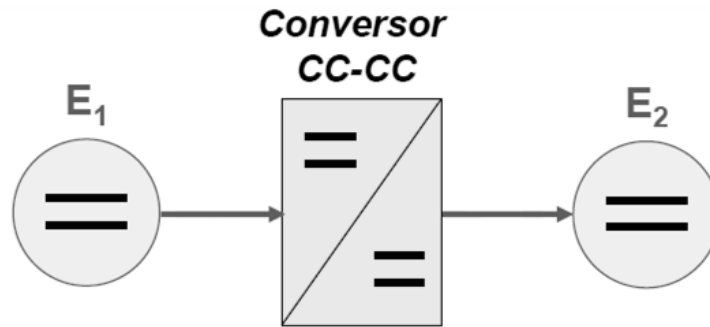


Figura 11 - Simbologia de conversores CC-CC (ARRABAÇA, 2013).

### 2.5.1 Conversor Buck

O conversor Buck é classificado como abaixador, tendo à tensão de saída sempre igual ou inferior a tensão de alimentação. A tensão de entrada ( $E$ ) é chaveada pelo dispositivo  $T$ , que pode ser um transistor, *MOSFET* ou *IGBT*. Considere-se  $V_o$  praticamente constante, por uma ação de filtragem suficientemente eficaz do capacitor de saída. Assim, a corrente pela carga ( $R_o$ ) tem ondulação desprezível, possuindo apenas um nível contínuo, a Figura 12 mostra a topologia do conversor.

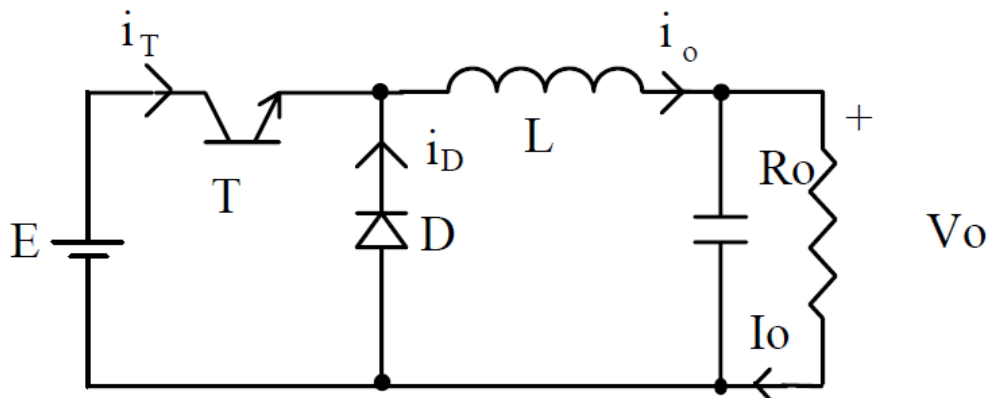


Figura 12 - Topologia conversor Buck (ARRABAÇA, 2013)

O dispositivo  $T$  opera com um período de comutação  $t$ , sendo que permanece fechado (conduzindo) durante o intervalo  $t_{on}$  e aberto (bloqueado) durante o intervalo  $t_{off}$ . Logo:

$$t = t_{on} + t_{off}$$

Equação 5

Transformando o dispositivo T em uma chave comutadora, podem-se analisar duas etapas no funcionamento do conversor Buck, a primeira  $t_{on}$ , aonde a chave encontra-se em condução, o diodo D fica bloqueado e a corrente sobre o indutor aumenta. O esquema equivalente segue Figura 13.

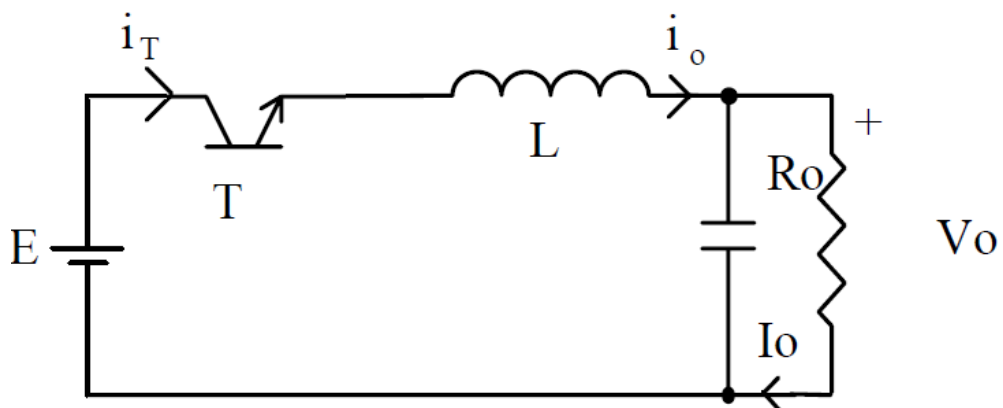


Figura 13 - Circuito equivalente  $t_{on}$  (Adaptado de ARRABAÇA, 2013).

A segunda etapa ocorre quando  $t_{off}$ , a chave encontra-se aberta, sem condução, onde o diodo passa a conduzir, dando continuidade à corrente do indutor a qual começa a decrescer. A energia armazenada em L é entregue ao capacitor e à carga. Segue na Figura 14 o circuito equivalente.

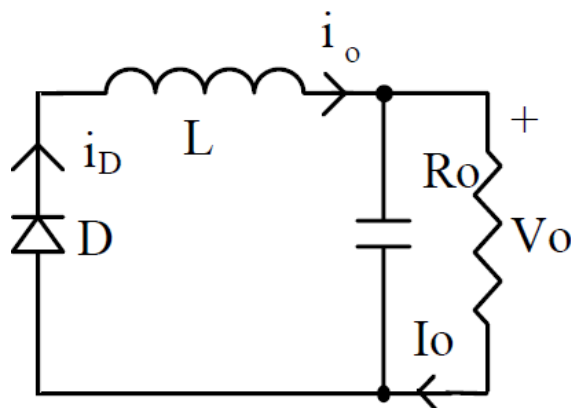


Figura 14 - Circuito equivalente  $t_{off}$  (Adaptado de ARRABAÇA, 2013).

Se a corrente pelo indutor não vai a zero durante a condução do diodo, diz-se que o circuito opera no modo contínuo. Caso contrário tem-se o modo descontínuo. Prefere-se operar no modo contínuo devido haver, neste caso, uma relação bem determinada entre a

largura de pulso e a tensão média de saída. A Figura 15 mostra as formas de onda típicas de ambos os modos de operação.

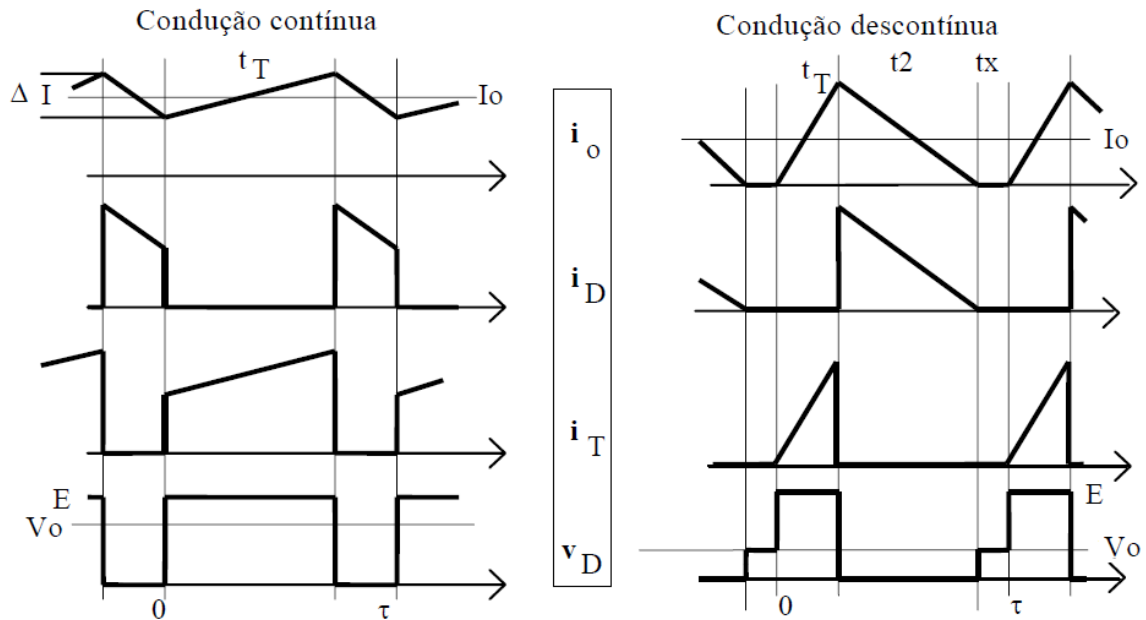


Figura 15 - Formas de onda dos modos contínuo e descontínuo (ARRABAÇA, 2013)

### 2.5.1.1 Dimensionamento dos componentes do conversor

Com base nos dados sobre as características do conversor Buck, o cálculo do indutor é realizado através da Equação 6.

$$L = \frac{(1 - D) \cdot D \cdot E}{\Delta I_L \cdot f_S}$$

Equação 6

O cálculo do capacitor pode ser feito considerando que o valor médio da corrente elétrica que flui sobre ele é positiva, ou seja, seu valor é obtido quando o capacitor opera como receptor, Equação 7.

$$C = \frac{\Delta I_L}{2 \cdot \pi \cdot \Delta V_o \cdot f_S}$$

Equação 7

A escolha do dispositivo de chaveamento do conversor necessita obedecer aos seguintes subitens:



- A tensão limite entre *Drain* e *Source* do dispositivo, deve ser maior que a tensão de alimentação da fonte;
- A corrente limite entre *Drain* e *Source* do dispositivo, deve ser maior que a corrente máxima de alimentação da fonte;
- A frequência de operação do dispositivo deve ser maior que a frequência de chaveamento do conversor Buck;

O dimensionamento do diodo, assim como o dispositivo de chaveamento, necessita obedecer aos seguintes subitens:

- A frequência de operação do diodo deve ser maior que a frequência de chaveamento do conversor Buck;
- O valor de tensão máxima entre o anodo e o catodo do diodo, deve ser maior que o valor da tensão da fonte de alimentação;
- A tensão reversa do diodo deve ser superior ao máximo valor de tensão gerado pela fonte de alimentação.

O conversor Buck será empregado para energizar o aquecimento do eletroinjeter, assim tornado possível o controle da tensão de alimentação da carga.

## 2.6 SENSORES DE TEMPERATURA

Os sensores transdutores podem ser definidos como um componente que sofre variação em uma grandeza elétrica (resistência elétrica, corrente elétrica ou tensão elétrica) de acordo com uma outra grandeza física (som, luz, temperatura, movimento, vibração, etc) desde que haja uma relação conhecida entre a variação elétrica e a grandeza física.

Sensores de temperatura obtêm a relação entre resistência elétrica e a temperatura conhecidas, mensuráveis e possuem uma boa tolerância e precisão. Por terem distorções na resistência elétrica devido à temperatura estes componentes também levam o nome de termistores. Pode-se encontrar uma variedade de sensores de combustíveis, seguem os mais comuns:

- NTC (*negative temperature coefficient*)

O sensor NTC, onde a resistência interna diminui com o aumento da temperatura, são muito utilizados. Isso ocorre devido a maior facilidade em fabricá-los e também em virtude de possuírem uma incrível sensibilidade ao aumento de temperatura. Essa característica infelizmente também traz uma desvantagem, devido à alta sensibilidade a curva de temperatura do sensor tipo NTC não é linear, apresentando um comportamento exponencial.

O termopar é um transdutor ativo que não necessita de alimentação externa, isto é, o próprio transdutor gera uma força eletromotriz. É um transdutor que basicamente tem seu funcionamento baseado na junção de dois metais diferentes, condutores ou semicondutores. Uma junção é chamada de junta de referência ou junta fria, da qual a temperatura é conhecida e a junta de medição ou junta quente se encontra no local em que se deseja medir/conhecer a temperatura. Esse efeito é conhecido como efeito termoelétrico ou efeito Seebeck. Embora praticamente se possa construir um termopar com qualquer combinação de dois metais, utiliza-se apenas algumas combinações normalizadas, isto porque possuem tensões de saída previsíveis e suportam grandes gamas de temperaturas.

As termoresistências são normalmente ligadas a um circuito de medição tipo Ponte de Wheatstone, sendo que o circuito encontra-se balanceado quando é respeitada a relação  $R_4.R_2 = R_3.R_1$  e desta forma aplicação de tensão em  $V_{EX}$  é possível obter uma relação verdadeira em  $V_o$ . Para utilização deste circuito como instrumento de medida de termoresistências, teremos a seguinte configuração:

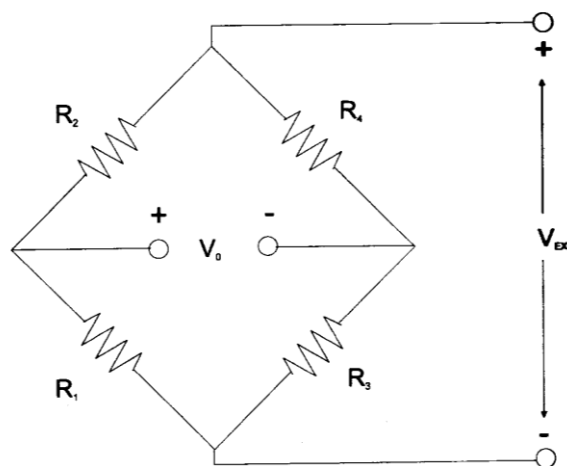


Figura 16 - Ponte de Wheatstone

Alguns dispositivos disponíveis no mercado apresentam essa estrutura interna a qual amplifica o sinal de tensão gerado pelo termopar, tornando mais simples a utilização e não necessitando a preocupação sobre circuito da ponte de Wheatstone.

## 2.7 TRABALHOS RELACIONADOS

Walker J., *“Boiling and the Leidenfrost Effect”*, aborda as características da evaporação da água e caracteriza o efeito a Leidenfrost.

Jersha V., *“Fuel Adulteration Detection System”*, discute os efeitos nocivos da utilização de combustíveis adulterados e métodos para identificação de substâncias nocivas à vida útil do motor a combustão interna e que agravam o efeito estufa.

Lepsch F., Coletto T., *“Fuel composition identification system and method and fluid composition identification method”*, apresenta uma discussão sobre um método de identificação de composição de combustível. O sistema compreende pelo menos uma resistência de aquecimento de combustível, uma unidade de controle eletrônico e o dispositivo de medição para o parâmetro de resistência de aquecimento, entre a corrente enviada à resistência e a superfície temperatura do resistor. Quando a unidade de controle eletrônico detecta uma variação, o valor da corrente de resistência de aquecimento, no decurso do intervalo de tempo ( $t_n$ ), identifica-se a composição do combustível que corresponde ao fluxo crítico de calor resultante da potência aplicada ao resistor durante esse intervalo de tempo.

Felix V., Ganesan K., *“Fuel adulteration detection system”*, apresenta uma discussão sobre alguns métodos para a detecção de combustíveis adulterados, como o método de processamento de imagem, o método de raios infravermelho.

Sari R., *“Avaliação da utilização de etanol com elevados teores de água em motores de combustão interna com ignição por centelha”*, apresenta uma avaliação sobre resultados obtidos em bancada e estudos numéricos sobre a possibilidade da utilização de etanol com elevados teores de água em motores a combustão interna com ignição por centelha.

### **3. METODOLOGIA E RESULTADOS**

O desenvolvimento do estudo proposto foi iniciado com uma revisão bibliográfica a qual tinha como intuito a justificativa e o embasamento teórico sobre a pesquisa a ser desenvolvida.

A partir de Lepsch F.(2013), foi escolhida uma topologia de desenvolvimento do projeto de identificação de combustível, o qual através das observações deste autor escolheu-se um eletroinjeter com aquecimento interno, para o aquecimento do combustível e um sensor para medição da temperatura.

#### **3.1 ELETROINJETOR AQUECIDO**

Foi escolhido equipamento Delphi Multec<sup>®</sup> 3.5, eletroinjeter de combustível com ponta aquecida. Devido ao alto ponto de inflamação do etanol, aproximadamente 15°C, o aquecimento do combustível torna-se necessário para permitir a formação de uma mistura inflamável a baixas temperaturas, assim facilitando a partida a frio e também reduz as emissões de partida a frio com misturas de gasolina.



Figura 17 - Delphi Multec® 3.5

O eletroinjeter é constituído por dois sistemas, o primeiro sistema é o de injeção de combustível que é controlado através de um pino que abre e fecha a saída do eletroinjeter (2). O segundo sistema consiste e uma resistência térmica (1), acoplada junto a uma superfície metálica (3) a qual fica em contato ao combustível que será liberado do eletroinjeter Figura 18.

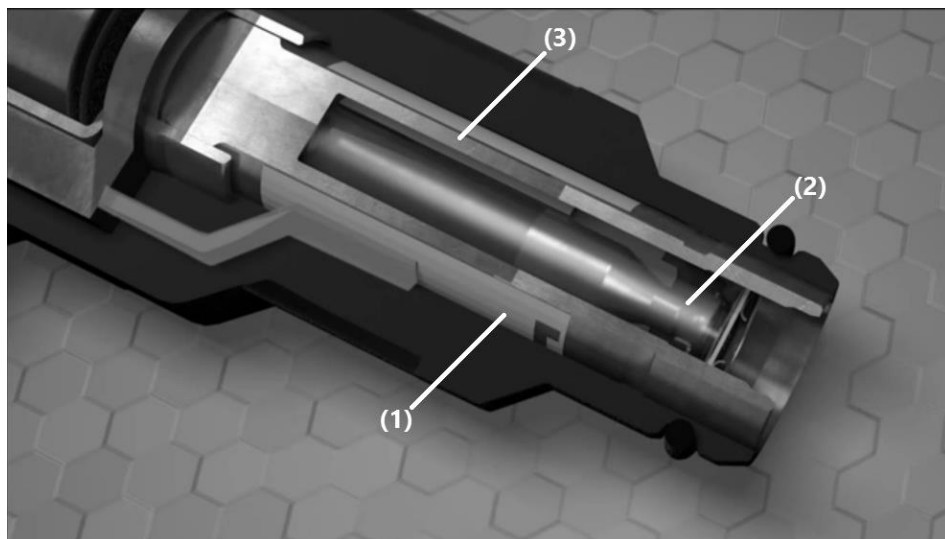


Figura 18 - Estrutura interna do eletroinjeter

### 3.2 SENSOR PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

Para a escolha do sensor, levou-se em conta primeiramente a utilização de um sensor comum e barato, que pudesse ser facilmente adquirido e de fácil utilização.

Para a utilização do sensor NTC, foi necessário a implementação de um divisor resistivo para ser observada essa variação da resistência e assim obter uma tensão de referência  $V_s$  Figura 19.

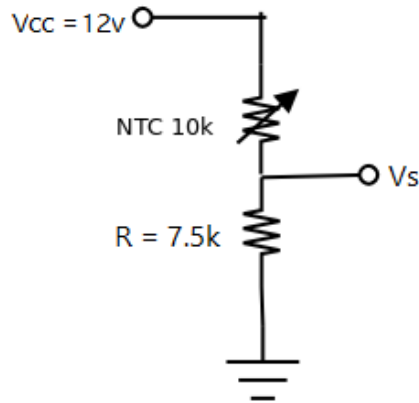


Figura 19 - Divisor resistivo

Através da tensão de referência obtida junto ao divisor resistivo, tornou-se necessário à calibração do sensor para obter-se uma relação entre a tensão  $V_s$  e a temperatura que o sensor está medindo. A calibração foi realizada através de uma fonte de tensão controlada, de um recipiente com temperatura controlada, aqueceu-se a água até seu ponto de ebulição para ser obtida uma temperatura máxima e foi medida essa temperatura e concomitantemente, mediu-se a tensão no divisor resistivo, referente à variação de resistência do sensor NTC. Após essa medição, realizou-se o monitoramento da temperatura da água presente no recipiente e a cada decréscimo de dois graus se analisou junto a um termômetro instalado do lado do sensor, anotou-se os valores de temperatura e a tensão de saída do divisor resistivo. Foram realizadas três amostras, e através da média dessas, gerou-se um gráfico de calibração, Figura 20.

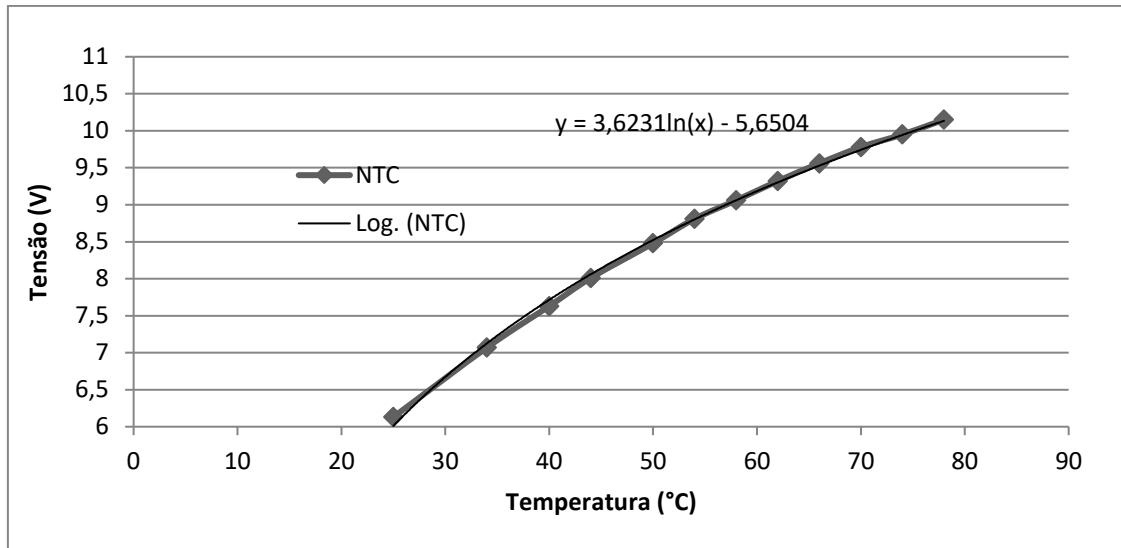


Figura 20 - Gráfico para a obtenção da equação característica do sensor.

Após realização dos primeiros testes junto ao sistema de alimentação de combustível e o eletroinjeter aquecido, foi verificada a ineficiência da medição de junto ao sensor NTC. Sua estrutura física não é compatível com as necessidades do projeto, tendo em vista que a medição de temperatura tem de ser realizada o mais próximo possível da entrada da alimentação de combustível do eletroinjeter, Figura 21. Assim tornou-se necessário uma nova abordagem junto ao sensor de temperatura, escolheu-se implementar um termopar junto ao sistema.

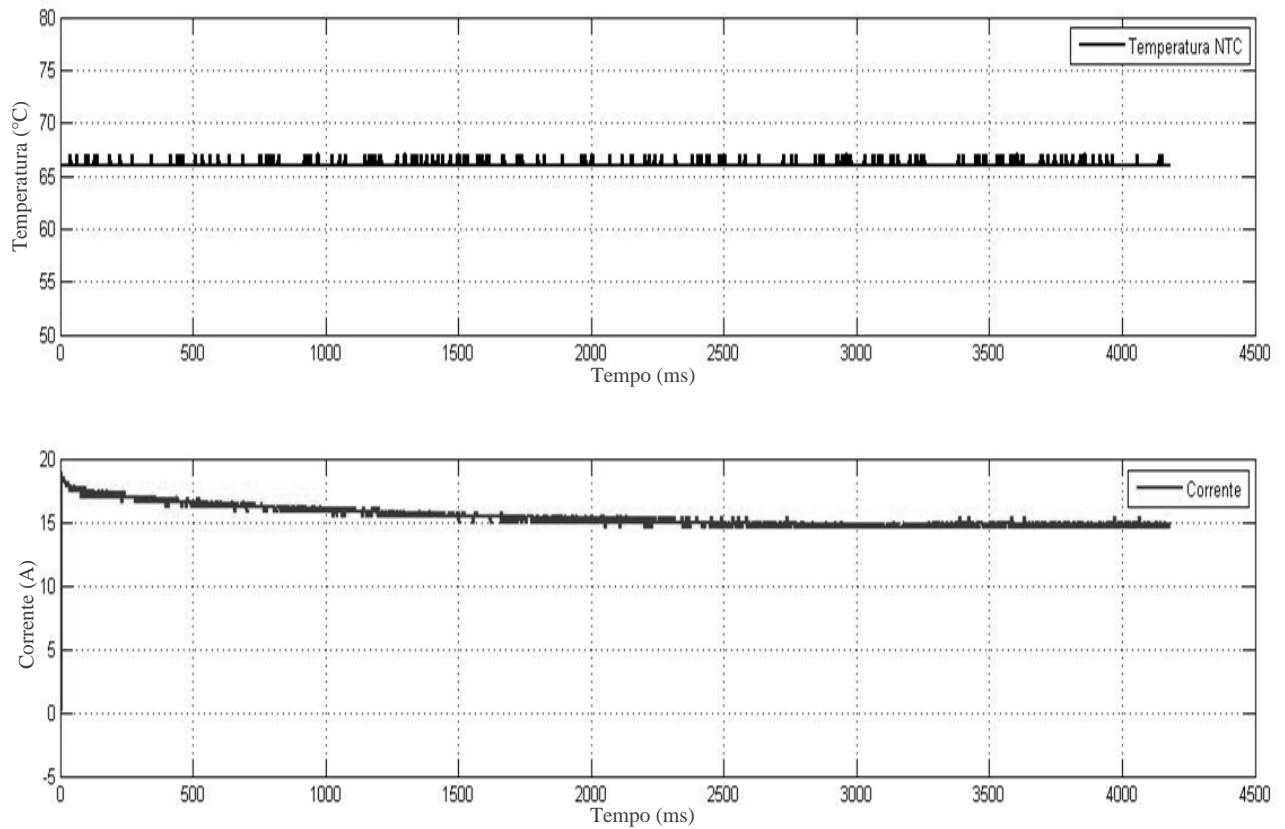


Figura 21 - Corrente de 60% de etanol e 40% água e leitura de temperatura NTC

Para o desenvolvimento do sistema de medição de temperatura, escolheu-se um termopar do tipo K. O termopar tipo K é um termopar de uso genérico, tem um baixo custo e devido à sua popularidade estão disponíveis variadas sondas. Cobrem temperaturas entre os  $-200$  e  $1200^{\circ}\text{C}$ , tendo uma sensibilidade de aproximadamente  $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ . Utiliza-se em conjunto com o termopar, um transmissor de temperatura *TxBLOCK*, este apresenta internamente o circuito de amplificação do valor de tensão gerado pelo termopar, esse dispositivo permite uma ligação simples e acessível. Não tornasse necessária a compensação de junta fria no dispositivo, pois este já o faz. A Figura 22 apresenta seu esquema de ligação.



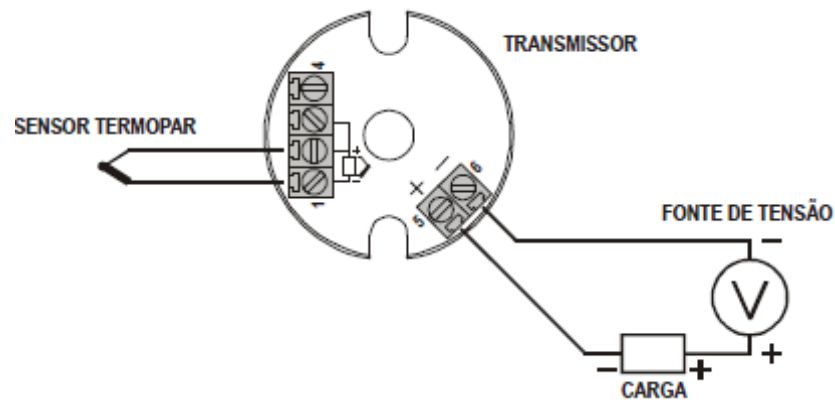


Figura 22 - Esquema de ligação entre termopar e TxBlock

### 3.3 VALIDAÇÃO DA TEORIA

Buscando a comparar o efeito de Leidenfrost e o processo de ebulição nos resultados preliminares, nos primeiros testes foram utilizados os seguintes componentes:

- Uma bomba de combustível;
- Um regulador de pressão, para manter a pressão de combustível adequada no sistema de alimentação de combustível;
- Conjunto de mangueiras, para ligação entre os componentes;
- Um termopar do tipo K;
- Um transmissor de temperatura *TxBLOCK*;
- Um eletroinjeter aquecido;
- Ponteira de Corrente AC/DC 100A.
- Osciloscópio digital 200 MHz com 4 canais TEKTRONIX®

Através do sistema desenvolvido, o objetivo nos primeiros testes eram obter valores de corrente de alimentação do aquecimento no eletroinjeter, e posteriormente, comparar com os valores de temperatura encontrados com o termopar com os gráficos da Figura 9 e Figura 10.

Os primeiros resultados foram obtidos para a verificação do comportamento da corrente junto ao aquecimento do eletroinjeter.

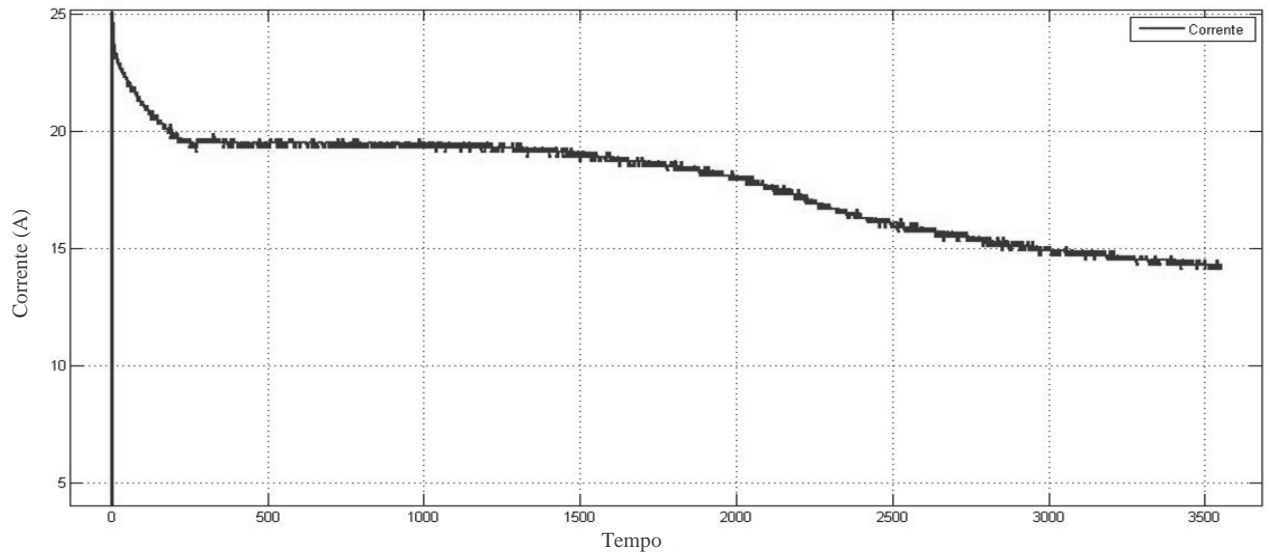


Figura 23 - Corrente de 60% de etanol e 40% água

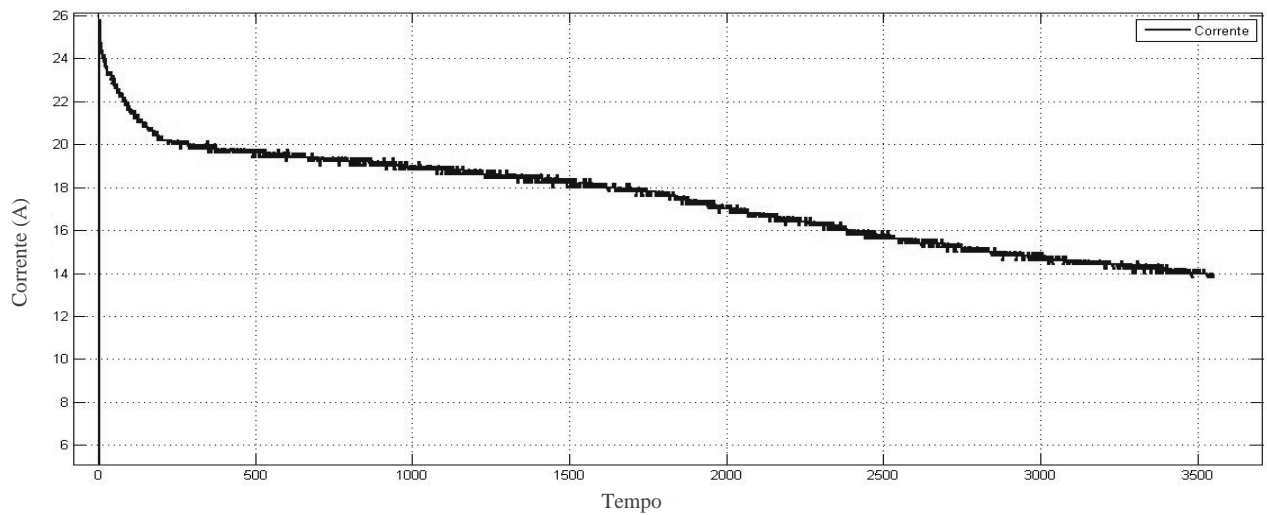


Figura 24 - Corrente de 80% de etanol e 20% água

Após a observação do comportamento da corrente elétrica, a instalação e aquisição de dados do sensor termopar tornaram-se necessário para a validação do efeito de Leidenfrost.

Tornou-se possível verificação que como apresentado na Figura 10, o comportamento da temperatura na mistura segue uma característica e quando a mesma atinge sua temperatura crítica, se mantém constante. A corrente de alimentação do sistema de aquecimento no eletroinjeter tem a sua taxa de decrescimento intensificada quando comparada com a mesma antes de atingir o ponto crítico da mistura. Esse efeito pode ser explicado através do fluxograma junto a Figura 25.

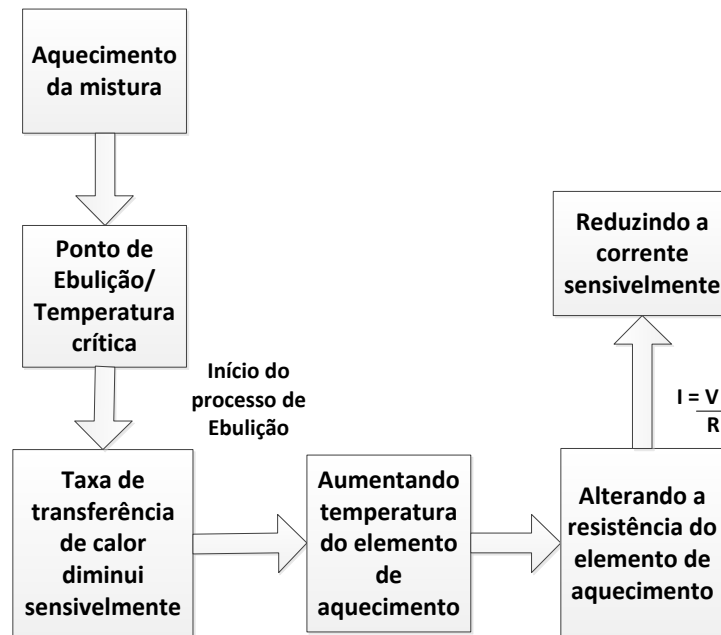


Figura 25 - Fluxograma de validação

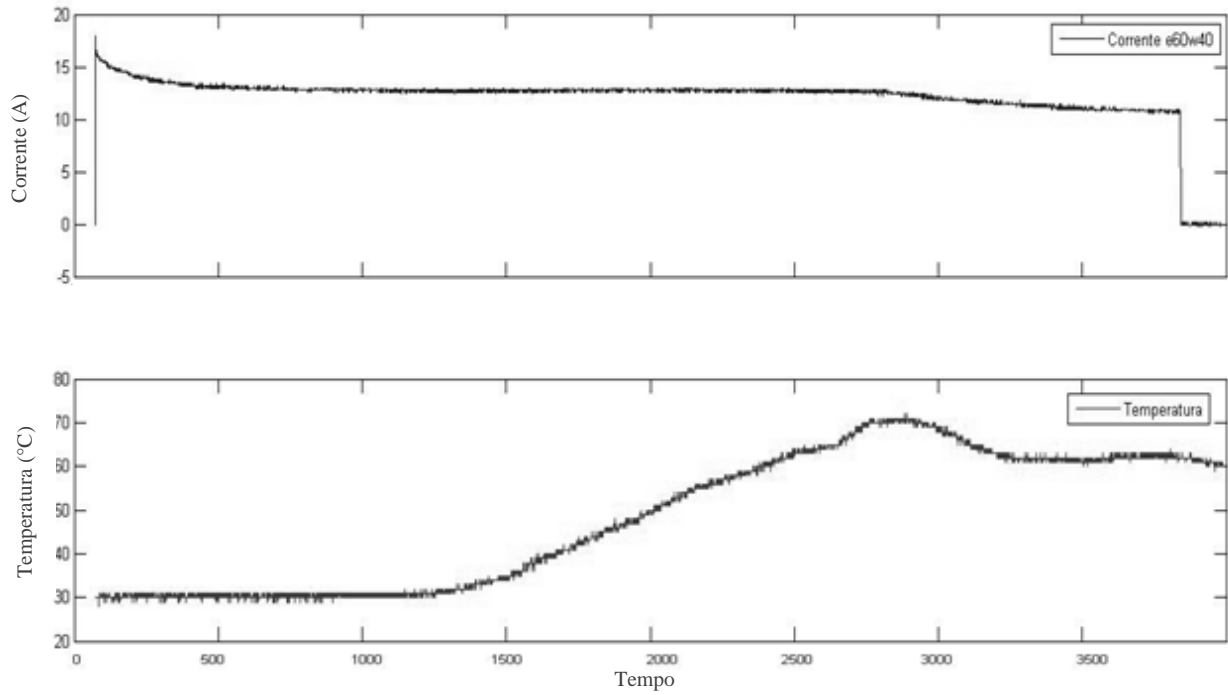


Figura 26 - Corrente de 60% de etanol e 40% água e leitura de temperatura termopar

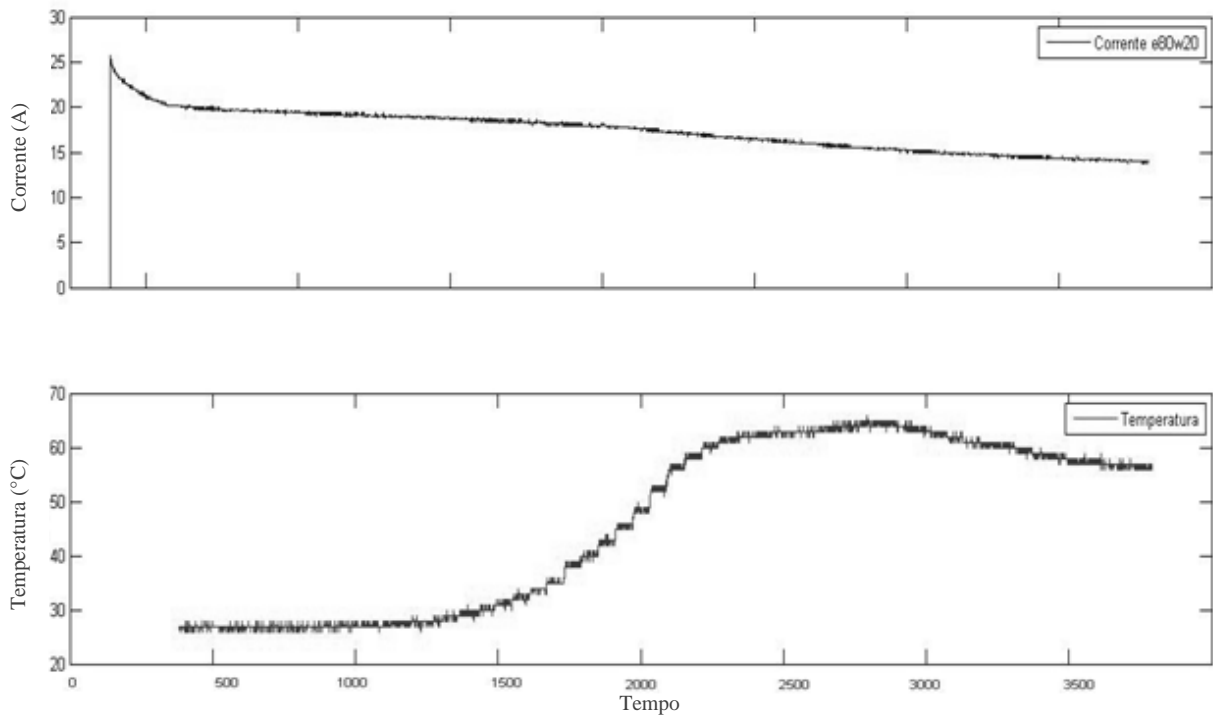


Figura 27 - Corrente de 80% de etanol e 20% água e leitura de temperatura termopar

Para verificação do comportamento de todas as misturas, foram realizados repetidos testes. Três vezes através das mesmas misturas para caracterização e comprovação, constatou-

se que o comportamento da corrente junto ao aquecedor do eletroinjetor é sempre semelhante. A seguir, um dos testes junto à mistura de 60% etanol e 40% água.

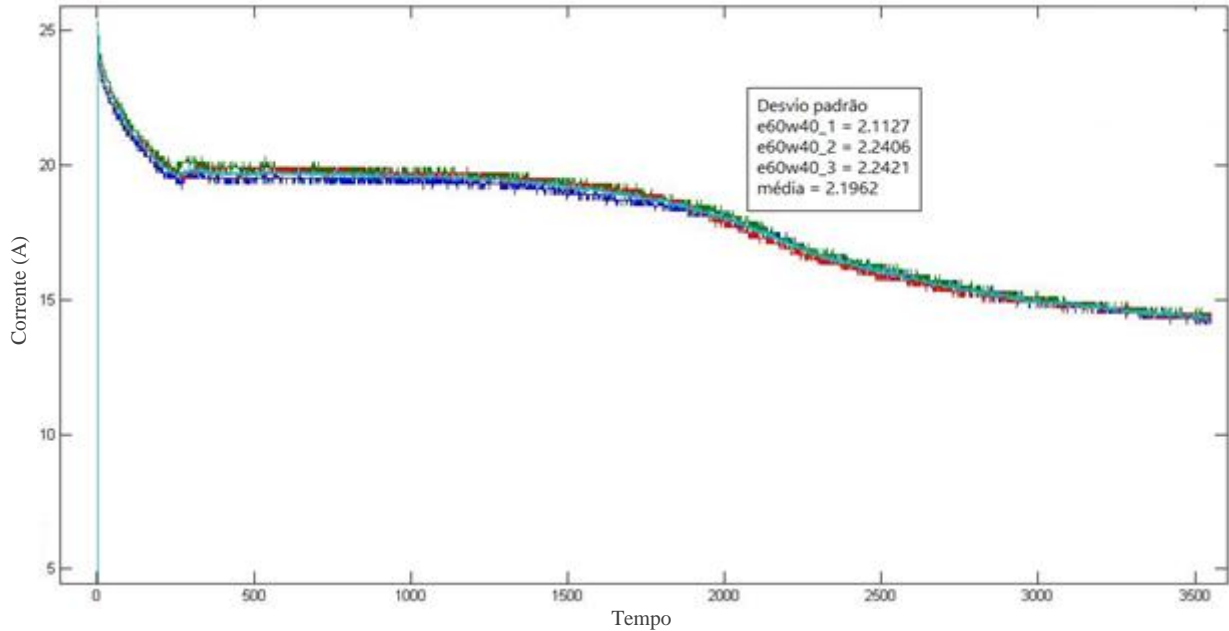


Figura 28 - Relação de comparação entre a média encontrada e as leituras de corrente da mistura E60W40

Com o estudo feito através dos dados obtidos confrontando junto ao fluxograma desenvolvido, tornou-se necessário manter um parâmetro de tensão da bateria para que fosse possível gerar um comparativo e uma relação entre a característica da corrente e a mistura testada. Realizaram-se cinco testes por amostra de mistura. Nestes foram obtidos os seguintes resultados com o auxílio do *software* MATLAB<sup>®</sup>, sendo que os valores encontrados são apresentados na Tabela 2:

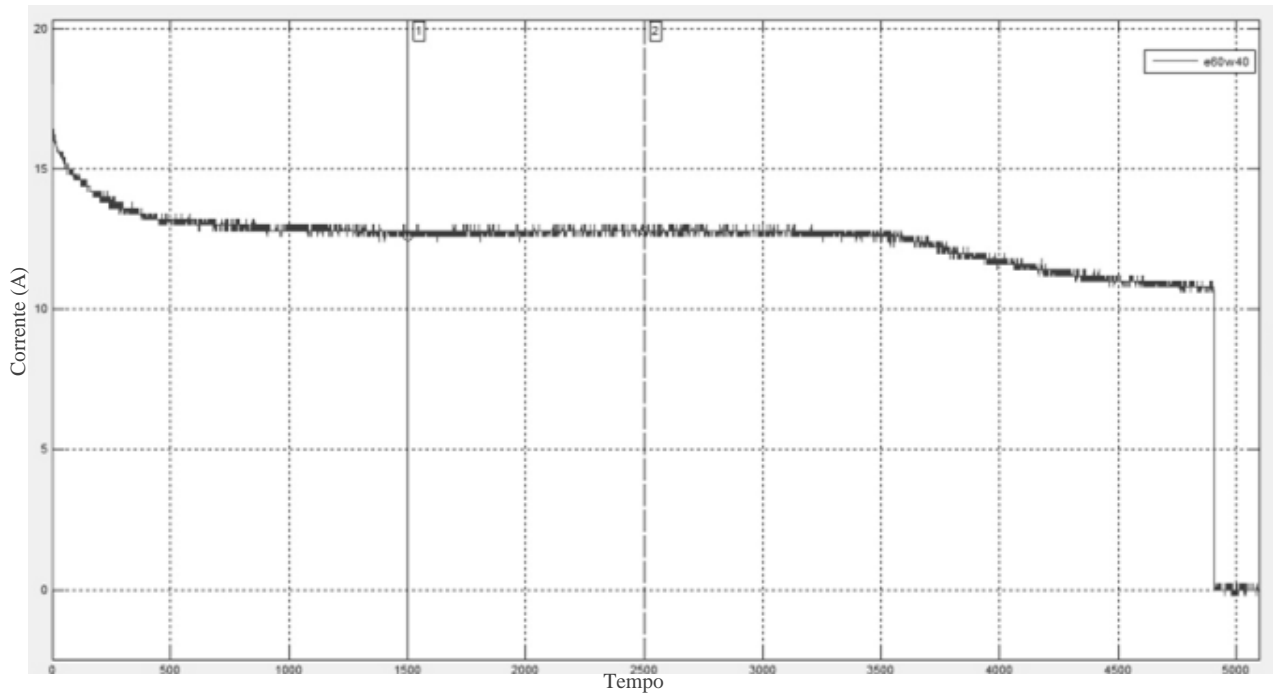


Figura 29 - Média dos testes com o E60W40 e cálculo do  $\Delta$  antes do ponto de ebulição

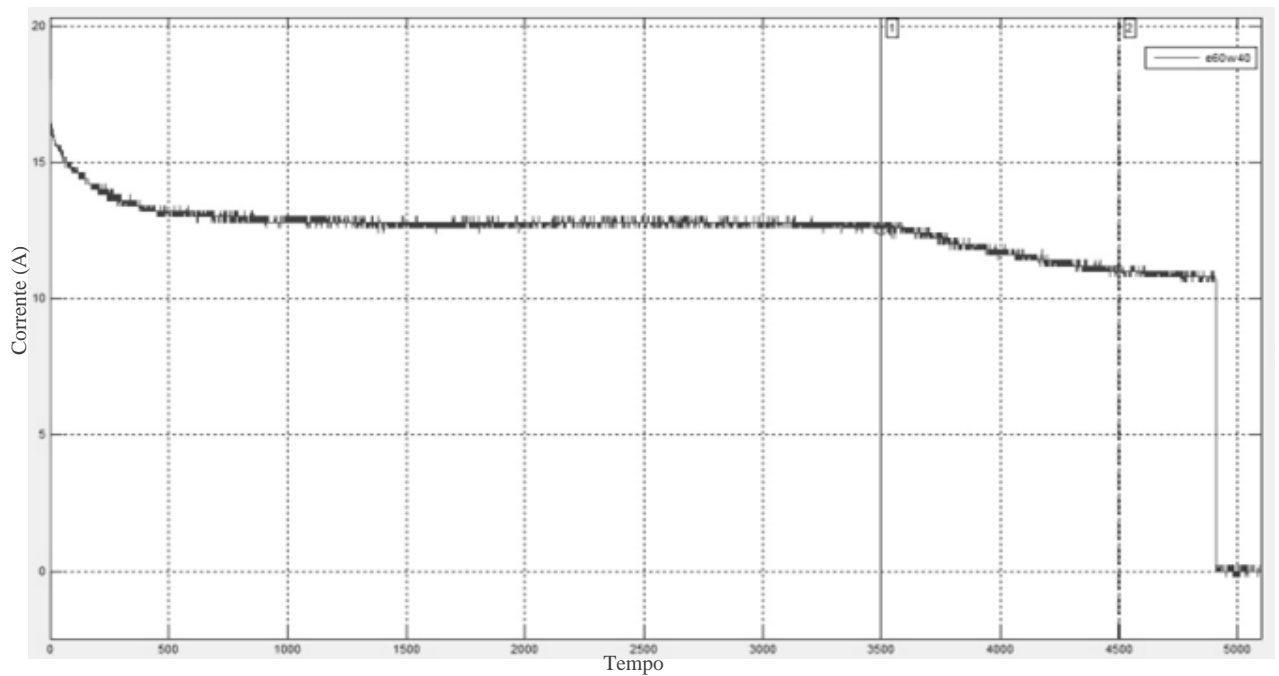


Figura 30 - Média dos testes com o E60W40 e cálculo do  $\Delta$  após o ponto de ebulição

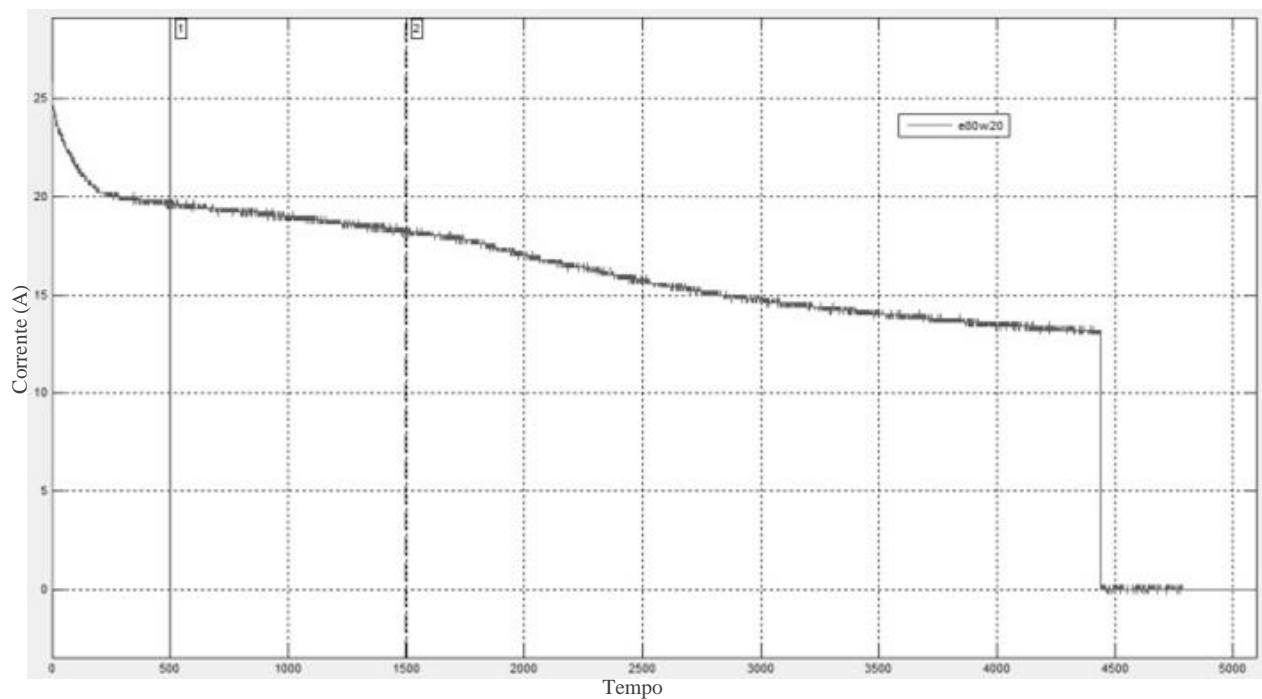


Figura 31 - Média dos testes com o E80W20 e cálculo do  $\Delta$  antes do ponto de ebulição

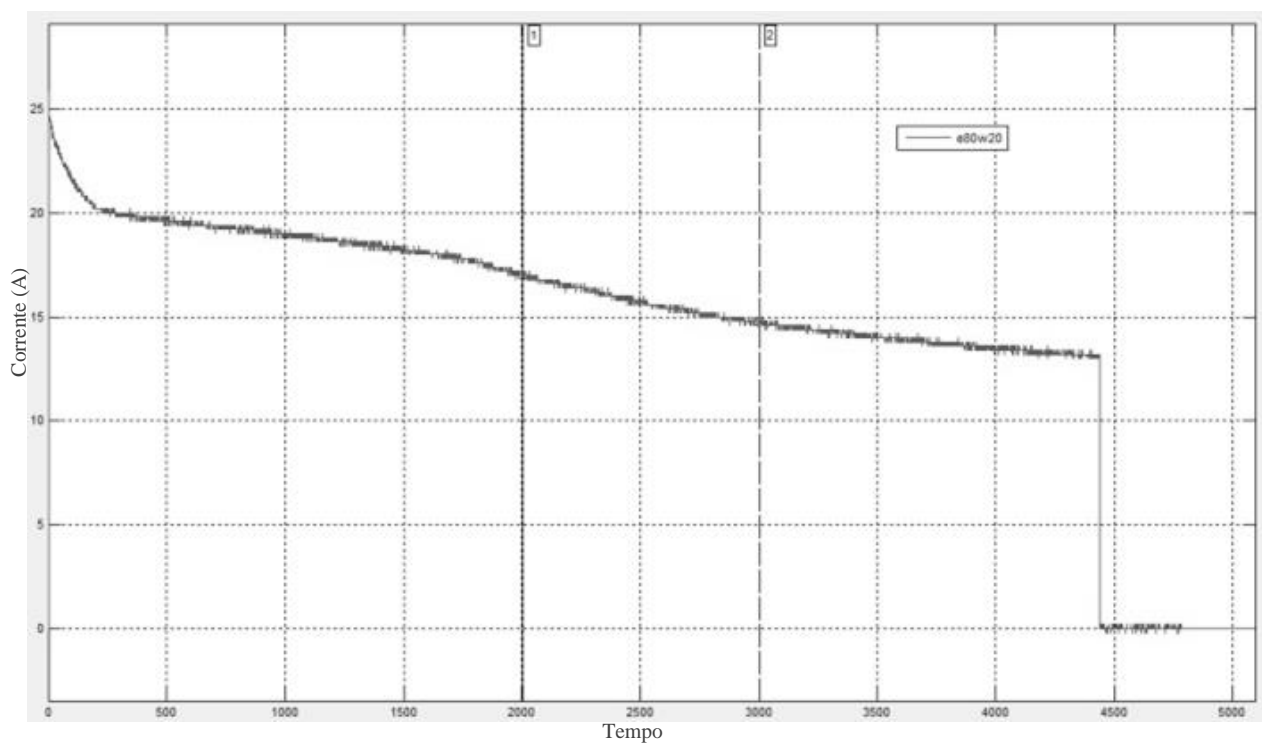


Figura 32 - Média dos testes com o E80W20 e cálculo do  $\Delta$  após o ponto de ebulição

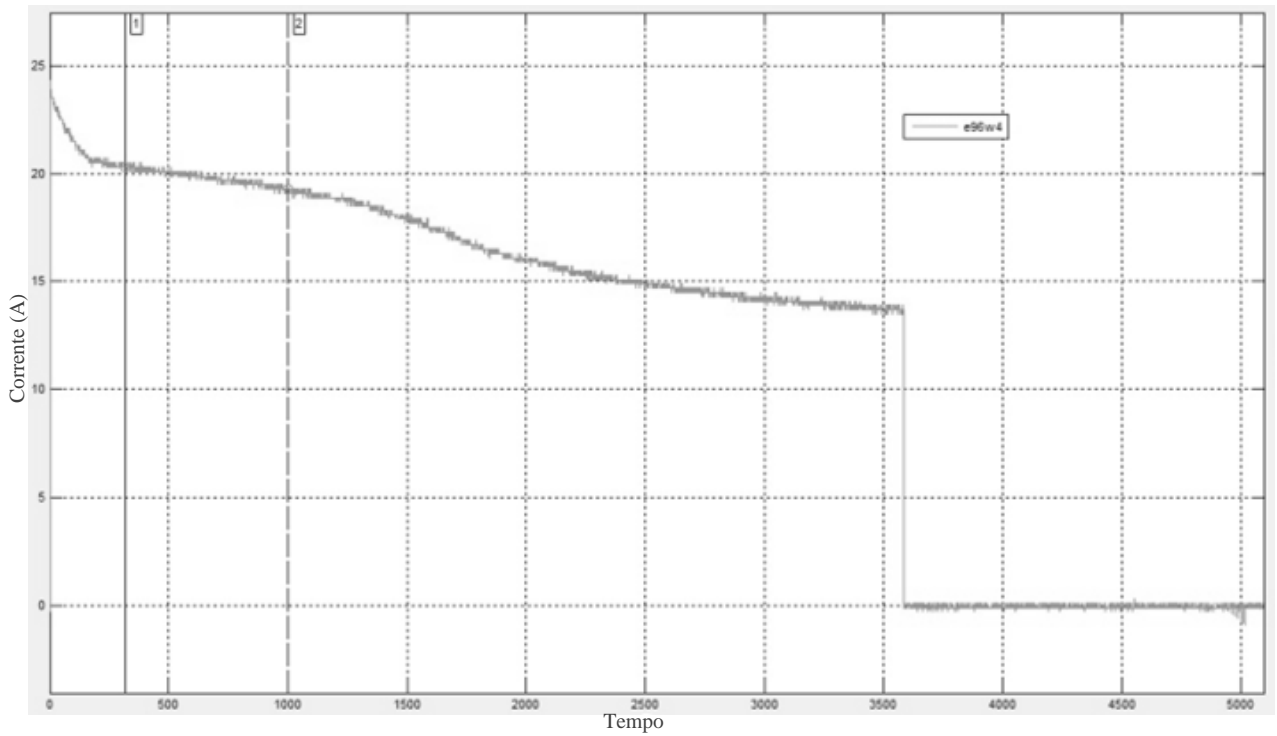


Figura 33 - Média dos testes com o E96W04 e cálculo do  $\Delta$  antes do ponto de ebulição

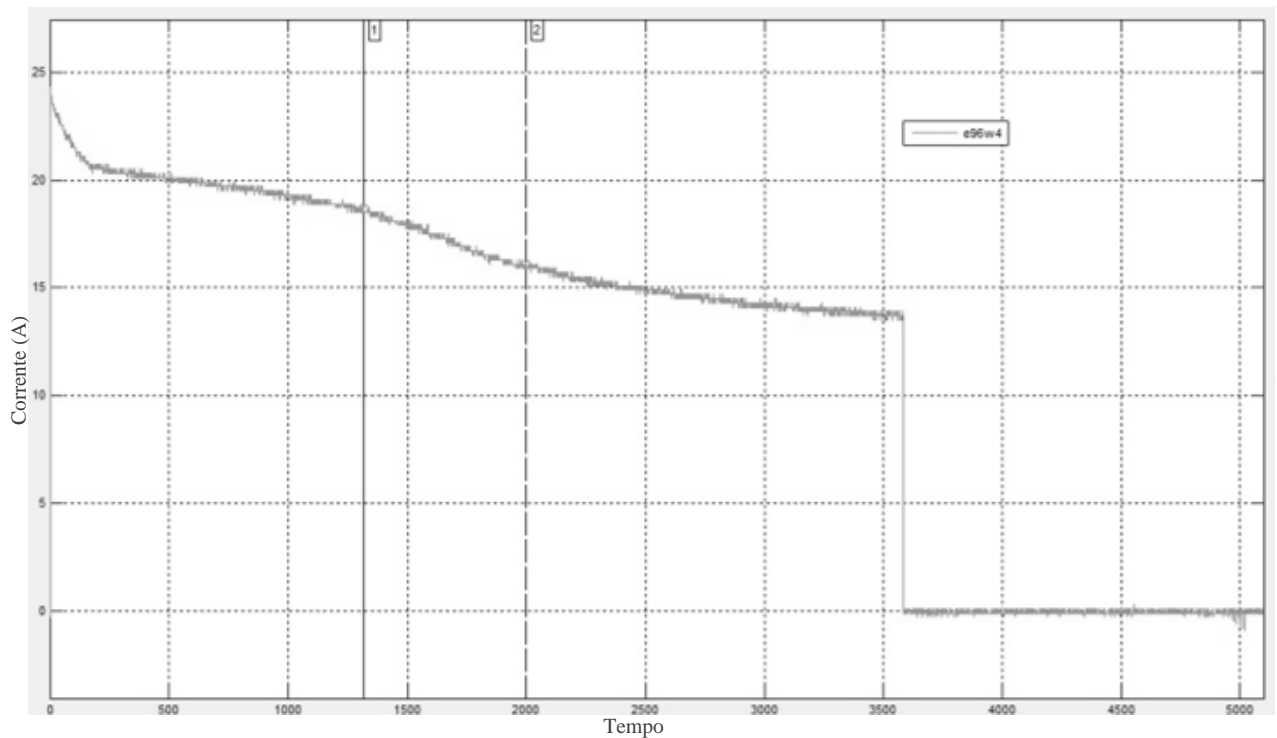


Figura 34 - Média dos testes com o E96W04 e cálculo do  $\Delta$  após o ponto de ebulição

A unidade de tempo presente nas figuras a cima, para a conversão para segundos, necessita ser multiplicada por 0.0038, valor o qual foi observado junto ao osciloscópio, *Interval Sample*.



Tabela 2 - Relação de variação de corrente antes e após o ponto de ebulição

<b>Mistura</b>	<b><math>\Delta</math> corrente antes do ponto de ebulição, em 1 segundo.</b>	<b>Tempo para atingir o ponto de ebulição</b>	<b><math>\Delta</math> corrente após o ponto de ebulição, em 1 segundo.</b>
E60W40	$\Delta \approx 0.189A$	$t \approx 13.3s$	$\Delta \approx 1.407A$
E80W20	$\Delta \approx 1.456A$	$t \approx 5.7s$	$\Delta \approx 2.256A$
E96W04	$\Delta \approx 1.000A$	$t \approx 3.8s$	$\Delta \approx 2.558A$

Os resultados encontrados permitem o desdobramento da pesquisa, afirmando o efeito de Leidenfrost presente e demonstrando que cada tipo de mistura apresenta uma temperatura crítica distinta, passível de ser evidenciada através do método a ser desenvolvido.

A partir destes dados, identificou-se a melhor abordagem para o desenvolvimento do método de detecção da fração volumétrica de água contida no etanol. A aplicação de potência elétrica constante torna-se o método escolhido.

### 3.4 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO

A partir da validação junto aos dados iniciais, foi possível delimitar os encaminhamentos seguintes e assim, projetar o breve cronograma a seguir:

Tabela 3 - Sequência de atividades

<b><i>Atividade</i></b>	<b><i>Descrição</i></b>
Projeto Conversor	Consiste em simular o conversor e projetar seus componentes.
Lei de controle	Projetar e simular a lei de controle do conversor
Desenvolvimento do <i>software</i>	Código fonte responsável por gerenciar o conversor e o método de identificação
Montagem	Confecção e aquisição dos componentes do Buck
Testes	Testes finais e comprovação do método

### 3.4.1 Projeto Conversor

Como o projeto visa o rebaixamento da tensão, escolheu-se o conversor CC-CC Buck, pois o mesmo apresenta ganho nulo e o que melhor se adequa ao projeto, sendo robusto e de simples controle. Com o conversor definido, foram calculados seus componentes. Primeiramente o indutor e em seguida o capacitor, pois o mesmo necessita do valor do indutor para ser calculado, os valores são os seguintes:

- $L = 300\mu\text{H}$
- $C = 127\mu\text{F}$
- Diodo Ultra Rápido 60A
- Mosfet 50A/60V

Com a assimilação dos componentes e a identificação da resistência equivalente, medida no aquecimento do eletroinjetor que foi de  $0.65\Omega$ , realizou-se simulações junto ao software PSIM<sup>®</sup> para identificar o comportamento do conversor.

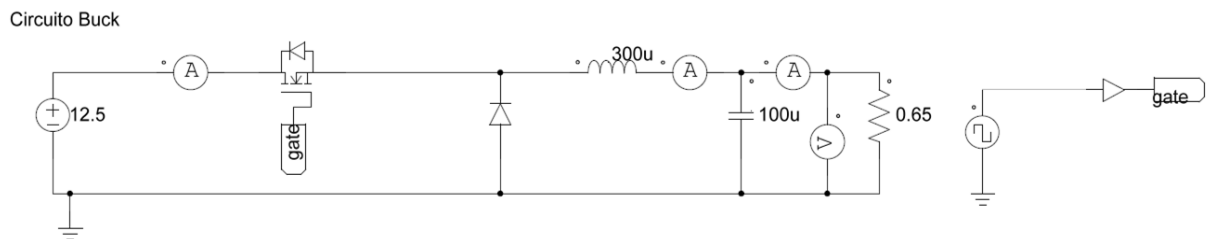


Figura 35 - Circuito Buck simulado

### 3.4.2 Lei de controle

Com os valores da simulação, tornou-se viável verificar um *hipple* de tensão maior que o esperado. Após a validação da lei de controle, será verificada a necessidade de alterar ou não o valor do capacitor. Para o início do desenvolvimento da lei de controle é essencial gerar uma equação de estado do conversor Buck desenvolvido.

$$G(s) = \frac{4 \cdot 10^8}{s^2 + 1,538 \cdot 10^4 \cdot s + 3,333 \cdot 10^7}$$

Foi realizada uma simulação para validar a equação de estado junto ao circuito do conversor Buck.

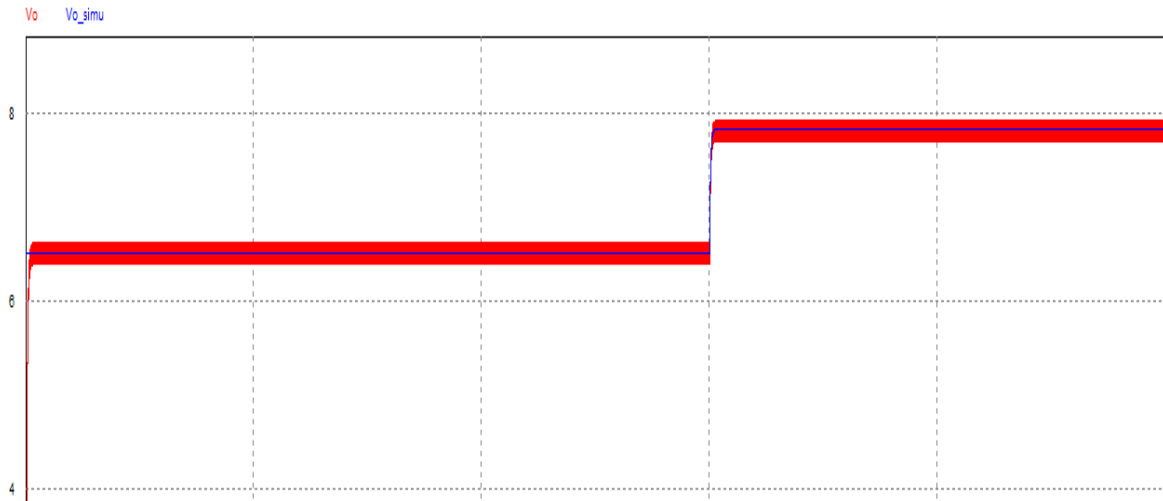


Figura 36 - Comparativo entre conversor simulado e sua equação de estado

Na Figura 36 em azul, tem-se o valor simulado do circuito real e em vermelho, tem-se a simulação gerada a partir da equação de estado do conversor Buck. Pode-se verificar que a equação de estado é válida e representa fielmente o conversor projetado. Inseriu-se a mesma equação no *software* MatLab® e com o auxílio da ferramenta “SisoTool” foram analisadas as possibilidades, e então, optado por realizar uma lei de controle simples, um Compensador Proporcional e Integral, um PI. Na ferramenta do *software* foi adicionado um “zero” real na posição de:

$$\omega = 2 * \pi * f$$

Equação 9

Onde  $f$  é igual a 100Hz pelo fato de que a frequência de cruzamento está em 1kHz. Assim com o efeito do “zero” a frequência termina uma década depois, chegando em 1kHz e não modificando a fase. A partir da análise dos gráficos da Figura 37, e manipulou-se estes através de alguns parâmetros encontrados em Katsuhiko (2011), para que a lei de controle tornar-se estável, controlável e robusta, fez-se necessário obedecer a uma série de preceitos, entre eles:

- A frequência do controlador deve ser no máximo 1/10 da frequência do conversor a ser controlado, logo,  $f_c < 1000\text{Hz}$ ;

- A margem de fase não pode ultrapassar de 70 graus.

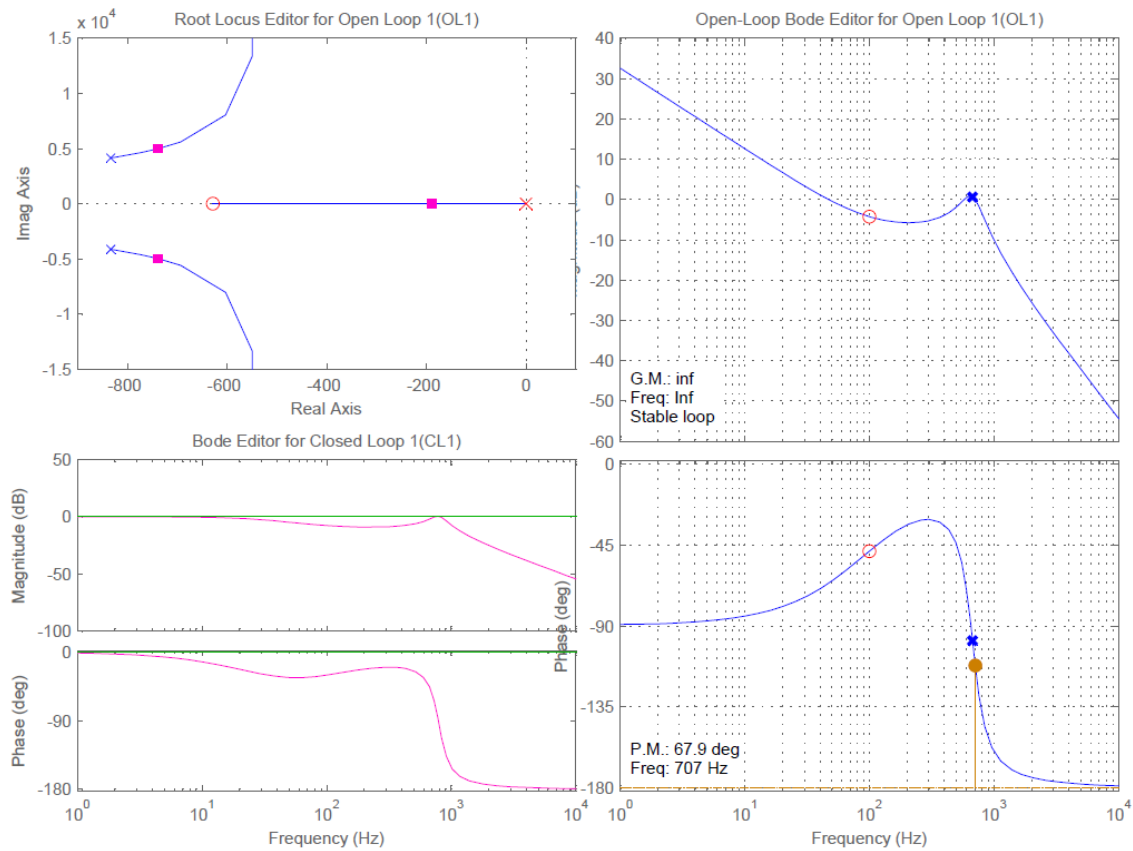


Figura 37 - Referências para lei de controle

Como pode ser observado na Figura 37, a margem de fase e a frequência do controlador obedeceram aos dois subitens e geraram a seguinte lei de controle:

$$C(s) = \frac{0,032544 \cdot s + 20,4351}{s}$$

Equação 10

De acordo com a lei de controle identificada, gerou-se uma série de simulações que comprovaram que seria necessário aumentar o valor do capacitor de  $100\mu\text{F}$  para  $1000\mu\text{F}$  e assim, remover o *ripple* de tensão indesejado. Como obteve-se a lei de controle em função de “s”, foi necessário gerá-la na forma discreta para que só assim, fossem adquiridas as constantes  $K_p$  e  $K_i$  para serem utilizadas junto ao *software* posteriormente desenvolvido. Através da discretização, encontrou-se a seguinte função:

$$C(z) = \frac{0,07282 \cdot z - 0,06718}{z - 1}$$

Equação 11

Utilizou-se a lei de controle discreta para a realização das últimas simulações para a validação desta, e só assim gerar as constantes de controle definitivas. O controle foi configurado para iniciar com 6V e a cada 100ms gerar um incremento de 1V, para identificar a resposta do controle mediante um possível distúrbio. O resultado pode ser observado na Figura 38, onde em vermelho evidencia-se a corrente na carga e em azul, a tensão de alimentação da carga.

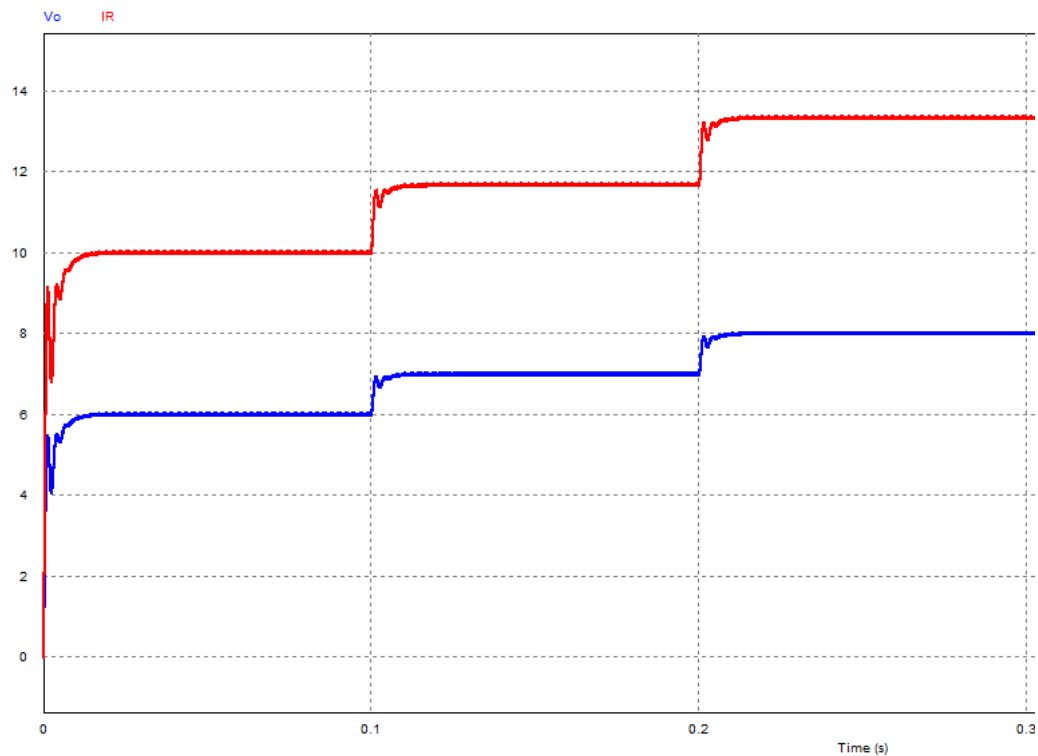


Figura 38 - Simulação com controle discreto

A partir da lei de controle discreta obteu-se as constantes, as quais serão utilizadas no *software*.

- $K_p$  ou ganho estático = 0.06718;
- $K_i$  ou ganho integral = 0.00546.

### 3.4.3 Desenvolvimento do software

Com as constantes identificadas, fez-se necessário escolher o *hardware* que seria aplicado. Tendo em vista que o projeto tem como premissa a simplicidade, optou-se pela

utilização da plataforma Arduino®. Esta tem como programação base a linguagem C e um *software* de fácil manipulação.

Algumas alterações necessitaram serem realizadas, como por exemplo, a alteração do *timer* de uma das saídas PWM para operar na frequência de 7.8kHz. O código desenvolvido tem como objetivo iniciar uma rotina, a qual é acionada por um botão externo e mantém o conversor Buck na tensão nominal de 7,5V e monitorar a corrente através de um sensor de corrente ACS712ELC-30A.

Com o começo do processo, inicia-se um contador. Assim que é assimilada uma queda na corrente, o mesmo conclui o seu ciclo e constata a duração que este levou. Esse valor de tempo é a referência para a identificação do tipo de mistura que está sendo aquecida. O código fonte utilizado no método desenvolvido segue no anexo.

Através do *software* Proteus®, e com a conclusão do código que norteará o método, tornou-se possível realização de uma simulação preliminar para identificar possíveis problemas ou algumas alterações que necessitariam serem feitas.

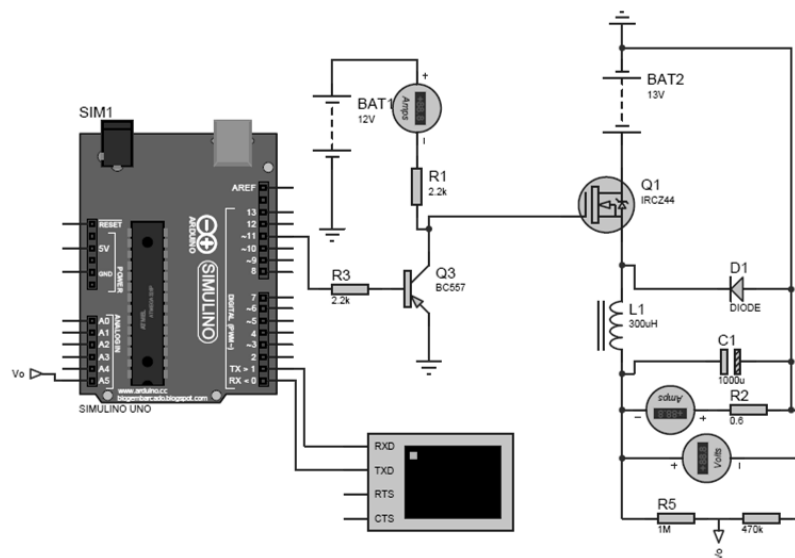


Figura 39 - Simulação *software* Proteus

De acordo com a simulação constatou-se que o código estava operante e que a etapa seguinte seria a confecção da placa, a qual é composta pelo conversor, pela instrumentação e também pelo *hardware*. Sendo assim, o modelo escolhido para se trabalhar foi o Arduino UNO, em virtude de ser compacto e de fácil aquisição.

### 3.4.4 Montagem

Para o desenvolvimento do conversor Buck, fez-se necessário à confecção do indutor, pois o mesmo não é encontrado no mercado com as especificações necessárias deste projeto.

#### 3.4.4.1 Projeto Físico do Indutor

O primeiro passo no projeto do indutor do filtro de saída consiste na seleção do núcleo magnético. No segundo momento, seleciona-se o condutor adequado à corrente eficaz pelo indutor. Na implementação do núcleo optou-se pelo emprego do modelo *Powder* do tipo Kool M $\mu$  no formato toroidal. A escolha do núcleo específico tem como base o cálculo de energia armazenado no mesmo.

O cálculo é feito através da Equação 12, onde  $L$  é a indutância calculada e  $I_{pk}$  é a corrente de pico simulada. Já a escolha do núcleo é sobre a energia calculada e feita através da Figura 40, retirada do catálogo de produtos de uma das empresas fornecedoras de núcleos, Magnetics®.

$$E = 10^3 \cdot L \cdot I_{pk}^2$$

Equação 12

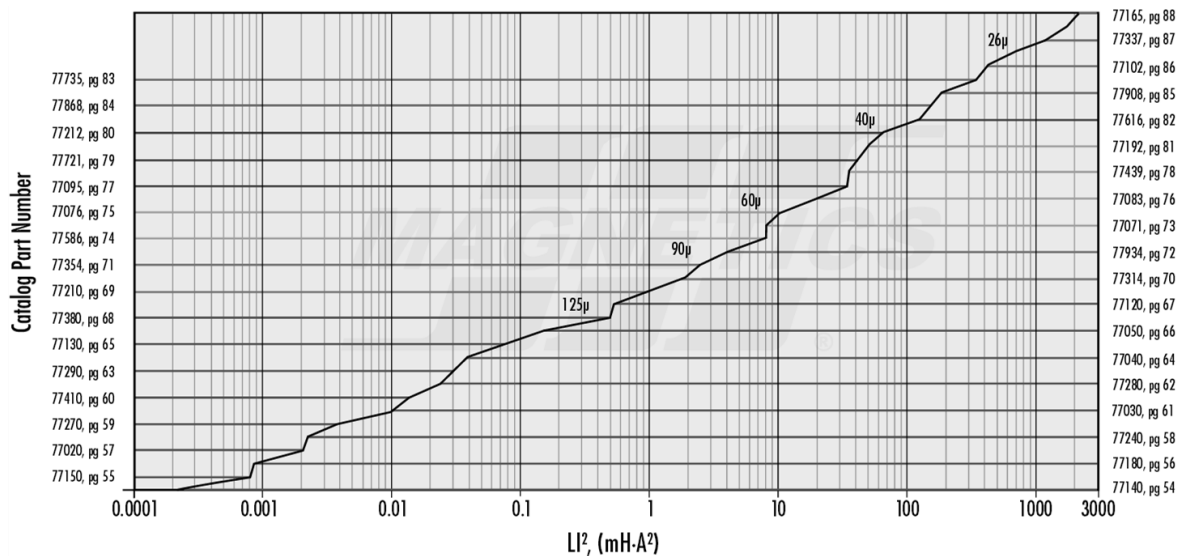


Figura 40 - Gráfico para seleção do núcleo Kool M $\mu$

Com o núcleo selecionado, estima-se o número de espiras necessárias à implantação da indutância de projeto, uma vez que a indutância irá variar com a corrente aplicada. Assim, o número de espiras iniciais ( $N(k)$ ) pode ser calculado através da Equação 13.

$$N(k) = \sqrt{\frac{L \cdot l_e \cdot 10^8}{0,4 \cdot \pi \cdot u(k) \cdot A_e}}$$

Equação 13

Onde:

$l_e$  – Comprimento do caminho magnético do núcleo selecionado (cm).

$A_e$  – Área da seção transversal do núcleo selecionado (cm<sup>2</sup>).

$u(k)$  – Permeabilidade relativa inicial do núcleo selecionado.

Como para o cálculo do número de voltas do condutor sobre o núcleo é iterativo, escolheu-se com o auxílio do *software* MatLab<sup>®</sup>, realizar um *script* para o cálculo de todos os parâmetros necessários para a confecção do indutor por completo. A partir deste auxílio computacional, foram geradas algumas configurações possíveis, sendo estas apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Relação de configurações do indutor

Energia (mJ)	Modelo	Nº núcleos	Voltas	$L_0$ (10 <sup>-6</sup> )	Comprimento (m)	$\Omega_r$ (10 <sup>3</sup> )
40.824	77110	1	23	115.48	3.42	15.07
40.824	77110	2	15	80.32	2.70	11.90
40.824	77110	3	10	73.79	2.65	11.67
40.824	MMTS60T5715	1	26	93.37	2.27	10.02
40.824	MMTS60T5715	2	17	79.83	2.06	8.82

O terceiro modelo da Tabela 4 foi o escolhido e junto a ele, calculou-se no mesmo *script* as dimensões do condutor, o qual será empregado no indutor. A partir do cálculo tornou-se possível evidenciar a demanda de agrupar mais de um condutor em paralelo, pois a utilização de somente um condutor torna-se inviável. Isso pelo fato de o mesmo não ser muito maleável e também, não ser encontrado por um valor acessível.



Escolheu-se cinco condutores AWG 18 conectados em paralelo, como se pode observar na montagem final do indutor, Figura 41.



Figura 41 – Indutor

Através da finalização da montagem do indutor, tornou-se possível montar o sistema completo, agrupando então o conversor Buck e o *hardware* Arduino® UNO. Com a carga acoplada ao conversor de baixa impedância, fez-se necessário para monitorar a tensão aplicada na mesma, utilizar um divisor resistivo. Este contendo dois resistores de precisão e de alta resistência, um de  $470\text{k}\Omega$  e outro de  $1\text{M}\Omega$ . Essa escolha se deu para que a corrente que circula neste divisor, que é de  $5.12\mu\text{A}$ , não interfira na corrente da carga.

No conversor Buck, o qual será controlado através do *Mosfet*, foi necessário desenvolver um *driver* para que o mesmo seja acionado a partir da placa do Arduino. Para o driver, foi desenvolvido um circuito com transistor NPN, BC 547 que aciona uma tensão de 12V, a qual aciona o *Mosfet*. Tendo em vista que o transistor utilizado é um NPN, o sinal PWM ativa o *Mosfet* quando seu sinal é igual à zero, assim sendo preciso modificar junto ao código o modo de acionamento do *duty cycle*, aonde ao invés de alterar a largura do pulso de 0% a 100%, será variado de 100% a 0%.

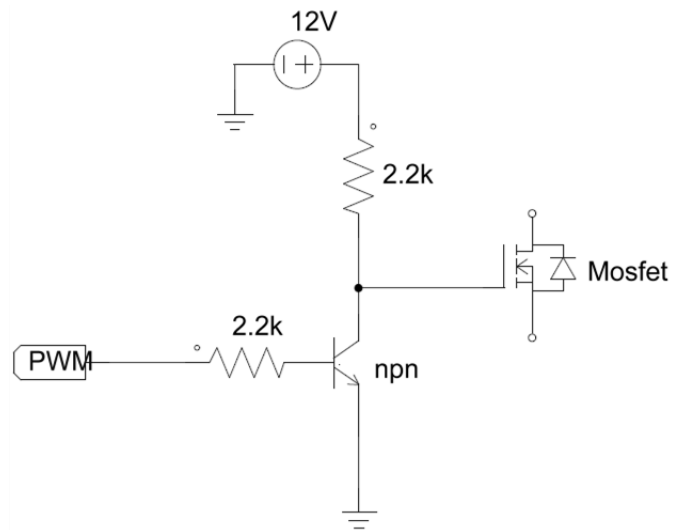


Figura 42 - Driver de acionamento *Mosfet*

Para verificação de que o sistema está energizado foi instalado um diodo do tipo LED, que quando acionado, identifica a energização do sistema.

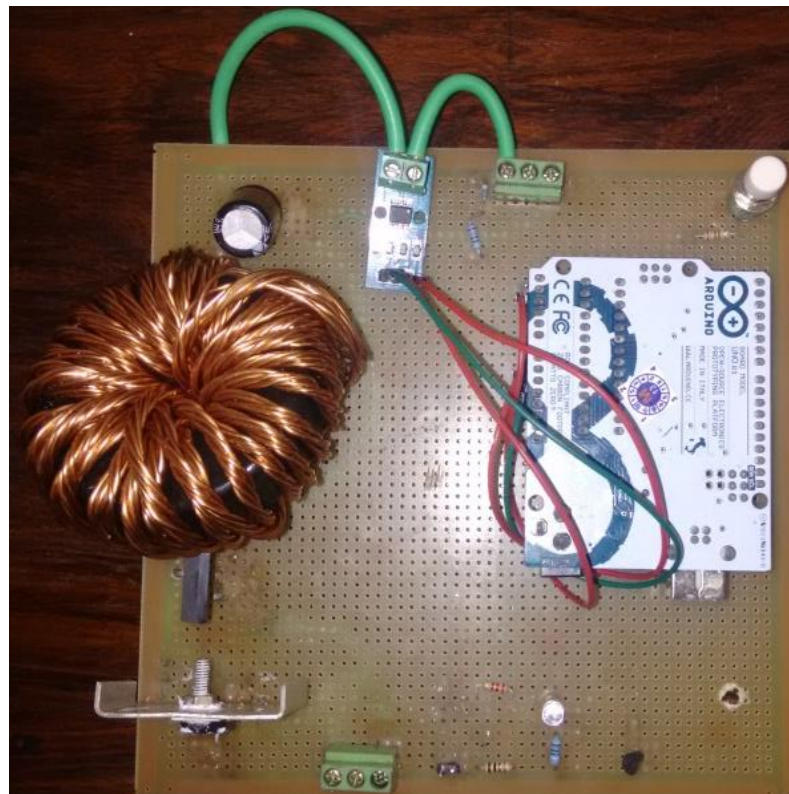


Figura 43 - Montagem final da placa

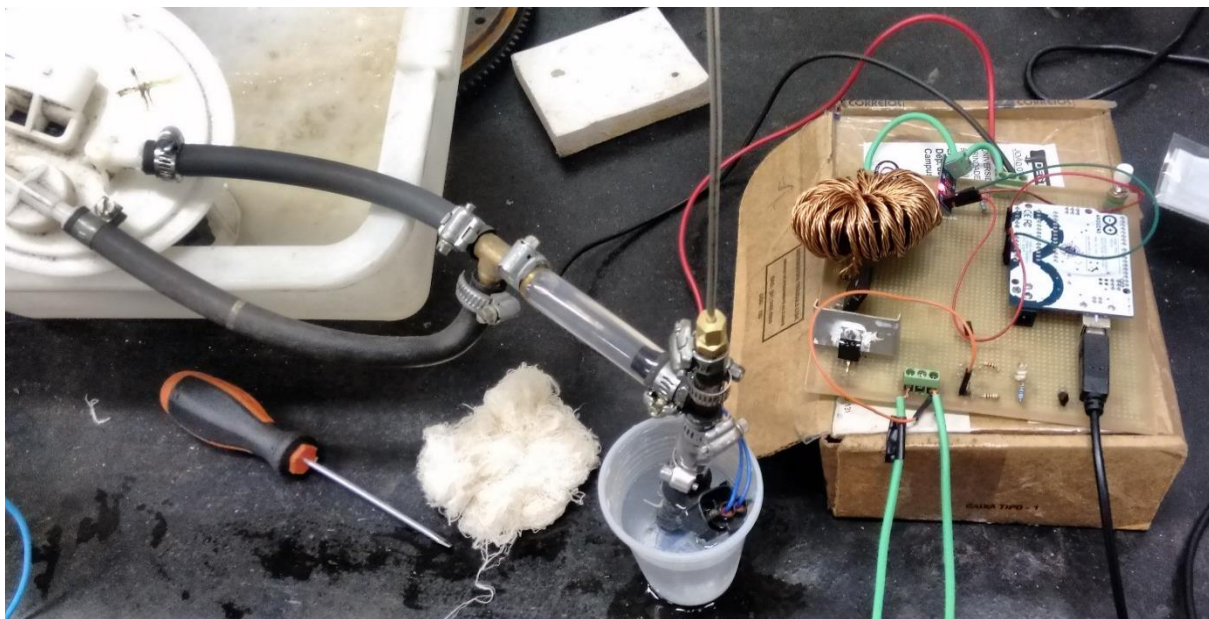


Figura 44 - Sistema completo montado

### 3.4.5 Testes e resultados

Os primeiros testes propôs-se validar o funcionamento da placa desenvolvida. As primeiras medições foram com o sistema desacoplado de carga e com tensão reduzida, para a verificação de possíveis curtos-circuitos ou alguma ligação mal executada. Logo em seguida alimentou-se a placa com uma fonte com potência controlada e com carga com impedância superior ao valor nominal. Todos os testes preliminares demonstraram-se positivos, sem nenhum defeito de fabricação do protótipo.

Com o funcionamento comprovado, acoplou-se uma resistência de potência equivalente de  $10\Omega$ , onde o intuito foi a verificação do comportamento da corrente de  $1.2A$  junto às ligações realizadas na placa. Logo em seguida foram realizados testes com resistências de potências equivalentes a  $5\Omega$ ,  $2.5\Omega$  e  $1\Omega$ . Todos os valores de carga correspondentes foram testados com o intuito de comprovar o funcionamento da placa e não para obtenção de dados para o método, logo, não foram adquiridos valores que possam ser demonstrados neste trabalho.

A partir dos testes preliminares, montou-se novamente o sistema de alimentação de combustível junto ao eletroinjeter aquecido. Iniciou-se então, os testes os quais demonstrariam inicialmente dados para a composição do método de identificação da fração volumétrica e posteriormente a validação do método junto ao sistema proposto.

Nestes, os primeiros testes executados tinham como característica analisar cada amostra de mistura por cinco vezes. Assim comparando os valores obtidos entre si e gerando uma curva média para que a mesma seja utilizada na composição do método. Inicialmente verificou-se uma deficiência na composição, pois não era observado nenhum parâmetro que comprovasse que os testes eram iniciados na mesma condição de temperatura, logo, instalou-se novamente o sensor de temperatura Termopar. Isso possibilitou que todos os testes iniciassem com as mesmas condições iniciais. Essa análise das condições iniciais era realizada externamente a placa desenvolvida.

Em seguida começaram os ensaios com o objetivo de manter a potência aplicada na carga constante durante um intervalo de tempo e assim, gerar degraus de potência. Isso para que fosse possível observar o comportamento da corrente. Como o intuito era analisar o comportamento de cada mistura, foram verificadas três composições, E60W40, E80W20 e E90W10. Em cada composto, verificou-se suas médias e seus desvios padrões. Na Figura 45 é apresentado o comportamento de cinco amostras da mistura E80W20, sua média e o desvio padrão da mesma.

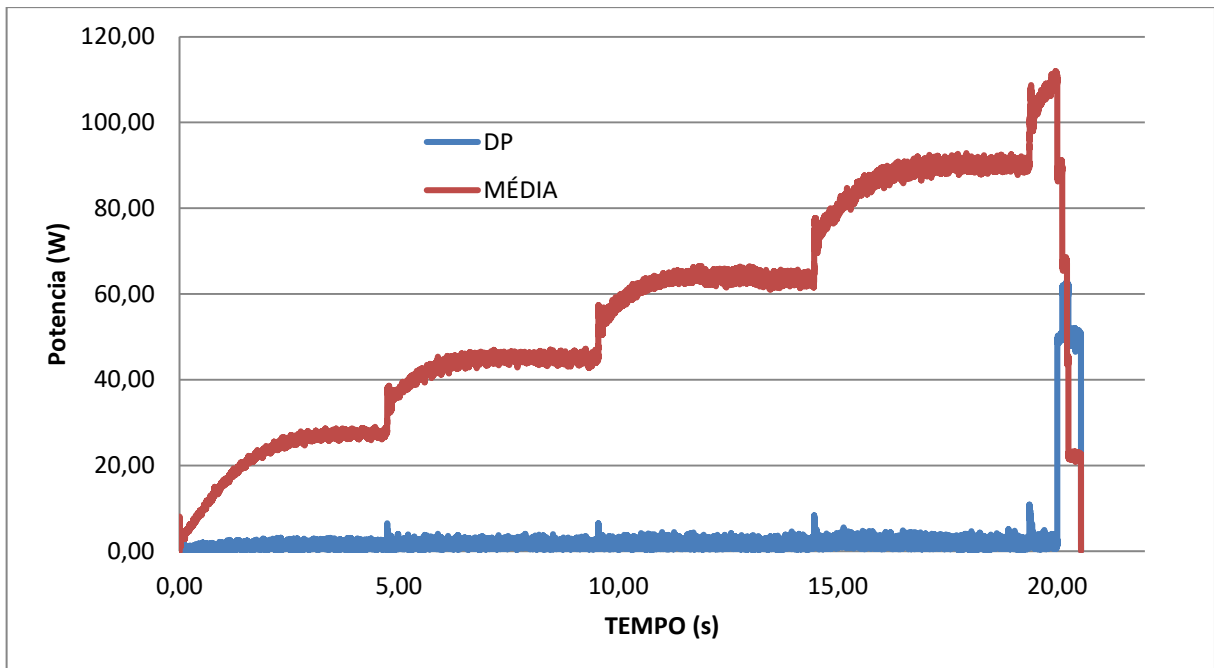


Figura 45 - Média e desvio padrão

Após a verificação do comportamento de uma mistura e avaliou-se positivamente o resultado, foram realizados os mesmos procedimentos da Figura 45, e gerado um comparativo entre 3 misturas o qual é apresentado na Figura 46.

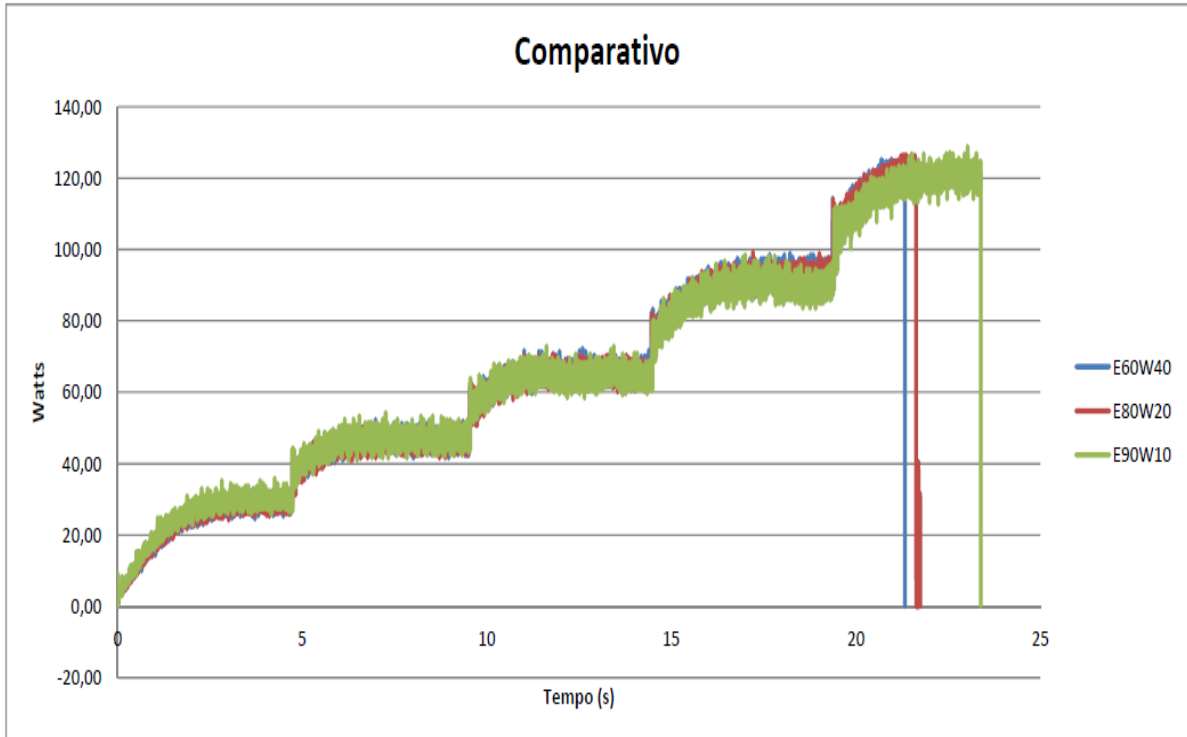


Figura 46 - Comparativo entre três misturas

Com a análise do comparativo verificou-se que o conversor Buck estava operando em modo descontínuo, onde o núcleo do indutor estava saturando, em virtude de sua corrente ir a zero, como pode ser conferido junto à Figura 15. Nela constata-se o comportamento característico do modo descontínuo.

Mesmo os dados obtidos não terem valor para o desenvolvimento do método, um aspecto pode ser levado em consideração, o aspecto do momento em que cada mistura entra em modo descontínuo. A mistura de E60W40 leva menos tempo para a mesma saturar o núcleo, pelo fato de sua capacidade térmica ser superior as demais misturas, ou seja, a mistura necessita de mais energia para modificar  $1^{\circ}\text{C}$ . Assim, consumindo mais energia do indutor no momento em que o mesmo está sendo a fonte de energia do sistema. Essa característica é válida para todas as outras misturas, nas quais conforme verificado Figura 46, o composto E60W40 apresenta uma capacidade térmica superior à mistura E80W20. Este por sua vez evidencia capacidade térmica maior que a mistura E90W10, como pode ser conferido na Tabela 5.

Tabela 5 - Capacidade térmica das misturas

<i>Quantidade de etanol (%)</i>	<i>Capacidade térmica (J/C•)</i>
100	57,096
90	69,89101732
80	79,70318845
70	87,74334626
60	94,64507682

De acordo com a análise realizada, foi necessário recalcular o indutor e fazer uma nova montagem do mesmo. Verificou-se que o erro na montagem do indutor se deu por descuido na execução do *Script*, o que gerou um equívoco no número de voltas dadas sobre o núcleo.

Com a montagem executada e o valor de indutância conferido, iniciaram-se os testes finais. Estes apresentavam uma metodologia semelhante aos anteriores, mas com a diferença de que a tensão de alimentação do aquecimento foi mantida constante durante toda execução do teste. Foram analisadas tensões distintas, mas a que melhor se adequou, foi de 7.5V onde apresentava uma potência não muito elevada, assim como a corrente baixa. Com as definições de *hardware* e *software*, escolheu-se as misturas com maior relevância na aplicação junto aos motores à combustão interna que são, E99.8 (etanol anidro), E95W05, E90W10, E85W15 e E80W10.

Para verificação de que a característica da queda de corrente acontece em todas as misturas, não aplicou-se nenhum método no teste. Realizou-se apenas o aquecimento da mistura e analisou-se os valores de corrente adquiridos. Todos os dados de cada mistura foram monitorados em tempo real, o que permitiu a desenergização do sistema assim que fosse detectado uma queda de corrente significativa. Essa constatação, pode ser observada nos gráficos da Figura 47, Figura 48, Figura 49, Figura 50 e Figura 51.

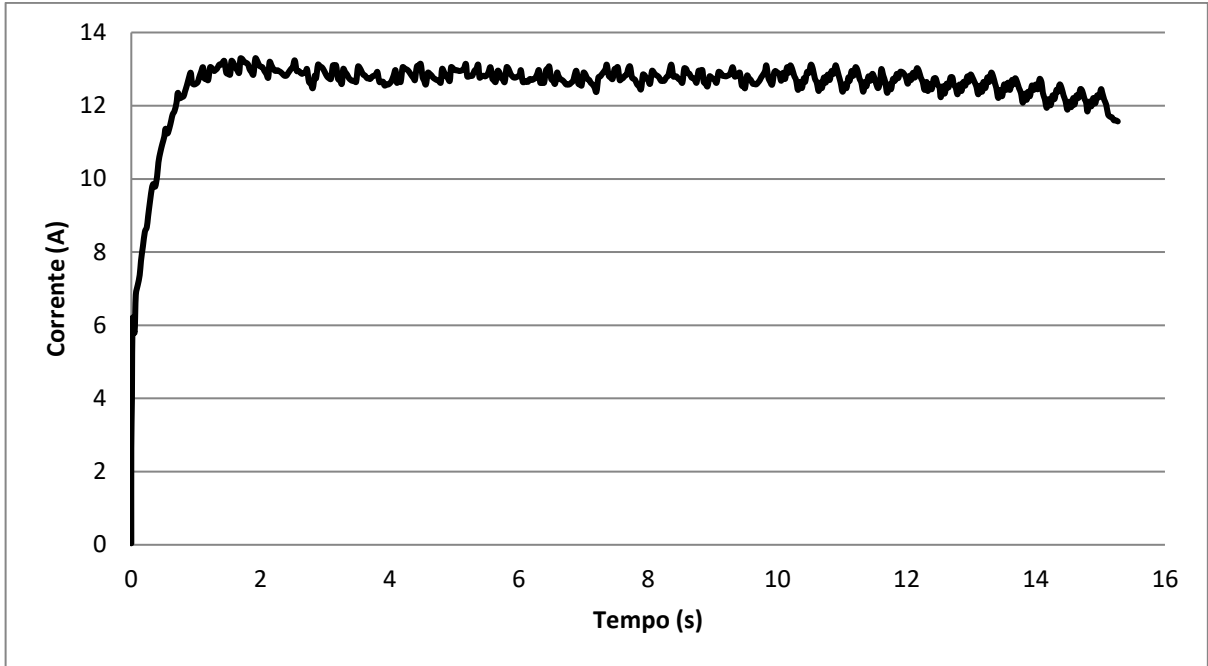


Figura 47 - Teste E99.8

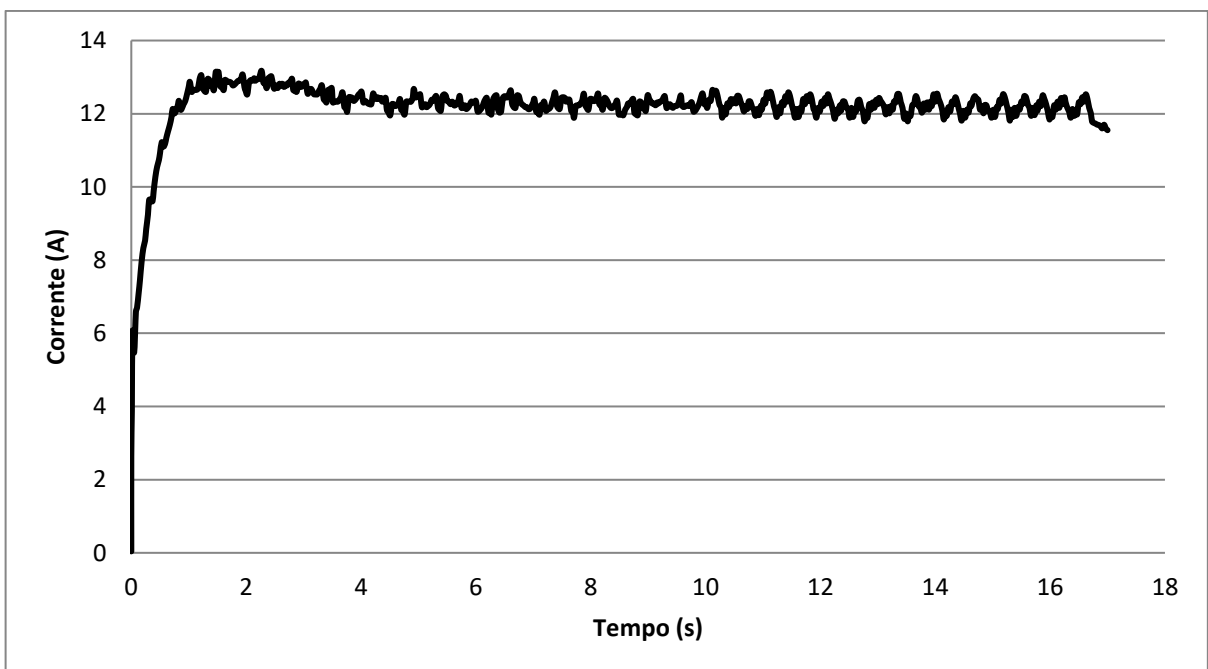


Figura 48 - Teste E95W05

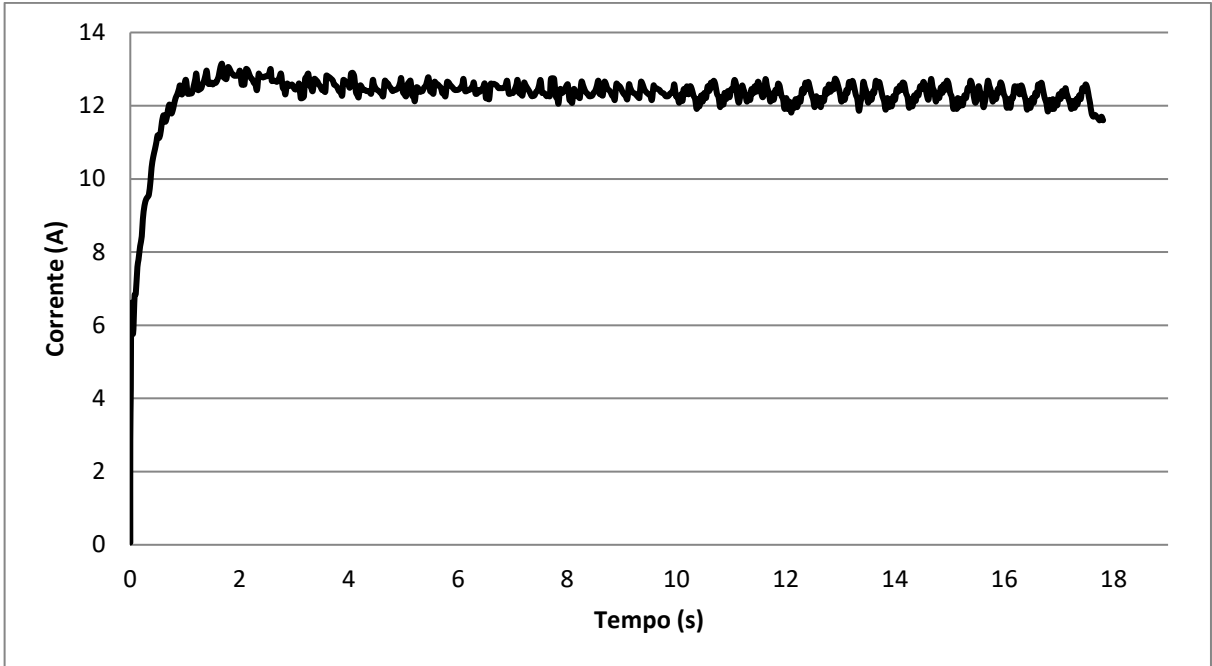


Figura 49- Teste E90W10

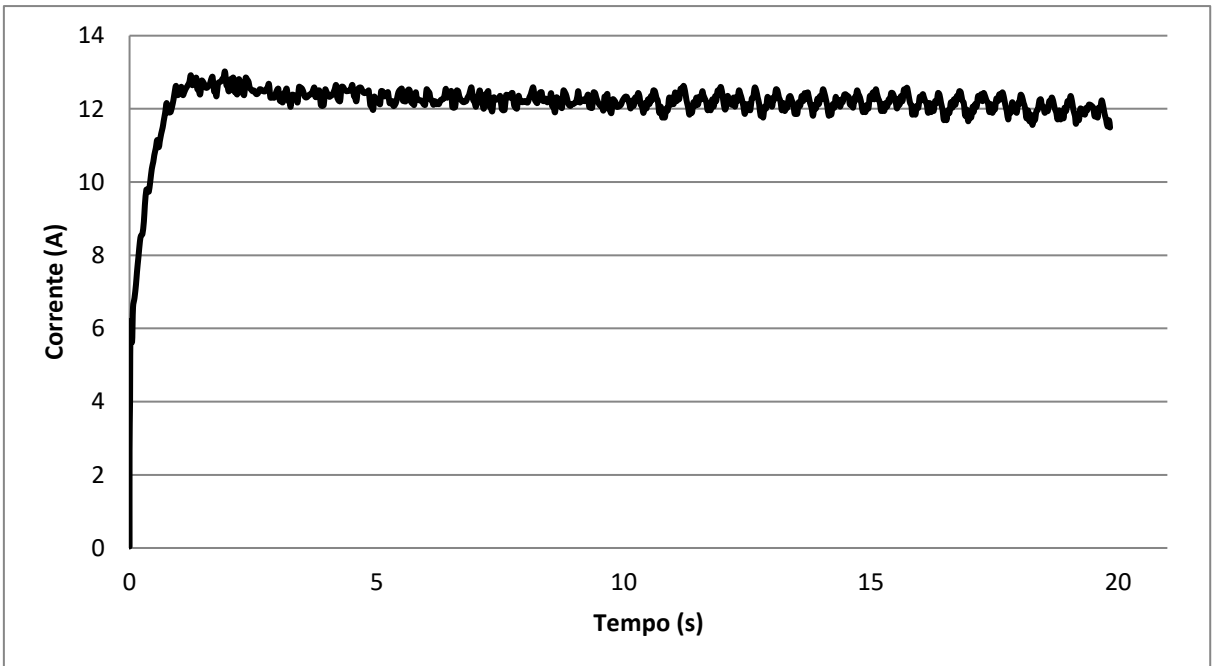


Figura 50 - Teste E85W15



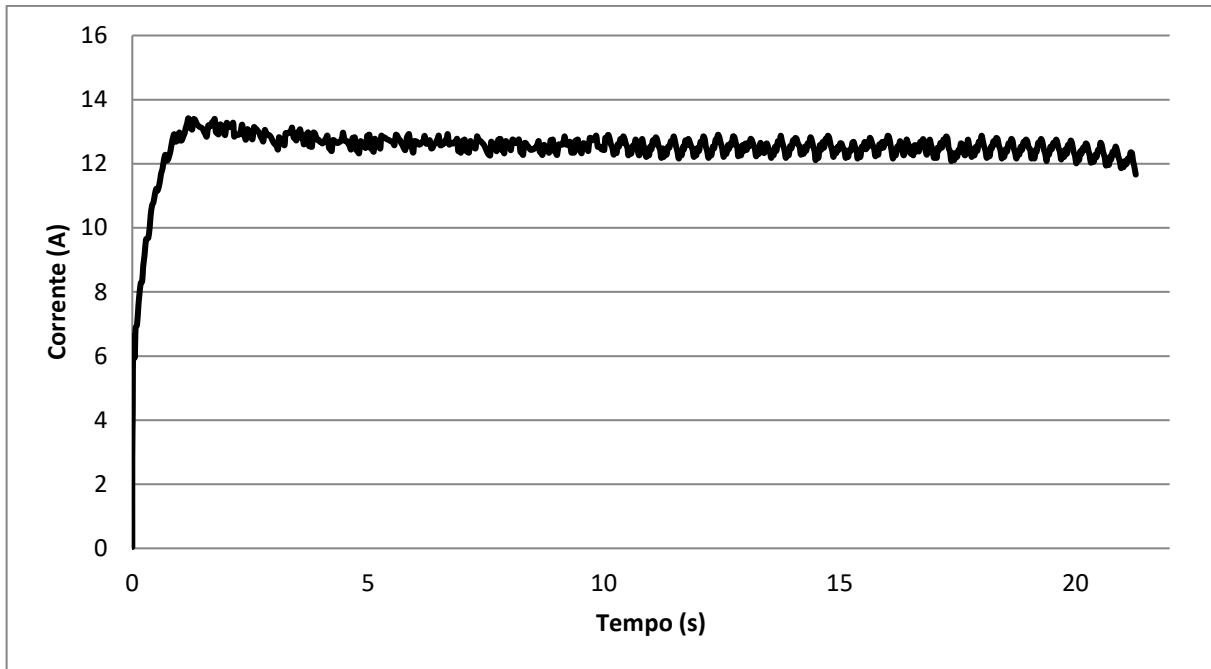


Figura 51 - Teste E80W20

A partir da constatação, de que cada mistura tem um comportamento semelhante da corrente, geraram-se quatro testes por amostras para que fosse possível mapear o tempo que cada mistura demorava para que a corrente começasse a decair e assim demonstrar que a mesma estava chegando em sua temperatura crítica. A Figura 52 apresenta esse mapeamento do tempo para cada tipo de mistura.

Tabela 6 - Mapeamento de tempo por mistura

<i>Mistura</i>	<i>Intervalo de tempo</i>
E99.8	$14.01 \leq t \leq 15.12$
E95W05	$16.73 \leq t \leq 17.1$
E90W10	$17.28 \leq t \leq 17.96$
E85W15	$18.85 \leq t \leq 19.8$
E80W20	$20.95 \leq t \leq 21.63$

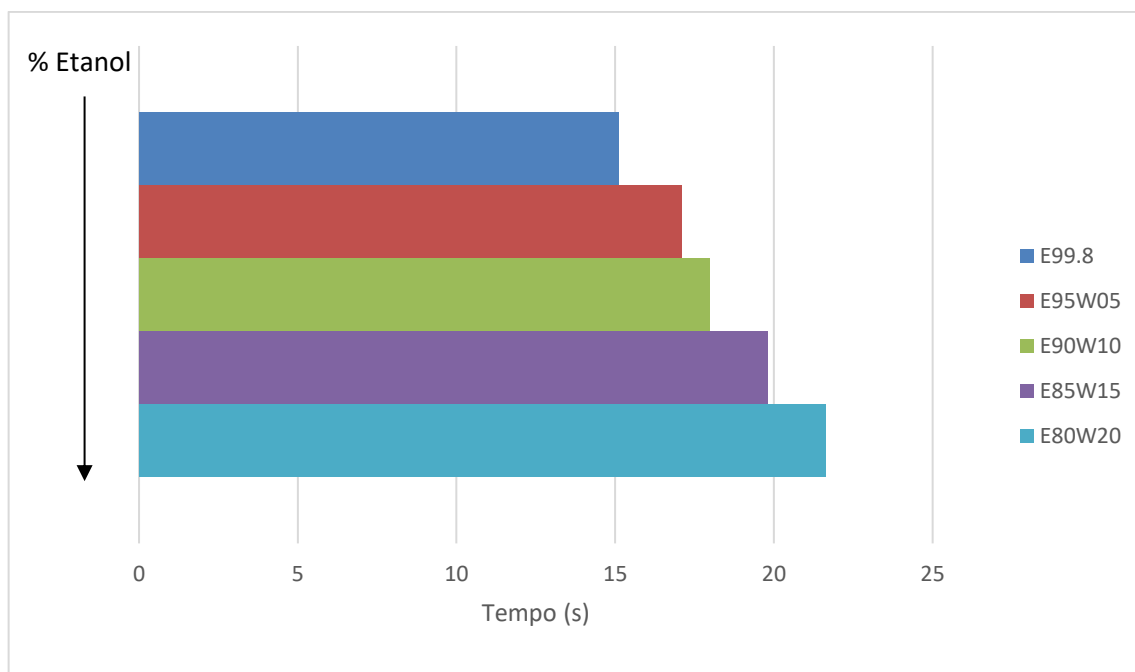


Figura 52 - Mapeamento de tempo máximo de cada mistura

Com base nos dados obtidos, estes apresentam intervalos de tempo distintos o que é passível de identificação do tipo de mistura está sendo aquecida. Esses intervalos foram inseridos junto ao *software* e assim tornado o método de identificação da fração volumétrica de água contida em etanol possível e funcional.

Posteriormente realizaram-se mais testes, estes com uma resistência equivalente fora do circuito de alimentação de combustível, que continha pressão interna de aproximadamente três bar. Esses dados obtidos externamente ao sistema apresentaram as mesmas características dos resultados obtidos junto ao sistema de alimentação de combustível, sem influência da pressão do sistema. Os resultados encontrados podem ser conferidos na Figura 53, Figura 54, Figura 55, Figura 56, Figura 57. Todos os dados apresentados geraram-se através de médias de quatro amostras por mistura.

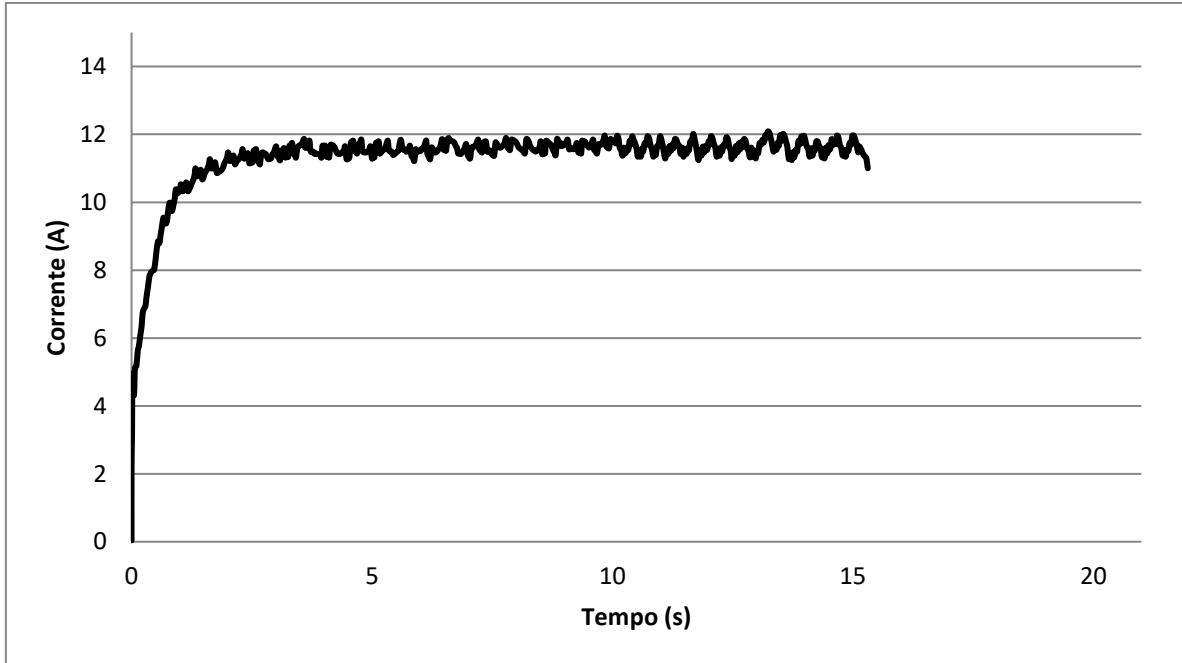


Figura 53 - Teste externo com E99.8

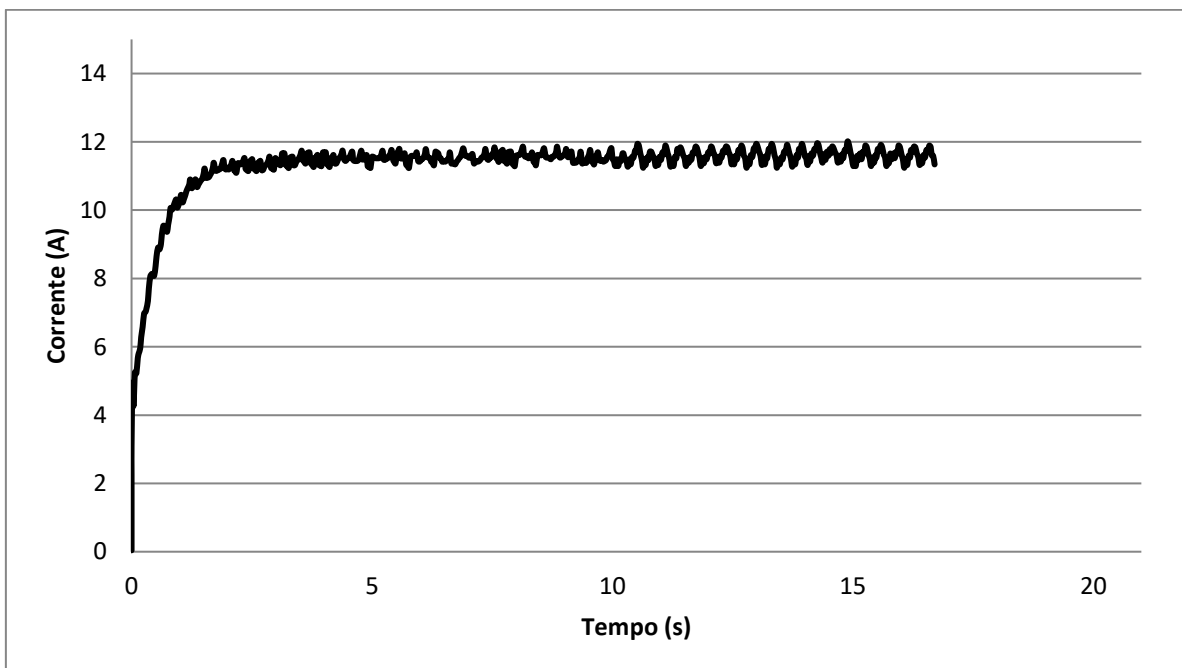


Figura 54 - Teste externo com E95W05

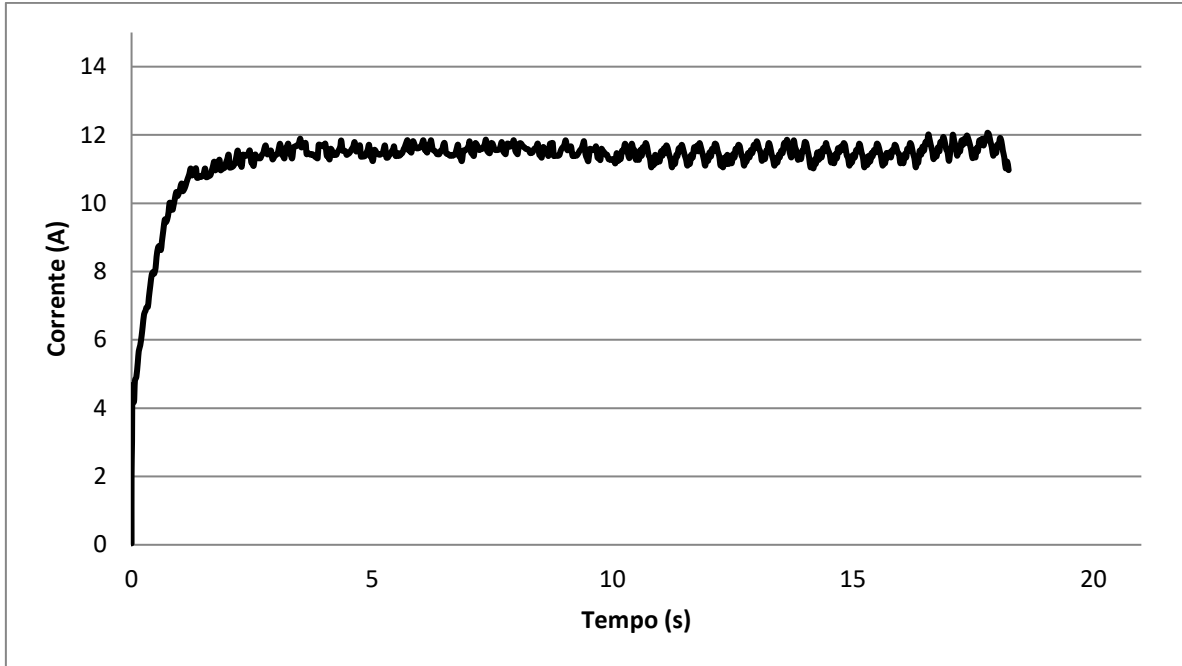


Figura 55 - Teste externo com E90W10

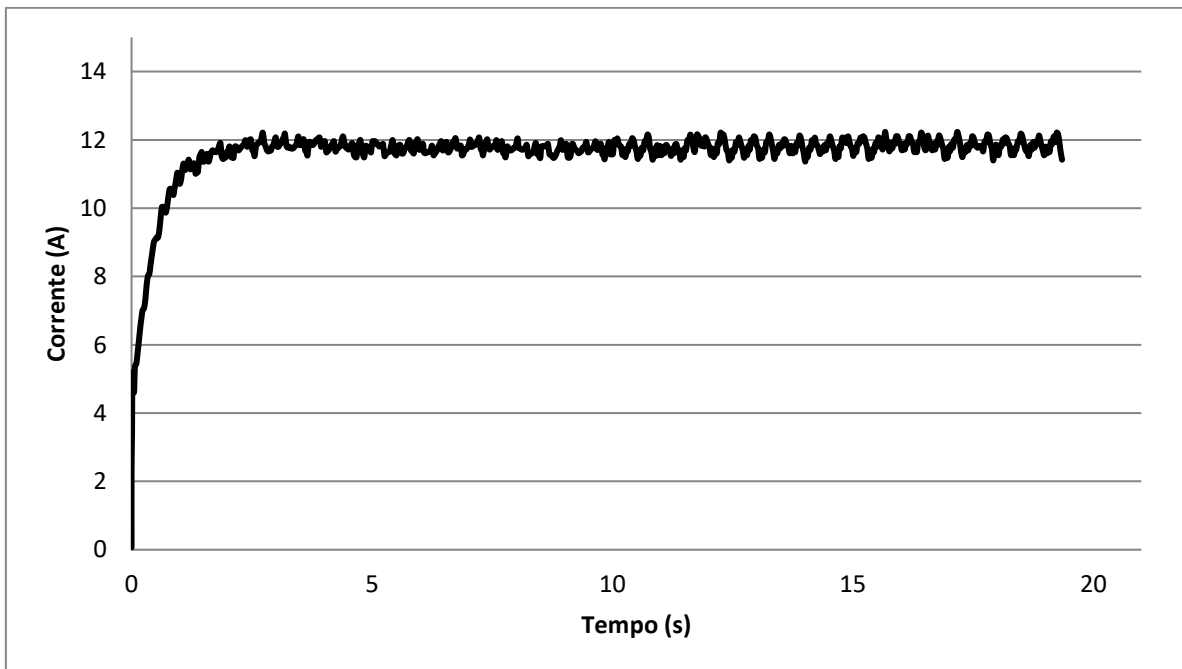


Figura 56 - Teste externo com E85W15

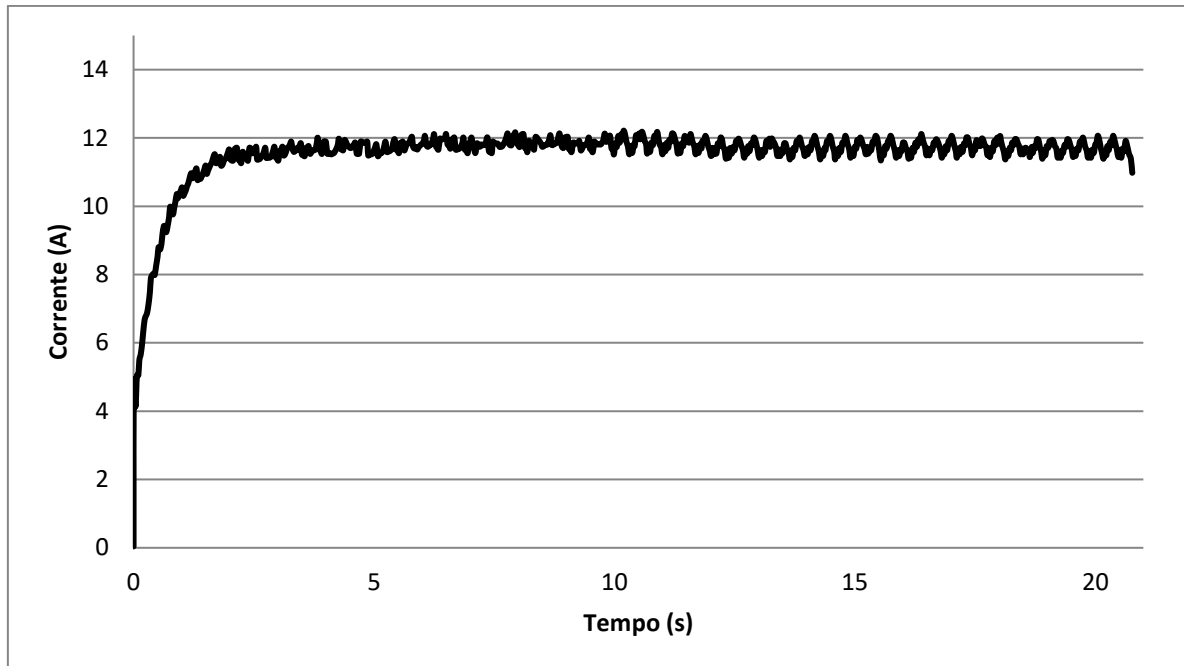


Figura 57 - Teste externo com E80W20

### 3.4.6 Discussão dos resultados

A partir dos resultados encontrados e sobre a validação dos mesmos, pode-se referenciar os dados sobre alguns pontos elencados no segundo capítulo do presente trabalho.

Este processo de decréscimo da corrente quando a mesma chega a uma temperatura crítica é exemplificado por Bergman (2014), onde apresenta a Equação 4 e descreve que no momento em que a superfície sólida que aquece o líquido, começa a gerar bolhas de vapor, as quais algumas se desprendem da superfície em sua maioria ficam presas junto à mesma, essas bolhas fazem com a taxa de transferência de calor entre o líquido e a superfície sólida diminua sensivelmente. Assim aumentando a temperatura da superfície sólida, o que aumenta a sua resistência interna. De acordo com a capacidade térmica de cada mistura, Tabela 5, as mesmas atingiram suas temperaturas críticas distintamente, onde à mistura que tiver a menor capacidade térmica, necessita de menos energia para atingir esse ponto e assim consequentemente, demorará um tempo menor do que as demais misturas.

Com base nestes resultados, foi possível mapear o tempo em que cada mistura demora a alcançar a temperatura crítica, onde esses dados servem como base para a finalização do método.

Tendo como comparação do método obtido, podemos analisar os dados apresentados por (Lepsch, 2013) que são demonstrados na Figura 58, onde pode observar-se que o

decrécimo de corrente o qual apresentado nos dados constatados pelo presente trabalho, também pode ser notado na patente citada.

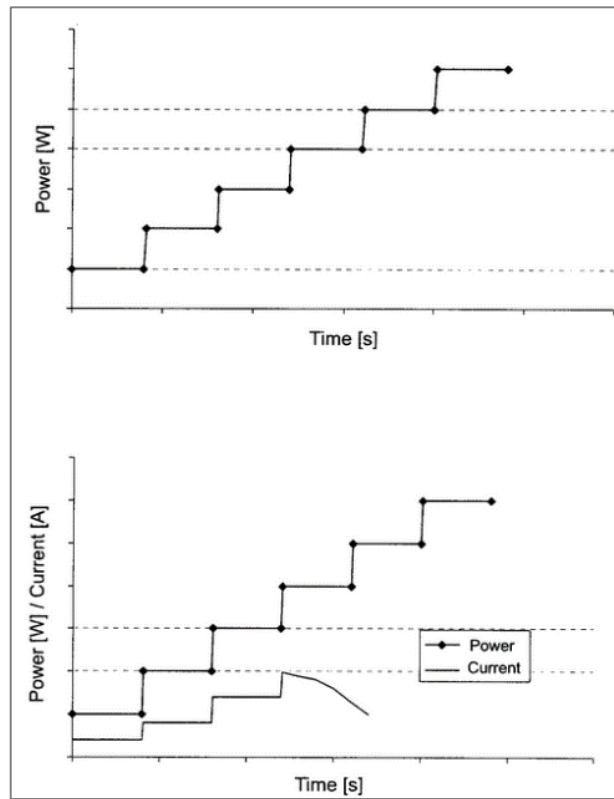


Figura 58 - Resultados obtidos pela patente (Lepsch, 2013)

#### 4. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um método para detecção da fração volumétrica de água contida no etanol. A partir dos resultados encontrados, tornou-se possível verificar a eficiência do método desenvolvido e que o mesmo tende a apresentar contribuições significativas para o sistema de injeção de combustível. Os intervalos de tempo adquiridos tornaram-se a identidade de cada mistura, assim sendo possível a aplicação do método em qualquer outra plataforma.

O presente método mostrou-se ao longo da pesquisa, necessitar um maior aprofundamento e aperfeiçoamento nas técnicas, para que o mesmo se torne um produto confiável e robusto. Para uma utilização mais precisa e adequada do método desenvolvido, seguem algumas sugestões para futuras pesquisas e possibilidades de exploração sobre o assunto:

- Otimizar o conversor Buck para tentar reduzir dimensões do mesmo;
- Aplicar o método desenvolvido em um motor à combustão para o mesmo controlar a temperatura do combustível injetado e a partir disso, comparar com valores sem o aquecimento do combustível;
- Ampliar o método para mais tipos de misturas e combustíveis.

## REFERÊNCIAS

- ADLER, U.; BAUER, H.; RÖDER, J. *Automotive Handbook*. 3ª ed. Automotive Equipment Business Sector, Department for Technical Information (KH/VDT), 1993.
- ANG, S.; OLIVA, A. *Power-switching converters*. 2ª ed. Boca Raton, 2005.
- ARRABAÇA, D.; GIMENEZ, S. *Conversores de Energia Elétrica CC/CC para Aplicações em Eletrônica de Potência - Conceitos, Metodologia de Análise e Simulação*. Érica, 2013.
- BOSCH, ROBERT, *Manual de tecnologia automotiva*. São Paulo, 2005.
- BAUER, H. *Motronic engine management*. Stuttgart: Automotive Equipment Business Sector. 1999.
- BERGMAN, T. et al. *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*, 7 ed. LTC, 01/2014.
- BOURDON, T.; SAUSSOL, L.; AND VAROQUIÉ, B., *Integration of Physical AMESim® Engine Model in Hardware in the Loop Environment, Dedicated to Engine Control Unit Testing*, SAE Technical Paper 2007.
- CAPELLI, A., *Eletroeletrônica Automotiva - Injeção Eletrônica, Arquitetura do Motor e Sistemas Embarcados*. Érica, 06/2010.
- DENTON, T. *Automobile electrical and electronic systems*. 3. ed. McGraw-Hill Publishing Co., Nova Iorque, 2000.
- FELIX V., GANESAN K., *Fuel adulteration detection system*, Indian Journal of Science and Technology, Vol 8(S2), p. 90-95, Janeiro 2015.
- FOTEINIS, S.; KOULOUMPIS, V.; TSOUTSOS, T. *Life cycle analysis for bioethanol production from sugar beet crops*. Grécia, 2011.
- GERHARD, F.; MATSUDA, M.; AND FUNABASHI, K. *Advanced Microcomputer for Engine Control*, SAE Technical Paper 860484, 1986.
- JERSHA, V., *Fuel Adulteration Detection System*, Indian Journal of Science and Technology, Vol 8(S2), 90-95, Janeiro 2015
- KATSUHIKO, O. *Engenharia de Controle Moderno*. 5. ed. Pearson Education. 2011
- LEPSCH F.; COLETTO T., “Fuel composition identification system and method and fluid composition identification method,” US 20130315278 A1, Novembro de 2013.
- MAGNETICS, “Magnetics Powder Core Catalog” 2015.
- MARTINEZ-FRIAS, J.; ACEVES, S.; FLOWERS, D.; *Improving Ethanol Life Cycle Energy Efficiency by Direct Utilization of Wet Ethanol in HCCI Engines*. Lawrence Livermore National Laboratory, 2007.



MEGASQUIRT MANUAL. Disponível em: < <http://manual.msbr.com.br/> >. Acessado em: Janeiro de 2016.

MOTEC. *User's Manual*. Disponível em: <<http://www.motec.com/downloads/downloadmanuals/>>. Acessado em: Agosto/2016

PEREIRA, M. *Análise de Gases: Apostila técnica*. Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Mecânica – CDTM. Belo Horizonte/MG. Treinamento Técnico Automotivo. 2001.

REIN, M., *Drop-Surface Interactions*. Ed. Springer Science & Business Media, 2002

SARI, R., “*Avaliação da utilização de etanol com elevados teores de água em motores de combustão interna com ignição por centelha*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programas de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Porto Alegre: UFRGS, 2017.

WALKER, J., *Boiling and the Leidenfrost Effect*. Disponível em: <[http://www.wiley.com/college/phy/halliday320005/pdf/leidenfrost\\_essay.pdf](http://www.wiley.com/college/phy/halliday320005/pdf/leidenfrost_essay.pdf)>. Acessado em: Outubro de 2016.

WILLEY, D. *The Physics Behind Four Amazing Demonstrations*. Disponível em: <[http://www.csicop.org/si/show/physics\\_behind\\_four\\_amazing\\_demonstrations](http://www.csicop.org/si/show/physics_behind_four_amazing_demonstrations)>. Acessado em: Novembro de 2016.

## ANEXO

```

/*
  CÓDIGO PARA DETECÇÃO DA FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE ÁGUA
*/
#define n 10 //número de pontos da média móvel
#define NUMREADINGS 10

long moving_average(); //Função para filtro de média móvel
double numbers[n]; //vetor com os valores para média móvel
double original; //recebe o valor de corrente
double filtrado; //recebe o valor original filtrado
void statemode();
void setDuty_pin11(float value); //Seleciona o duty cycle na saída digital 11
void setFrequency(char option); //Seleciona a frequência de operação do PWM

float readings[NUMREADINGS]; // qtde de amostras
int index = 0; // índice da leitura atual
double total = 0; // total móvel
float average = 0; // média
float averageant = 10;

double Amps = 0;
int ACSoffset = 2500;
int mVperAmp = 66;
double PotenciaA = 0;
double Potencia = 0;

const byte interruptPin = 2;
volatile byte state = LOW;
float tempo;
float antempo;
float volatile rel = 0;
float volatile reltot = 0;

```

```

float tempopull;
float tempopullant;

const int analogInPinA4 = A4;
const int analogInPinA5 = A5;
const int analogOutPin = 11;
double sensorValue = 0;
double Ampsant = 0;

float P = 0; float I = 0; float E = 0; float Vu = 0; float Vn = 0; float Ref = 7.5;
float Kp = 0.9718; float Ki = 0.146;

long lastProcess = 0;

void setup() {
  // initialize serial communications at 9600 bps:
  Serial.begin(9600);

  pinMode(analogOutPin, OUTPUT); //saída PWM pino 11
  pinMode(analogInPinA4, INPUT); // sensor corrente
  pinMode(analogInPinA5, INPUT); // sensor tensão
  pinMode(interruptPin, INPUT_PULLUP); // botão liga e desliga

  Serial.print("Ref ");
  Serial.print(",");
  Serial.print("Vo ");
  Serial.print(",");
  Serial.print("Amps ");
  Serial.print(",");
  Serial.print("Derv ");
  Serial.print(",");
  Serial.print("T ");

```

```

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin), statemode, HIGH);

TCCR2A = 0xA3;    //Configura operação em fast PWM, utilizando registradores OCR2x
para comparação
                //1010 0011
setFrequency(2);
setDuty_pin11(95);    //Saída 11 com duty de xxx%//Seleciona opção 4 para frequência
PWM (aprox 7.8kHz)

for (int i = 0; i < NUMREADINGS; i++)
    readings[i] = 0;    // inicializa todas as leituras com 0

}
void loop()
{

if (state == HIGH) {

    float deltaTime = (millis() - lastProcess) / 1000.0;
    lastProcess = millis();

    /// read the analog in value:
    sensorValue = analogRead(analogInPinA5);
    Vn = sensorValue * (15.64 / 1023.0);
    double RawValue = analogRead(analogInPinA4);
    double Voltage = (RawValue / 1023.0) * 5000; // Gets you mV
    double Amps = - ((Voltage - ACSoffset) / mVperAmp);

    // PotenciaA = Potencia;
    // Potencia = Amps * Vn;

```

```

//desloca os elementos do vetor de média móvel
for (int i =2; i > 0; i--) numbers[i] = numbers[i - 1];

numbers[0] = Amps; //posição inicial do vetor recebe a leitura original

double acc = 0;      //acumulador para somar os pontos da média móvel

for (int i = 0; i < 3; i++) acc += numbers[i]; //faz a somatória do número de pontos

filtrado = acc / 3; //retorna a média móvel

//ERRO
E = Ref * 1 - Vn;

//P

P = E * Kp;

//I

I = I + (E * Ki);

// Soma tudo

Vu = P + I;

float dtt = 100 - (Vu * (100 / 15.64));
setDuty_pin11(dtt); //Saída 11 com duty de xxx%
if ( dtt <= 5) {
    dtt = 5;
}

```

```
if ( dtt >= 100) {
    dtt = 95;
}

tempo = millis();
rel = (tempo - antempo)/1000;
reltot = rel + reltot;
double Derivada = (filtrado - Amsant)/(rel);

Serial.print("\n" );
Serial.print(Ref);
Serial.print(", " );
Serial.print(Vn);
Serial.print(", " );
Serial.print(filtrado);
Serial.print(", " );
Serial.print(Derivada);
Serial.print(", " );
Serial.print(reltot);

if(filtrado < 11 && reltot > 14){
    Serial.print("\n" );
    Serial.print(reltot);

    if(reltot > 20.8 && reltot < 21.7){
        Serial.print("\n" );
        Serial.print("E80W20");
    }
}
if(reltot > 18.5 && reltot < 19.5 ){
    Serial.print("\n" );
    Serial.print("E85W15");
}
if(reltot > 17.2 && reltot < 18.1 ){
    Serial.print("\n" );
```

```
    Serial.print("E90W10");
}
if(reltot > 16.7 && reltot < 17 ){
    Serial.print("\n" );
    Serial.print("E95W05");
}
if(reltot > 14 && reltot < 15.2 ){
    Serial.print("\n" );
    Serial.print("E99.8");
}
state = !state;
}

//if(reltot > 4){Ref = 5;}
//if(reltot > 8){Ref = 7;}

    antempo = tempo;
    Ampsant = filtrado ;

}
setDuty_pin11(95); //Saída 11 com duty de xxx%

}

void setDuty_pin11(float value)
{
    int duty;

    value = value / 100;

    duty = (value * 256) - 1;
```

```

OCR2A = duty;

}

void setFrequency(char option)
{
  /*
  TABLE:

  option frequency

  1   62.5 kHz
  2   7.81 kHz
  3   1.95 kHz
  4   976.56 Hz
  5   488.28 Hz
  6   244.14 Hz
  7   61.03 Hz
  */
  TCCR2B = option;

} //end setFrequency

long moving_average()
{

  //desloca os elementos do vetor de média móvel
  for (int i = 2; i > 0; i--) numbers[i] = numbers[i - 1];

  numbers[0] = Amps; //posição inicial do vetor recebe a leitura original

  double acc = 0;      //acumulador para somar os pontos da média móvel

```



```
for (int i = 0; i < 3; i++) acc += numbers[i]; //faz a somatória do número de pontos

return acc / 3; //retorna a média móvel

} //end moving_average

void statemode() {
    tempopull = millis();

    if (tempopull - tempopullant > 500) {

        state = !state;
        tempopullant = tempopull;
        antempo = millis();
    }

    else {
        state = state;
    }
}
```