

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Ricardo de Freitas

Santo André - SP
2014

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Ricardo de Freitas

Planejamento de experimentos (DOE) para veículo elétrico de competições

Trabalho de Conclusão de Curso entregue à Fatec Santo André como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Orientador:

Prof. Wesley Medeiros Torres

Coorientadores:

Prof. Dr. Fabio Delatore

Prof. MSc. Luiz Vasco Puglia

Santo André - SP
2014

Freitas, Ricardo de

Planejamento de experimentos (DOE) para veículo elétrico de competições / Ricardo de Freitas – Santo André, 2014. - 80f: 38il.

Trabalho de conclusão de curso – FATEC Santo André. Curso de Eletrônica Automotiva, 2014.

Orientador: Prof. Wesley Medeiros Torres

Coorientadores: Prof. Dr. Fabio Delatore, Prof. MSc. Luiz Vasco Puglia

1. Planejamento de experimentos. 2. Aquisição de dados. 3. Telemetria.

Dedico este trabalho à minha esposa Elizabete, que me acompanha nas minhas loucuras, a minha mãe Maria por ter me ensinado a ser honesto e dedicado e a minha avó Piedade por sempre me chamar de “minha riqueza”.

Faculdade de Tecnologia de Santo André

LISTA DE PRESENÇA
SANTO ANDRÉ, 02 DE JUNHO DE 2014.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "Planejamento de experimentos
(DOE) para veículo elétrico de competições" DO ALUNO RICARDO DE
FREITAS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

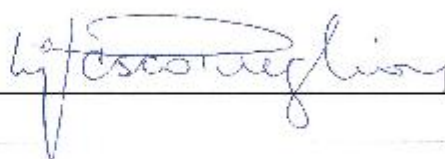
BANCA
PRESIDENTE:
PROF. WESLEY MEDeiros TORRES



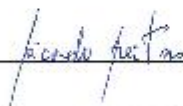
MEMBRO
ENG. M^r. ALEXANDRE GUIMARÃES



MEMBRO
PROF. MSc. LUIZ VASCO PUGLIA



ALUNO
RICARDO FREITAS



AGRADECIMENTOS

Agradeço a todo o corpo docente da FATEC Santo André por transformar em realidade o sonho de uma escola de destaque em condições tão adversas. Quero destacar os coordenadores de TCC prof. Cleber Willian Gomes e prof. Wagner Massarope por fiscalizarem incessantemente os prazos de cada passo deste trabalho e pelos meus orientadores prof. Wesley Medeiros Torres, prof. Luiz Vasco Puglia e prof. Fabio Delatore por me apoiarem nesta empreitada.

“All models are wrong, but some are useful.”

George E. P. Box

RESUMO

Os custos, a qualidade e o tempo despendido no desenvolvimento de um produto, seja este produto um bem manufaturado ou um serviço, tem-se transformado em uma questão primordial na sobrevivência de uma empresa. Para alcançar o balanceamento destes fatores e responder adequadamente à concorrência acirrada, as organizações tem usado de métodos estatísticos e outras técnicas de resolução de problemas para melhorar a qualidade tanto diretamente no produto vendido ou prestado, quanto no funcionamento da organização como um todo. Este trabalho propõe a aplicação da metodologia de planejamento de experimentos para o desenvolvimento, pela FATEC Santo André, de um protótipo de competição elétrico chamado JARVIS EV, contemplando o menor custo, a objetividade em levantamento e coleta de dados e ações com base nos resultados mais significativos, no menor tempo possível, com a intenção de colocar o veículo em uma posição de destaque na Maratona da Universidade de Eficiência Energética. A proposta passa pela instrumentação, telemetria e aquisição de dados pelo *LabVIEW*, a exportação destes dados no formato de planilha para posterior importação e análise estatística com o uso do *Minitab*. Para a primeira fase é planejado o experimento considerando a maior quantidade de fatores que podem influenciar no consumo de energia do veículo pelo uso da ferramenta p-diagram. Após a coleta de dados pela experimentação fatorial (todas as possíveis combinações dos fatores) é feito o estudo das variáveis que realmente influenciam no rendimento do veículo e a interdependência entre elas, que é o cerne do DOE (Design of Experiments ou Planejamento de Experimentos). Um novo planejamento experimental é feito para encontrar o ponto de melhor rendimento, ajustando os fatores de maior influência no sistema. Por último, o piloto é orientado por voz via rádio pelo chefe de equipe, para que ele dirija o veículo ajustando a pilotagem em cada curva, reta, subida ou descida da pista para obter o menor consumo de energia no final da competição. O chefe de equipe baseia suas decisões nos dados provenientes de telemetria transmitida pelo veículo a cada volta no trajeto da pista de provas.

Palavras chaves: DOE, Design of experiments, *Six-Sigma*, *LabVIEW*TM, *Minitab*[®], telemetria, aquisição de dados.

ABSTRACT

The cost, quality and time spent on the development of a product, being this is a manufactured product or a service, have become a major issue in the survival of an enterprise. To achieve the balancing of these factors and adequately respond to fierce competition, organizations have used statistical methods and other techniques for problem solving to improve at first moment the quality of the product or as the quality provided in the functioning of the organization as a whole. This research proposes to apply the methodology of design of experiments in the development, by FATEC Santo André, for an electric car for competition prototype named JARVIS EV, contemplating the lowest cost, objectivity in data collection and do actions based over the most significant results in the shortest possible time, with the intention to put the vehicle in a prominent position at the University Marathon of Energy Efficiency. The proposal involves the instrumentation, telemetry and data acquisition using *LabVIEW*, exporting these data in spreadsheet format for subsequent import and analysis using *Minitab*. For the first step is the experiment planned considering the larger amount of factors that can influence the energy consumption of the vehicle by the use of p-diagram tool. After collecting data for a factorial trial (all possible combinations of factors) will be done the study of the variables that actually influence the performance of the vehicle and the interdependence between them, which is the core of DOE's (Design of Experiments) methodology. A new experimental design is made to find the point of best performance by adjusting the factors of greatest influence in the system. Finally, the pilot is guided by telematics device by crew chief for him to drive the vehicle by adjusting the way he drives in each curve, straight, uphill or downhill track to do the lowest power consumption at the end of the competition. The crew chief bases his decisions on data transmitted by telemetry from the vehicle in each turn on circuit-racing.

Key words: DOE, Design of experiments, *Six-Sigma*, *LabVIEW*TM, *Minitab*®, telemetry, data acquisition.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Objetivos e Motivação.....	19
1.2	Conteúdo e Metodologia	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Medição de Energia.....	20
2.1.1	Integral de Joule	20
2.2	Eficiência.....	20
2.2.1	Eficiência e emissões de CO₂	21
2.2.2	Brasil – Emissões de CO₂ em veículos.....	21
2.2.3	Reino Unido – CO₂ e o Veículo Elétrico	22
2.3	Qualidade	26
2.3.1	Dimensões da qualidade.....	26
2.3.2	Desempenho	26
2.3.3	Confiabilidade	26
2.3.4	Durabilidade.....	26
2.3.5	Assistência técnica.....	26
2.3.6	Estética	26
2.3.7	Características	27
2.3.8	Qualidade percebida	27
2.3.9	Conformidade com as especificações	27
2.4	DOE.....	27
2.4.1	Histórico Resumido.....	28
2.4.2	A origem agrícola 1918 - 1940	28
2.4.3	A primeira era industrial 1951 - final de 1970	28

2.4.4	A segunda era industrial final de 1970 - 1990	28
2.4.5	A era moderna, começando por volta de 1990	28
2.4.6	Método de Taguchi ou Projeto Robusto	29
2.4.7	Lean Six Sigma	29
2.4.7.1	Defina	30
2.4.7.2	Meça e Analise	30
2.4.7.3	Projete	30
2.4.7.4	Verifique	30
2.4.8	DOE e DMADV	31
2.4.9	Process Diagram (Parameter Diagram, P-Diagram)	32
2.4.10	Análise de Interfaces	32
2.4.11	Experimento Fatorial	34
2.4.12	Superfície de Resposta.....	36
2.4.13	Custos	36
3	METODOLOGIA	38
3.1	Qual é o resultado esperado?	38
3.2	Hardware Utilizado	38
3.2.1	Medição de corrente	39
3.2.2	Medição do acelerador	43
3.2.3	Medições por divisão resistiva	44
3.3	Aquisição de Dados	44
3.4	Modelo do circuito de Interlagos	44
3.5	Minitab	50
3.5.1		50
3.5.2		51
3.5.3		51
3.5.4		51
3.5.5		52
3.5.6		52

3.5.7	53
3.5.8	53
3.5.9	54
3.5.10	54
3.5.11	54
3.5.12	55
3.5.13	55
3.5.14	56
3.5.15	56
3.5.16	56
3.5.17	57
3.5.18	57
3.6 Análises	57
3.7 Gráfico de contorno e região de maior eficiência	62
4 RESULTADOS OBTIDOS	64
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
6 ÁREAS DE APLICAÇÃO DAS CONTRIBUIÇÕES DESTA TESE	66
7 PROPOSTAS FUTURAS DE PESQUISA	67
7.1 BMS: Sistema de Gestão de Bateria (Battery Management Systems).....	67
7.2 Qualidade: Melhoria Contínua.....	67
7.3 Telemetria	67
7.4 Vetor Ótimo	67
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
APÊNDICE A - SENSOR CORRENTE EFEITO HALL ACS712.....	71
APÊNDICE B – MÓDULO PARA 20A USANDO ACS712	73
APÊNDICE C - NI USB-6009	75
APÊNDICE D – MINITAB	78
APÊNDICE E – APOSTILA (MONTGOMERY, 2005)	79

Lista de Figuras

Figura 1 - Média das emissões de CO ₂ de um carro novo no Reino Unido [Extraída de (SMMT, 2011)]	23
Figura 2 - Visão de 30 anos, ilustrando a via provável e taxa de progresso, para alcançar as baixíssimas taxas de emissões de carbono no Reino Unido em 2040 [Extraída de (SMMT, 2011)].	24
Figura 3 - Fluxograma de implementação de um DOE baseado em artigo do Dr. Marcus Vinícius Rodrigues (RODRIGUES, 2009).....	31
Figura 4 - P-Diagram	32
Figura 5 – Caster (KOZŁOWSKI, 2009)	34
Figura 6 - Cambagem (TIMS, 2006)	34
Figura 7 - Convergência (DIAS, 2012)	34
Figura 8 – Interação [dados do autor].....	35
Figura 9 – Experimento segundo o método de superfície de resposta [Extraído de (MONTGOMERY, 2004)]	36
Figura 10 - Variação calculada da resistência com coeficiente de temperatura nominal assumida constante [extraída de (OHMITE MFG. CO., 2014)].	40
Figura 11 - Aumento de temperatura aproximado de um resistor em ar livre para várias especificações [extraída de (OHMITE MFG. CO., 2014)].	41
Figura 12 - ACS712 Tensão de saída x corrente medida x temperatura ambiente	42
Figura 13 - ACS712 Sensibilidade x temperatura ambiente	42
Figura 14 - Medição de corrente no motor	43
Figura 15 - Medição de posição do acelerador (TPS)	43
Figura 16 - Medição da tensão da bateria.....	44
Figura 17 - Medição de posição do volante.....	44
Figura 18 – Kartódromo Municipal Ayrton Senna, ampliado a direita.....	45
Figura 19 – Circuito de Interlagos.....	45
Figura 20 – Contorno Circuito de Interlagos.....	46
Figura 21 – Plotagem das coordenadas GPS	48
Figura 22 - Velocidade máxima atingida por 2 Corsas em diferentes pontos da pista, conforme medições realizadas pela Motor Show (EDITORA TRÊS, 2009)	48
Figura 23 - Autódromo Interlagos layout & registros (F1-FANSITE, 2013).....	49
Figura 24 – Simulação de velocidade pelo trajeto.....	49
Figura 25 - Interação da posição do volante e corrente do motor na velocidade do veículo ...	58
Figura 26 - Efeito Principal para Joules	59
Figura 27 - Efeito Principal para J/m com 7 fatores.....	59
Figura 28 - Efeito Principal para J/m com 4 fatores.....	60
Figura 29 – Interação de fatores para Joule/metros	61
Figura 30 – Interação de fatores para Joule consumidos.....	61
Figura 31 – Interação forte de fatores para Joule consumidos	62
Figura 32 – Otimizando o ponto de trabalho [dados do autor].....	63
Figura 33 - Descritivo ACS712	71
Figura 34 - Características principais ACS712	72
Figura 35 - Esquema elétrico do módulo sku 206999	73
Figura 36 - Foto sku 206999	73
Figura 37 - Signal Label Application Diagram [Extraída de (NI, 2012)]	77
Figura 38 - Signal Labels [Extraída de (NI, 2012)].....	77

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Termos usados em língua inglesa para as várias fase de produção e uso do combustível.....	24
Tabela 2 – Emissões de CO ₂ em 2010 e 2011 (UK).....	24
Tabela 3 - Que carros elétricos já estão no mercado? (UK).....	25
Tabela 4 – Planilha de Interfaces.....	33
Tabela 5 – Contagem numérica de 3 bits	34
Tabela 6 – Combinações para o experimento.....	35
Tabela 7 - Usando DOE reduz a quantidade de testes X testes sem DOE	37
Tabela 8 – Obtendo coordenadas XY de um arquivo DXF.....	47
Tabela 9 – Limites do terreno com as coordenadas do desenho da pista	47
Tabela 10 – Dados aquisitados para experiência fatorial (Cambagem, Caster, Convergência)	50
Tabela 11 - MINITAB Passo a passo	50
Tabela 12 – Experimento de contorno #1.....	63
Tabela 13 - Experimento de contorno #2	63
Tabela 14 - BOM - Lista de materiais sku 206999.....	74
Tabela 15 - Resumo das especificações NI USB-6009 (NI, 2012)	75
Tabela 16 - Parte 01 da apresentação do curso de estatística ministrada pelo Dr. Doug Montgomery	79

Lista de Equações

Equação 1 – Energia Consumida.....	20
Equação 2 – Potência em um resistor.....	20
Equação 3 – Energia em um resistor	20
Equação 4 – Integral de Joule.....	20
Equação 5 – Eficiência	21
Equação 6 – Combustão completa do isoctano	21
Equação 7 – Dissipação em resistor Shunt.....	39

Lista de siglas, acrônimos e abreviaturas

AIAA	- The American Institute of Aeronautics and Astronautics
BMS	- Sistema de Gestão de Bateria (Battery Management Systems)
CO ₂	- Gás carbônico ou dióxido de carbono
CSV	- Valores separados por vírgula (Comma-Separated Values) formato definido na RFC 4180 por (SHAFRANOVICH, 2005)
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
DC	- Corrente contínua (Direct Current)
DFLSS	- Design for Lean Six Sigma
DMADV	- Define, Measure, Analyze, Design, and Verify
DOE	- Design of experiments, planejamento experimental ou planejamento de experimentos
DOX	- Uma outra abreviatura também usada para Design of experiments
DOES	- Design of Experiment Services (www.doesinc.com)
EV	- Electric Vehicle
FATEC	- Faculdade de Tecnologia
GEE	- Gases de efeito estufa
ICE	- Internal Combustion Engine, Motor de Combustão Interna
IDDOV	- Identify, Define requirements, Develop, Optimize, Verify
INOVAR - AUTO	- Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
J.A.R.V.I.S.	- Nas adaptações para o cinema do Homem de Ferro J.A.R.V.I.S. (Just Rather Very Intelligent System) é o nome do sistema de inteligência artificial que auxilia o super-herói
JARVIS EV	- JARVIS - Electric Vehicle, protótipo veicular elétrico da FATEC Santo André
JARVIS E100	- JARVIS - 100% Etanol, protótipo veicular a motor a combustão interna movido a etanol da FATEC Santo André
H ₂ O	- Água

LabVIEW	- Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, linguagem de programação gráfica originária da National Instruments
MDOE	- Modern Design of Experiments
Minitab	- Software estatístico da Minitab Inc.
NAIGT	- New Automotive Innovation and Growth Team (UK)
MR5	- Minimum-Run Resolution V
NI	- National Instruments
PDCA	- Plan, Do, Check, Act
P-Diagram	- Process Diagram ou Parameter Diagram
PBEV	- Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular
RFC	- Request for Comments é um documento que descreve os padrões de cada protocolo da Internet previamente a serem considerados um padrão.
RSM	- Response Surfaces Method
SMMT	- The Society of Motor Manufacturers and Traders, sociedade que suporta e promove os interesses da indústria automotiva do Reino Unido
SI	- Sistema Internacional de Unidades
SVG	- Scalable Vector Graphics – uma forma vetorial de representar desenhos e gráficos bidimensionais em XML
TCC	- Trabalho de conclusão de curso
EU	- União Europeia
USB	- Universal Serial Bus
UK	- Reino Unido (United Kingdom)
VI	- Virtual Instrument
XLS	- Formato de arquivo da planilha Excel da Microsoft
XML	- eXtensible Markup Language – linguagem de marcação para necessidades Especiais

Convenções e Lista de Símbolos

Na notação das equações ao longo do texto adotam-se as seguintes convenções:

a, b	Escalares
i	Corrente elétrica
R	Resistencia
P	Potencia
t	Tempo
W	Energia como grandeza física ou watts (SI) como unidade de potencia
dt	Diferencial em tempo ou fração de tempo
a^2	Grandeza elevada ao quadrado
η	Rendimento
Ω	Unidade de Resistencia ohms (SI)
$\int$	Integral
Δa	Variação de a

1 Introdução

A qualidade tornou-se um dos mais importantes fatores de decisão de escolha de produtos e serviços, seja por um indivíduo, uma organização industrial, um estabelecimento comercial ou o governo (MONTGOMERY, 2004). Consequentemente, compreender e melhorar a qualidade é um fator chave que conduz ao sucesso, crescimento e a uma melhor posição de competitividade de um negócio.

1.1 Objetivos e Motivação

Transportando o conceito de qualidade que é a adequação para o uso e verificando alguns dos pontos relativos da dimensão da qualidade (MONTGOMERY, 2004) para o meio acadêmico, este trabalho tem como meta definir o planejamento de experimento para o veículo de competição JARVIS EV contemplando o menor custo, a objetividade em levantamento de dados e ações sobre os resultados mais significativos para colocar este veículo em posição de destaque na competição de eficiência energética (PROJETO DE COMUNICAÇÃO, 2014). Algo a se ressaltar é que as regras da competição são atualizadas anualmente, então a metodologia apresentada nesta monografia está preparada para as futuras equipes, seja para a competição de eficiência energética seja para qualquer outra iniciativa acadêmica, dando a FATEC Santo André a base e o direcionamento para a evolução constante de todo e qualquer veículo em condições reais de competição com as melhores faculdades do país.

Considerando que o estudo de estatística é uma disciplina autônoma na grade curricular, este trabalho traz uma contribuição ao meio acadêmico por incorporar análise estatística na resolução de problemas reais, algo que tem se tornado comum no mercado corporativo com a adoção do *Six Sigma* e também ao apresentar ao leitor um método consistente no desenvolvimento de experimentos para a melhoria do produto, longe de empirismos, formas ad hoc ou de seguir os passos das equipes que conseguiram melhor pontuação em provas passadas.

1.2 Conteúdo e Metodologia

Este trabalho está distribuído da seguinte maneira: o capítulo 3 descreve os métodos e ferramentas estatísticas além dos softwares envolvidos. No capítulo 3.2, são abordados os componentes eletrônicos adotados no sistema implementado neste projeto. No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos a partir da implementação do sistema de aquisição proposto. Finalmente, no capítulo 5, discute-se sobre as conclusões obtidas através dos resultados coletados, além de indicar possibilidades de novos estudos e desafios no capítulo 7.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Medição de Energia

A energia de um sistema é, em geral, uma característica intrínseca que só depende de sua constituição interna (BOYLESTAD, 1998) e para que esta potência se traduza em trabalho o sistema deve ser utilizado por um intervalo de tempo.

Partindo-se da definição de potência, pode-se calcular a energia por:

Equação 1 – Energia Consumida

$W = P t$	1
-----------	----------

Vemos então que podemos obter a unidade de energia multiplicando-se uma unidade de potência por uma unidade de tempo. No sistema internacional (SI) esta energia ou trabalho é medida em joules (J).

Num circuito elétrico a potência em um resistor segue a seguinte dedução:

Equação 2 – Potência em um resistor

$P = i^2 R$	2
-------------	----------

Equação 3 – Energia em um resistor

$W = i^2 R t$	
$W = \int i^2 R dt$	
$W = R \int i^2 dt$	3

2.1.1 Integral de Joule

Da equação 3 vem a Integral de Joule, que para uma condição de corrente constante fica definida pela equação 4. Nela é mostrada que a energia varia com o tempo e com o quadrado da corrente elétrica.

Equação 4 – Integral de Joule

$\int i^2 dt$	
$i^2 t$	4

2.2 Eficiência

Eficiência é definida como “sf (lat efficientia) 1 Ação, capacidade de produzir um efeito; eficácia. 2 Mec Rendimento” (MICHAELIS, 2004).

Com a definição de eficiência como rendimento, tendo a energia sendo consumida da bateria pelo JARVIS e como a regra de que "a parada intencional na pista é terminantemente proibida" (PROJETO DE COMUNICAÇÃO, 2014) ou de um outro entendimento, que toda a energia deve ser revertida em movimento, temos que a melhor maneira de definir eficiência, para o nosso caso, é energia por distância percorrida dada em joules/metro [J/m] conforme equação 5.

Equação 5 – Eficiência

$\eta = \frac{W}{\Delta x}$	5
-----------------------------	---

2.2.1 Eficiência e emissões de CO₂

Segundo a ONU (NAÇÕES UNIDAS, 1992) as mudanças climáticas tem como base a emissão desordenada dos gases do efeito estufa (GEE), sendo este um tema recorrente nas negociações mundiais para a sustentabilidade da vida no planeta. Nesta convenção se reafirmou a necessidade dos países de adotar políticas nacionais para mitigar a mudança no clima e de que os níveis dos GEE retornem individualmente ao encontrado em 1990. Dentre estes gases o dióxido de carbono (CO₂) se tornou uma referência como encontrado na frase "... emissões antrópicas de dióxido de carbono e de outros gases de efeito estufa ...", isto se deve a ser ele a assinatura e o efeito do desenvolvimento industrial e do uso de energia provenientes da queima do carvão, petróleo e gás natural.

Se por outro lado verificarmos a combustão completa, que nada mais é que a ruptura da cadeia carbônica e a oxidação total de todos os átomos de carbono da cadeia carbônica, os produtos formados pela combustão de hidrocarbonetos serão o CO₂ e H₂O (água). Como exemplo temos a combustão completa de um isoctano (FOGAÇA, 2012), que por sua composição na gasolina define a octanagem deste combustível (BOSCH):

Equação 6 – Combustão completa do isoctano

$C_8H_{18}(g) + \frac{25}{2} O_2 (g) \rightarrow 8 CO_2(g) + 9 H_2O(l)$	6
---	---

2.2.2 Brasil – Emissões de CO₂ em veículos

Se direcionarmos nossa atenção para os veículos automotivos, procurando por ações do governo brasileiro em prol da Convenção sobre Mudança do Clima (NAÇÕES UNIDAS, 1992), encontraremos um descompasso. Para o ano de 2014, segundo o CONAMA, não estão defini-

dos os limites de emissão de CO₂ para os ciclomotores (Resolução 432, 2011) nem para veículos ciclo Otto (Resolução 315, 2002). A razão do CONAMA não ter definido estes limites pode ser devido a outra iniciativa do governo, válida até o final de 2017, o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (INOVAR-AUTO) (Decreto 7819, 2012), que indiretamente reduz a emissão de CO₂ ao contemplar a eficiência energética. O INOVAR-AUTO tem como objetivo apoiar o desenvolvimento tecnológico, a inovação, a segurança, a proteção ao meio ambiente, a eficiência energética e a qualidade dos veículos e das autopeças. Este apoio vem na forma de redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI). Para isso, o crédito presumido do IPI é dado às empresas que se habilitarem no INOVAR-AUTO e honrarem os compromissos definidos no decreto, dos quais se relacionam com o escopo deste trabalho:

- Aderir ao Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV)
- Cumprir com a exigência de menor consumo energético

E por apurações mensais de gastos, com destaque em:

- Pesquisa
- Desenvolvimento tecnológico
- Inovação tecnológica
- Capacitação de fornecedores
- Engenharia e tecnologia industrial básica

Quanto a aderência ao PBEV, em junho de 2014 (Consulta de Veículos Leves, 2014) encontravam-se habilitadas 36 marcas tendo 143 modelos/versões de veículos leves com o selo CONPET (Selo CONPET, 2012). O CONPET é um Programa do Governo Federal, vinculado ao Ministério de Minas e Energia e executado com o apoio técnico e administrativo da Petrobrás para promover o desenvolvimento de uma cultura contrária ao desperdício no uso dos recursos naturais não renováveis no Brasil.

2.2.3 Reino Unido – CO₂ e o Veículo Elétrico

Contudo, no Reino Unido (UK) a preocupação em reduzir as emissões de CO₂ é evidente conforme exposto a seguir pelo estudo da Society of Motor Manufacturers and Traders (SMMT). Neste momento, os dados apresentados a seguir se referem ao Reino Unido.

Ao longo da década passada, o ritmo da evolução tecnológica na indústria automobilística acelerou consideravelmente o foco em como os fabricantes de veículos se concentraram em aumentar a eficiência do uso do combustível de seus veículos e a redução as emissões de CO₂

(figura 1). O refinamento das tecnologias existentes e o desenvolvimento da próxima geração de motores a gasolina e diesel, ao lado de uma gama de veículos movidos a combustíveis alternativos, nunca foi tão elevada, com os fabricantes se esforçando em oferecer soluções de baixíssimas emissões de carbono (SMMT, 2011).

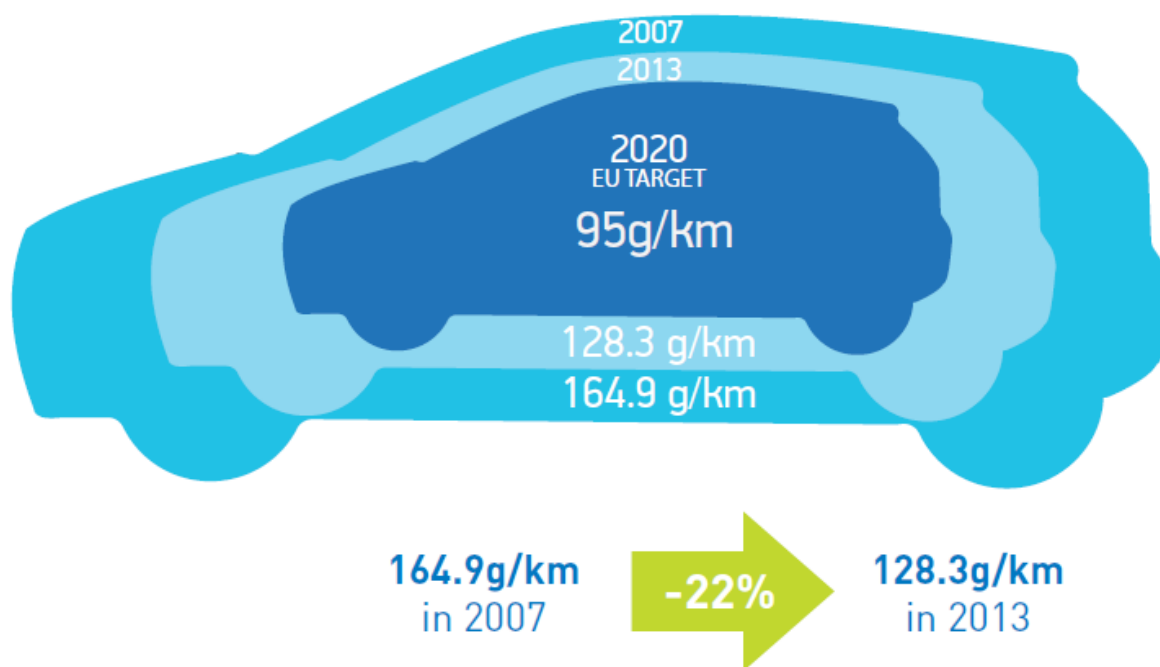


Figura 1 - Média das emissões de CO₂ de um carro novo no Reino Unido [Extraída de (SMMT, 2011)]

O relatório publicado em 2009 pela The New Automotive Innovation and Growth Team (NAIGT), é um consenso de visão entre a indústria e o governo para o futuro da indústria automotiva. O relatório mostra uma visão de 30 anos e inclui um guia que ilustra a razão do progresso de adoções tecnológicas para a redução a níveis muito baixos de CO₂ no transporte (figura 2).

O relatório da NAIGT demonstra claramente dois pontos principais:

1. Os motores de combustão interna continuarão a formar a base do mercado para o futuro próximo com uma evolução significativa na redução das emissões de carbono.
2. Um portfólio de novas tecnologias, como os micro híbridos, híbridos completos, veículos elétricos e células de combustível, estão surgindo em paralelo ao desenvolvimento da tecnologia tradicional.

Definiremos aqui veículo elétrico como o termo genérico para qualquer veículo que é alimentado, em parte ou na sua totalidade, por uma bateria que pode ser conectado diretamente à rede elétrica. Em suma, qualquer veículo que pode ser conectado incluindo os chamados puro-elétrico, híbridos plug-in e os veículos elétricos de alcance estendido.

Para a indústria automotiva para atingir e superar metas de emissões estabelecidos pela União Europeia (UE), todas as tecnologias irão desempenhar um papel. Os veículos elétricos representam uma opção em uma gama de tecnologias que estão sendo desenvolvidas pela indústria automotiva.

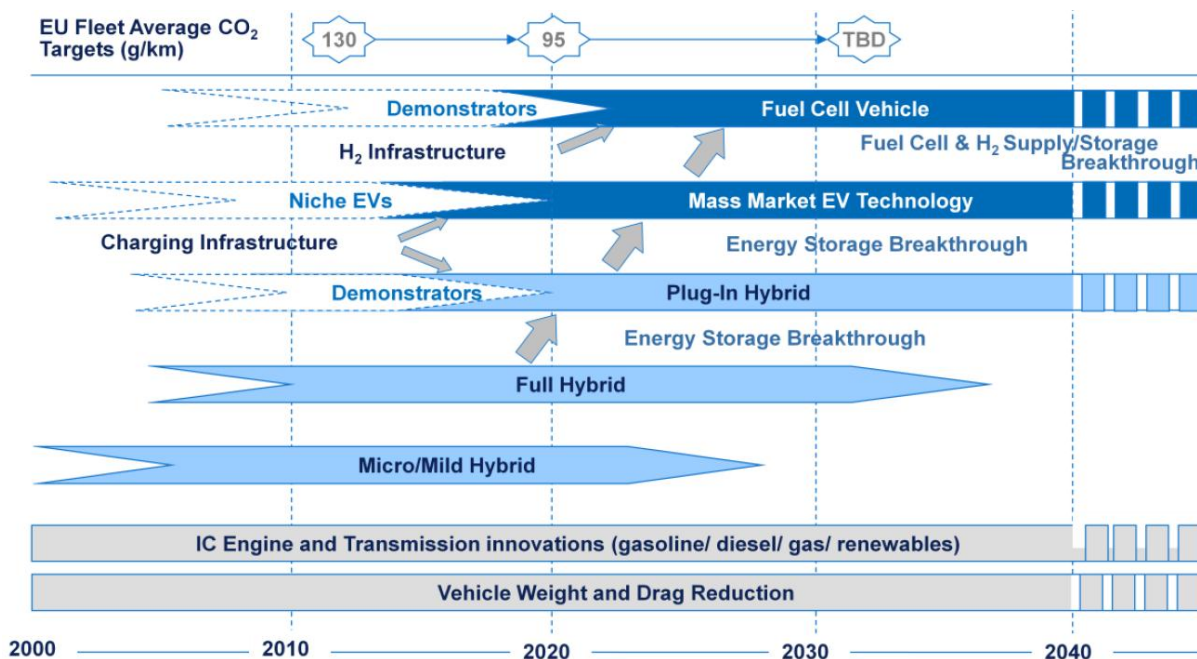


Figura 2 - Visão de 30 anos, ilustrando a via provável e taxa de progresso, para alcançar as baixíssimas taxas de emissões de carbono no Reino Unido em 2040 [Extraída de (SMMT, 2011)].

Na tabela 2 é relacionada a evolução das emissões de CO₂ tanto para o veículo elétrico (EV) como para o veículo a motor de combustão interna (ICE). Na tabela 1 uma descrição dos termos usados:

Tabela 1 – Termos usados em língua inglesa para as várias fase de produção e uso do combustível

tank to wheel	Combustível é utilizado no veículo
well to tank	Estação de reabastecimento / posto de combustível
well to wheel	O ciclo de vida da produção de combustíveis

Tabela 2 – Emissões de CO₂ em 2010 e 2011 (UK)

		Média de Emissões em CO ₂ /Km	
Veículo	Ciclo	(SMMT, 2010)	(SMMT, 2011)
EV	tank to wheel	0g	0g
	well to tank	80g	77g
	well to wheel	80g	77g

	Total	160g	154g
ICE	tank to wheel	149.5g	132.3g
	well to tank	14.5g	14.7g a 29.0g
	well to wheel	164g	147.0g a 161.3g
	Total	328g	294g a 322.6g

Este estudo também relaciona o custo em vários ciclos de uso ao longo dos anos, de como reciclar a bateria, como tratar a carga morando sem estacionamento exclusivo, incentivos, taxas e até a postura de toda a indústria em todos os segmentos de manter a queda anual de emissões mesmo com a adoção do EV pela população.

A tabela 3 é um comparativo de que os carros elétricos estavam no mercado em 2010 e 2011 e isto representa a adoção paulatina do uso da carro elétrico.

Tabela 3 - Que carros elétricos já estão no mercado? (UK)

(SMMT, 2010)			(SMMT, 2011)		
Fabricante	Modelo	Tipo	Fabricante	Modelo	Tipo
Allied Electric Vehicles	e-Bipper Tepee	EV	Allied Electric Vehicles	e-Bipper Tepee	EV
	e-Expert Tepee	EV		e-Expert Tepee	EV
	e-Minibus	EV		e-Partner Tepee	EV
ECC	ev'ie	EV	Citroën	C-Zero	EV
Mega	e-City	Quad-riciclo	Mitsubishi	iMiEV	EV
Reva	G-Wiz	Quad-riciclo	Nissan	LEAF	EV
Tesla	Tesla	EV	Peugeot	iOn	EV
			Smart	ED	EV
			Tata	Vista	EV
			Tesla	Tesla	EV

"O mercado de carros novos encerrou 2013 em alta, por isso é encorajador ver o mercado de janeiro começar o ano com força, subindo 7,6%", disse Mike Hawes, Chefe Executivo do SMMT. "À medida que a economia de combustível passa a ser considerada importante para muitos motoristas, o investimento contínuo por parte dos fabricantes de veículos em inovação, faz da tecnologia de uso eficiente de combustível o fator chave para o crescimento da demanda por carros novos. Olhando para o futuro, a indústria automobilística do Reino Unido espera ver um crescimento moderado e sustentável em 2014".

2.3 Qualidade

A qualidade é uma entidade multifacetada portanto uma resposta simples à pergunta “O que é qualidade?” não é fácil. A definição tradicional baseia-se no ponto de vista de que produtos e serviços devem ter adequação para o uso. Isto ocorre no momento do projeto e posteriormente nos ajustes nos processos de manufatura e o tipo de sistemas de garantia de qualidade seguidos (MONTGOMERY, 2004).

Uma definição moderna de qualidade é que ela é inversamente proporcional a variabilidade, e assim a melhoria da qualidade é a redução da variabilidade nos processo e produtos.

2.3.1 Dimensões da qualidade

A qualidade de um produto pode ser avaliada de várias maneiras, sendo que (GARVIN, 1987) dividiu a qualidade em oito dimensões que resumidamente estão listadas abaixo. A importância deste dimensionamento foi facilitar a análise estratégica dos produtos, verificando mais facilmente quais eram seus pontos fortes e fracos.

2.3.2 Desempenho

O produto realizará a tarefa pretendida?

Normalmente se avalia um produto para determinar se ele desempenhará certas funções específicas e quão bem ele as desempenhará.

2.3.3 Confiabilidade

Qual a frequência de falhas do produto?

Produtos complexos exigirão algum tipo de reparo ao longo de sua vida útil, mas se eles exigem reparos frequentes dizemos que não são confiáveis.

2.3.4 Durabilidade

Quanto tempo o produto durará?

Essa é a vida real do produto. Obviamente se espera um desempenho satisfatório por um longo período de tempo.

2.3.5 Assistência técnica

Qual a facilidade para se consertar o produto?

Quando a visão de qualidade é diretamente influenciada pela rapidez e economia com que um reparo ou manutenção de rotina possa ser feito.

2.3.6 Estética

Qual a aparência do produto?

Esta é a dimensão do apelo visual para se diferenciar dos competidores.

2.3.7 Características

O que o produto faz?

Em geral se associa alta qualidade a produtos que apresentam características a mais, características além do desempenho básico dos competidores.

2.3.8 Qualidade percebida

Qual é a reputação da companhia ou de seu produto?

Em muitos casos a confiança está na reputação passada da companhia em relação à qualidade de seus produtos. Esta reputação é diretamente influenciada pelas falhas do produto e pela maneira com que o cliente é tratado quando é relatado um problema.

2.3.9 Conformidade com as especificações

O produto é feito como o projetista pretendia?

Em geral, consideramos como alta qualidade o produto que apresenta exatamente as especificações a ele destinadas.

2.4 DOE

Segundo a American Society for Quality (ASQ) : “O DOE é uma ferramenta ponderosa que pode ser usada em uma variedade de situações experimentais. O DOE permite que múltiplos fatores de entrada sejam manipulados determinando seus efeitos na saída desejada (resposta). Manipulando múltiplas entradas ao mesmo tempo o DOE pode identificar interações importantes que podem ser perdidas quando executamos experimentos que atuam em um fator por vez. Todas as combinações podem ser investigadas (fatorial pleno) ou apenas a porção de combinações possíveis (fatorial fracionado).”

Montgomery abrevia o DOE como DOX (Design of Experiments) (MONTGOMERY, 2004) mas independente disto, ele afirma que o DOE é:

- Útil no desenvolvimento do processo e na resolução de problemas
- Identifica grandezas e direção dos efeitos importantes das variáveis do processo
- Reduz grandemente o número de sequencias necessárias para executar um experimento
- Identifica interações entre as variáveis do processo
- Útil no planejamento e desenvolvimento de engenharia
- Focaliza na otimização do desempenho do processo

2.4.1 Histórico Resumido

Segundo (MONTGOMERY, 2005) , a história do DOE pode ser dividida em 4 eras:

2.4.2 A origem agrícola 1918 - 1940

Uma melhor descrição para esta fase foi dada por (YANG e EL-HAIK, 2003) onde o DOE foi inicialmente desenvolvido para estudar experiências agrícolas. Na década de 1930, Sir Ronald Fisher, professor da Universidade de Londres, foi o inovador no uso de métodos estatísticos em design experimental. Ele desenvolveu a primeira análise usando variância (ANOVA) como o principal método para a análise de projeto experimental. O DOE foi usado pela primeira vez na Estação Experimental Agrícola de Rothamsted em Londres. As primeiras aplicações industriais do DOE foram na indústria têxtil Inglesa.

Uso de modelos de primeira ordem (testar um subconjunto de pontos fatoriais) (LINE, 2010). Nesta época os cálculos eram feitos por matemáticos e principalmente mulheres (ANDERSON e WHITCOMB, 2012).

2.4.3 A primeira era industrial 1951 - final de 1970

Depois da Segunda Guerra Mundial, os métodos de DOE foram introduzidos nas indústrias químicas e de processos nos Estados Unidos e Europa Ocidental. Box e Wilson (BOX e WILSON, 1951) publicaram a metodologia de superfície de resposta (Response Surfaces Method, RSM).

Uso de modelos de segunda ordem (fatoriais fracionários mais pontos adicionados) (LINE, 2010).

2.4.4 A segunda era industrial final de 1970 - 1990

Melhora na qualidade por iniciativas em muitas empresas.

Dr. Taguchi define projeto robusto / controle de qualidade off-line.

2.4.5 A era moderna, começando por volta de 1990

Temos aqui o uso de modelos de terceira e quarta ordem (permite o uso de modelos de ordem superior) (LINE, 2010). O DOE passa a ser chamado Modern Design of Experiments (MDOE).

Em 2002 (WHITCOMB e OEHLERT, 2002) mostra-se que experimentos fatoriais fracionários (2k-p) usam mais execuções de experimentos que o necessário, sendo introduzido o planejamento por Minimum-Run Resolution V (MR5). Como exemplo para 7 fatores (2^{7-1}) resulta em 64 execuções para estimar 29 coeficientes onde usando o MR5 são necessárias apenas 30 execuções (ANDERSON e WHITCOMB, 2012).

2.4.6 Método de Taguchi ou Projeto Robusto

O método de projeto robusto, também chamado de método Taguchi, a qualidade é medida pelo desvio que uma característica funcional apresenta em relação ao valor esperado da mesma. Os fatores chamados "Perturbação" (temperatura, umidade, poeira, deterioração, etc.) causam tais desvios e resultam em perda de qualidade do produto. Este "prejuízo" pode ser avaliado através de uma "função perda" que foi inicialmente proposta pelo Dr. Genichi Taguchi (PAREDES, 2012). A proposta do método Taguchi é a de determinar a função perda do produto e otimizá-la empregando técnicas estatísticas. Estas análises permitem identificar os parâmetros ótimos de projeto que minimizam ou mesmo eliminam as influências dos fatores perturbação no desempenho do produto. Assim, em lugar da tendência tradicional de isolar o produto dos fatores perturbação, o que pode ser de difícil execução e/ou encarecer o processo produtivo, o método de Taguchi ambiciona realizar projetos que eliminem os efeitos dos fatores perturbação no produto.

Como todo desenvolvimento em nossa sociedade, as teorias são formuladas com base no conhecimento passado seguido por tentativa e erro até a comprovação, e mesmo o que é considerado certo, regularmente sofre revisões. O Dr. Taguchi é mencionado com ressalvas pelo Dr. Montgomery (MONTGOMERY, 2004), mas antes de tudo, é valorizado o procedimento muito bem escrito e estruturado do seu método. Parte deste procedimento, resumido por uma sequência de ações, é frequentemente usado e ajustado como no caso de “define, measure, analyze, design, and verify” (DMADV) que pode também ser escrito como “identify, define requirements, develop, optimize, verify” (IDDOV), ou ainda, lembrando Deming com o ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act), onde se planeja, mede-se o que foi feito, analisa-se os resultados e toma-se uma atitude em cima destes dados, o que o torna em senso comum.

2.4.7 Lean Six Sigma

Lean Six Sigma tem sido aplicado com sucesso em uma variedade de indústrias e funções para resolver problemas de negócios e melhorar o desempenho de produtos, processos e serviços (JUGULUM e SAMUEL, 2008). Design for Lean Six Sigma (DFLSS) pode ser entendido como projetando um produto, processo ou serviço para prestar a função pretendida com o menor custo e com o nível de qualidade e valor para o consumidor. A metodologia usada para alcançar os objetivos do Six Sigma segue a ordem: defina, meça, analise, projete e verifique que em inglês é define, measure, analyze, design and verify (DMADV) (JUGULUM e SAMUEL, 2008).

2.4.7.1 Defina

Identifique as necessidades do cliente e a estratégia pretendida.

Nesta fase as expectativas do cliente são identificadas. Após este passo é feito um estudo de viabilidade e da tecnologia envolvida, seguida da validação da proposta. Isto nos permite definir o escopo do projeto com objetivos claros, orçamento planejado, as necessidades de alocação de recursos e também os marcos de execução do projeto.

A técnica escolhida para garimpar as expectativas e os desempenhos esperados pelo cliente (FATEC) esta fase é o Process Diagram (P-Diagram) sendo detalhado no capítulo 3.

2.4.7.2 Meça e Analise

Entregar o projeto detalhado, avaliando várias alternativas de projeto.

Projeto de conceito - As expectativas dos clientes são convertidas em requisitos funcionais contestáveis e mensuráveis. Os requisitos funcionais são também referidos como característica de qualidade crítica (CTQ). Nesta fase, as expectativas irão fluir para níveis mais minuciosos para entender os requisitos e chegar a boas concepções. Aplicação da abordagem de design robusto através da identificação das perturbações também tem lugar nesta etapa.

Projeto preliminar - Um projeto detalhado é identificado através da avaliação de várias alternativas. Nesta fase as abordagens e estratégias de design robusto também serão usadas. O processo de seleção, conceituado por Stuart Pugh, pode ser usado para selecionar a melhor alternativa em relação aos critérios necessários, tais como custo ou tempo de ciclo.

2.4.7.3 Projete

Projete sobre o ponto de vista da produtividade (requerimento de negócio) e da qualidade (requerimento do cliente) e realize o projeto.

Projeto final - É desenvolvido o projeto baseado na produtividade (requisitos de negócio) e no ponto de vista de qualidade (requisitos do cliente).

2.4.7.4 Verifique

Faça um projeto piloto, atualize conforme a necessidade e parta o projeto atualizado.

Validação do produto – O projeto final é testado contra o desempenho e a capacidade prevista. Um projeto piloto é criado e executado, a confirmação é realizada para vali-

dar o desempenho do projeto. Uma vez feito isso, um plano de controle será posto em prática para sustentar os ganhos.

Validação do processo - O processo que foi usado para construir o produto é medido e verificado, e um plano de controle apropriado é selecionado para as variáveis de processo.

Lançamento do produto - O desenho final é trazido a prática e os resultados das fases anteriores são implementadas. O design, os controles de medição e controles de processo são institucionalizadas.

Pós lançamento - Os resultados do projeto do produto são verificados para possivelmente ser usado para alavancar outras aplicações.

2.4.8 DOE e DMADV

O fluxograma de implementação de DOE (figura 3) segue a sequência DMADV acrescido dos processos intrínsecos de determinar fatores, perturbações, níveis e cálculos fatoriais.

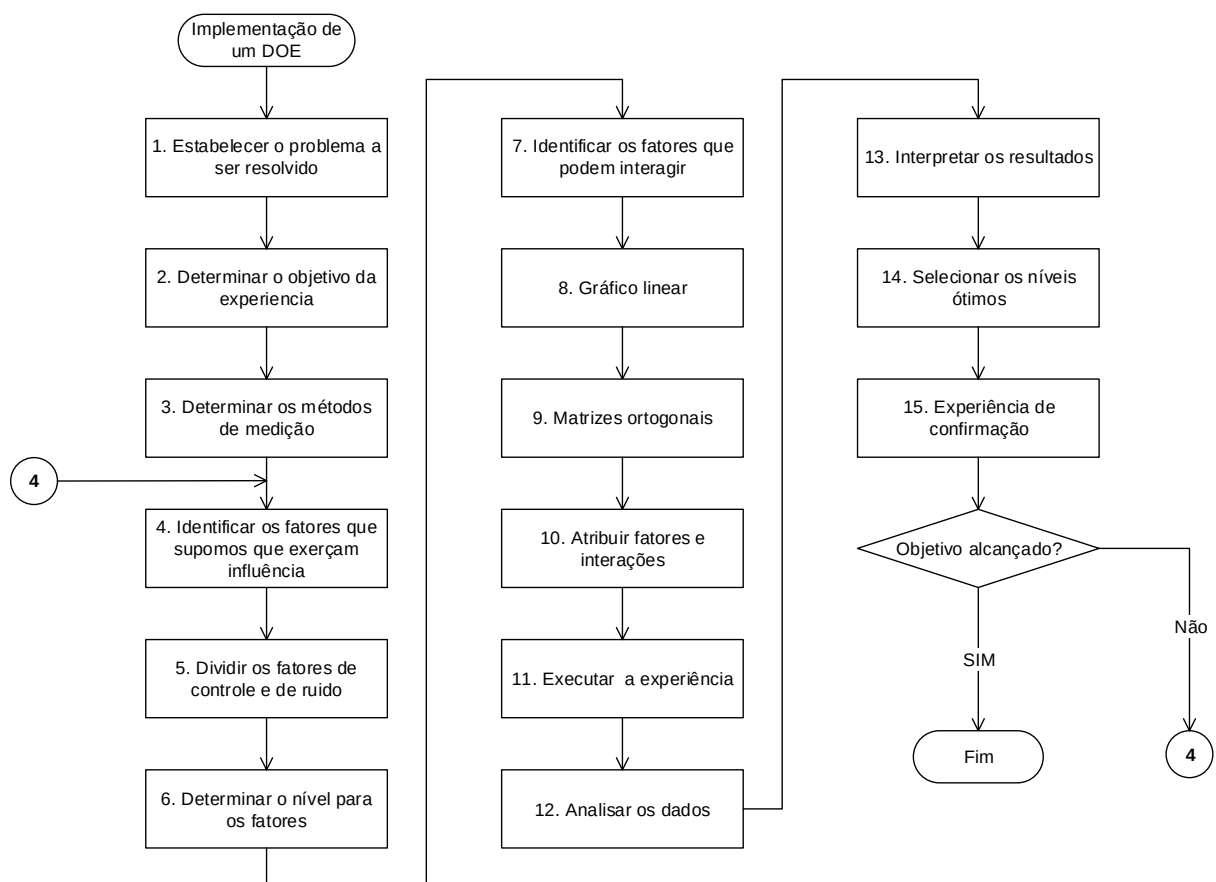


Figura 3 - Fluxograma de implementação de um DOE baseado em artigo do Dr. Marcus Vinícius Rodrigues (RODRIGUES, 2009)

2.4.9 Process Diagram (Parameter Diagram, P-Diagram)

Segundo os itens 4 e 5 do fluxograma de implementação de DOE (figura 3), usamos a ferramenta P-Diagram para identificar os fatores e dividir controle de perturbação (figura 4). Neste momento não se tem com certeza se, por exemplo, a temperatura é um perturbação ou um fator relevante. Mas tendo em mente que tudo pertence a um ciclo (PDCA) após os ensaios ocorre a revisão do P-Diagram e nova rodada de testes até que se alcance os objetivos.

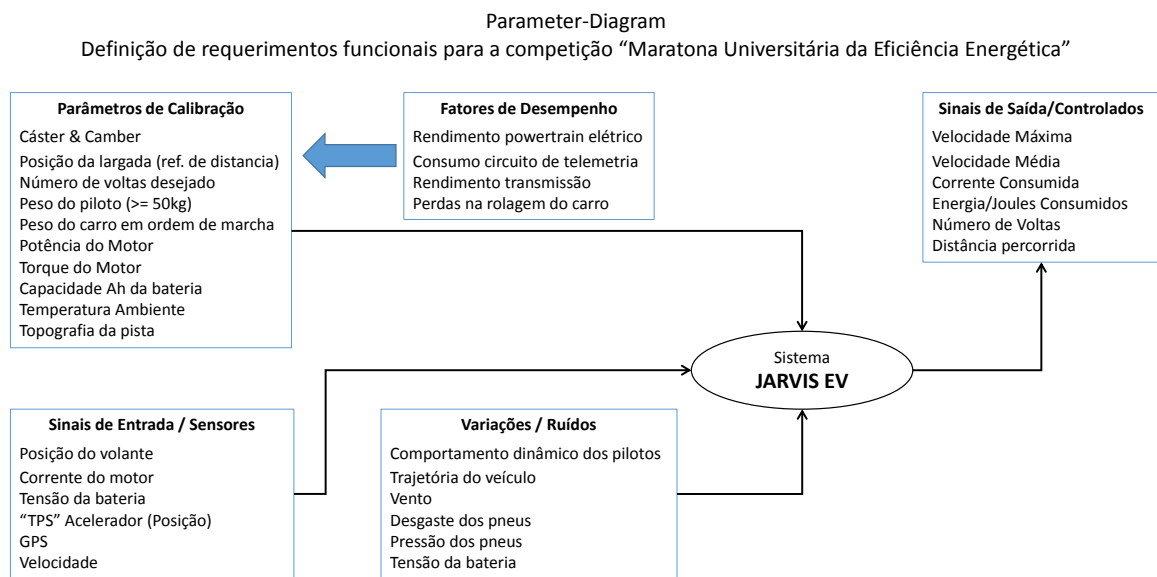


Figura 4 - P-Diagram

2.4.10 Análise de Interfaces

Para determinar o nível dos fatores, item 6 do fluxograma de implementação de DOE (figura 3), se recorre a planilha de interfaces (tabela 4). Nela são colocados os limites esperados de excursão de cada variável e qual a taxa de variação e consequente taxa de aquisição das mesmas.

Tabela 4 – Planilha de Interfaces

Grandeza	Taxa de aquisição	Valor Mínimo	Valor Máximo	Unidade	Tipo	Entrada do Dado
Potência do Motor	A cada carro			W	Analógico	Manual
Torque do Motor	A cada carro			Nm	Analógico	Manual
Capacidade Bateria	A cada carro			Ah	Analógico	Manual
Peso do piloto + lastro	A cada ensaio	50	70	kg	Analógico	Manual
Peso total carro	A cada ensaio			kg	Analógico	Manual
Cambagem	A cada ensaio	0	5	graus	Analógico	Manual
Caster	A cada ensaio	0	7	graus	Analógico	Manual
Convergência	A cada ensaio	-7	7	graus	Analógico	Manual
Pressão pneu Dianteiro Direito	A cada ensaio	30	100	PSI	Analógico	Manual
Pressão pneu Dianteiro Esquerdo	A cada ensaio	30	100	PSI	Analógico	Manual
Pressão pneu Traseiro	A cada ensaio	30	100	PSI	Analógico	Manual
Temperatura Ambiente	30 s	10	40	graus	Analógico	Automático
Vento	A cada volta	10	30	km/h	Analógico	Manual
GPS	1 s				Analógico	Manual
Posição da largada	1 volta	0		ciclo	Digital	Manual
Distância percorrida	A cada volta			metro	Analógico	Manual
Posição do volante	1 s	-40	40	graus	Analógico	Automático
Bateria	1 min	22	25	volt	Analógico	Automático
Corrente no motor	1 s	0	20	ampere	Analógico	Automático
Acelerador	1 s	0	100	%	Digital	Automático
Velocidade	1 s	0	45	Km/h	Digital	Automático

2.4.11 Experimento Fatorial

Vamos reduzir o estudo da ação para os seguintes ângulos: Caster ou ângulo de avanço (figura 5), Cambagem (figura 6) e Convergência (figura 7) na dinâmica do JARVIS para exemplificar como o DOE será conduzido.

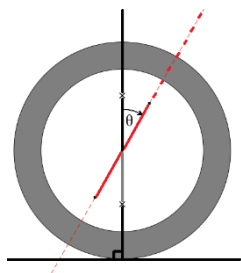


Figura 5 – Caster
(KOZIOWSKI, 2009)

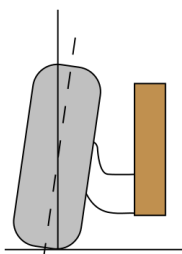


Figura 6 - Cambagem
(TIMS, 2006)

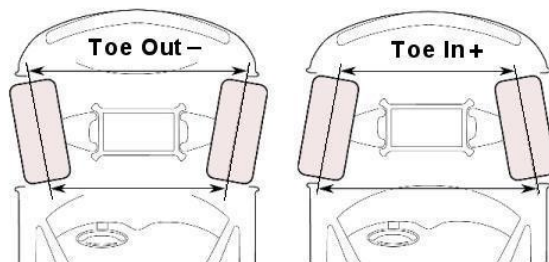


Figura 7 - Convergência (DIAS, 2012)

Para 3 fatores temos todas as possíveis combinações:

Tabela 5 – Contagem numérica de 3 bits

Caster	Cambagem	Convergência
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

Que traduzindo para o definido na tabela de interfaces:

Tabela 6 – Combinações para o experimento

Experimento	Caster	Cambagem	Convergência
1	0	0	-7
2	0	0	7
3	0	5	-7
4	0	5	7
5	7	0	-7
6	7	0	7
7	7	5	-7
8	7	5	7

A este processo é dado o nome de Experimento Fatorial (MONTGOMERY, 2004). Então, para o experimento, serão executadas 9 voltas na pista em que cada volta é feita a combinação do ajuste de Caster, Cambagem e Convergência.

De posse dos dados, usa-se o Minitab para calcular as várias interações entre as variáveis e se procura por aquelas onde as linhas do gráfico se cruzem (figura 8) e que tenham os maiores ângulos de abertura. Despreza-se assim, gráficos de retas paralelas e de linhas que não se cruzam pois estas indicam uma baixa interação entre variáveis.

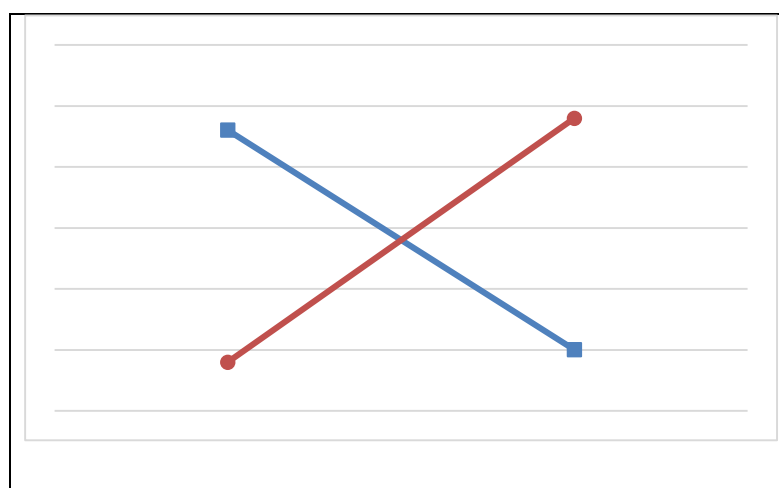


Figura 8 – Interação [dados do autor]

Imaginando que a maior interação ocorreu com os fatores Cambagem e Convergência, estes fatores são eleitos o motivo para os esforços e tempo despendido no desenvolvimento do experimento.

2.4.12 Superfície de Resposta

Uma vez definida as variáveis (fatores) que afetam a resposta do sistema, a idéia a seguir é otimizar para obter o melhor ponto de trabalho (MONTGOMERY, 2004). Então, baseado na figura 9, onde o rendimento de um processo adquire os valores de 56%, 58%, 69% e 82% para a combinação de dois fatores, o tempo (1,3h e 2,4h) e a temperatura (145°F e 165°F), que são variados conjuntamente em 2 níveis e retornam as 4 vértices de um quadrado, indicando que devemos mover para o acréscimo de temperatura e diminuição do tempo. Uma vez estando na região do ótimo um experimento mais elaborado, com a menor variação dos níveis, pode ser feito para estimar com mais precisão o ponto ótimo de trabalho do sistema.

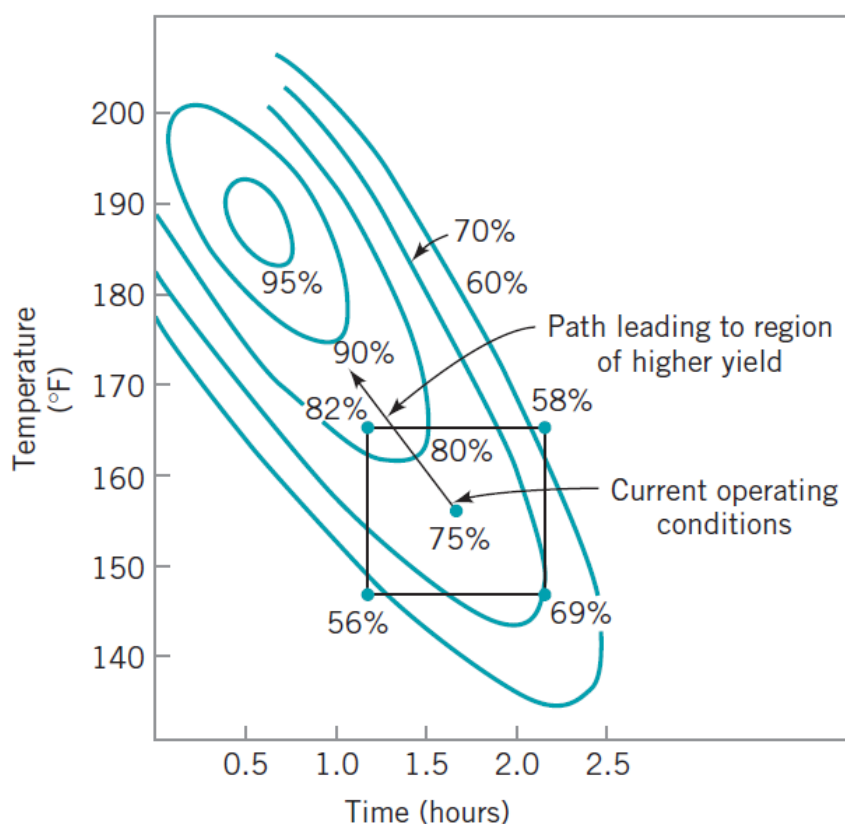


Figura 9 – Experimento segundo o método de superfície de resposta [Extraído de (MONTGOMERY, 2004)]

2.4.13 Custos

Existe um levantamento sobre ganhos com o uso do DOE que reproduzo abaixo. Este levantamento é a junção de informações de 2010 fornecidas pela The American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) (LINE, 2010) cruzadas com dados de 2009 da Design of Experiment Services (DOES) (LINE, 2009).

Segundo a DOES (LINE, 2009), que presta serviços desde 1989 e tem projetando mais de 400 testes completos nas mais variadas indústrias: “claro que a redução de custos depende do cus-

to de cada teste. Ao longo do tempo nossa média mostra uma redução de 55% nos testes usando DOE”.

Os projetos 6 a 10 são projetos de grande porte (LINE, 2010). Assim, quanto mais fatores são avaliados em um teste, maiores a economia em custo em corpos de prova segundo a experiência da DOES com o uso de DOE. Os valores de redução de custos apresentados estão em percentagem por serem confidenciais.

Tabela 7 - Usando DOE reduz a quantidade de testes X testes sem DOE

	Número de corpos de prova		
Projeto	Sem DOE	Com DOE	Redução de Custos
1	60	32	US\$ 7000
2	150	53	US\$ 19400
3	64	32	US\$ 40000
4	70	31	US\$ 9750
5	<34	20	US\$ 7000
Total	378	168	55% média
6	729	124	84%
7	97	43	56%
8	3125	33	99%
9	125	13	90%
10	125	20	84%
Total	4579	401	94% média

No nosso caso será difícil determinar os custos envolvidos, pois grande parte do projeto vem de doações, suporte dos patrocinadores e trabalho voluntário de professores e alunos.

3 Metodologia

Este capítulo mostra a metodologia de um ciclo de desenvolvimento, tendo sempre em mente que o princípio da melhoria contínua deve estar presente e que, a cada progresso conseguido, um novo patamar de excelência deve ser almejado. Apresento um rascunho para o hardware de aquisição de dados e um fluxo para a aplicação do DOE usando o Minitab no processamento dos dados.

Considerando o fluxograma do DOE (figura 3), o item 3 pede a definição dos métodos de medição que é descrito durante o capítulo 3.2.

3.1 Qual é o resultado esperado?

Como o resultado final é ganhar a Maratona da Eficiência Energética e como a organização da maratona usa um Joulemeter para pontuar os carros, a energia (J) torna-se a mais relevante a ser medida ou calculada, assim, devemos ter em mente a menor energia consumida no final de cada volta no percurso. Pela Integral de Joule (equação 4) a energia será calculada pelo quadrado da corrente medida e a eficiência energética pela energia por distância percorrida (equação 5).

Nunca podemos esquecer da atuação da piloto que com o volante do carro define a distância efetiva percorrida e o esforço para fazer uma curva e com a variação no acelerador a energia usada no movimento e no aquecimento do motor. Usualmente as mulheres são mais leves e menores que os homens (FONSECA, FAERSTEIN, *et al.*, 2004) sendo indicadas para que a relação potência por peso no veículo seja favorável. Ela deve ter o constante retorno do desempenho do carro e ser orientada para que as manobras de direção e aceleração seja melhor aproveitadas.

3.2 Hardware Utilizado

O módulo NI USB 6009 fica responsável em alimentar com 5 volts os circuitos de telemetria. Estes 5 volts procedem deste módulo pela USB do computador portátil que estará rodando o LabVIEW. Assim, não há influência da telemetria no consumo da bateria nesta fase do projeto. O LabVIEW fica encarregado de agilizar a aquisição de dados por se integrar facilmente ao NI USB 6009 e por ser de conhecimento dos discentes pelas aulas de Ferramentas Computacionais de uso Automotivo, ministrada no 5º semestre.

Durante a prova da Maratona a telemetria passa a ser usada no acompanhamento do desempenho do carro e do piloto para a orientação da pilotagem e nem tanto no desenvolvimento do JARVIS. Assim, os circuitos passam a serem alimentados exclusivamente pela bateria do veículo (PROJETO DE COMUNICAÇÃO, 2014). Nesta condição deve-se acrescentar uma a-

bordagem de empacotamento de dados e envio por ZigBee ou outra comunicação sem fio com ênfase na baixa potência de operação e baixo custo de implantação. Para que isto ocorra, estes dados devem ser enviados quando próximos do chefe de equipe que deve estar munido de um receptor e de um aplicativo a ser desenvolvido para este fim. Para que este sincronismo de envio pela posição na pista seja conseguido recomenda-se o uso de GPS. Outrossim, espera-se que o consumo de energia pelo JARVIS esteja relacionado com a topografia da pista da prova e do movimento no volante e do acelerador pelo piloto na execução de cada curva, aclive e declive a ser superado.

3.2.1 Medição de corrente

O limite de 20 A é definido no regulamento (PROJETO DE COMUNICAÇÃO, 2014). Então a escolha do motor e medidor de corrente seguem este limite.

Duas possibilidades de medição de corrente contínua (DC) são comparadas, uma pela lei de Ohm usando um resistor de baixo valor (shunt) seguido de amplificação e outra pelo uso de circuito por efeito Hall.

Para um resistor de 0,01 ohms, 20 A perfaz uma dissipação de:

Equação 7 – Dissipação em resistor Shunt

$P = i^2 * R$	7
$P = 20^2 * 0,01 \Omega$	
$P = 4W$	

A equação 7 mostra uma variação quadrática da potência pela corrente. Portanto uma pequena variação na corrente leva a uma rápida variação na potência dissipada e consequentemente na temperatura do componente.

Usando dados da Ohmite (OHMITE MFG. CO., 2014) , onde temos a variação da resistência pela temperatura (figura 10) e a variação da temperatura na condição “ao ar livre” (figura 11).

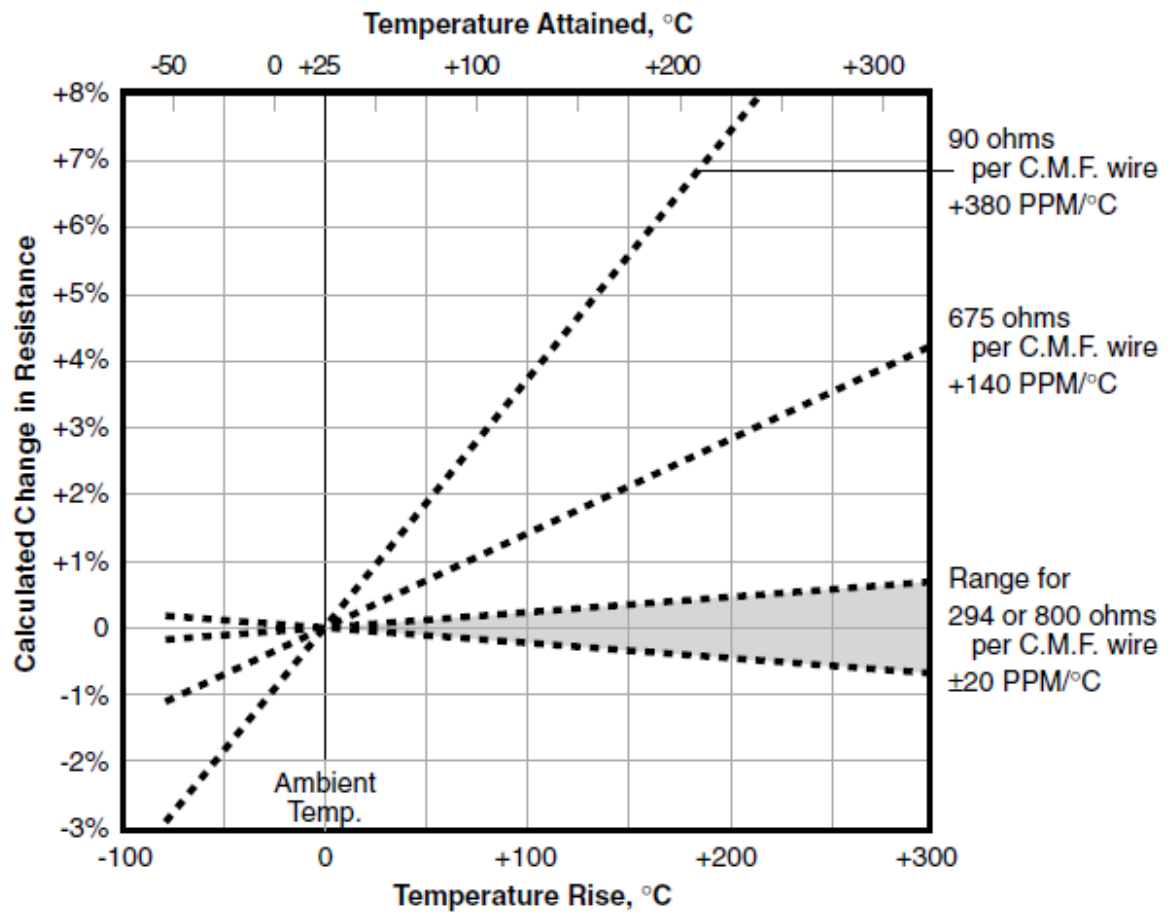


Figura 10 - Variação calculada da resistência com coeficiente de temperatura nominal assumida constante [extraída de (OHMITE MFG. CO., 2014)].

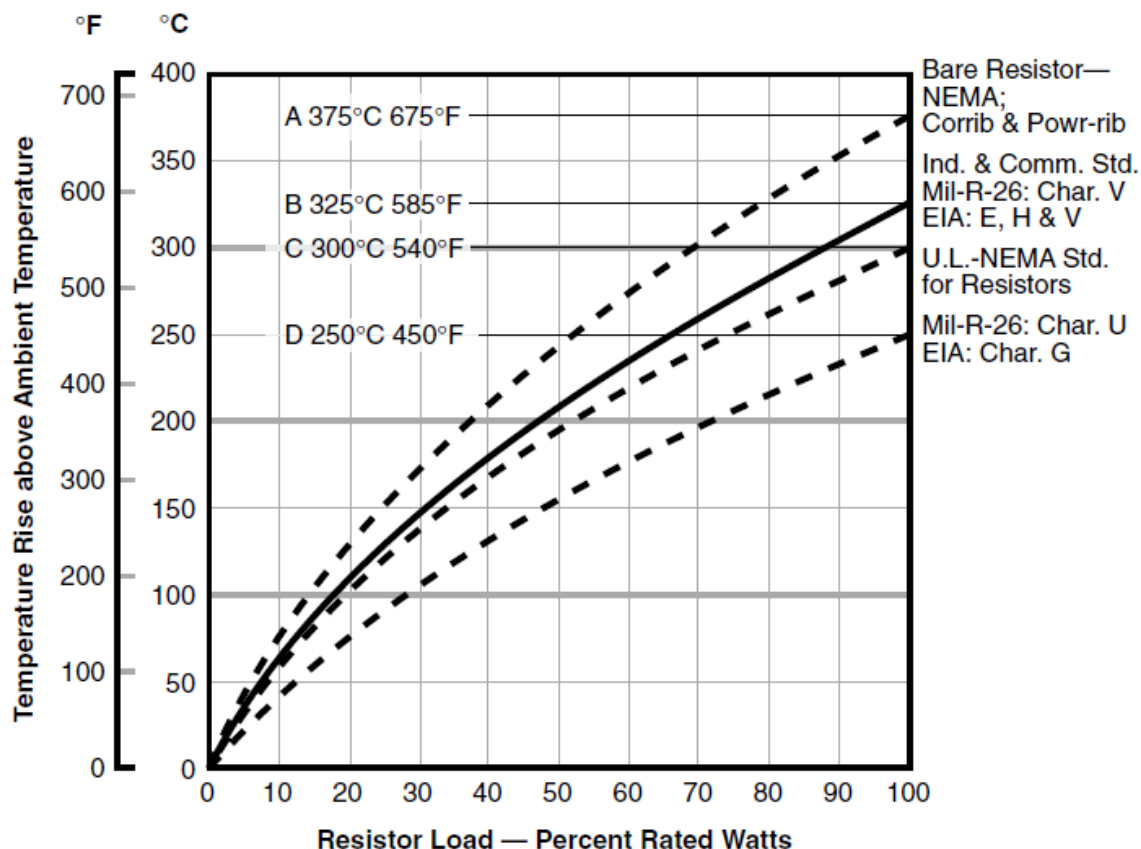


Figura 11 - Aumento de temperatura aproximado de um resistor em ar livre para várias especificações [extraída de (OHMITE MFG. CO., 2014)].

Por estes gráficos temos aproximadamente um aumento de 30° C para 4 W e 1% de variação no valor da resistência. Para um resistor específico esta variação está intimamente ligada a sua área de radiação, a condutividade térmica do núcleo e materiais de revestimento, a relação entre comprimento e diâmetro, o efeito da montagem na dissipação do calor, e outros fatores menores (OHMITE MFG. CO., 2014).

Para a medição de corrente por efeito Hall escolheu-se o ACS712 20A que possui uma resistência de condução de 1,2 mΩ e portanto, usando a equação 7 chegamos a 0,48 W de potência dissipada que leva a uma variação de temperatura muito baixa conforme o gráfico 7.

O gráfico figura 12 mostra a pouca variação do componente com a temperatura. No gráfico figura 13, imaginando a condição de 25° a 40° para a temperatura no ACS712 resulta numa sensibilidade de 100,3 a 100,4 mV/A, nada que se compare aos 1% na resistência shunt.

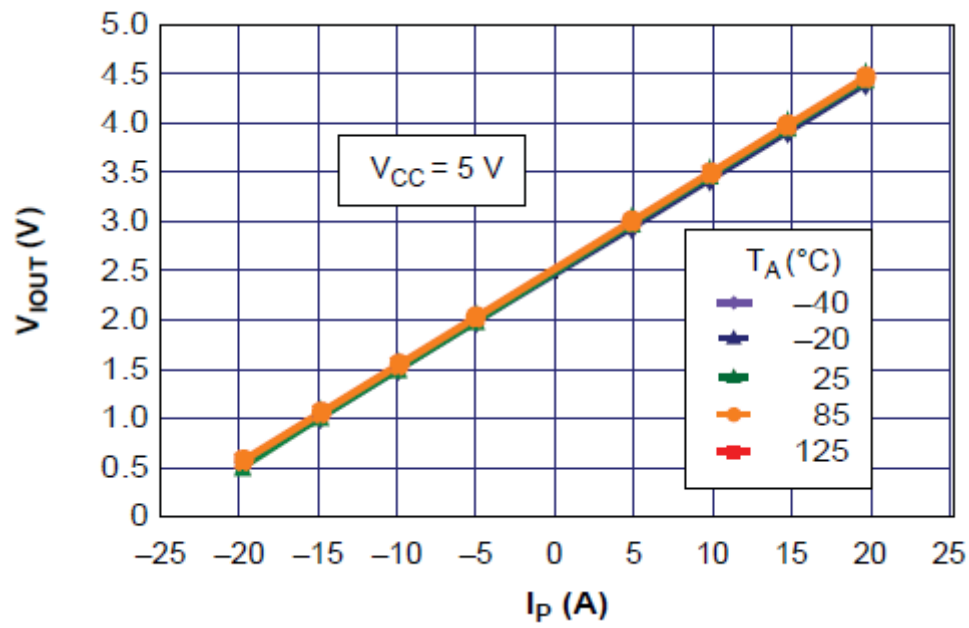


Figura 12 - ACS712 Tensão de saída x corrente medida x temperatura ambiente

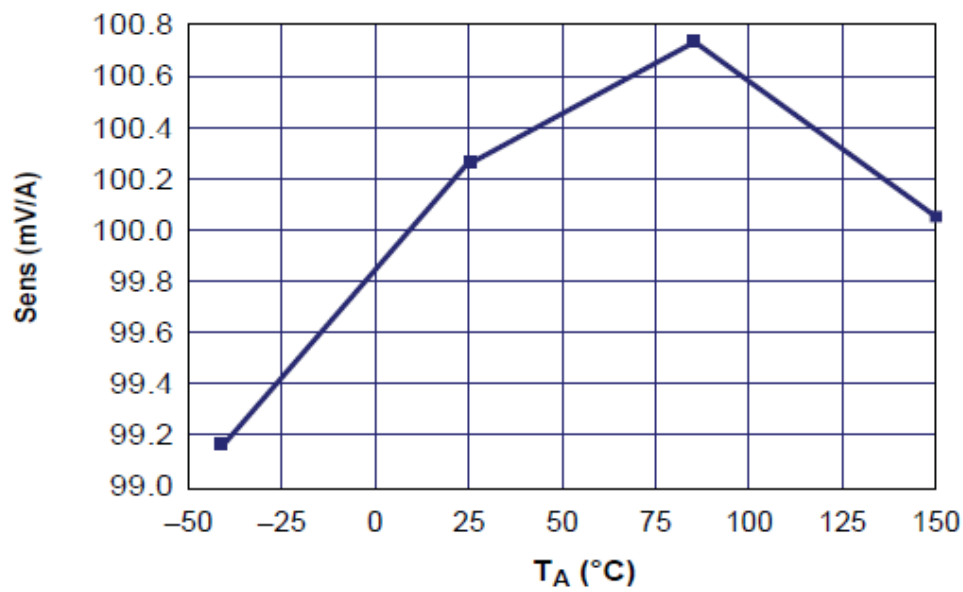


Figura 13 - ACS712 Sensibilidade x temperatura ambiente

Nos apêndices há mais dados sobre um módulo pronto e de baixo custo que se adequa ao uso no JARVIS. O esquema para uso é mostrado na figura 14.

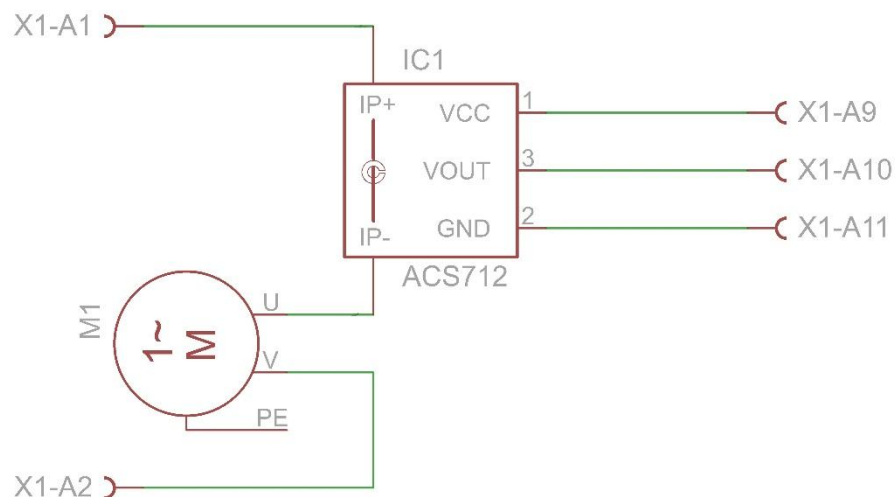


Figura 14 - Medição de corrente no motor

3.2.2 Medição do acelerador

O acionamento do circuito de velocidade usado pelo JARVIS é equivalente a um sensor de posição digital incremental (encoder incremental).

Para a decodificação da posição do acelerador pode-se começar usando entradas digitais do NI USB 6009, colocando o LabVIEW em alta prioridade e pedindo ao piloto acelerar ou desacelerar suavemente o JARVIS durante os testes. Se não houver êxito a sugestão seria o uso de um circuito digital onde o sentido de rotação pode ser conseguido pela saída de um flip-flop tipo D (TI SN74S74, 1988) com o CLK alimentado pelo sinal fase 90 e Dado com o sinal fase 0 seguindo de um contador digital com quantos bits se desejar de precisão com controle up/down (TI SN74LS191, 1988). Temos a referência de circuito na figura 15.

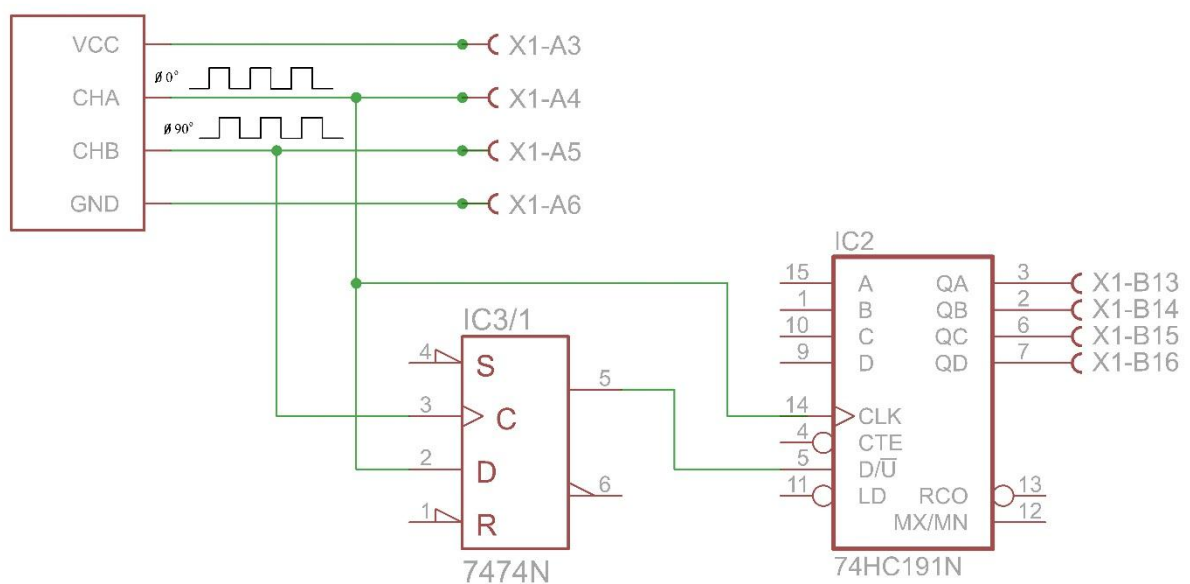


Figura 15 - Medição de posição do acelerador (TPS)

3.2.3 Medições por divisão resistiva

Por serem muito simples segue apenas o esquema para a medição da tensão da bateria e da posição no volante.

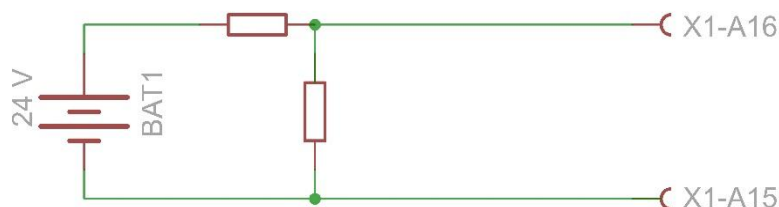


Figura 16 - Medição da tensão da bateria



Figura 17 - Medição de posição do volante

3.3 Aquisição de Dados

Por decisão conjunta com o orientador, optou-se por criar uma planilha de dados fictícios mas coerentes e assim pôr esforços no estudo da metodologia e da ferramenta de estudo estatístico. Deste momento em diante a referência a estes dados será como se efetivamente eles fossem derivados de estudo experimental.

3.4 Modelo do circuito de Interlagos

A maratona é feita no Kartódromo Municipal Ayrton Senna, ao lado do Autódromo José Carlos Pace. É um circuito menor, usado para corrida de kart e aprendizado. Infelizmente a única imagem da planta encontrada proveio do Google Maps na visualização “satélite” (figura 18). Assim a planta do autódromo, melhor documentada, passa a ser estudada como se fosse a usada pela maratona. Fica a partir deste ponto referenciado o circuito da maratona como sendo o do autódromo.

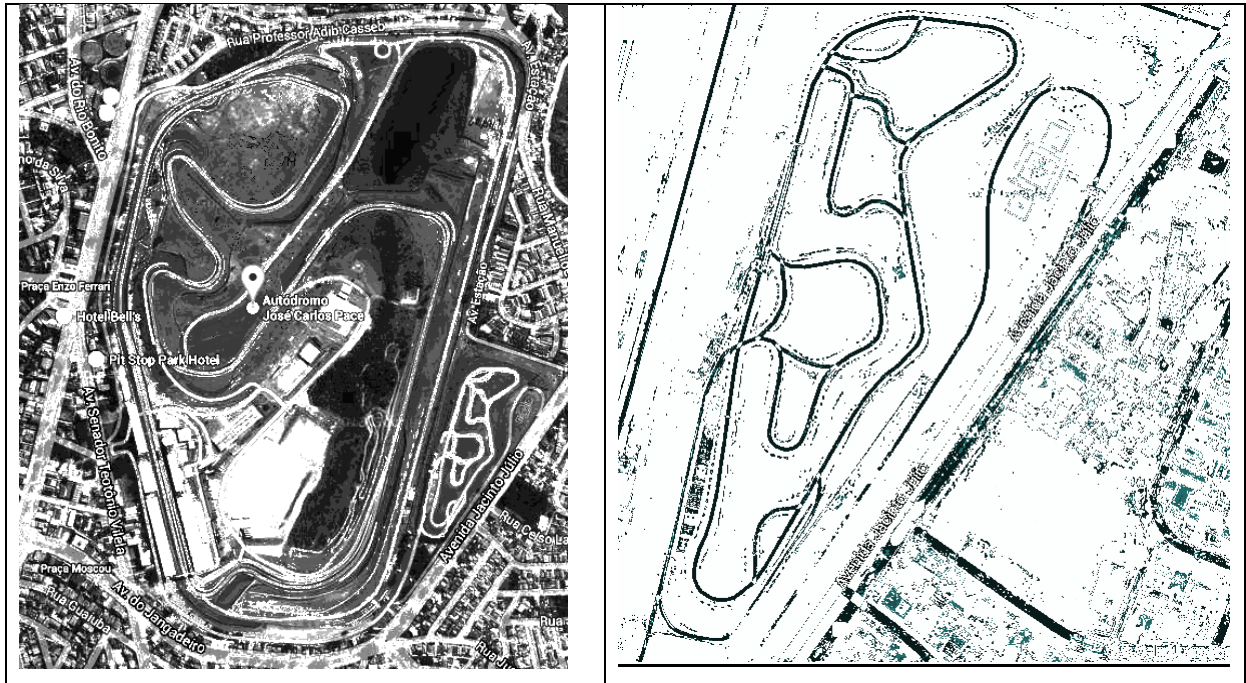


Figura 18 – Kartódromo Municipal Ayrton Senna, ampliado a direita

Para ter coordenadas XY que representassem o circuito e que tivesse uma correlação com as coordenadas GPS do trajeto do veículo durante a prova usou-se o seguinte procedimento:

- Obtenção de um mapa em SVG do Autódromo José Carlos Pace (PITTENGER, 2009)

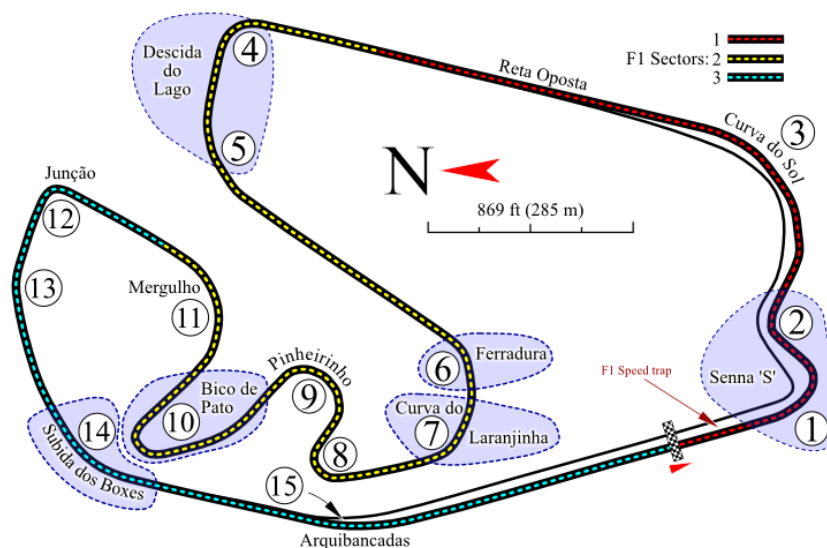


Figura 19 – Circuito de Interlagos

- Importação deste arquivo SVG em software gráfico como exemplo o DIA (GNOME ORG, 2013) ou o Inkscape (INKSCAPE ORG, 2014).

- Desenho em linha simples sobre o trajeto do veículo
- Apagado o mapa completo, deixando apenas o traçado
- Salvo o arquivo SVG
- Verificado se o trabalho está correto, por exemplo, usando um conversor online SVG para PDF como o encontrado em:
<http://www.fileformat.info/convert/image/svg2pdf.htm>

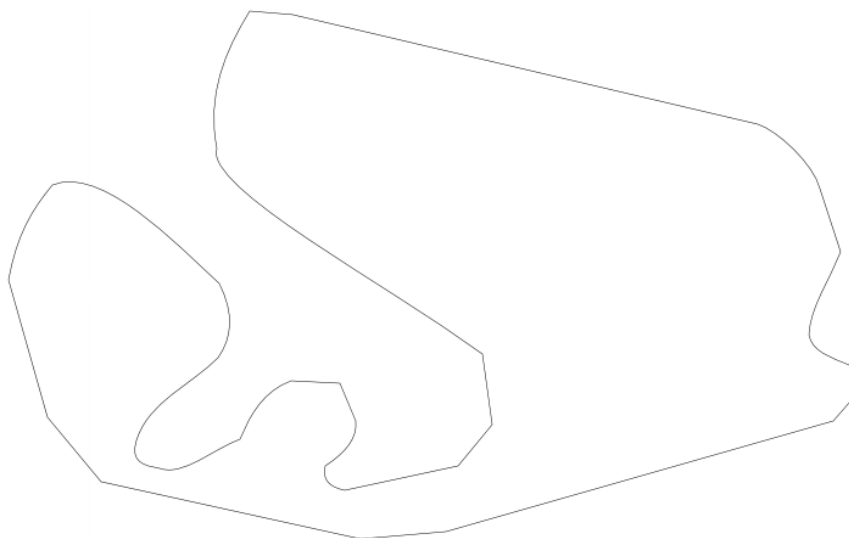


Figura 20 – Contorno Circuito de Interlagos

- Exportado o traçado para o formato DXF
- Ao se abrir o arquivo DXF num editor de texto encontramos a sequencia

```

VERTEX
10
-47.726240
20
-2.512239

```

Onde VETEX 10 refere-se ao eixo X e VETEX 20 ao Y

- Agora é copiado o conteúdo do arquivo DXF para uma coluna de uma planilha
- E apagado as linhas com outras informações, no caso de 1 a 53 e as últimas 6 linhas
- Os campo X e Y são encontrados segundo demonstrado na tabela a seguir:

Tabela 8 – Obtendo coordenadas XY de um arquivo DXF

	A	B	C	D	Equações “B”	Equações “C”	Equações “D”
2		offset	X	Y	offset	X	Y
3	VERTEX	3	-47.72624	-2.512239	Valor ini- cial = 3	=OFFSET (\$A\$2,B3, 0)	=OFFSET (\$A\$2,B3 +2,0)
4	10	9	-48.11719	-3.141011	=B3+6	=OFFSET (\$A\$2,B4, 0)	=OFFSET (\$A\$2,B4 +2,0)
5	-47.72624	15	-48.489274	-3.785534	=B4+6	=OFFSET (\$A\$2,B5, 0)	=OFFSET (\$A\$2,B5 +2,0)
6	20	21	-48.840187	-4.444648	...	...	...
7	-2.512239	27	-49.167623	-5.117189			
8	0	33	-49.469275	-5.801997			
9	VERTEX	39	-49.742838	-6.497909			
...	10	45	-49.986006	-7.203765			
	-48.11719	51	-50.196472	-7.918403			
	20	57	-50.371931	-8.640660			
	-3.141011	63	-50.510077	-9.369375			

Partindo-se de que a pista tem uma extensão de 4309 metros, que as coordenadas de latitude e longitude (GPS) foram obtidas no Google Maps sessão clássica com precisão de 4 dígitos, passando o mouse com a tecla shift acionada e anotando os extremos como na tabela 9 e transformando o resultado de coordenadas XY para coordenadas de GPS e usando o Excel para traçar o gráfico (figura 21) observa-se que a quantidade de pontos para a definição das curvas é conforme a sua complexidade. Isto traz um pequeno incômodo de que o tempo não é constante entre pontos, mas pode ser calculado se for definida a velocidade naquele ponto.

Tabela 9 – Limites do terreno com as coordenadas do desenho da pista

Eixo	Limites	GPS
X	2.12590	-23.6970
	-67.43580	-23.7064
Y	-2.51224	-46.6940
	-45.8982	-46.7006

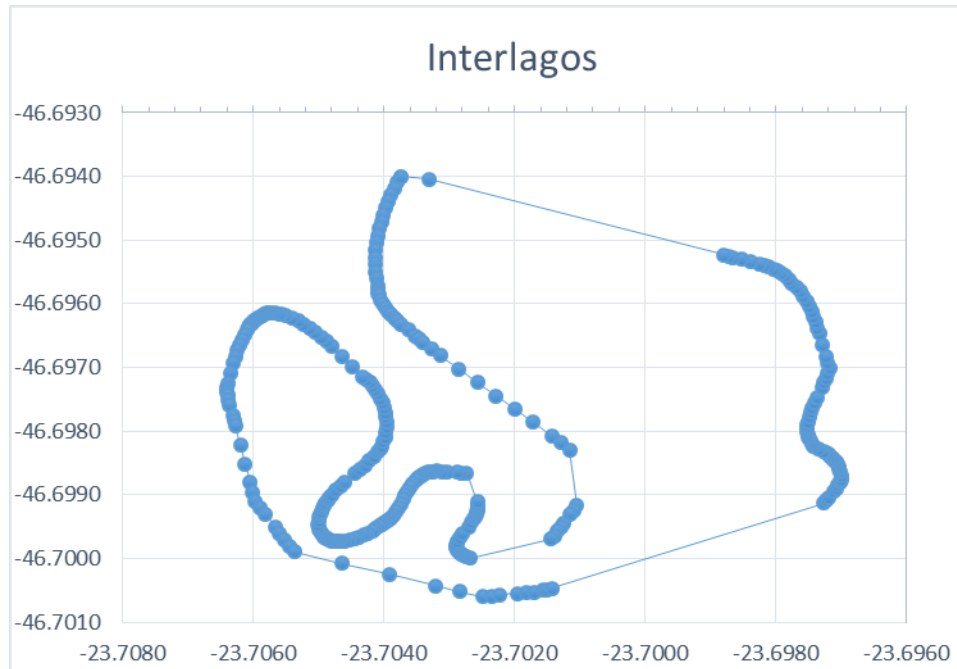


Figura 21 – Plotagem das coordenadas GPS

Outra informação que foi usada como referência é a velocidade alcançada na pista na F1 (figura 23) e em um teste da revista Motor Show (figura 22). Serviu como estrapolação, já que o JARVIS fica limitado a 45 km/h (PROJETO DE COMUNICAÇÃO, 2014)



Figura 22 - Velocidade máxima atingida por 2 Corsas em diferentes pontos da pista, conforme medições realizadas pela Motor Show (EDITORA TRÊS, 2009)

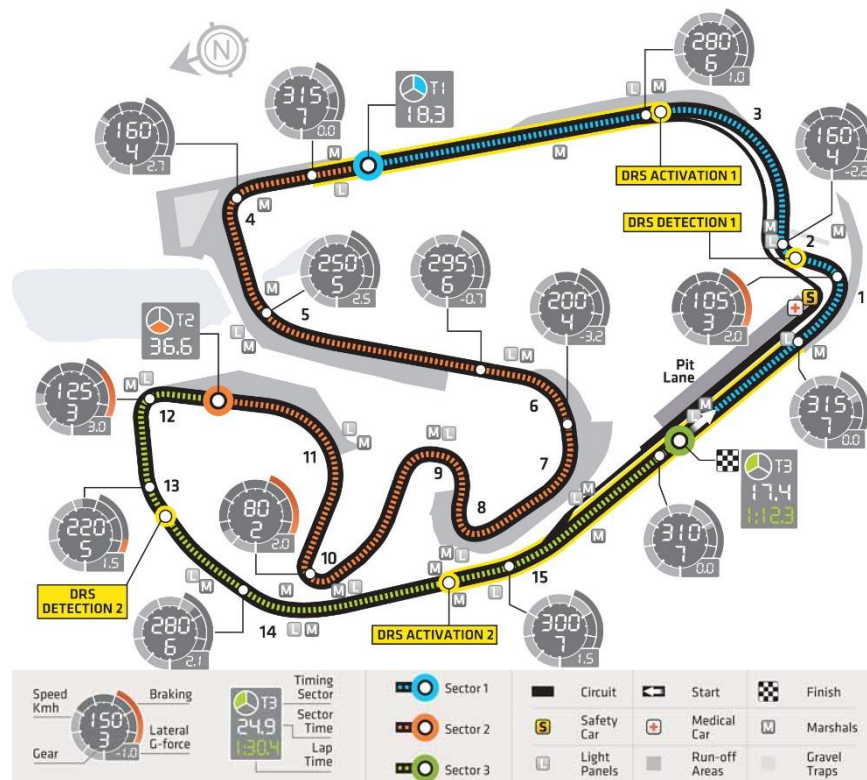


Figura 23 - Autódromo Interlagos leiaute & registros (F1-FANSITE, 2013)

E para finalizar, considerou-se a descida do lago e a subida para os boxes para a criar a realidade fictícia de variação da altitude e velocidade ao longo do percurso (figura 24).

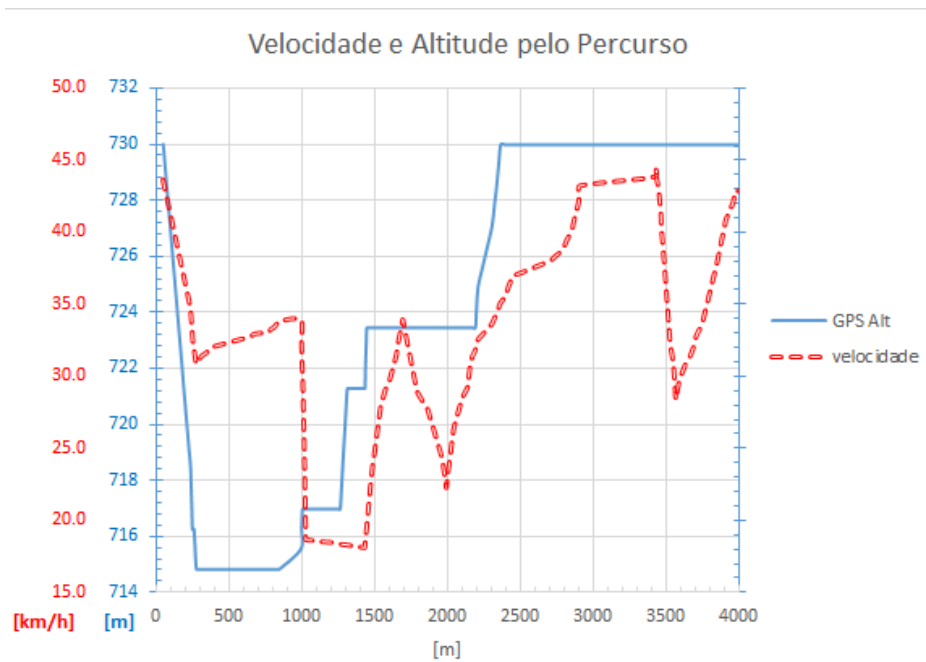


Figura 24 – Simulação de velocidade pelo trajeto

Baseado no P-diagram (figura 4), coletou-se dados (fictício) que foram gravados no formato de planilha em que uma pequena porção é representada na tabela 10. Sem esquecer da integral de Joule (equação 4) para extrapolar a energia consumida.

Tabela 10 – Dados aquisitados para experiência fatorial (Cambagem, Caster, Convergência)

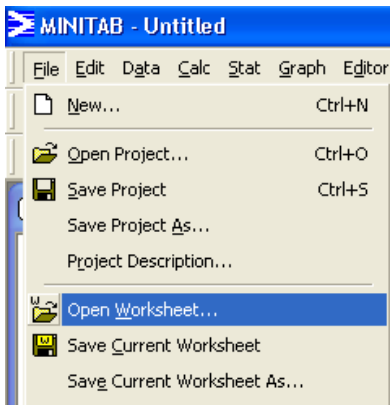
J/m	Distancia percorrida [m]	Velocidade [km/h]	GPS Alt	GPS Long	GPS Lat	TPS [%]	Tensão Bateria [V]	Corrente Motor [A]	Convergência [graus]	Caster [graus]	Cambagem [graus]	Posicao Volante [%]	Tempo [s]
3.8	49	43	730	-46.69400	-23.70374	83.6	23.994	13.68	-7	0	0	1.3	4.1
20.5	61	43	729	-46.69410	-23.70379	83.1	23.993	15.49	-7	0	0	1.9	5.1
21.7	72	42	728	-46.69419	-23.70384	82.5	23.994	16.02	-7	0	0	2.9	6.1
15.5	84	41	727	-46.69429	-23.70389	81.9	23.997	13.54	-7	0	0	3	7.1
21.5	96	41	727	-46.69440	-23.70393	81.4	23.99	15.92	-7	0	0	3	8.1
20.1	108	40	726	-46.69450	-23.70397	80.8	23.99	15.4	-7	0	0	3	9.1
23.1	120	40	725	-46.69461	-23.70401	80.2	23.995	16.5	-7	0	0	3	10.2
22.1	131	39	724	-46.69471	-23.70404	79.6	23.998	16.16	-7	0	0	3.1	11.3
18.2	143	39	724	-46.69482	-23.70407	79.1	23.991	14.67	-7	0	0	3.1	12.4
20.2	155	38	723	-46.69493	-23.70409	78.5	23.997	15.43	-7	0	0	3.1	13.5
15.6	167	38	722	-46.69504	-23.70411	78	23.995	13.51	-7	0	0	3.1	14.6

3.5 Minitab

Uma vez coletado os dados, transfere-se estes para o formato de planilha Excel 97-2003 (XLS). Os números seguem o ponto decimal inglês.

Algo muito importante é que os dados a serem analisados devem variar. Se uma grandeza mantiver seu valor fixo esta grandeza deve ser desconsiderada no estudo pelo DOE. Qualquer tentativa de uso de um dado fixo resulta em erro.

Tabela 11 - MINITAB Passo a passo

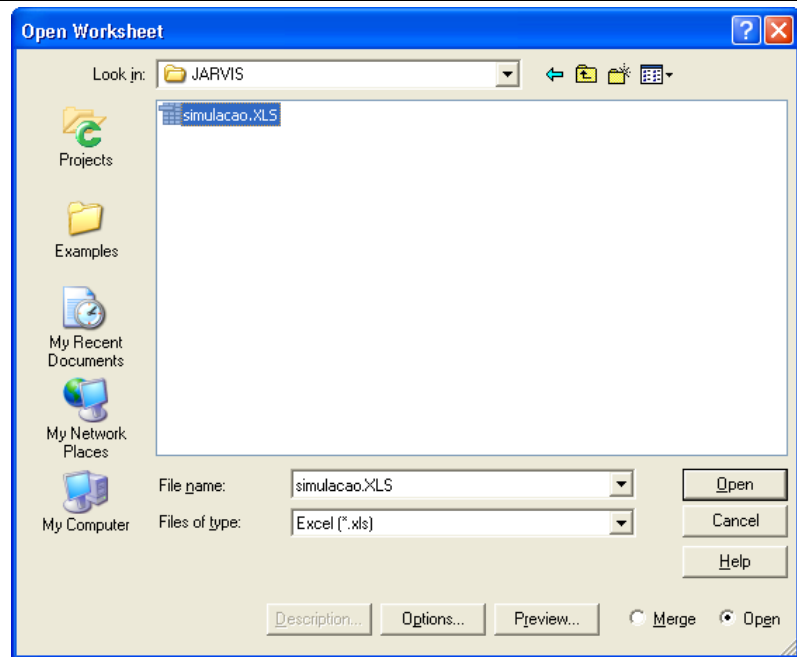
3.5.1 File Open Worksheet	
--	--

3.5.2

Escolha da planilha

Files of type: xls

No caso, a planilha
simulação.xls com
apenas a aba Sim 01.

**3.5.3**

Workseet recebe o
nome da aba da plani-
lha importada.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	Tempo	Posicao Volante	Cambagem	Caster	Convergência	Corrente Motor	Tensão B
1	4.1	1.3	0	0	-7	13.68	
2	5.1	1.9	0	0	-7	15.49	
3	6.1	2.9	0	0	-7	16.02	
4	7.1	3.0	0	0	-7	13.54	
5	8.1	3.0	0	0	-7	15.92	
6	9.1	3.0	0	0	-7	15.40	
7	10.2	3.0	0	0	-7	16.50	
8	11.3	3.1	0	0	-7	16.16	
9	12.4	3.1	0	0	-7	14.67	
10	13.5	3.1	0	0	-7	15.43	
11	14.6	3.1	0	0	-7	13.51	
12	15.7	3.2	0	0	-7	13.70	

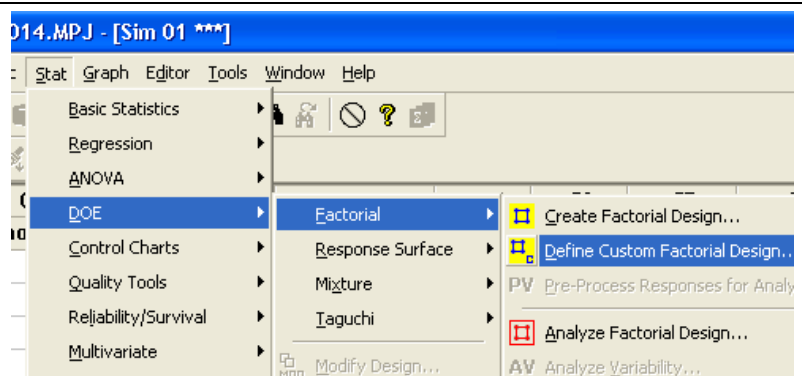
3.5.4

Stat

DOE

Factorial

Define Custom Facto-
rial Design

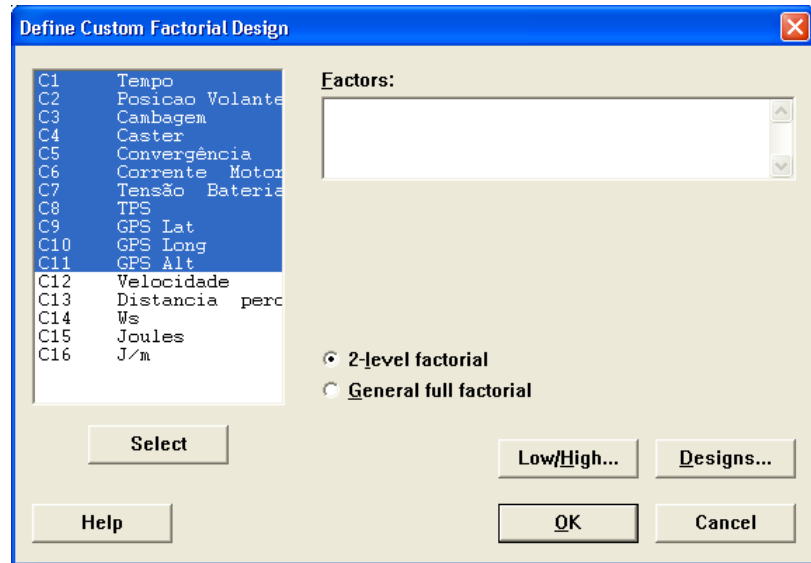


3.5.5

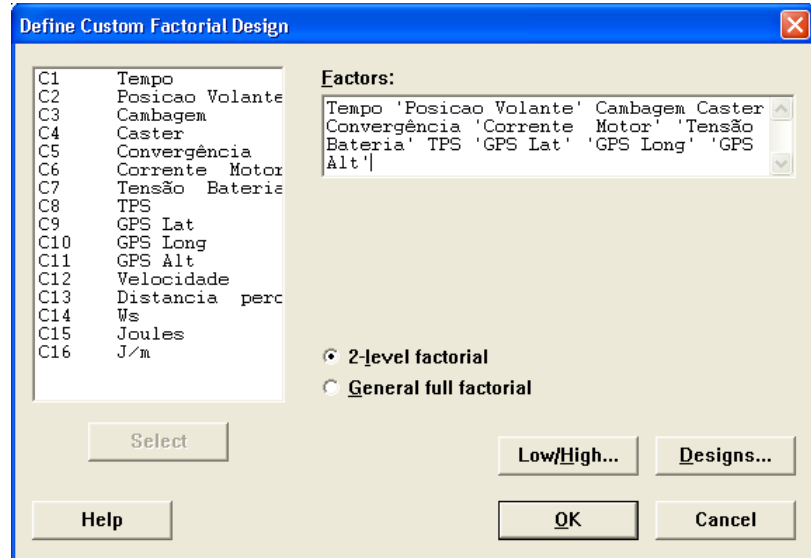
2-level factorial

Escolha as entradas
com duplo clique,
uma a uma ou escolha
uma a uma seguido do
botão Select.

Se não for possível
selecionar um fator,
clique no quadro Fac-
tors e volte para os
elementos [C1 ... C11]

**3.5.6**

Low/High



3.5.7

Acerte os limites Low e High em faixas realistas

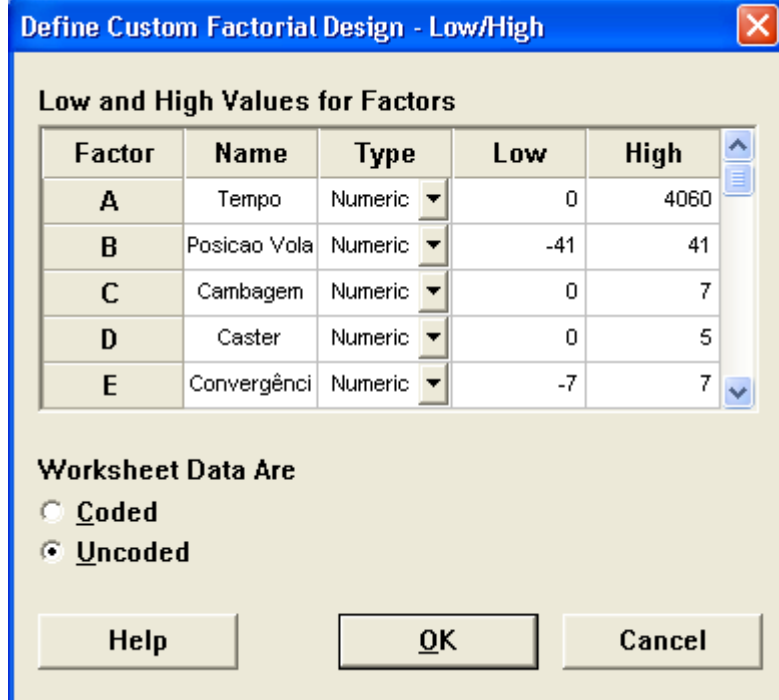
Tempo: arredonde o valor

Volante -41° a + 41°

Corrente do motor 0 a 20 A

Bateria de 23 a 24 V

TPS de 0 a 100%



Define Custom Factorial Design - Low/High

Low and High Values for Factors

Factor	Name	Type	Low	High
A	Tempo	Numeric	0	4060
B	Posicao Vola	Numeric	-41	41
C	Cambagem	Numeric	0	7
D	Caster	Numeric	0	5
E	Convergência	Numeric	-7	7

Worksheet Data Are

☐ Coded

☒ Uncoded

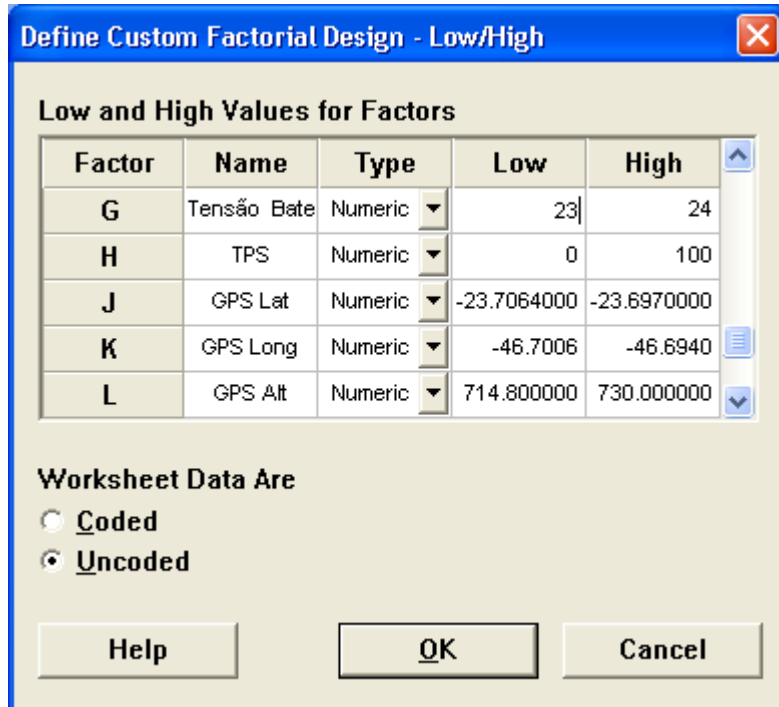
Help OK Cancel

3.5.8

O GPS latitude, longitude e altitude foram mantidos

Botão OK

Botão OK



Define Custom Factorial Design - Low/High

Low and High Values for Factors

Factor	Name	Type	Low	High
G	Tensão Bate	Numeric	23	24
H	TPS	Numeric	0	100
J	GPS Lat	Numeric	-23.7064000	-23.6970000
K	GPS Long	Numeric	-46.7006	-46.6940
L	GPS Alt	Numeric	714.800000	730.000000

Worksheet Data Are

☐ Coded

☒ Uncoded

Help OK Cancel

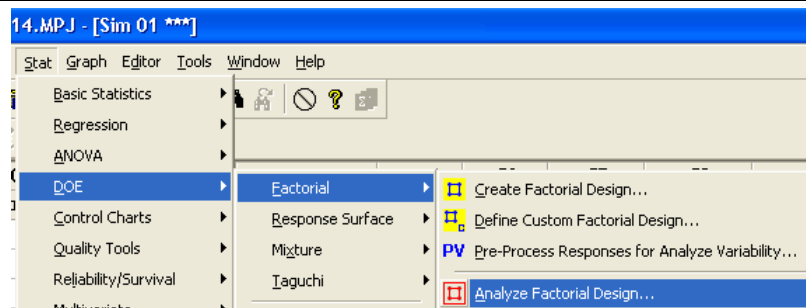
3.5.9

Novas colunas foram criadas
StdOrder, RunOrder, Blocks e CenterPt

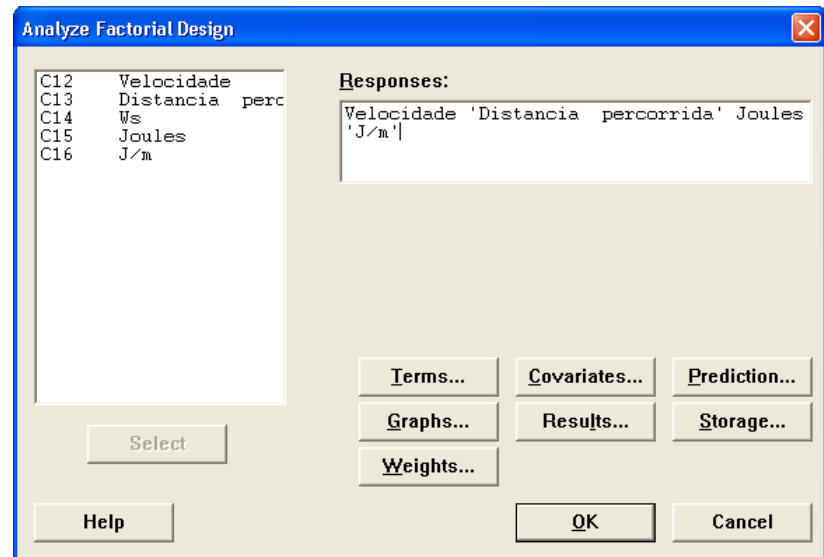
↓	C16	C17	C18	C19	C20	C21
	J/m	StdOrder	RunOrder	Blocks	CenterPt	
1	3.8	1	1	1	1	
2	20.5	2	2	1	1	
3	21.7	3	3	1	1	
4	15.5	4	4	1	1	
5	21.5	5	5	1	1	
6	20.1	6	6	1	1	
7	23.1	7	7	1	1	
8	22.1	8	8	1	1	
9	18.2	9	9	1	1	
10	20.2	10	10	1	1	
11	15.6	11	11	1	1	
12	16.0	12	12	1	1	

3.5.10

Stat
DOE
Factorial
Analyze Factorial Design

**3.5.11**

Escolha as saídas
Botão OK

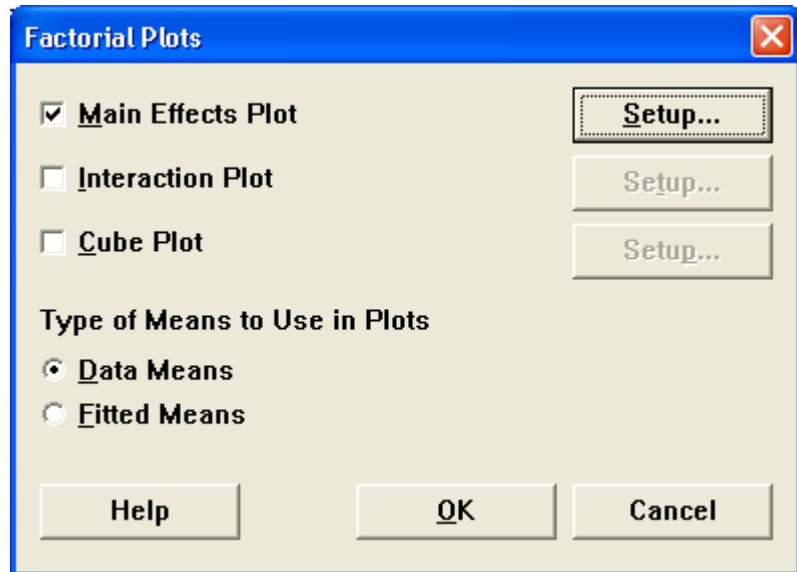


3.5.12 Uma janela com o cálculo de coeficientes os mais variados é mostrada.	Results for: Sim 01 Factorial Fit: Velocidade, Distancia percorrida, Joules, J/m * NOTE * This design has some botched runs. It will be analyzed using a regression approach. Factorial Fit: Velocidade versus Tempo, Posicao Volante, ... Estimated Effects and Coefficients for Velocidade (coded units) <table><thead><tr><th>Term</th><th>Effect</th><th>Coef</th><th>SE Coef</th><th>T</th><th>P</th></tr></thead><tbody><tr><td>Constant</td><td></td><td>95.9</td><td>9.9577</td><td>9.63</td><td>0.000</td></tr><tr><td>Tempo</td><td>973.3</td><td>486.7</td><td>36.5488</td><td>13.32</td><td>0.000</td></tr><tr><td>Posicao Volante</td><td>22.4</td><td>11.2</td><td>1.9936</td><td>5.62</td><td>0.000</td></tr><tr><td>GPS Long</td><td>1.6</td><td>0.8</td><td>1.029</td><td>0.76</td><td>0.445</td></tr><tr><td>GPS Alt</td><td>-4.2</td><td>-2.1</td><td>1.4328</td><td>-1.48</td><td>0.138</td></tr><tr><td>Tempo*Posicao Volante</td><td>242.1</td><td>121.1</td><td>4.9776</td><td>24.32</td><td>0.000</td></tr></tbody></table> ... S = 0.221788 R-Sq = 99.92% R-Sq(adj) = 99.91% ...	Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	Constant		95.9	9.9577	9.63	0.000	Tempo	973.3	486.7	36.5488	13.32	0.000	Posicao Volante	22.4	11.2	1.9936	5.62	0.000	GPS Long	1.6	0.8	1.029	0.76	0.445	GPS Alt	-4.2	-2.1	1.4328	-1.48	0.138	Tempo*Posicao Volante	242.1	121.1	4.9776	24.32	0.000
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P																																						
Constant		95.9	9.9577	9.63	0.000																																						
Tempo	973.3	486.7	36.5488	13.32	0.000																																						
Posicao Volante	22.4	11.2	1.9936	5.62	0.000																																						
GPS Long	1.6	0.8	1.029	0.76	0.445																																						
GPS Alt	-4.2	-2.1	1.4328	-1.48	0.138																																						
Tempo*Posicao Volante	242.1	121.1	4.9776	24.32	0.000																																						
3.5.13 Stat DOE Factorial Factorial Plots																																											

3.5.14

Main Effects Plot

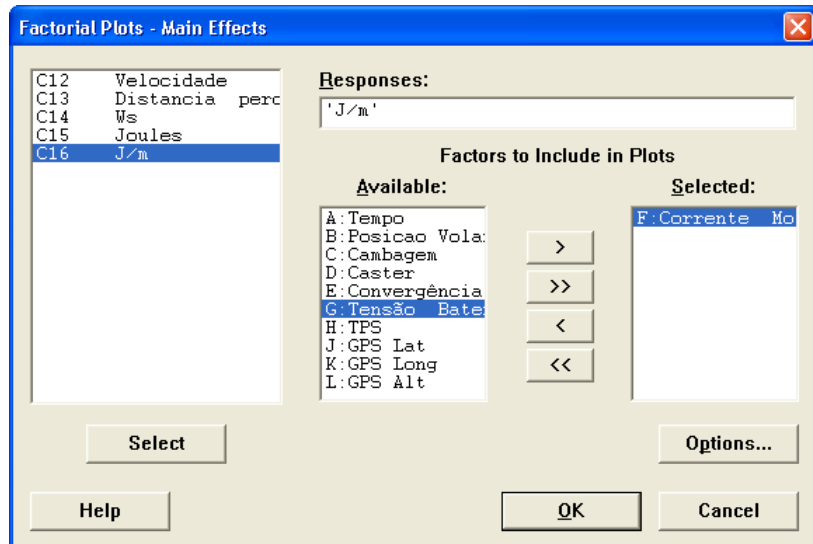
Setup

**3.5.15**

Escolha uma análise

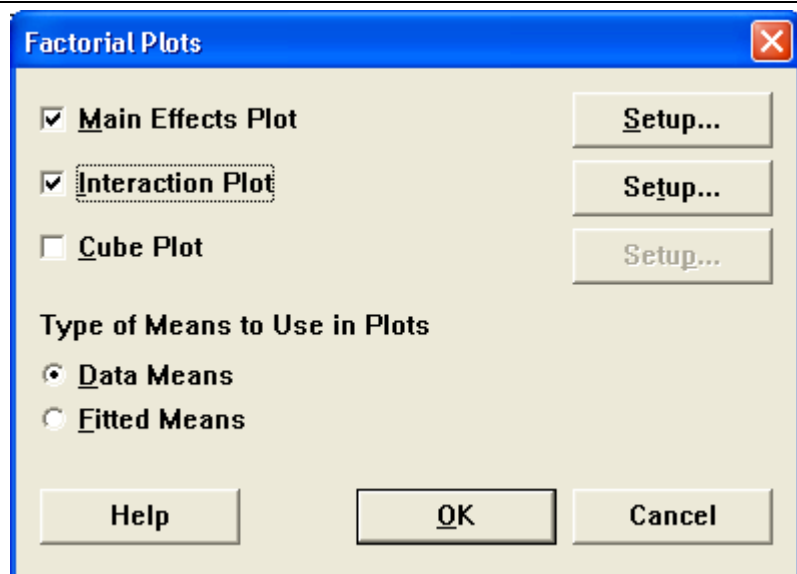
No exemplo a varia-
ção da eficiência J/m
pelo fator Corrente
Motor.

Use duplo clique ou
os botões Select e >

**3.5.16**

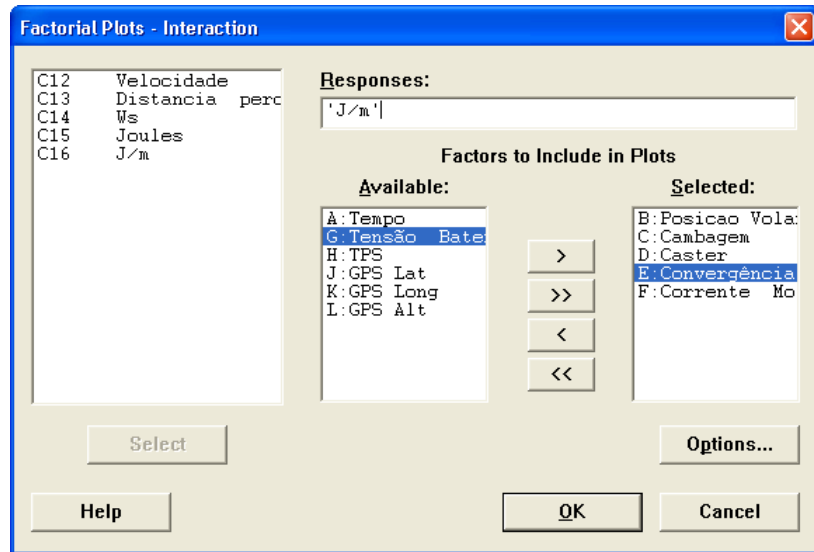
Interaction Plot

Setup

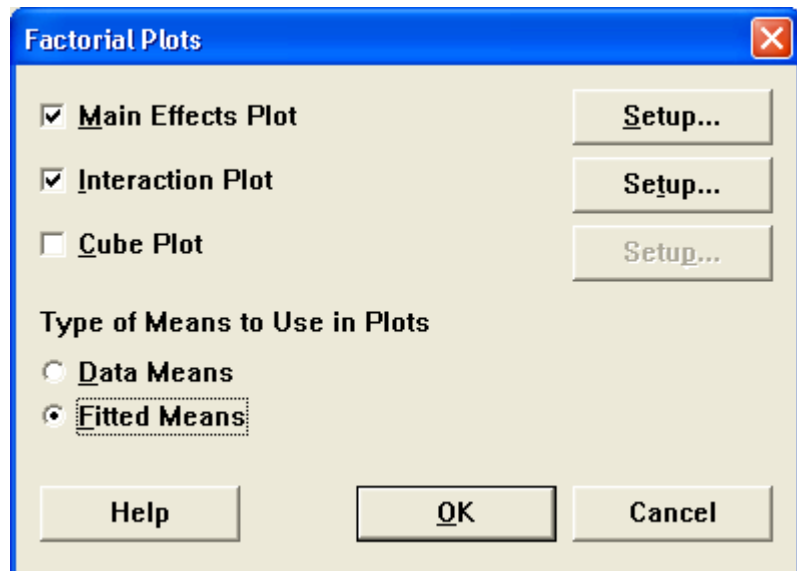


3.5.17

Faça o mesmo para Interaction, selecionando J/m como respostas só que agora 2 fatores: Cambagem, Caster, Convergência, Corrente Motor e Posição Volante.
Botão OK

**3.5.18**

Filled Means
Botão OK
Gráficos serão criados

**3.6 Análises**

Neste ponto começa a análise sobre os gráficos obtidos, como no caso da figura 25 que é a resposta do passo a passo da tabela 11.

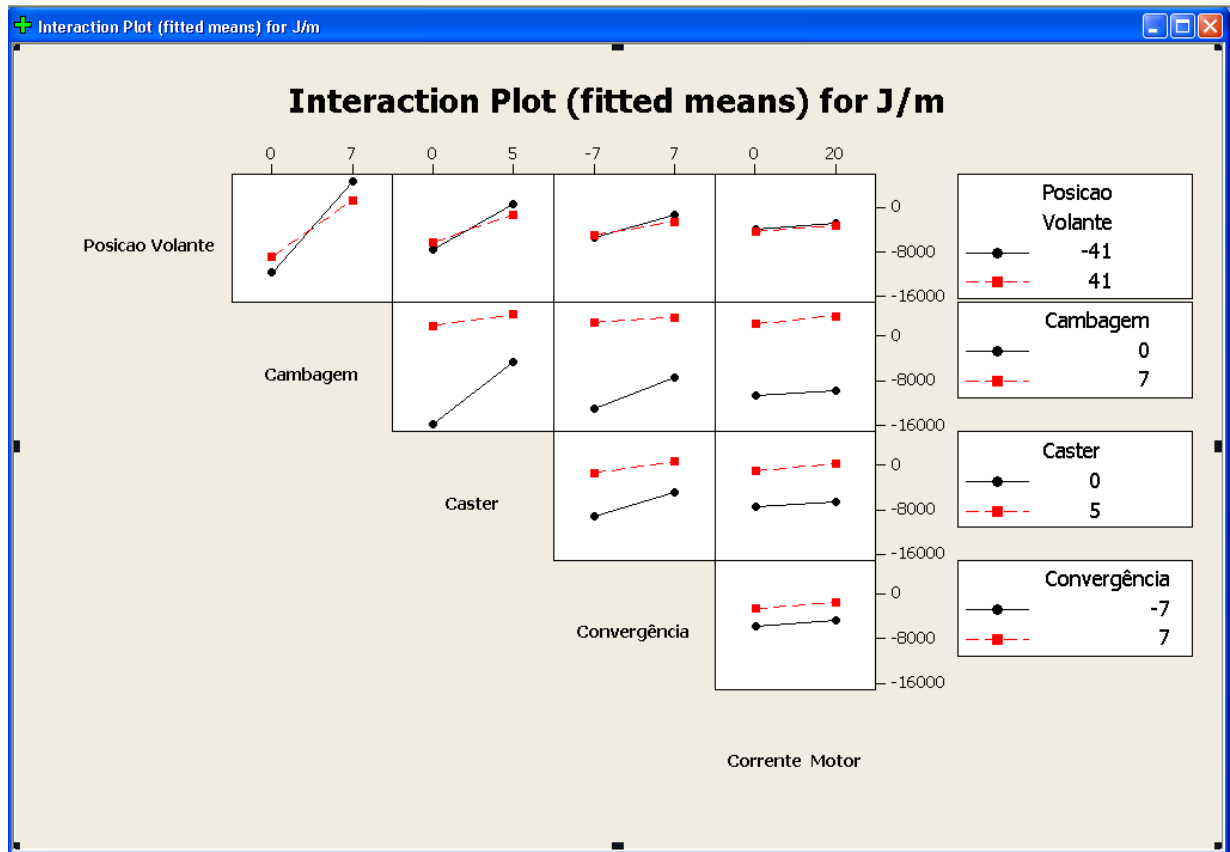


Figura 25 - Interação da posição do volante e corrente do motor na velocidade do veículo

Agora que foi feito um ciclo completo e obtido um gráfico, pode-se voltar a configuração “Main Effects Plot” e “Interaction Plot” para a escolha de outros ou mais fatores, procurando por interações que se cruzem, pois as linhas paralelas indicam que não há interação entre os fatores.

Importante: remover fatores pode gerar mensagem de erro ou algo inesperado. Apague as colunas StdOrder, RunOrder, Blocks e CenterPt que foram criadas no processo Define Custom Factorial e refaça a partir deste passo (tabela 11) com os fatores pretendidos.

No gráfico "Main Effect" é mostrado o efeito de uma das suas variáveis independentes em uma variável dependente, ignorando os efeitos de todas as outras variáveis independentes (figuras 26 e 27).

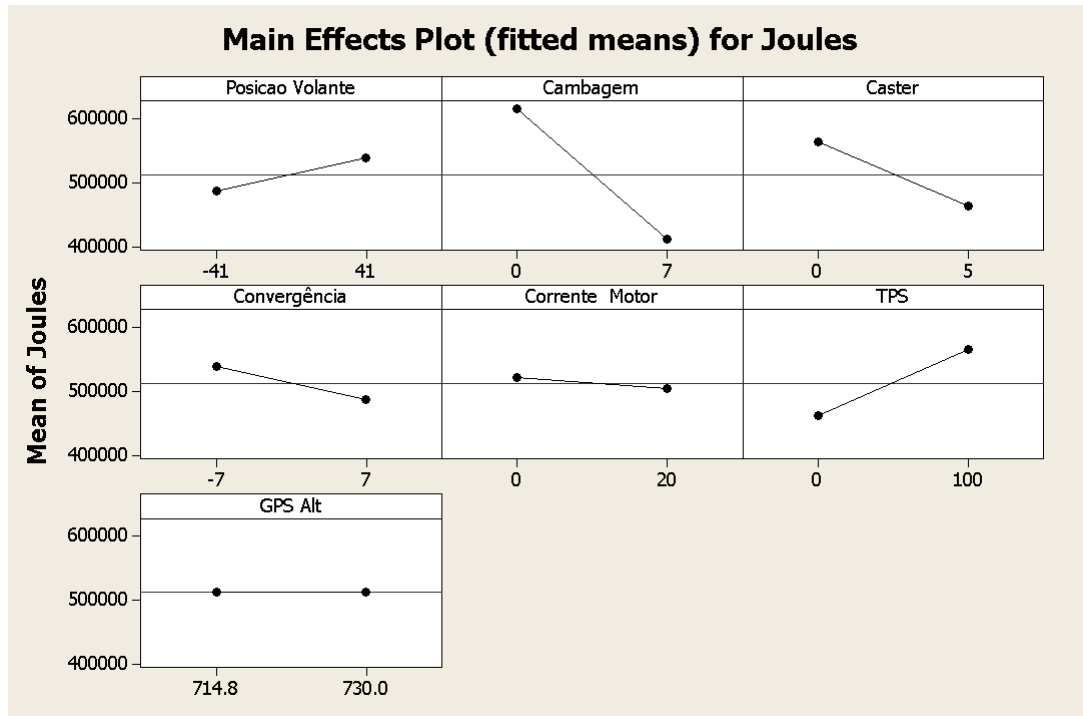


Figura 26 - Efeito Principal para Joules

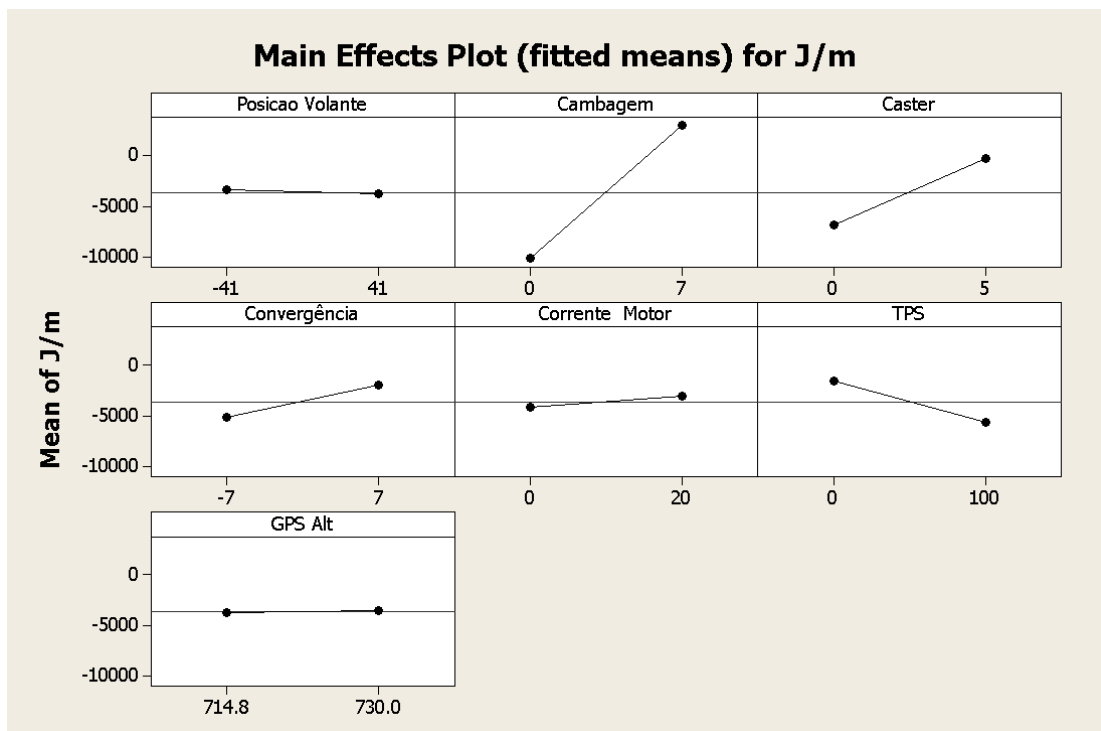


Figura 27 - Efeito Principal para J/m com 7 fatores

Nos gráficos de efeito principal (Main Effect) (figuras 26 e 27) temos:

- A Cambagem de sobressai na variação do consumo de energia pelo motor.
- A altura (GPS Alt) e a corrente no motor mostram uma influência insignificante na energia consumida comparados com os outros fatores.

Então, o mais efetivo é medir a posição do acelerador e os ângulos da direção ao longo do tempo (figura 28).

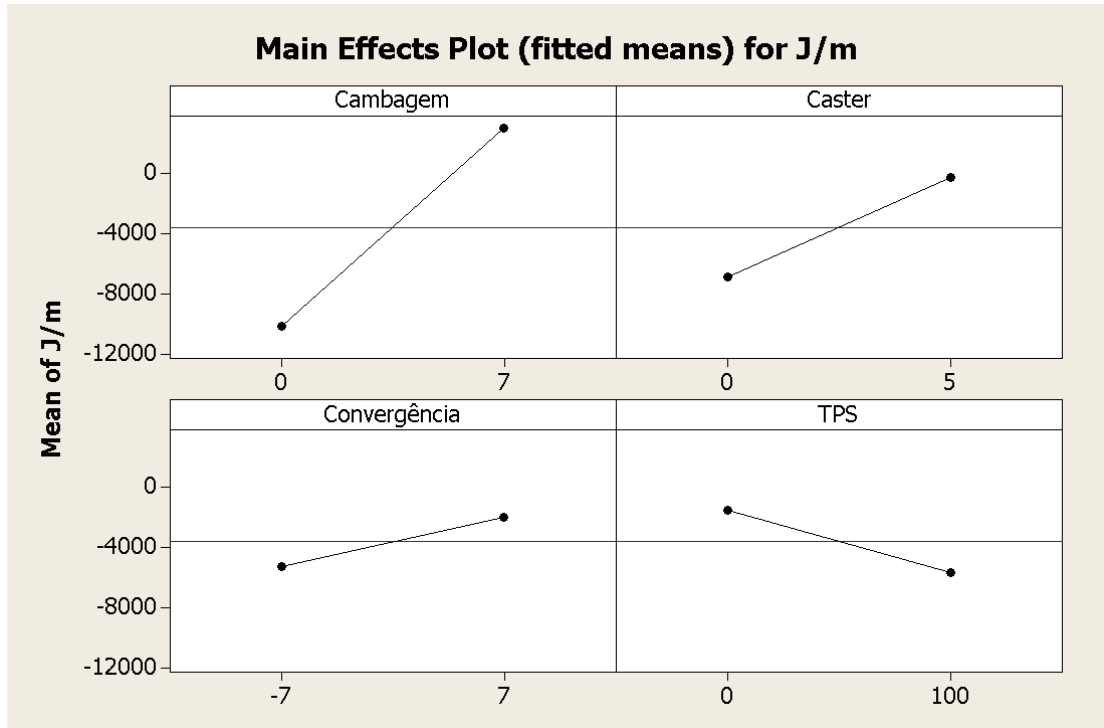


Figura 28 - Efeito Principal para J/m com 4 fatores

Observando os gráficos de interação (figuras 29 e 30) temos 3 interações fortes:

- Cambagem x Tensão na Bateria
- Caster x Tensão na Bateria
- Tensão na Bateria x TPS

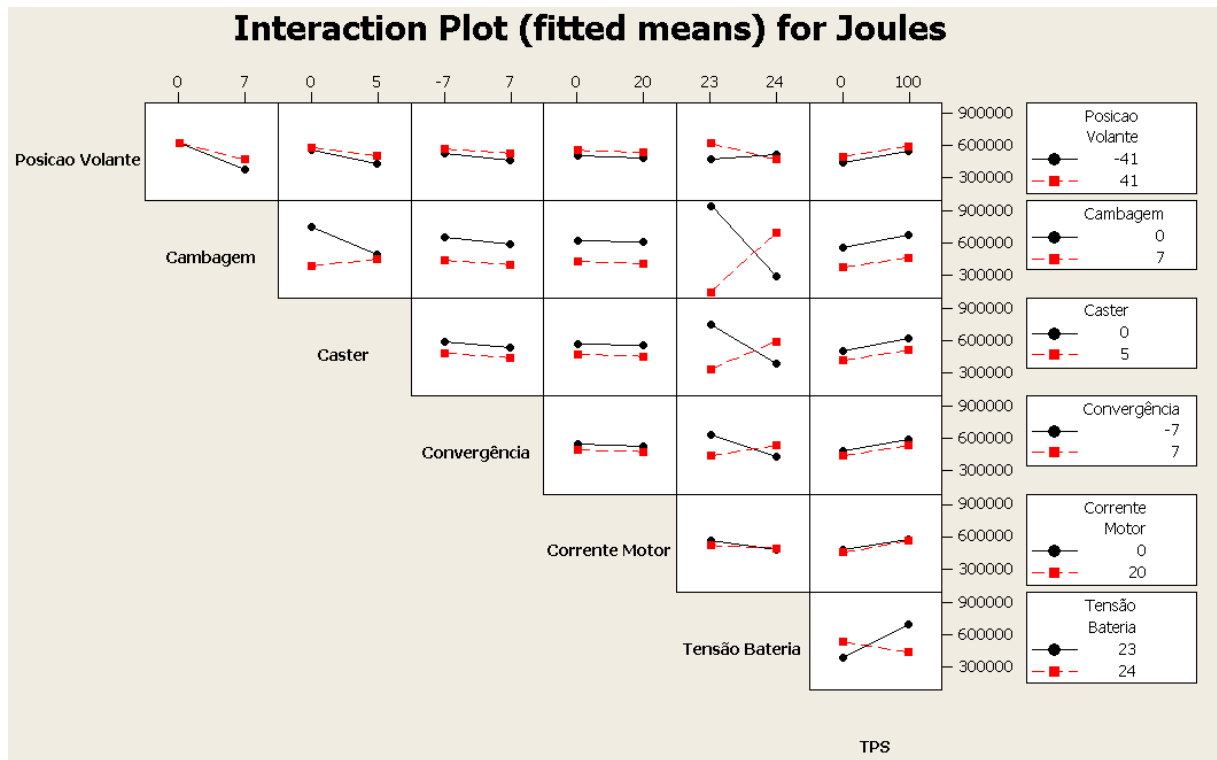


Figura 29 – Interação de fatores para Joule/metros

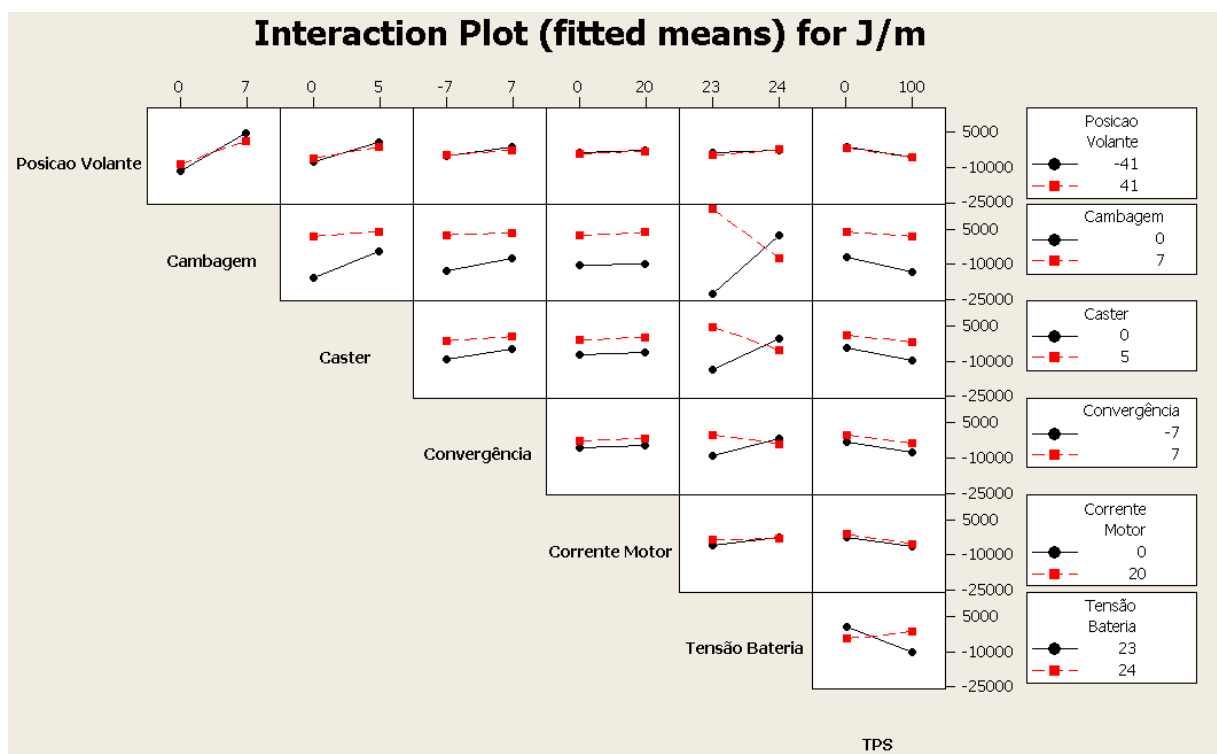


Figura 30 – Interação de fatores para Joule consumidos

Uma nova rodada de cálculos no Minitab para as 3 interações fortes (figura 31):

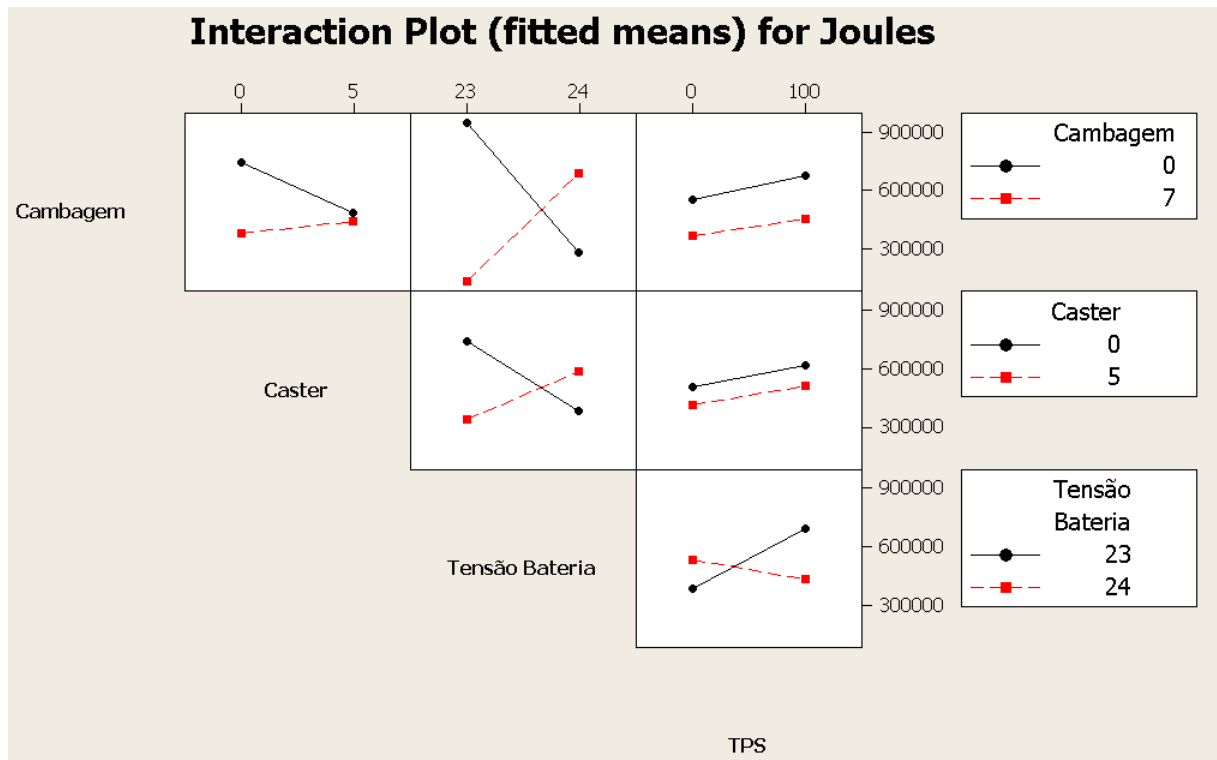


Figura 31 – Interação forte de fatores para Joule consumidos

3.7 Gráfico de contorno e região de maior eficiência

Agora, tendo sido feitas as experiências fatoriais e conhecido os fatores de maior interação, pode-se caminhar com os valores para o ponto de melhor desempenho. Como os gráficos foram criados a partir de supostas medidas, as maiores interação ocorreram entre a Cambagem e a tensão da bateria. Sendo isto verdade a explicação mais provável é que o motor tem o rendimento muito dependente da tensão na bateria, o que é improvável pois motores dependem de corrente. Uma melhor extrapolação é que a bateria escolhida não é apropriada à demanda de corrente exigida pelo circuito de competição (energia necessária para executar o trajeto) e pelo motor usado.

Partindo de um outro cenário, sejam os fatores de estudo a Cambagem e a Convergência. Lembrando-se que a Cambagem está limitada pelo projeto mecânico de 0° a 5° e a Convergência de -7° a 7° (tabela 4) podemos criar um experimento conforme a tabela 12:

Tabela 12 – Experimento de contorno #1

Experimento	Cambagem	Convergência	Energia consumida [kJ]
1	2°	-2°	830
2	2°	+2°	840
3	4°	-2°	825
4	4°	+2°	835

Encontrado o ponto de 825 kJ se faz uma nova sequência (tabela 13):

Tabela 13 - Experimento de contorno #2

Experimento	Cambagem	Convergência	Energia consumida [kJ]
1	3°	-1°	838
2	3°	-3°	835
3	5°	-1°	840
4	5°	-3°	827

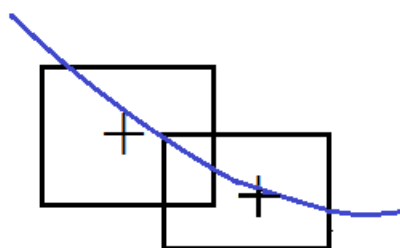


Figura 32 – Otimizando o ponto de trabalho [dados do autor]

E assim sucessivamente até o momento que ganhos com a mudança tornem-se irrelevantes (figura 32).

Neste momento vale fixar os valores de Cambagem (5°) e Convergência (-3°) e voltar o experimento ao início para encontrar nos outros fatores quem pode resultar em melhor rendimento do veículo.

4 Resultados Obtidos

Como os valores foram fabricados, as conclusões podem não condizer com a realidade. Mas retirando a visão crítica e apenas considerando uma análise fria, o uso do DOE mostra-se adequado para guiar os experimentos na procura da melhor condição de rendimento no consumo de energia do JARVIS. Mudanças no local da competição podem representar ajustes no veículo, assim como ocorre e é largamente divulgado pelo jornalismo esportivo a cada corrida na Formula 1, que tem as seções de testes reservadas para acerto dos carros para a pista e para as condições climáticas.

As análises poderiam ter como base dados reais, contudo não pode existir a experiência sem que ela seja primeiro planejada. Trocar a ordem das coisas é o mesmo que desperdiçar tempo e dinheiro em experimentos desnecessários e incompletos, o que invalida a premissa deste trabalho. Tendo sempre em mente a interação futura com os membros de desenvolvimento do JARVIS, o tempo disponível na grade escolar, os prazos muito bem definidos para a conclusão desta monografia e a data da competição em si, foi dada prioridade em ter em mãos toda a fundamentação teórica, acesso ao software de cálculo estatístico e aprendizado do funcionamento do mesmo para produzir o procedimento do DOE a ser seguido pela equipe atual e as futuras por todas as fases do ciclo anual de melhoria no JARVIS.

5 Considerações Finais

O DOE é uma ferramenta que quantiza a evolução de um projeto e assim fornece dados para que sejam tomadas decisões gerenciais e técnicas.

A interpretação dos dados não pode considerar apenas os resultados numéricos advindos do experimento fatorial e da criação do gráfico de contorno, mas sim, deve-se usá-los como base na tomada de decisões, sempre calcadas no conhecimento técnico.

O chefe de equipe precisa estar familiarizado e treinado na interpretação dos resultados gráficos vindos da telemetria pelo Minitab para tomar as decisões de ajustes na condução do piloto durante a prova.

Para a maratona de eficiência energética está também em desenvolvimento um veículo a combustão interna que compartilha o chassi do veículo elétrico. Como esta motorização tem peso, potência e curva de torque diferentes da do elétrico, espera-se apenas otimizações na suspensão, mas um completo desenvolvimento na transmissão e gerenciamento do motor.

O fato mais relevante em todo o processo é o fator humano. A equipe de desenvolvimento, tanto elétrico quanto mecânico, deve entender a razão do uso do DOE. A criatividade e inovação não são limitadas, da mesma forma de quando se usa a ferramenta de qualidade brains-torm, mas as idéias devem ser validadas com base nos resultados advindos do DOE.

O piloto, além de atuante no desenvolvimento técnico, deve manter-se focado durante os treinos e na competição, pois sobre ele cai um forte fator emocional, tanto por ser monitorado continuamente no rendimento energético do veículo quanto a maneira como ele o está conduzindo.

6 Áreas de Aplicação das Contribuições desta Tese

Qualquer desenvolvimento que venha a ser feito pela FATEC Santo André, desde o ajuste de funcionamento de um motor em bancada como a confecção de um veículo completo, como o JARVIS.

Na atuação profissional de cada membro na equipe, seja em pesquisa e desenvolvimento ou manutenção e melhoria de processos e produtos.

7 Propostas Futuras de Pesquisa

7.1 BMS: Sistema de Gestão de Bateria (Battery Management Systems)

Durante a competição de eficiência energética, se o veículo parar no percurso, ele fica regido pelos artigos 23 e 24 que definem o reboque até os boxes (PROJETO DE COMUNICAÇÃO, 2014). Segundo a informação comercial proveniente da TI (TI BCS, 2013) “Cada bateria química tem características diferentes de operação, tais como perfis de descarga e taxa de auto-descarga. Os CIs da TI (gas-gauge) são desenvolvidos para considerar essas diferenças e exibir com precisão a energia restante na bateria. Além disso, cada bateria química tem necessidades específicas para seu algoritmo de carga, que é fundamental para maximizar a sua capacidade, o ciclo de vida e segurança.”. Dito isto, é de grande valia o uso de um Sistema de Gestão de Bateria (BMS).

7.2 Qualidade: Melhoria Contínua

Competitividade, mudanças, padrões, excelência, futuro são algumas das palavras que podem justificar a evolução deste trabalho. Assim dizendo, a metodologia aqui descrita deve continuamente ser usada e melhorada para levar de uma maneira consistente o desenvolvimento do JARVIS, ou de qualquer outro projeto, a novos e melhores padrões.

7.3 Telemetria

Os circuitos aqui expostos são apenas uma referência. Uma explanação de melhorias e necessidades encontra-se detalhado no capítulo 3.2, onde destaco o uso de wireless e GPS.

7.4 Vetor Ótimo

Não só os ajustes mecânicos, elétricos e de aerodinâmica influenciam no resultado final do consumo energético, mas também qual a melhor trajetória (vetor ótimo) deve ser desenvolvida e como o piloto irá segui-la. Esta proposta de pesquisa é desafiante pois exige criatividade em manter a atenção do piloto na pista e nos outros carros e não influenciar no peso e consumo final do veículo.

8 Referências Bibliográficas

- ANDERSON, M. J.; WHITCOMB, P. J. **DOE - 75 Years of Advancements in Multifactor Test Methods**. 4th European DoE User Meeting. Vienna: Stat-Ease, Inc. 2012. p. 9.
- ASQ. Design of Experiments (DOE) Tutorial. **American Society for Quality**. Disponível em: <<http://asq.org/learn-about-quality/data-collection-analysis-tools/overview/design-of-experiments-tutorial.html>>. Acesso em: abr. 2014.
- BOSCH. Manual de Tecnologia Automotiva. 25. ed. [S.l.]: Editora Edgard Blucher, p. 319. ISBN 85-212-0378-0.
- BOX, G. E. P.; WILSON, K. B. On the Experimental Attainment of Optimum Conditions (with discussion). **Journal of the Royal Statistical Society**, Manchester, n. Series B13, p. 1–45, 1951.
- BOYLESTAD, R. L. **Introdução à Análise de Circuitos**. 8th. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 1998.
- Consulta de Veículos Leves. Petrobras. Brasília. 2014. Programa Brasileiro de Etiquetagem.
- DA SILVA, A. B.; VILELA, E. A. **Sistema de Telemetria Automotiva com Datalooger incorporado via LABView**. Santo André: FATEC Santo André, 2012.
- Decreto 7819. Diário Oficial da União. Brasília, p. 1-6. 2012. (ISSN 1677-7042). Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores.
- DIAS, A. Geometria de Suspensão: Convergência/Divergência. **Carros Infoco**, 2012. Disponível em: <<http://www.carrosinfoco.com.br/carros/2012/07/geometria-de-suspensao-convergenciadivergencia/>>. Acesso em: abr. 2014.
- EDITORA TRÊS. COMPETIÇÃO - EDIÇÃO 310. **Motor Show**, 2009. Disponível em: <<http://motorshow.terra.com.br/secao/competicao/disputa-curva-a-curva-em-interlagos>>. Acesso em: abr. 2014.
- F1-FANSITE. Autodromo Interlagos layout & records. **F1 Fansite**, 2013. Disponível em: <<http://www.f1-fansite.com/f1-circuits/autodromo-interlagos/>>. Acesso em: abr. 2014.
- FOGAÇA, J. Combustão completa e incompleta. **brasilecola**, 2012. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/quimica/combustao-completa-incompleta.htm>>. Acesso em: 30 mar. 2014.
- FONSECA, M. et al. Validade de peso e estatura informados e índice de massa corporal: estudo pró-saúde. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, 13, 2004. 396. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsp/v38n3/20656.pdf>>. Baseado em tese de doutorado apresentada ao Instituto de Medicina Social (IMS/ UERJ), 2003. Recebido em 30/5/2003. Reapresentado em 20/11/2003. Aprovado em 12/2/2004.
- GARVIN, D. A. Competing on the eight dimensions of quality. **Harvard Business Review** 65, no. 6, Boston, November – December 1987.
- GNOME ORG. DIA. **The GNOME Project**, ago. 2013. Disponível em: <<https://wiki.gnome.org/Apps/Dia>>. Acesso em: abr. 2014. é um software livre para editoração eletrônica que trabalha com o formato SVG.
- INKSCAPE ORG. Inkscape. **Inkscape Org**, 2014. Disponível em: <<http://www.inkscape.org>>. Acesso em: abr. 2014.
- JUGULUM, R.; SAMUEL, P. **Design for Lean Six Sigma, A Holistic Approach to Design and Innovation**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008. ISBN 978-0-470-00751-8.
- KOZIOWSKI, T. W. Camber. **Wikipedia**, 2009. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cambe_angle.svg>. Acesso em: abr. 2014.
- LIDER SOFTWARES. **Lider Softwares**.

- LINE, W. B. DOE knowledge. **DOES**, 2009. Disponível em:
<<http://www.doesinc.com/knowledge.htm>>. Acesso em: 14 abr. 2014.
- LINE, W. B. Proven Cost Savings by Using Modern Design of Experiments (MDOE). In: LINE, W. B. **Aerospace Sciences Meetings**. 48th. ed. Orlando: AIAA - American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2010. p. 17. Disponível em:
<<http://enu.kz/repository/2010/AIAA-2010-81.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2014.
- MICHAELIS. **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**. 1st. ed. [S.l.]: editora Melhoramentos, 2004. ISBN 978-85-06-05497-0.
- MINITAB INC. **Meet MINITAB**. [S.l.]: Minitab Inc., 2004. ISBN 0-925636-48-7. Disponível em: <<https://www.addlink.es/images/pdf/agdweb274.pdf>>.
- MINITAB INC. **Conheça o Minitab**. Versão 16.1.0. ed. [S.l.]: [s.n.], 2010. Disponível em: <http://www.minitab.com/uploadedFiles/Documents/meet-minitab/PT16_MeetMinitab.pdf>.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 5th. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc., 2001. ISBN 0-471-31649-0.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4th. ed. Tempe, Arizona: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2004. ISBN 85-216-1400-4.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Engineering Experiments**. [S.l.]: Arizona State University. 2005. p. 13.
- NAÇÕES UNIDAS. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudanças climáticas**. Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil. [S.l.]. 1992.
- NI. **NI USB-6008 6009 User Guide And Specifications**. Part Number: 371303M-01. ed. Austin: National Instruments Corporation, 2012. 30 p. Disponível em:
<<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pt/nid/201987>
<http://digital.ni.com/manuals.nsf/websearch/CE26701AA052E1F0862579AD0053BE19>>. Acesso em: 06 abr. 2014.
- OHMITE MFG. CO. Application Notes. In: OHMITE **Resistor Selection Guide**. 1st. ed. Arlington Heights: [s.n.], 2014. p. 9. Disponível em:
<http://ohmite.com/techdata/res_select.pdf>. Acesso em: abr. 2014.
- PAREDES, R. S. C. Apostilas do curso EME714. **Departamento de Engenharia Mecânica - DEMEC Universidade Federal do Paraná - UFPR**, 2012. Disponível em:
<<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EME714/Projeto%20Robusto.pdf>>. Acesso em: abr. 2014.
- PITTENGER, W. Autódromo José Carlos Pace (AKA Interlagos) track map. **Wikimedia Commons**, 2009. Disponível em:
<[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aut%C3%B3dromo_Jos%C3%A9_Carlos_Pace_\(AKA_Interlagos\)_track_map.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aut%C3%B3dromo_Jos%C3%A9_Carlos_Pace_(AKA_Interlagos)_track_map.svg)>. Acesso em: abr. 2014.
- PROJETO DE COMUNICAÇÃO. Maratona Universitária da Eficiência Energética. **Regulamento Desportivo e Técnico**, São Paulo, 21 abr. 2014. Disponível em:
<<http://www.maratonadaeficiencia.com.br/Regulamento%20-%20Maratona%20da%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%2021042014.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2014.
- RANSEN SOFTWARE. Pointor V9. **Ransen Software**, 2014. Disponível em:
<<http://www.ransen.com/pointor/demo.htm>>. Acesso em: abr. 2014.
- Resolução 315. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, p. 9. 2002. (315/2002).
- Resolução 432. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, p. 4. 2011. (432/2011).
- RODRIGUES, M. V. Técnicas de Gestão da Qualidade - Textos Seleccionados. **Em dia com a gestão**, 2009. Disponível em:
<<http://www.marcusviniciusrodrigues.com.br/LinkClick.aspx?fileticket=9ovsly1OGFo%3d&tabid=80&mid=674&forcedownload=true>>. Acesso em: fev. 2014.

Selo CONPET. [S.l.]. 2012.

SHAFRANOVICH, Y. **RFC 4180**. [S.l.]: The Internet Society. 2005. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc4180>.

SMMT. **Electric Car Guide - Questions and Answers**. The Society of Motor Manufacturers and Traders. London, p. 32. 2010.

SMMT. **Electric Car Guide - Questions and Answers**. The Society of Motor Manufacturers and Traders. London, p. 37. 2011.

TI BCS. Battery Charger Solutions. Dallas: Texas Instruments Incorporated, 2013. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/sg/slvt145m/slvt145m.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2014.

TI SN74LS191. SN74LS191. In: TI **Synchronous Up/Down Counters With Down/Up Mode Control**. Dallas: Texas Instruments Incorporated, 1988. p. 1-16. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74ls191.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2014.

TI SN74S74. SN74S74. In: TI **Dual D-Type Positive-Edge-Triggered Flip-Flops With Preset And Clear**. Dallas: Texas Instruments Incorporated, 1988. p. 1-24. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74s74.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2014.

TIMS, K. Caster. **Wikipedia**, 2006. Disponível em:

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Caster_angle.svg. Acesso em: abr. 2014.

WHITCOMB, P.; OEHLERT, G. W. Small Efficient Equireplicated Resolution V Fractions of 2k designs and their Application to Central Composite Designs. **46th Annual Fall Technical Conference**, 15 October 2002. Disponível em: <http://www.statease.com/pubs/small5.pdf>.

YANG, K.; EL-HAIK, B. **Design for Six Sigma A Roadmap for Product Development**. [S.l.]: McGraw-Hill, 2003. ISBN 0071412085.

Apêndice A - Sensor corrente efeito Hall ACS712



ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Features and Benefits

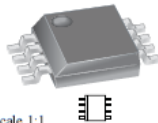
- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



TÜV America
Certificate Number:
UBV 06 05 54214 010



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1

Description

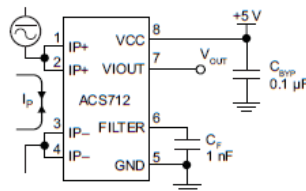
The Allegro® ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_p , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

Figura 33 - Descritivo ACS712

ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Description (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _p (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	−40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	−40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	−40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		−0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		−0.1	V
Output Current Source	I _{IOUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _p	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	−40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		−65 to 170	°C

Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WFSI}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WFR}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V _{pk}

* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001



Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

2

Figura 34 - Características principais ACS712

Apêndice B – Módulo para 20A usando ACS712

ACS712 20A Current Sensor Module - Blue

<http://dx.com/p/acs712-20a-current-sensor-module-blue-206999>

Price US\$ 3.92

Overview

- ACS712ELC-20A sensor chipset.
- Powered by 5V power supply.
- On-board power indicator.
- Measures -20~+20A current, corresponding simulation output 100mV/A.
- Output voltage is $VCC/2$ when on current was measured.
- ACS712 is based on the principle of Hall detection, please avoid the magnetic field affect when using it.
- Datasheet: <http://m2.img.dxcn.com/CDDriver/sku.206997.rar>

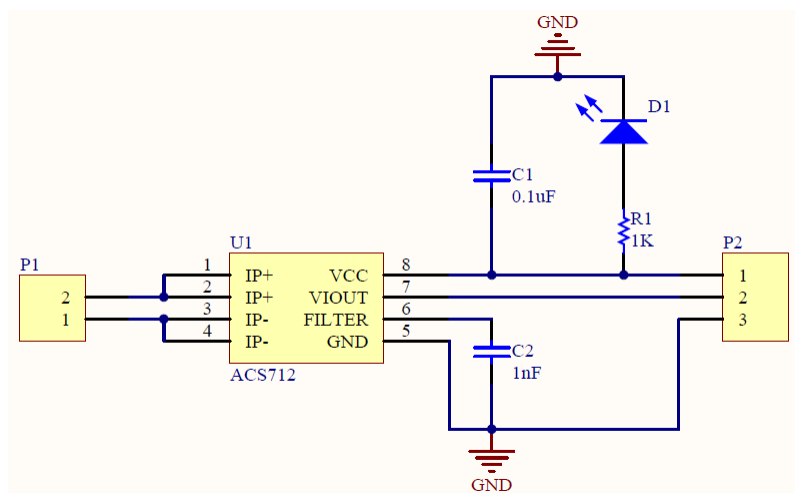


Figura 35 - Esquema elétrico do módulo sku 206999

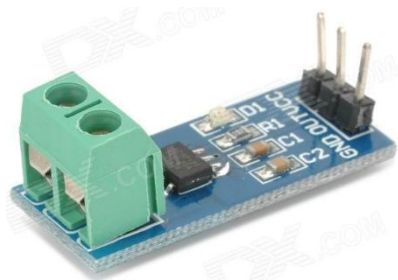


Figura 36 - Foto sku 206999

Tabela 14 - BOM - Lista de materiais sku 206999

Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity
0.1uF	Capacitor	C1	0805	Cap	1
1nF	Capacitor	C2	0805	Cap	1
LED2	Typical RED, GREEN, YELLOW, AMBER GaAs LED	D1	LED(0805)	LED2	1
Header 2	Header, 2-Pin	P1	RAD0.2	Header 2	1
Header 3	Header, 3-Pin	P2	HDR1X3	Header 3	1
1K	Semiconductor Resis- tor	R1	0805	Res Semi	1
ACS712	Hall Sensor	U1	SOIC8	ACS712	1

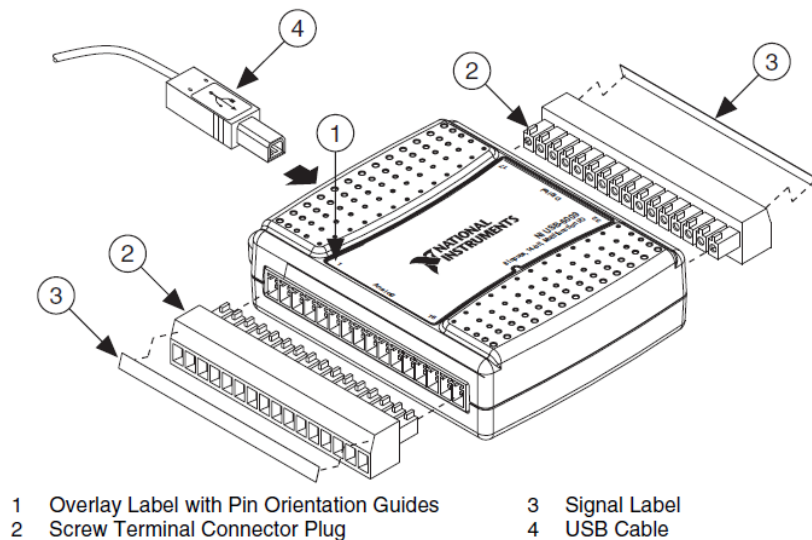
Apêndice C - NI USB-6009

Tabela 15 - Resumo das especificações NI USB-6009 (NI, 2012)

Geral	
Nome do produto	USB-6009
Família de produtos	Multifunction Data Acquisition
Formato	USB
Part Number	779026-01
Tipo de medição	Voltage
Tipo de isolamento	None
Alimentação da USB	Bus-Powered
Entradas analógicas	
Canais	4 , 8
Canais single-ended	8
Canais diferenciais	4
Resolução	14 bits
Taxa de amostragem	48 kS/s
Throughput (todos os canais)	48 kS/s
Tensão máxima	10 V
Faixa máxima de tensão	-10 V, 10 V
Exatidão na faixa máxima de tensão	7.73 mV
Faixa mínima de tensão	-1 V, 1 V
Exatidão na faixa mínima de tensão	1.53 mV
Quantidade de faixas	8
Amostragem simultânea	Não
Memória on-board	512 B
Saídas analógicas	
Canais	2
Resolução	12 bits

Geral	
Tensão máxima	5 V
Faixa máxima de tensão	0 V, 5 V
Exatidão na faixa máxima de tensão	7 mV
Faixa mínima de tensão	0 V, 5 V
Exatidão na faixa mínima de tensão	7 mV
Taxa de atualização	150 S/s
Drive de corrente, individual	5 mA
Drives de corrente	10 mA
E/S digitais	
Canais bidirecionais	12
Canais somente de entrada	0
Canais somente de saída	0
Temporização	Software
Níveis lógicos	TTL
Fluxo de corrente de entrada	Sinking, Sourcing
Fluxo de corrente de saída	Sinking, Sourcing
Filtros de entrada programáveis	Não
Suporte a estados programáveis de power-up?	Não
Drive de corrente, individual	8.5 mA
Drives de corrente	102 mA
Temporizador watchdog	Não
Suporte a E/S de handshaking?	Não
Suporte a E/S de padrões?	Não
Faixa máxima de entrada	0 V, 5 V
Faixa máxima de saída	0 V, 5 V
Contadores / temporizadores	
Contadores	1

Geral	
Operações com buffer	Não
Remoção de bounces/glitches	Não
Faixa máxima	0 V, 5 V
Frequência máxima da fonte	5 MHz
Geração de pulsos	Não
Resolução	32 bits
Estabilidade da base de tempo	50 ppm
Níveis lógicos	TTL



1 Overlay Label with Pin Orientation Guides
 2 Screw Terminal Connector Plug
 3 Signal Label
 4 USB Cable

Figura 37 - Signal Label Application Diagram [Extraída de (NI, 2012)]

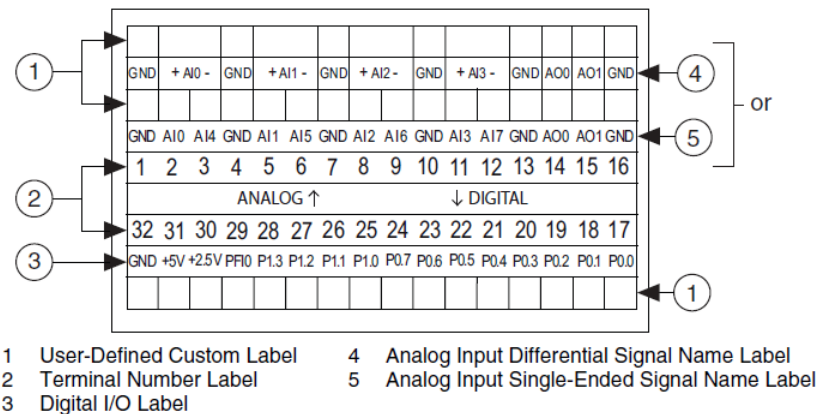


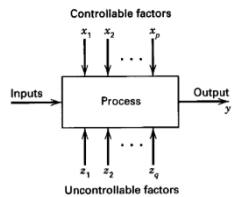
Figura 38 - Signal Labels [Extraída de (NI, 2012)]

Apêndice D – Minitab

O Minitab, segundo o distribuidor no Brasil (LIDER SOFTWARES) define-o como “Além de sua poderosa funcionalidade e fácil interface, o Minitab foi especialmente desenvolvido para se integrar em aulas de estatística, combinando tópicos, metodologias e terminologias dos principais livros-textos dos estudantes. Assim, quando o estudante aprende com o Minitab, ele adquire experiência com as mais recentes ferramentas profissionais disponíveis, habilitando-se para sua futura área de atuação.”. Este é o motivo deste software ter sido escolhido. Link para a documentação de duas versões estão na referências bibliográfica (MINITAB INC., 2004) e (MINITAB INC., 2010).

Apêndice E – Apostila (MONTGOMERY, 2005)

Tabela 16 - Parte 01 da apresentação do curso de estatística ministrada pelo Dr. Doug Montgomery

Design and Analysis of Engineering Experiments Douglas C. Montgomery ASU Foundation Professor of Engineering Arizona State University DOX 6E Montgomery 1	Design of Engineering Experiments Part 1 – Introduction Chapter 1, Text • Why is this trip necessary? Goals of the course • An abbreviated history of DOX • Some basic principles and terminology • The strategy of experimentation • Guidelines for planning, conducting and analyzing experiments DOX 6E Montgomery 2
Introduction to DOX • An experiment is a test or a series of tests • Experiments are used widely in the engineering world – Process characterization & optimization – Evaluation of material properties – Product design & development – Component & system tolerance determination • “All experiments are designed experiments, some are poorly designed, some are well-designed” DOX 6E Montgomery 3	Engineering Experiments • Reduce time to design/develop new products & processes • Improve performance of existing processes • Improve reliability and performance of products • Achieve product & process robustness • Evaluation of materials, design alternatives, setting component & system tolerances, etc.  Figure 1-1 General model of a process or system. DOX 6E Montgomery 4
Four Eras in the History of DOX • The agricultural origins, 1918 – 1940s – R. A. Fisher & his co-workers – Profound impact on agricultural science – Factorial designs, ANOVA • The first industrial era, 1951 – late 1970s – Box & Wilson, response surfaces – Applications in the chemical & process industries • The second industrial era, late 1970s – 1990 – Quality improvement initiatives in many companies – Taguchi and robust parameter design, process robustness • The modern era, beginning circa 1990 DOX 6E Montgomery 5	The Basic Principles of DOX • Randomization – Running the trials in an experiment in random order – Notion of balancing out effects of “lurking” variables • Replication – Sample size (improving precision of effect estimation, estimation of error or background noise) – Replication versus repeat measurements? (see page 13) • Blocking – Dealing with nuisance factors DOX 6E Montgomery 6

Strategy of Experimentation

- “Best-guess” experiments
 - Used a lot
 - More successful than you might suspect, but there are disadvantages...
- One-factor-at-a-time (OFAT) experiments
 - Sometimes associated with the “scientific” or “engineering” method
 - Devastated by interaction, also very inefficient
- Statistically designed experiments
 - Based on Fisher’s factorial concept

DOX 6E Montgomery

7

Factorial Designs

- In a factorial experiment, **all possible combinations** of factor levels are tested
- The golf experiment:
 - Type of driver
 - Type of ball
 - Walking vs. riding
 - Type of beverage
 - Time of round
 - Weather
 - Type of golf spike
 - Etc, etc, etc...

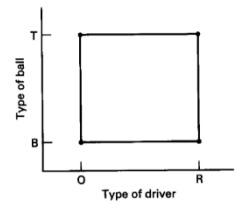


Figure 1-4 A two-factor factorial experiment involving type of driver and type of ball.

DOX 6E Montgomery

8

Factorial Design

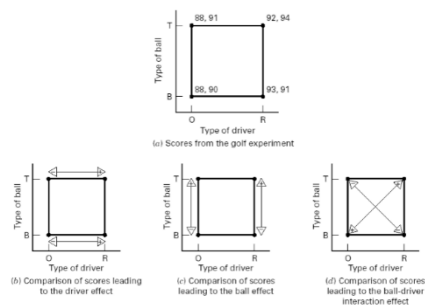


Figure 1-5 Scores from the golf experiment in Figure 1-4 and calculation of the factor effects.

DOX 6E Montgomery

9

Factorial Designs with Several Factors

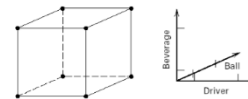


Figure 1-6 A three-factor factorial experiment involving type of driver, type of ball, and type of beverage.

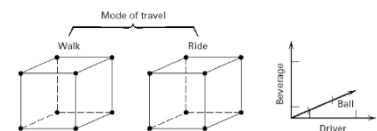


Figure 1-7 A four-factor factorial experiment involving type of driver, type of ball, type of beverage, and mode of travel.

DOX 6E Montgomery

10

Factorial Designs with Several Factors A Fractional Factorial

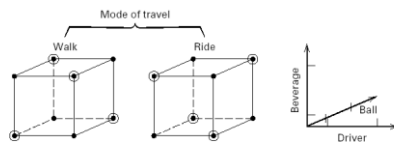


Figure 1-8 A four-factor fractional factorial experiment involving type of driver, type of ball, type of beverage, and mode of travel.

DOX 6E Montgomery

11

Planning, Conducting & Analyzing an Experiment

1. Recognition of & statement of problem
2. Choice of factors, levels, and ranges
3. Selection of the response variable(s)
4. Choice of design
5. Conducting the experiment
6. Statistical analysis
7. Drawing conclusions, recommendations

DOX 6E Montgomery

12

Planning, Conducting & Analyzing an Experiment

- Get **statistical thinking** involved early
- Your **non-statistical** knowledge is crucial to success
- Pre-experimental planning (steps 1-3) vital
- Think and **experiment** sequentially (use the KISS principle)
- See Coleman & Montgomery (1993) *Technometrics* paper + supplemental text material

DOX 6E Montgomery

13