UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO

ADRIANO CABRAL DAN

PROJETO DE UMA ESTAÇÃO DE TESTE DE POTÊNCIA PARA MINI BAJA

VITÓRIA
2005

ADRIANO CABRAL DAN

PROJETO DE UMA ESTAÇÃO DE TESTE DE POTÊNCIA PARA MINI BAJA

Projeto de Graduação apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau em Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Professor Elias Antônio Dalvi

VITÓRIA

2005

ADRIANO CABRAL DAN

PROJETO DE UMA ESTAÇÃO DE TESTE DE POTÊNCIA PARA MINI BAJA

Projeto de Graduação apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau em Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em ___ de dezembro de 2005.

COMISSÃO EXAMINADORA

_____

Professor Elias Antônio Dalvi
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

_____

Professor Rogério Silveira Queiroz
Universidade Federal do Espírito Santo

_____

Professor Vladimir Ivanovitch Dynnikov
Universidade Federal do Espírito Santo

Aos familiares e amigos, pelo apoio incondicional por toda essa caminhada.

Aos mestres, pela dedicação, compreensão e conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Projeto Mini Baja que complementou de forma tão marcante minha formação acadêmica.

Agradeço ao professor Elias Antônio Dalvi pelo suporte técnico e amizade durante todos esses anos.

Agradeço também aos demais professores, principalmente os da banca examinadora.

Obrigado.

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

RESUMO

Diante da oportunidade de projetar um equipamento capaz de otimizar o Mini Baja, protótipo de veículo de um projeto de extensão da Universidade Federal do Espírito Santo, e utilizando um dinamômetro projetado e construído em projetos de graduação anteriores, a elaboração do projeto da Estação de Teste de Potência para Mini Baja tornou-se objeto deste presente projeto de graduação.

Projeto de graduação este que aborda desde a motivação para sua implementação, as etapas do projeto e as vantagens da utilização desta estação para a realização dos testes. Com o objetivo de tornar o veículo mais eficiente e competitivo diante os demais, na competição SAE Brasil de Mini Baja.

ABSTRACT

In front of opportunity of to project a equipment unable of optimize the Mini Baja, model car of a expansion project of Universidade Federal do Espírito Santo, and using a dynamometer projected and manufactured in undergraduate project former, the elaboration of Estação de Teste de Potência para Mini Baja project turn into subject of this undergraduate project.

This Undergraduate project concern, from the stimulus for its implementation, the stage of project and the advantages of its utilization in tests. With purpose increase the efficient and the competitiveness of car in SAE Brasil de Mini Baja competition in font of others cars.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Principais medidas da Estação de Teste.....13
Tabela 02 - Orçamento da Estação de Teste.....18
Tabela 03 - Controle de válvulas de comando.....20
Tabela 04 - Valores teóricos de teste à relação de transmissão 5:1.....26
Tabela 05 - Valores teóricos de teste à relação de transmissão 5:1.....26

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Estação de Teste de Potência para Mini Baja.....14
Figura 02 - Dinamômetro de rolos - NAPRO.....15
Figura 03 - Sistema de regulagens dos rolos.....16
Figura 04 - Medidas básicas da Estação de Teste.....17
Figura 05 - Estação de Teste - Conjunto bancada, dinamômetro e balança.....18
Figura 06 - Dinamômetro hidráulico.....19
Figura 07 - Válvulas de entrada e saída de água.....20
Figura 08 - Sensor magnético.....21
Figura 09 - Gráfico comparativo, teórico, entre a velocidade à relação de 5:1 e 6:1.....27
Figura 10 - Gráfico comparativo, teórico, entre o rendimento à relação de 5:1 e 6:1....27
Figura 11 - Gráfico comparativo, teórico, entre o torque à relação de 5:1 e 6:1.....28
Figura 12 - Gráfico comparativo, teórico, entre o tempo à relação de 5:1 e 6:1.....28

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CV – Cavalo Vapor

CVT – Continuous Variable Transmission

DIN – Norm Deutschtechnick

HP – Horse Power

NBR – Norma Brasileira Registrada

MIG – Metal Inerte Gás

RPM – Rotações por minuto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....12

2. OBJETIVO DO EQUIPAMENTO.....12

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....13

3.1. ANÁLISE DINÂMICA.....14

3.2. ANÁLISE ESTRUTURAL.....16

3.3. ANÁLISE ECONÔMICA.....17

4. DINAMÔMETRO.....18

5. CAPTAÇÃO DE DADOS.....21

6. TESTES.....22

6.1. TESTE DE VELOCIDADE VARIÁVEL.....23

6.1.1. DESCRIÇÃO DO TESTE.....23

6.2. TESTE DE VELOCIDADE CONSTANTE.....23

6.2.1. DESCRIÇÃO DO TESTE.....24

7. ERROS NA MEDIÇÃO.....24

8. ANÁLISE DE DADOS.....25

9. CONCLUSÃO.....29

10. SUGESTÕES.....29

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....30

ANEXO A - Memorial de Cálculos Estruturais.....31

ANEXO B - Relatório de Projeto - Equipe Vitória Baja 2005.....41

ANEXO C - Paper Estudantil - Estação de Teste para Mini Baja, Publicado no Congresso SAE Brasil 2005.....57

ANEXO D - Resultado Nacional do Paper Estudantil Estação de Teste de Potência para Mini Baja.....62

ANEXO E - Protocolo de Solicitação de Verba para Construção da Estação de Teste de Potência para Mini Baja.....64

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do projeto de um equipamento mecânico que envolve vários dos conceitos de engenharia mecânica adquiridos durante o curso é empolgante, e diante da possibilidade de fazer com que este projeto possa colaborar com o Projeto de Extensão Mini Baja da UFES e fazer com que o Laboratório de Motores de Combustão Interna, também da UFES, seja melhor aproveitado, motivaram a realização deste projeto de graduação.

Como a principal motivação do projeto é aprimorar ao máximo o veículo Mini Baja (vide anexo B), este necessita da realização de testes com parâmetros eficientes e confiáveis para evoluir e destacar-se diante dos demais veículos do país. Para a realização deste tipo de teste surge a necessidade da construção de meios que os possibilitem.

O equipamento a ser descrito consiste em uma estação que propicia o teste dinâmico do veículo. Com este equipamento, que fornece dados de torque final, rotação final, distância percorrida e tempo, pode-se concluir sobre o rendimento do veículo e, principalmente, comparar estes parâmetros com diferentes configurações, podendo-se concluir precisamente sobre qual configuração é mais indicada à solicitação.

Este tipo de equipamento é largamente utilizado na indústria automobilística para a realização de testes similares aos realizados para Mini Baja, guardando-se as devidas proporções e objetivos.

2. OBJETIVO DO EQUIPAMENTO

O objetivo do equipamento é possibilitar testes que permitam a comparação de diferentes configurações do veículo concluindo-se sobre a ideal a ser utilizada.

Para se realizar esta comparação, os dados captados pelo equipamento permitem a construção de gráficos da velocidade, torque, rendimento, potência e tempo pela dis-

tância percorrida. Estes gráficos são os objetivos fundamentais do equipamento, e permite a tomada decisão precisa sobre o veículo com um ganho temporal e funcional.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Para desenvolver o projeto da Estação de Teste de Potência para Mini Baja, três tipos de análises foram realizadas: Análise dinâmica; Análise estrutural e Análise econômica. Cada análise desta aborda o projeto sobre seu ponto de vista e, por fim, quando abordadas juntamente, definem o projeto (vide tabela 01 e figura 01). Vale ressaltar que estas análises, embora abordadas separadamente, foram realizadas simultaneamente para um perfeito desenvolvimento do projeto.

Tabela 01 - Principais medidas da Estação de Teste

Descrição		**Medida [mm]**
Diâmetro do eixo		40
Comprimento do eixo		1700
Diâmetro do rolo		170
Comprimento do rolo		300
Perfil da estrutura	Tubo de seção retangular	50 x 50
	espessura	4
Distância entre os rolos	Máxima	400
	Mínima	300
Distância axial entre os rolos	Máxima	1300
	Mínima	300

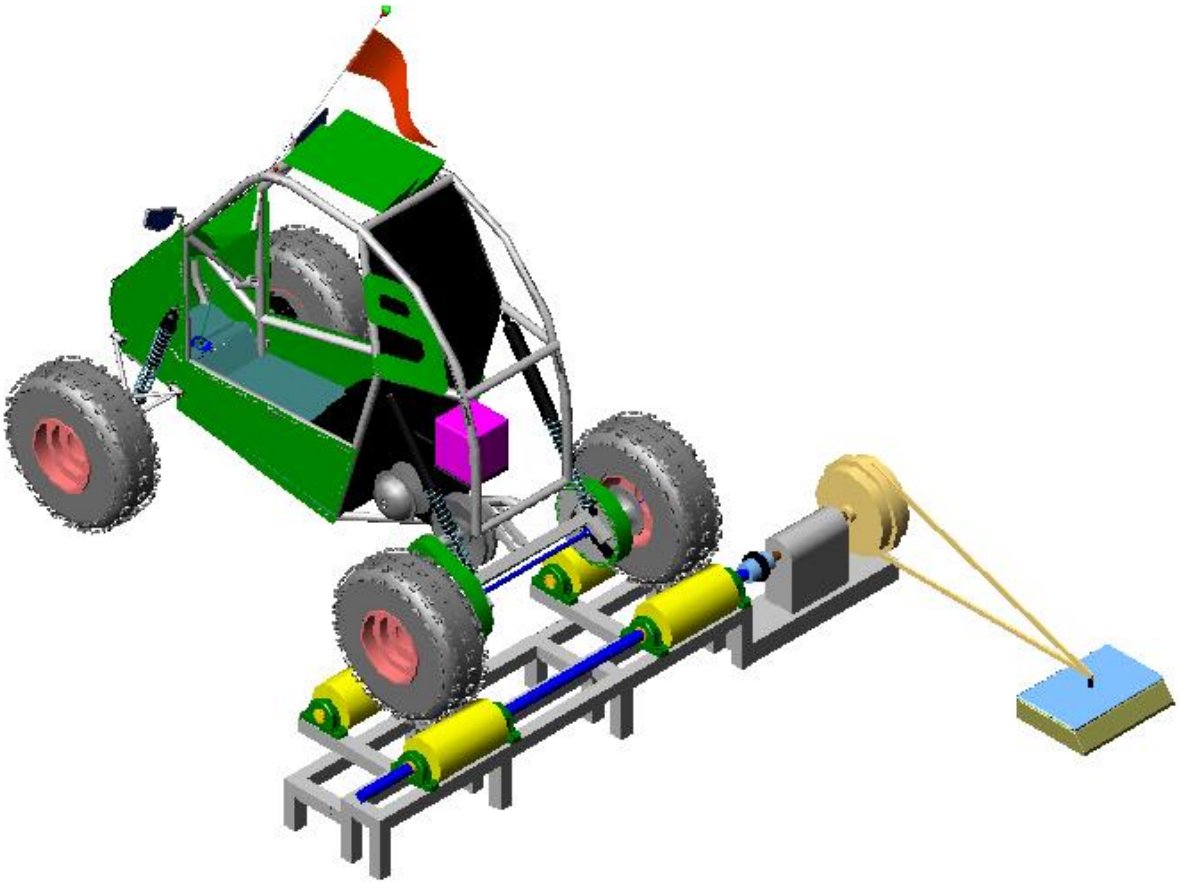


Figura 01 - Estação de Teste de Potência para Mini Baja

3.1. ANÁLISE DINÂMICA

Nesta análise buscou-se decidir as características básicas e necessárias para que o equipamento realizasse o teste desejado. Para isto definiu-se que a Estação iria ser constituída de uma estrutura que suportasse os rolos. O veículo transmitiria potência a estes rolos onde é efetuada a determinação dos parâmetros, via um sistema de aquisição de dados eletrônico e um dinamômetro hidráulico, mais tarde abordado especificamente.

Para a determinação da configuração do equipamento realizou-se uma pesquisa com equipamentos similares, dinamômetro de rolos (vide figura 02), com o objetivo de garantir a funcionalidade do equipamento e definir algumas variáveis como o diâmetro

dos rolos, a distância entre eles e o material do seu revestimento. Variáveis estas de suma importância para o objetivo do equipamento.

Figura 02 - Dinamômetro de rolos - NAPRO

Definiu-se ainda que o equipamento possuísse um sistema de regulagens (vide figura 03), que permitisse a realização do teste para diferentes veículos, com um limite máximo e mínimo de utilização. Estas regulagens consistem de um sistema que permite a montagem dos rolos a diferentes posições, podendo ser adaptada da melhor maneira possível para vários diâmetros de pneus e veículos com diferentes bitolas.

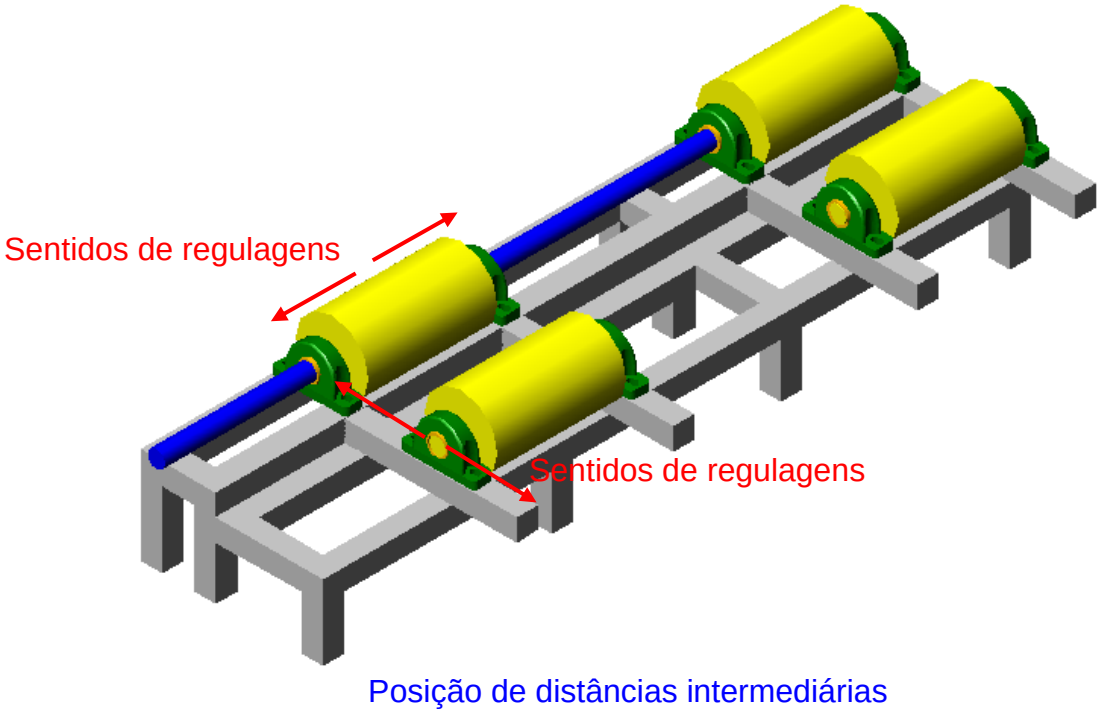


Figura 03 - Sistema de regulagens dos rolos

3.2. ANÁLISE ESTRUTURAL

Nesta análise definiu-se o projeto em suas dimensões (vide figura 04) segundo a resistência dos materiais (vide anexo A). Para o dimensionamento de todo equipamento utilizou-se o critério de energia de máxima distorção, “von Mises”, já que os materiais a serem utilizados são dúcteis. Os carregamentos baseiam-se em torção, flexão e compressão, sendo analisado ainda quanto a flambagem e fadiga.

Dimensionaram-se também os equipamentos mecânicos a serem utilizados no projeto. As chavetas que transmitem a potência dos rolos ao eixo, e o acoplamento que transmite a potência do eixo ao dinamômetro, foram determinados seguindo a norma DIN. Os rolamentos e mancais foram selecionados considerando-se o catálogo do fabricante.

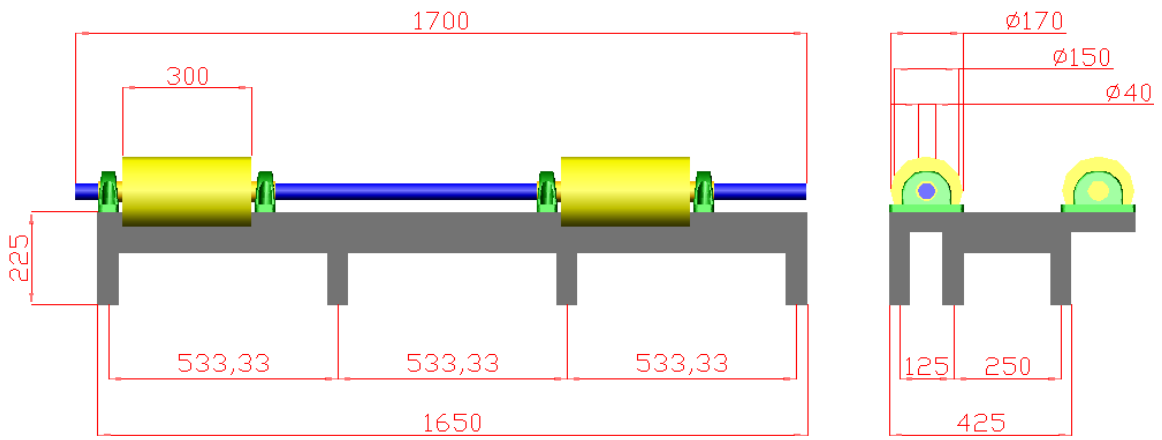


Figura 04 - Dimensões básicas da Estação de Teste

A resistência de todas as junções do equipamento também foi analisada, determinando-se assim o diâmetro dos parafusos e suas classes de resistência. Nas junções soldadas definiu-se que a solda a ser utilizada seria a MIG, devido à resistência satisfatória e facilidade de fabricação.

3.3. ANÁLISE ECONÔMICA

Nesta análise todo o projeto foi realmente determinado fundamentado nas análises dinâmica e estrutural. Conciliou-se a solicitação do projeto com o que o mercado podia oferecer a um custo satisfatório. Desta forma algumas alterações foram realizadas, como a utilização de rolos chavetados a um eixo, já que a construção de um único rolo seria uma solução mais cara. A utilização de aço baixo carbono em todas as partes do equipamento também foi adotada devido ao baixo preço, além de requerer pouco cuidado com a soldagem.

Para a construção do projeto, o orçamento foi realizado em três etapas (vide tabela 02). Um primeiro que diz respeito à verba inicial para a construção do equipamento (vide anexo E); um segundo, incluindo o valor de rolos com diâmetros superiores ao do eixo e que permitem a realização de testes de melhor qualidade; e um terceiro incluindo o valor dos rolamentos e mancais, cedidos pela NSK, sendo este é o valor total do equipamento, excluindo-se a mão de obra para a construção.

Tabela 02 - Orçamento da Estação de Teste

MATERIAL	QTD.	PREÇO
Metalon 50 X 50 mm (espessura 4 mm)	12 m	R$ 232,00
Tarugo Θ 40 mm	2 m	R$ 126,00
Chaveta 6 x 6	150 mm	R$ 73,00
Tarugo Θ 170 mm	0,15 m	R$ 145,00
	Total 1	**R$ 576,00**
Tubo mecânico $Θ_{ext.}$ 170 mm, $Θ_{int.}$ 150 mm	1,25 m	R$ 1.264,00
	Total 2	**R$ 1.840,00**
Rolamentos - 6603 DDU	8	R$ 1.600,00
Mancais de ferro fundido - 6603	8	R$ 1.600,00
	Total 3	**R$ 5.040,00**

4. DINAMÔMETRO

O dinamômetro hidráulico a ser adaptado funcionará acoplado ao eixo de saída do equipamento (vide figura 05) por meio de um acoplamento elástico. Ele cria resistência ao movimento utilizando um rotor submerso em água. A carcaça externa do rotor não é engastada e possui um braço fixado nela.

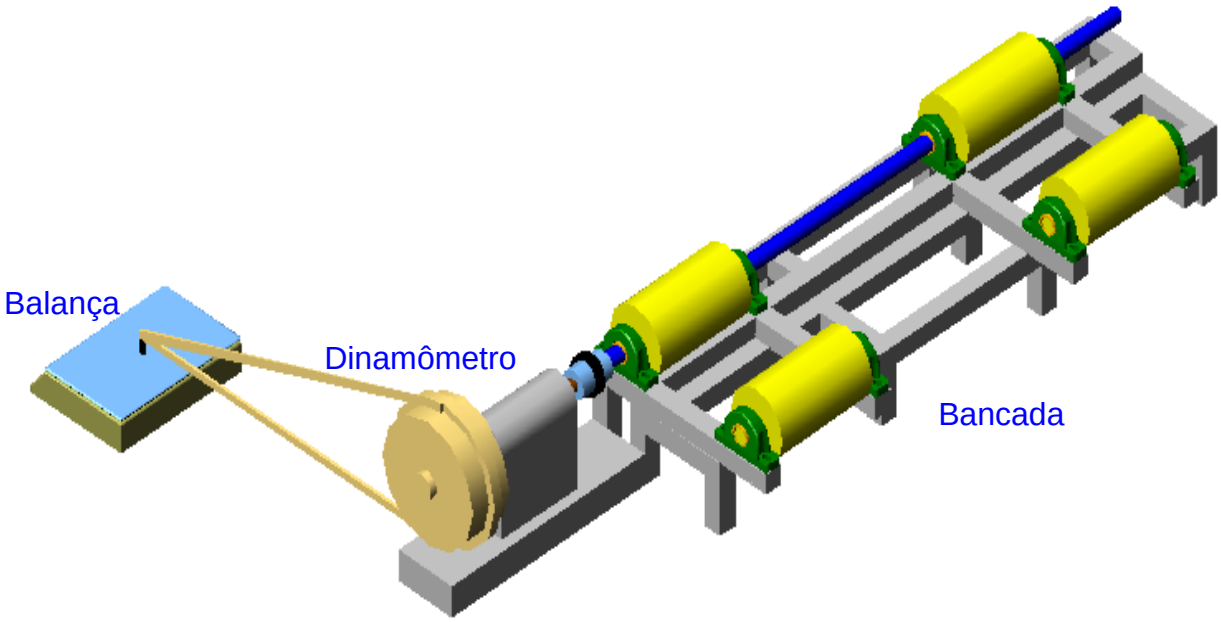


Figura 05 - Estação de Teste - Conjunto bancada, dinamômetro e balança

Quando o veículo é solicitado, o rotor submerso tenta frear o movimento e, com isso, o torque é transferido para a carcaça. Como a mesma é apoiada sobre rolamentos, ao girar, ela transfere o movimento para um braço, cuja ponta é apoiada em uma balança digital. Desta forma, registra-se, no exato instante da solicitação do motor, a carga resultante na balança (vide figura 06).

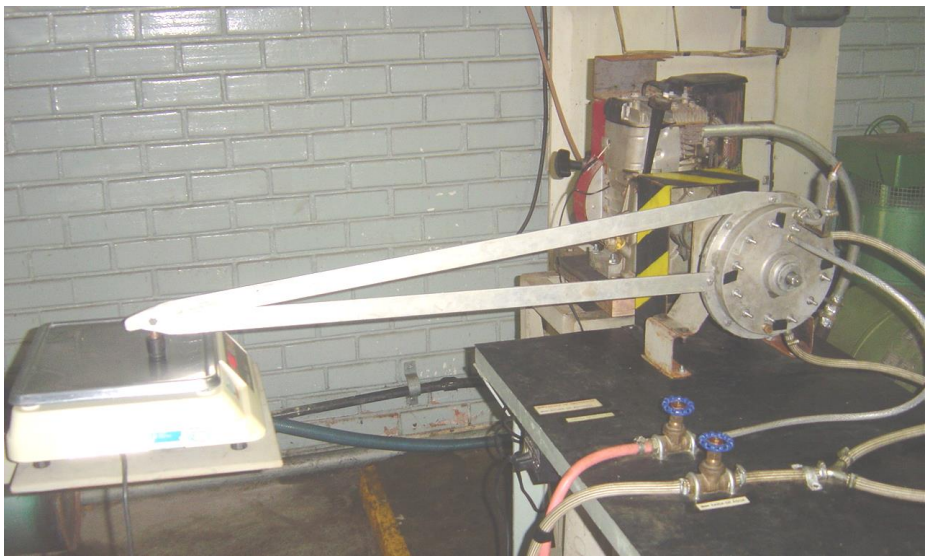


Figura 06 - Dinamômetro hidráulico

Vale lembrar que o braço tem o comprimento de um metro, portanto, para se obter a potência no eixo de saída do motor basta registrar o peso indicado na balança, a rotação em um dado instante e aplicar nas seguintes fórmulas:

$$Potência[HP] = \frac{M_t[kg*m]*n[RPM]}{725{,}566};$$

$$Potência[CV] = \frac{M_t[kg*m]*n[RPM]}{716{,}2};$$

$$Potência[KW] = \frac{M_t[kg*m]*n[RPM]}{973}.$$

A potência absorvida pelo dinamômetro depende da velocidade de rotação e da quantidade de água existente no interior da câmara do rotor. O nível de água na câmara do rotor é modulado com o controle das válvulas de entrada e saída, (vide figura 07) e a carga varia conforme mostrado (vide tabela 03).

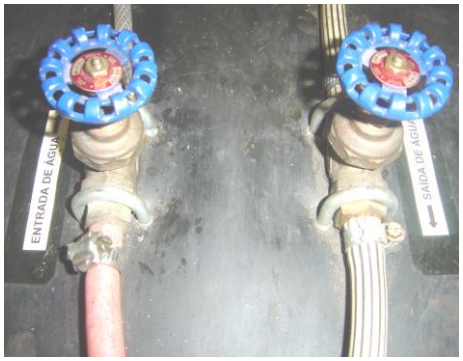


Figura 07 - Válvulas de entrada e saída de água

Tabela 03 - Controle de válvulas de comando

Opção	Válvula de entrada	Válvula de saída
Aumentar a carga	Abrir	Fechar
Reduzir a carga	Fechar	Abrir

Abrindo ou fechando a válvula de entrada, o fluxo de água através da câmara do rotor é alterado. Da mesma forma, a válvula de saída retarda, ou não, a massa de água no interior da câmara. Assim, uma combinação das duas válvulas permite um controle mais preciso da frenagem do veículo.

Em nenhuma hipótese deve-se operar o dinamômetro com a válvula de saída completamente fechada. O bloqueio da saída da água produz elevação de temperatura e da pressão, que pode vir a danificar o dinamômetro e provocar algum acidente.

A uma dada velocidade de rotação, o máximo de potência é absorvido quando a câmara do rotor se encontra praticamente cheia de água. Em condições normais, o dinamômetro opera com a câmara parcialmente cheia.

O dinamômetro hidráulico opera como se fosse uma bomba centrífuga ineficiente. Uma pequena porção da energia mecânica fornecida, geralmente menos de 2%, é convertida em pressão hidráulica. A força de arraste da água gerada pelo movimento do rotor aumenta com o aumento do volume de água e com o aumento da velocidade de rotação. A máxima força de arraste é atingida quando o dinamômetro opera a plena carga com a câmara do rotor completamente cheia.

Os limites de rotação e potência são valores definidos pela curva de absorção e refletem a máxima força de arraste que o motor consegue vencer. Os limites de torque e rotação estão baseados no projeto mecânico do equipamento, considerando as tensões no eixo e no disco do rotor, velocidades críticas e lubrificação dos mancais.

Como este equipamento foi projetado para trabalhar com um torque menor que o submetido na Estação de Teste, sua condição funcional terá que ser adequada, para isto, será realizada a troca do fluído de trabalho, mudando-se de água para um fluído mais viscoso. Esta troca será realizada se houver necessidade e o fluído a ser utilizado será definido experimentalmente com a utilização do equipamento de maneira a se alterar os parâmetros até chegar-se à configuração perfeita de funcionamento.

5. CAPTAÇÃO DE DADOS

Os dados são capturados em dois pontos do equipamento e duas variáveis são medidas. Um destes pontos é uma balança digital, já referida, que fornece o torque final do veículo, sendo enviado para um microcontrolador PIC 16F876 da Microchip e cruzado com demais valores.

O outro valor é proveniente de um sensor magnético posicionado diante de seis furos efetuados em um dos rolos (vide figura 08). Com a rotação do rolo, o sensor capta a variação do campo magnético e envia um pulso elétrico ao PIC.

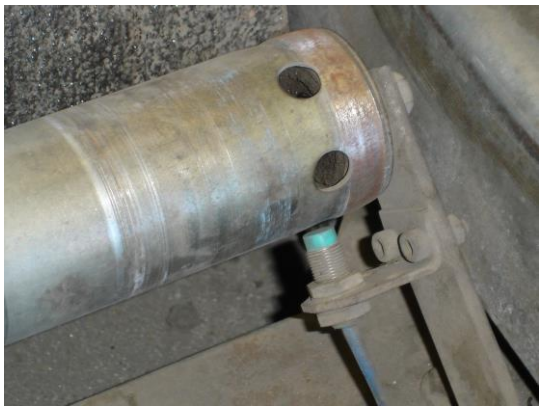


Figura 08 - Sensor magnético

Os dados são armazenados em uma memória RAM num intervalo de meio segundo. O acesso à memória é controlado por um interruptor, dessa forma, somente os dados relevantes são gravados.

Foi elaborado um programa em linguagem C para o microcontrolador, que funciona como cérebro do sistema monitorando as entradas da placa, convertendo as grandezas e enviando os dados para o computador. Quando desejado, todos esses dados são convertidos do padrão TTL para o padrão RS232, sendo em seguida capturados pelo computador via porta serial através da ferramenta *Serial Port Monitor*, do software *PCW C Compiler IDE*.

Finalmente, os dados são transferidos para um programa desenvolvido no software Excel que os interpreta e através de cálculos consegue-se os parâmetros de velocidade final, distância percorrida, rendimento e tempo, além do torque, propiciando assim a construção dos gráficos que são o objetivo do projeto.

6. TESTES

Vários testes podem ser realizados, sendo que o objetivo é medir o torque desenvolvido pelo veículo a cada rotação, a qual é associada à rotação desenvolvida em um percurso de cem metros. Podem-se assim obter os parâmetros desejados e construir os gráficos de performance.

Dentre os testes que podem ser realizados, dois são aqui destacados:

- Teste de velocidade variável;
- Teste de velocidade constante.

6.1. TESTE DE VELOCIDADE VARIÁVEL

Este teste é freqüentemente apresentado para motores automotivos e marítimos. Normalmente é realizado à plena carga, ou seja, com o acelerador na posição de máxima rotação do motor, além dos testes de cargas parciais, 75%, 50% ou 25% de carga, onde o acelerador é mantido em posições intermediárias.

6.1.1.DESCRIÇÃO DO TESTE

O teste de plena carga determina a potência máxima do motor em cada rotação de funcionamento. Para tal, após o aquecimento do motor e estabilização das temperaturas, leva-se o acelerador para a posição todo aberto e, gradualmente, ajusta-se a carga do dinamômetro de modo que o mesmo se estabiliza na rotação desejada, anotando-se os valores de potência e rotação correspondente.

Em geral, nos motores de combustão interna, os valores mais importantes são os nominais de placa neste teste. Por exemplo, se o motor é de 400 HP a 2100 RPM, significa que essa é a potência máxima, a qual é atingida na rotação citada. É importante, estabelecer os pontos de medição desejados, para cada motor, onde serão efetuadas as leituras e, para que se possa comprovar a repetitividade dos dados. Parâmetros como pressão no coletor de admissão e temperaturas da água e do óleo lubrificante, assim como a coloração, temperatura e o teor dos gases de escape são indicadores importantes, que ajudam a avaliar o desempenho de um motor.

6.2. TESTE DE VELOCIDADE CONSTANTE

Este teste é normalmente utilizado na análise de desempenho de motores estacionários, que acionam geradores, por exemplo, onde a velocidade de rotação é constante e deseja-se medir a potência máxima e o consumo de combustível para várias condições de carga, na mesma RPM.

6.2.1. DESCRIÇÃO DO TESTE

Inicia-se o teste com o motor funcionando sem carga, ou somente com a carga de aquecimento, após isso se atua no acelerador e na carga até atingir a velocidade desejada. O acelerador é mantido fixo nessa posição e as leituras são efetuadas.

A maioria dos motores para essa aplicação está dotada de um governador automático de RPM, no acelerador, que se encarrega de manter constante a velocidade ajustada. Quando o ensaio estiver sendo efetuado sem o governador, é necessário corrigir a velocidade manualmente. Atingidos os valores pretendidos, efetuam-se as leituras e anotações dos parâmetros que se pretende avaliar.

O teste pode ser conduzido em várias etapas de valores de carga, sendo a última a de plena carga. Adotando-se incrementos de carga adequados, é possível traçar, por exemplo, uma curva de consumo específico de combustível.

7. ERROS NA MEDIÇÃO

O erro total na medição de torque em um dinamômetro hidráulico é a soma dos erros dos seguintes componentes:

- Erro causado pela fricção dos mancais da carcaça do dinamômetro; tolerância do comprimento do braço; restrições ao movimento causadas por mangueiras e cabos e desbalanceamento estático;

- Erros resultantes do sistema de leitura, representando todos os erros relacionados ao sistema de leitura de carga, balança;

Avaliação mais precisa das incertezas de medidas deve ser realizada depois de todos os sistemas instalados.

8. ANÁLISE DE DADOS

As análises dos dados, obtidos pela Estação de Teste de Potência para Mini Baja, propiciarão a escolha ideal configuração do veículo, dependendo é claro, dos objetivos finais. Com os dados obtidos pela Estação de Teste será possível à construção de gráficos que permitirão a comparação entre configurações distintas, e assim, fazer a opção pela melhor.

Com a construção dos gráficos, acima referidos, a tomada de decisão estará amparada em dados concretos, com economia de tempo e dinheiro. As comparações entre as possíveis configurações poderão ser realizadas levando-se em conta, não só os aspectos mais relevantes, mas também a distância entre centros da transmissão variável, CVT, a tensão da corrente, dentre outros.

As possibilidades de testes e variações são inúmeras, dependendo do objetivo e das características que se buscam no veículo, o teste pode ser alterado e dar foco na área especifica que se deseja analisar.

Para melhor visualização dos gráficos que serão obtidos pela Estação de Teste, a partir de dados (vide tabelas 04 e 05) de testes realizados em campo e valores teóricos de torque, construíram-se gráficos (vide figuras 09, 10, 11 e 12) para a comparação de duas relações de transmissão diferentes que podem ser utilizadas pelo veículo.

Tabela 04 - Valores teóricos de teste à relação de transmissão 5:1

Relação de transmissão 5:1					
Distância Percorrida [m]	**Rotação Final [RPM]**	**Velocidade Final [km/h]**	**Rendimento**	**Torque Final [N.m]**	**Tempo [s]**
0	0	0,00	0,00	0,000	0,00
10	42,24	12,00	0,63	302,400	3,00
20	70,40	20,00	0,82	333,900	4,50
30	90,64	25,75	0,89	335,250	6,00
40	104,89	29,80	0,92	336,150	7,00
50	116,16	33,00	0,94	336,600	8,50
60	126,54	35,95	0,95	335,700	9,50
70	135,16	38,40	0,94	334,800	10,50
80	141,85	40,30	0,94	333,900	11,50
90	149,60	42,50	0,93	333,000	12,50
100	153,99	43,75	0,92	333,000	13,50
110	158,39	45,00	0,92	333,000	14,00

Tabela 05 - Valores teóricos de teste à relação de transmissão 5:1

Relação de transmissão 6:1					
Distância Percorrida [m]	**Rotação Final [RPM]**	**Velocidade Final [km/h]**	**Rendimento**	**Torque Final [N.m]**	**Tempo [s]**
0	0,00	0	0	0	0
10	47,87	13,6	0,71	320,4	2,5
20	78,67	22,35	0,93	345,6	4
30	98,03	27,85	0,95	343,8	5,5
40	111,93	31,8	0,95	336,15	6,5
50	123,20	35	0,94	336,6	8
60	132,35	37,6	0,94	335,7	9
70	140,09	39,8	0,93	333	10
80	145,02	41,2	0,93	327,6	11
90	149,77	42,55	0,91	327,6	12
100	151,88	43,15	0,91	327,6	13
110	154,87	44	0,9	324	13,5

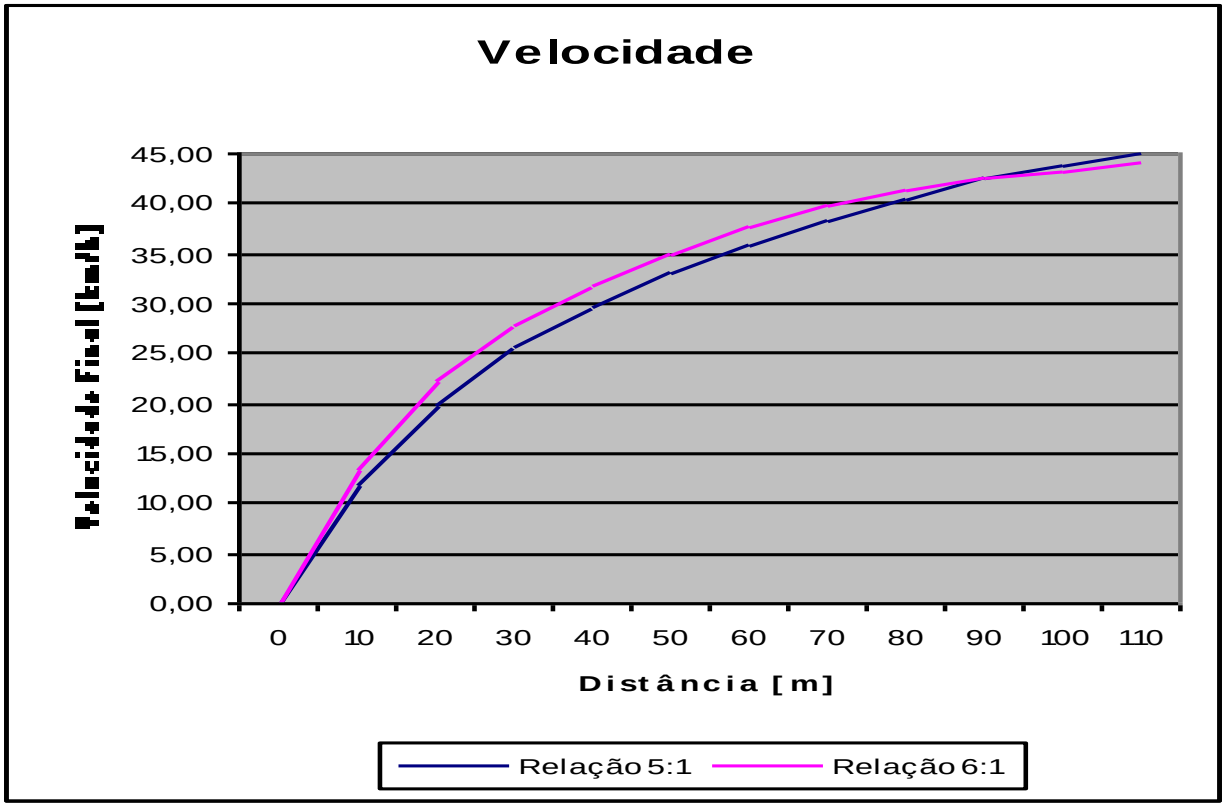


Figura 09 - Gráfico comparativo, teórico, entre a velocidade à relação de 5:1 e 6:1

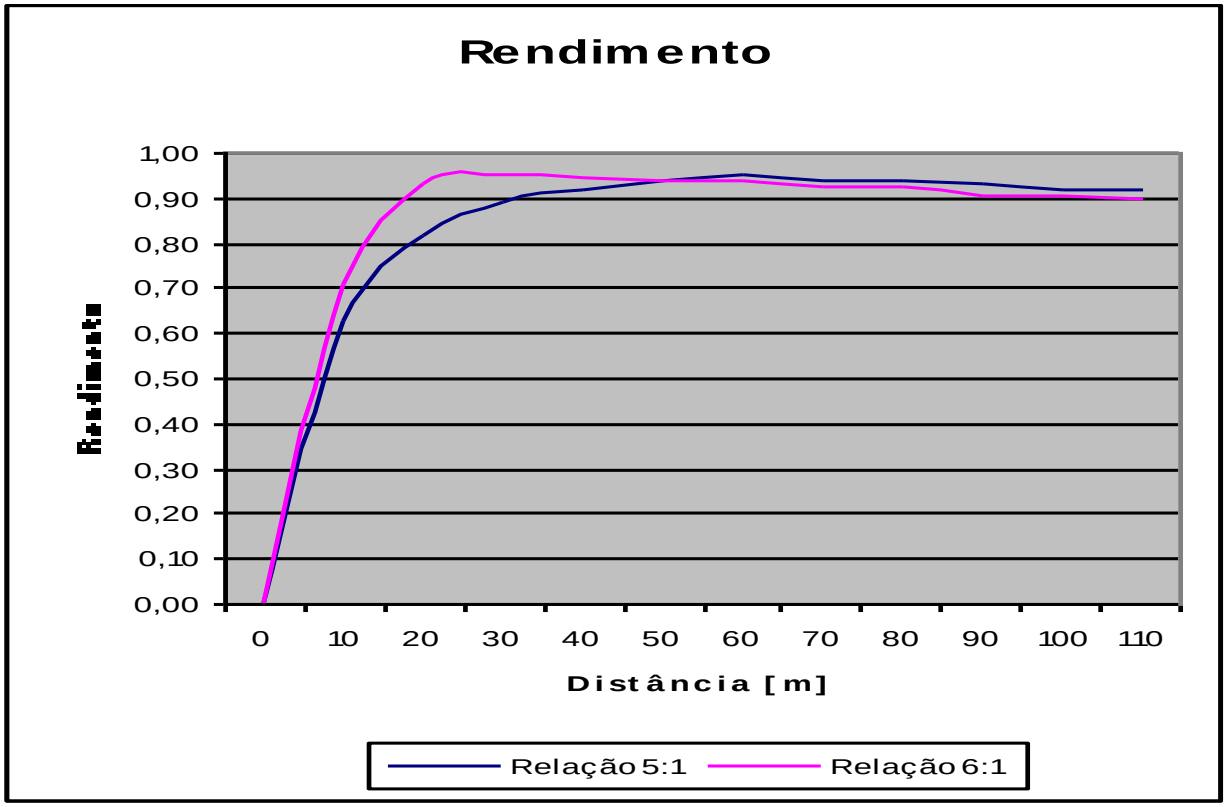


Figura 10 - Gráfico comparativo, teórico, entre o rendimento à relação de 5:1 e 6:1

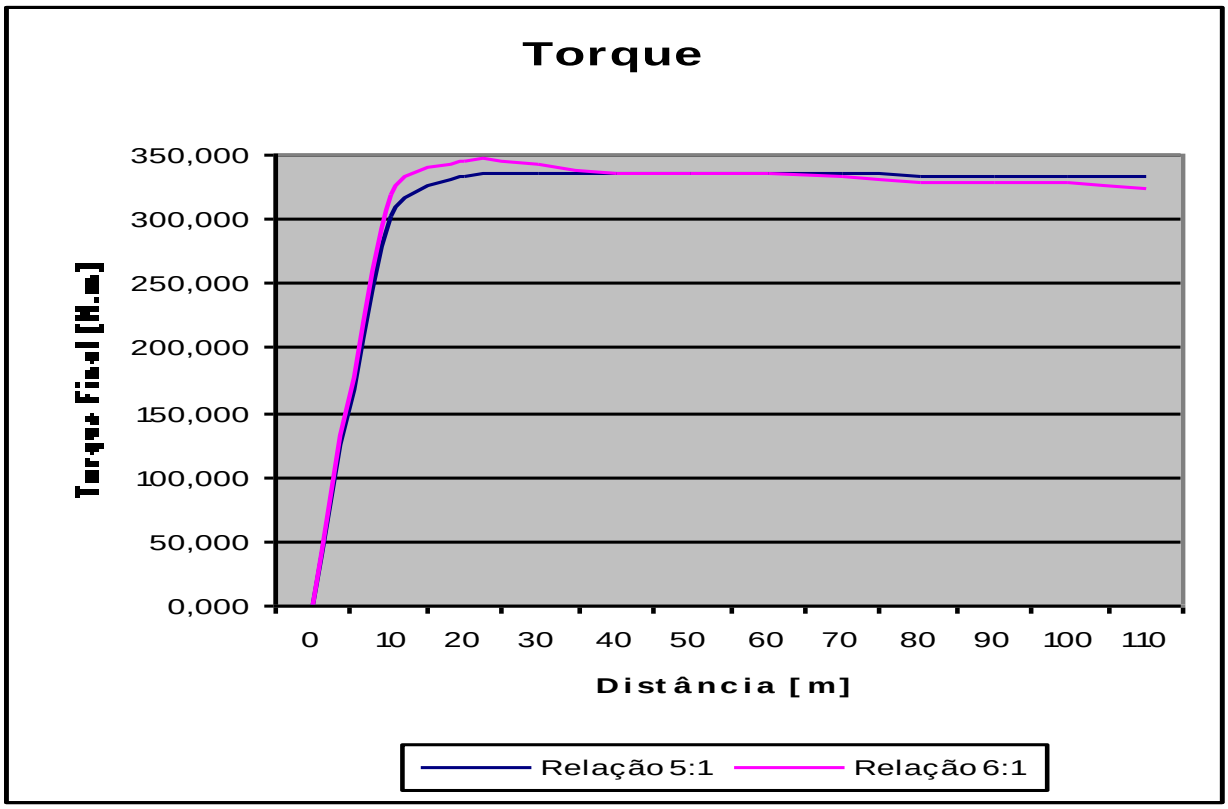


Figura 11 - Gráfico comparativo, teórico, entre o torque à relação de 5:1 e 6:1

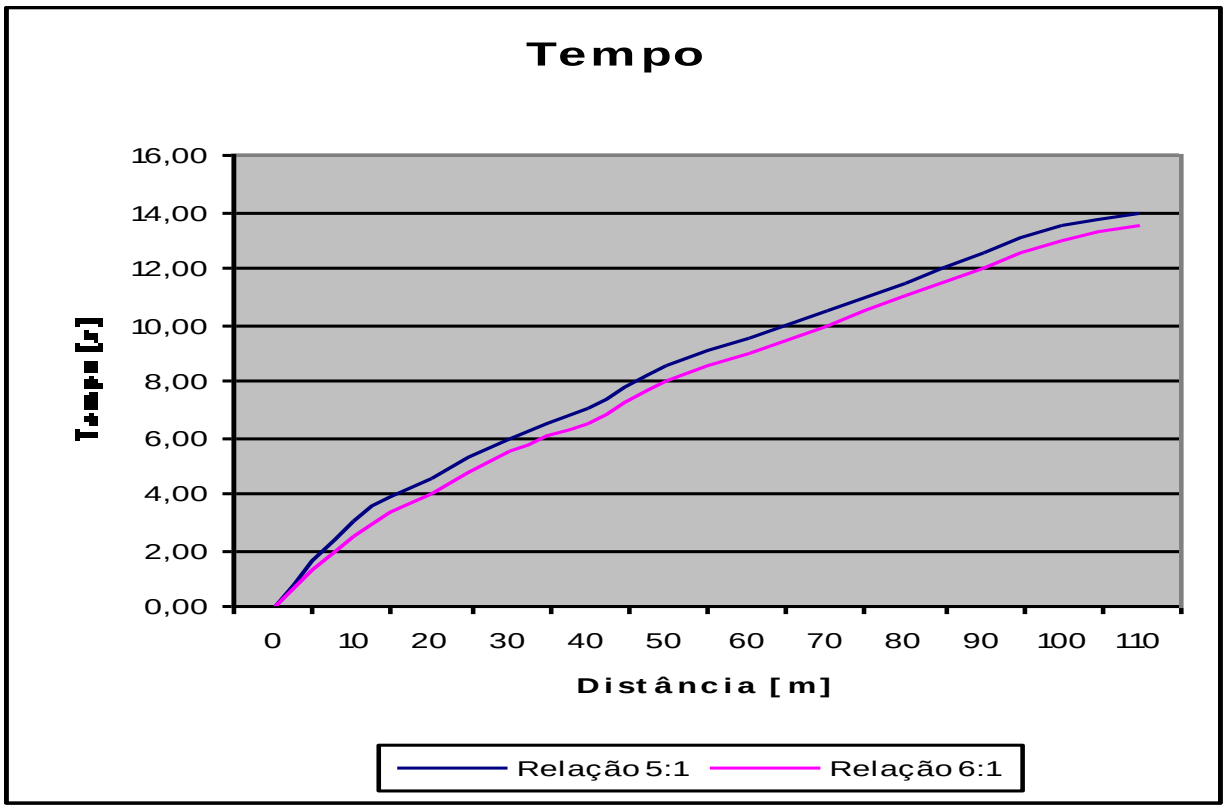


Figura 12 - Gráfico comparativo, teórico, entre o tempo à relação de 5:1 e 6:1

9. CONCLUSÃO

O objetivo deste Projeto de Graduação era projetar um equipamento importante para o desenvolvimento de um Mini Baja mais competitivo, objetivo este alcançado e comprovado no Congresso SAE Brasil 2005 (vide anexos C e D). Os parâmetros monitorados permitem uma avaliação criteriosa e um grau de refinamento que pode levar o veículo referido a ser um dos melhores do país.

O equipamento se constitui ainda de um projeto que leva em consideração aspectos claros e bem definidos de engenharia, comprovando assim a importância deste para formação profissional.

Ressalta-se também que este projeto tem aplicação contínua e interdisciplinar, já que o planejamento é deste equipamento ser utilizado como ferramenta para o Projeto de Extensão Mini Baja em 2006.

10. SUGESTÕES

O presente projeto requer ainda dois subprojetos ou projetos complementares, a saber:

1º - Construção mecânica da Estação de Teste de Potência para Mini Baja;

2º - Construção do sistema de aquisição de dados da Estação de Teste de Potência para Mini Baja.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 – ALFA INSTRUMENTOS ELETRÔNICOS LTDA**. Células de carga, Balança Eletrônicas e sistemas de pesagem Estática e Dinâmica**. São Paulo, 2003. Disponível em: <www.alfainstrumentos.com.br>.

2 – BEER, Ferdinand P. & JOHNSTON, E. Russell, Jr. **Resistência dos Materiais**. 3°. ed. São Paulo, Makron Books do Brasil Editora Ltda., 1996.

3 – CALLISTER, William D. **Materials Science and Engineering an Introduction**. USA, Wiley, 2000.

4 – CANDIDO, André Dias; NOGUEIRA, Renzo Naguem. **Construção do protótipo de um dinamômetro hidráulico**. Vitória: UFES, 2002.

5 – DAN, Adriano Cabral. **Estação de Teste de Potência para Mini Baja, 2005.**

6 – INDÚSTRIAS FILIZOLA S.A. **Equipamentos de Pesagem Eletrônicos e Mecânicos.** São Paulo, 2005. Disponível em: <www.filizola.com.br>.

7 – INPACOM SELOS MECÂNICOS. **Selos Mecânicos.** São Paulo, 2001 Disponível em: <www.inpacom.com.br>.

8 – MATOS, Alexandre Moura; ROCHA, Bernardo rocha. **Dimensionamento de um dinamômetro hidráulico**. Vitória: UFES, 2001.

9 – METALS HANDBOOK. **Properties and selection of metals**. 8Th edition. USA: 1961.

10 – NSK, **Catálogo MOTION & CONTROL NSK.** São Paulo, 2003.

11 – PERIM, Bruno Wolff; VALLE, Bruno Chavier. **Melhoria estrutural, implantação de dispositivo de leitura de dados e testes do protótipo de um dinamômetro hidráulico.** Vitória: UFES, 2003.

12 – PROVENZA, Engº Francesco. **Projetista de Máquinas**. São Paulo, Pro-Tec, 1976.

13 – VIEIRA, Bruno Tomaz Araújo; MENEGAZ, João Marco C. M. **Redimensionamento do Dinamômetro Hidráulico**. Vitória: UFES, 2005.

ANEXO A

Memorial de Cálculos Estruturais

Dimensionamento do eixo

Parâmetros:

Mt_{motor} = 17000 N.m;
R_{cvt} = 3,2;
R_{fixa} = 16;
r_{pneu} = 0,21m;
L = 0.2 m;
w = 0,3 m;
t = 0,4 m;
RPM_{motor} = 3800 RPM;
σadm = 210 MPa;
C.S = 2.

Diagrama de corpo livre:

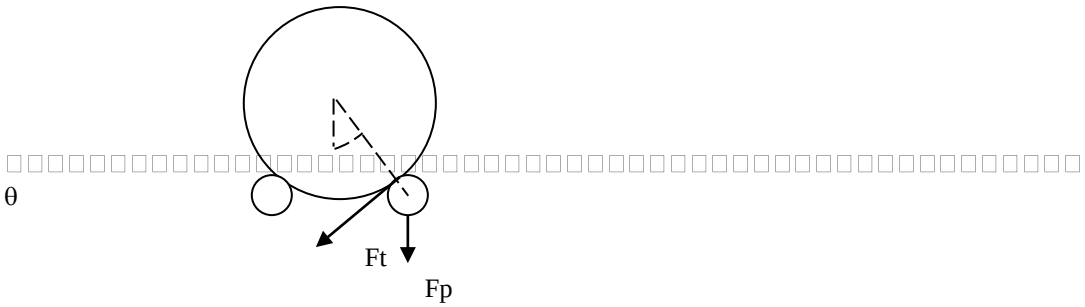
Cálculo do momento torsor máximo:

$Mt = Mt_{motor} \cdot R_{cvt} \cdot R_{fixa}$

Mt = 17000 . 3,2 . 16

Mt = 870400 N.m

Cálculo da forças atuantes:



Fx = Ft . senθ

Fy = (Ft . cosθ) + Fp

$$Ft = \frac{Mt}{r_{pneu}}$$

$$Ft = \frac{870400}{0,21}$$

Ft = 4144762 N

Fx = 4144762 . sen30

Fx = 2072381 N

Fy = (4144762 . cos30□) + 500

Fy = 3589969 N

Considerações feitas avaliando-se a simetria do eixo.

Cálculo das reações, em x:

ΣFx = 0

Fx = Fax + Fbx

ΣMax = 0

Fx . L / 2 = Fbx . L

Fbx = Fx / 2

Fbx = 2072381 / 2

Fax = Fbx = Fcx = Fdx = 1036191 N

Diagrama das forças cortantes, em x:

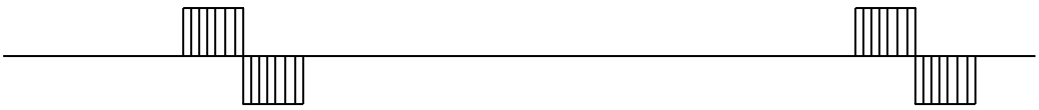
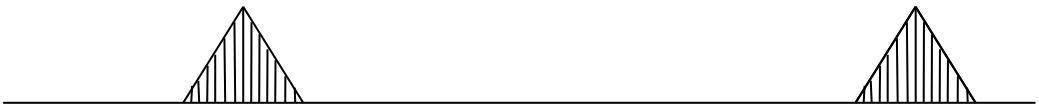


Diagrama do momento fletor, em x:



Momento fletor máximo, em x:

Mf x = Fax . (L / 2)

Mf x = 1036191 . (0,3 / 2)

Mf x = 155429 N.m

Cálculo das reações, em y:

$\Sigma Fy = 0$

$Fy = Fay + Fby$

$\Sigma May = 0$

$Fy \cdot L / 2 = Fby \cdot L$

$Fby = Fy / 2$

$Fby = 3589969 / 2$

$Fay = Fby = Fcy = Fdy = 1794985$ N

Diagrama das forças cortantes, em y:

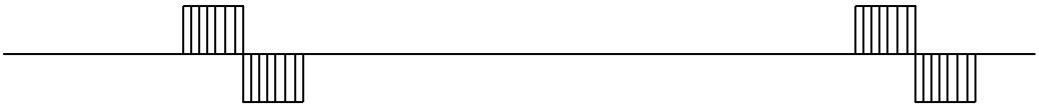
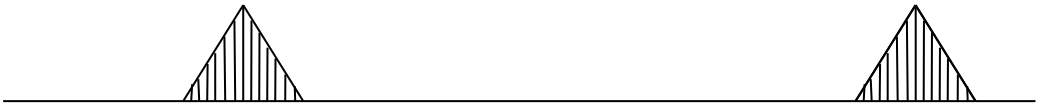


Diagrama do momento fletor, em y:



Momento fletor máximo, em y:

$Mf\ y = Fay \cdot (L / 2)$

$Mf\ y = 1794985 \cdot (0{,}3 / 2)$

$Mf\ y = 269248$ N.m

Cálculo do diâmetro resistente:

$$J = \frac{c \cdot}{\sigma_{adm}} \sqrt{Mfx^2 + Mfy^2 + Mt^2}$$

$$\pi \cdot r^3 = \frac{2 \cdot}{\sigma_{adm}} \sqrt{Mfx^2 + Mfy^2 + Mt^2}$$

$$\pi \cdot r^3 = \frac{2 \cdot}{105} \sqrt{155429^2 + 269248^2 + 870400^2}$$

$r^3 = 5604$
$d = 36$ mm

Seleção da chaveta:

Norma DIN 5145

Parâmetros:

Mt = 870400 N.m;
d = 36 mm.

Especificação da chaveta:

L = 30 mm;
a = 6 mm;
b = 8 mm.

Portanto o diâmetro externo do eixo:

d_{ext} = 40 mm.

Seleção do rolamento e mancal, Catálogo NSK:

Parâmetros:

Carga radial = 2072598 N;

$$\text{Rotação} = \frac{RPM_{motor}}{R_{cvt} \cdot R_{fixa}}$$

$$\text{Rotação} = \frac{3800}{3{,}2 \cdot 16}$$

Rotação = 74,22 RPM;

Diâmetro do eixo = 40 mm.

Especificação do rolamento com mancal:

Rolamento UC502

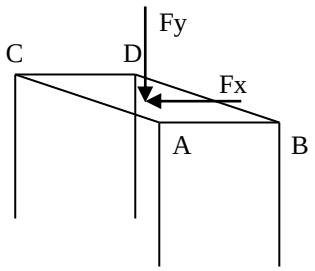
Mancal de ferro fundido UC502 BH

Dimensionamento da estrutura

Parâmetros:

σadm = 210 MPa;
C.S = 2;
Fx = 2072381 N;
Fy = 3589969 N.

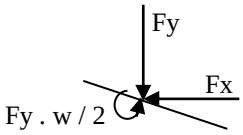
Diagrama de corpo livre da estrutura completa, considerando a simetria:



E F

Viga 01

Diagrama de corpo livre:



Cálculo das reações, em x:

$\Sigma Fx = 0$

$Fx = Fbx + Fdx$

$\Sigma Mbx = 0$

$Fx . L / 2 = Fdx . L$

$Fdx = Fx / 2$

$Fdx = 2072381 / 2$

$Fbx = Fdx = 1036191$ N

Diagrama das forças cortantes, em x:

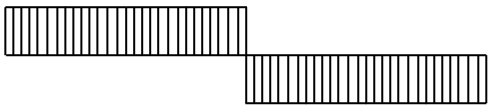
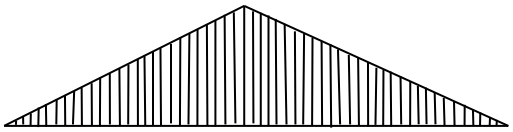


Diagrama do momento fletor, em x:



Momento fletor máximo, em x:

$Mf\ x = Fbx\ . (L / 2)$

$Mf\ x = 1036191 . (0,5 / 2)$

$Mf\ x = 259048$ N.m

Cálculo das reações, em y:

$\Sigma Fy = 0$

$Fy = Fby + Fdy$

$\Sigma Mby = 0$

$Fy \cdot L / 2 = Fdy \cdot L$

$Fdy = Fy / 2$

$Fdy = 3589969 / 2$

$Fby = Fdy = 1794985$ N

Diagrama das forças cortantes, em y:

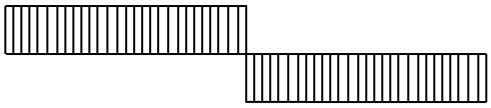
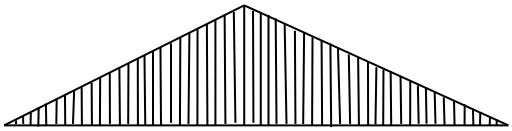


Diagrama do momento fletor, em y:



Momento fletor máximo, em y:

$Mf\ y = Fby \cdot (L / 2)$

$Mf\ y = 1794985 \cdot (0{,}5 / 2)$

$Mf\ y = 448746$ N.m

Cálculo da seção resistente:

$$J = \frac{c}{\sigma_{adm}} \cdot \sqrt{Mfx^2 + Mfy^2 + Mt^2}$$

$$\frac{b_{ext}^4 - b_{int}^4}{3} = \frac{b_{ext}}{\sigma_{adm}} \cdot \sqrt{Mfx^2 + Mfy^2 + Mt^2}$$

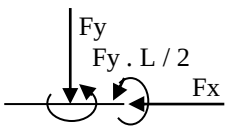
$$\frac{50^4 - b_{int}^4}{3} = \frac{50}{105} \cdot \sqrt{259048^2 + 448746^2 + (3589969 \cdot 0{,}3 / 2)^2}$$

$b_{int}^4 = 5182430$

$b_{int} = 47$ mm.

Viga 02

Diagrama de corpo livre:



Fx . L / 2

Cálculo das reações, em x:

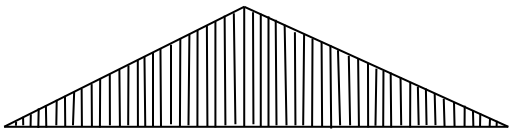
$\Sigma Fx = 0$

Fx = Fax + Fbx

2072381 = Fax + 1036191

Fax = Fbx = 1036191 N

Diagrama do momento fletor, em z:



Momento fletor máximo, em z:

Mf z = Fx . (L / 2)

Mf z = 2072381 . (0,5 / 2)

Mf z = 518095 N.m

Cálculo das reações, em y:

$\Sigma Fy = 0$

Fy = Fay + Fby

3589969 = Fay + 1794985

Fay = Fby = 1794985 N

Diagrama das forças cortantes, em y:

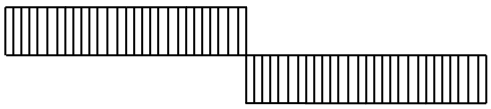
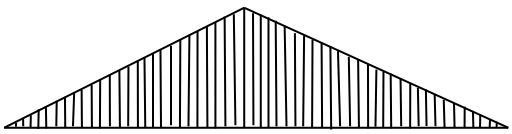


Diagrama do momento fletor, em y:



Momento fletor máximo, em y:

Mf y = Fay . (w / 2)

Mf y = 1794985 . (0,3 / 2)

Mf y = 289248 N.m

Cálculo da seção resistente:

$$J = \frac{c}{\sigma_{adm}} . \sqrt{Mfz^2 + Mfy^2 + Mt^2 + (Fx . L)^2}$$

$$\frac{b_{ext}^4 - b_{int}^4}{3} = \frac{b_{ext}}{\sigma_{adm}} . \sqrt{Mfz^2 + Mfy^2 + Mt^2 + (Fx . L)^2}$$

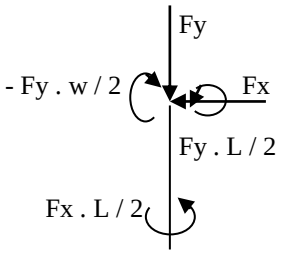
$$\frac{50^4 - b_{int}^4}{3} = \frac{50}{105} . \sqrt{518095^2 + 289248^2 + (3589969. 0,2 / 2)^2 + (2072381 . 0,2)^2}$$

$b_{int}^4 = 5095810$

b_{int} = 47 mm.

Coluna

Diagrama de corpo livre:



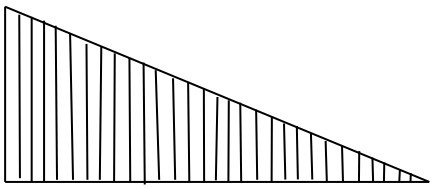
Cálculo das reações, em x:

ΣFx = 0

Fx = Ffx

Ffx = 2072381 N

Diagrama do momento fletor, em x:



Momento fletor máximo, em x:

Mf x = Fy . (w / 2) + Ffx . t

Mf x = 3589969 . (0,3 / 2) + 2072381 . 0,4

Mf x = 1367448 N.m

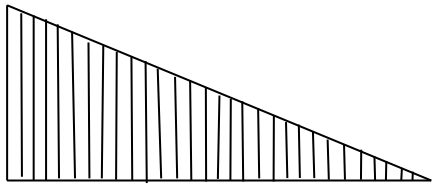
Cálculo das reações, em y:

$\Sigma Fy = 0$

$Fy = Ffy$

$Ffy = 3589969$ N

Diagrama do momento fletor, em z:



Momento fletor máximo, em z:

$Mf\ z = Fy\ .\ (L / 2)$

$Mf\ z = 3589969\ .\ (0{,}5 / 2)$

$Mf\ z = 897492$ N.m

Cálculo da seção resistente:

$$J = \frac{c\ .}{\sigma_{adm}} \sqrt{Mfz^2 + Mfx^2 + Mt^2 + (Fy\ .\ t)^2}$$

$$\frac{b_{ext}^4 - b_{int}^4}{3} = \frac{b_{ext}}{\sigma_{adm}} . \sqrt{Mfz^2 + Mfx^2 + Mt^2 + (Fy\ .\ t)^2}$$

$$\frac{50^4 - b_{int}^4}{3} = \frac{50}{105} . \sqrt{897492^2 + 1367448^2 + (2072381\ .\ 0{,}2 / 2)^2 + (3589969\ .\ 0{,}4)^2}$$

$b_{int}^4 = 3126549$

$b_{int} = 42$ mm.

Para uma padronização de toda a estrutura, será utilizado o seguinte perfil:

Tubo de seção quadrada (Metalon), dimensão externa de 50 mm e espessura de 4 mm.

ANEXO B

Relatório de Projeto – Equipe Vitória Baja 2005

2005 Nº 10

Relatório de Projeto - Equipe Vitória Baja I

Adriano Cabral Dan, Alexandre Rocha Martins Arruda, Allan Carlos Pereira Bragatto, Carlos Alberto Moraes Gonçalves, Daniele Venturin Andrião, Fabrício Plaster, Henderson Rovay, Rafael Pereira Mattedi, Vinicius Corrêa de Souza
Universidade Federal do Espírito Santo

Elias Antônio Dalvi
Universidade Federal do Espírito Santo

Copyright © 2005 SAE International

RESUMO

A XI Competição SAE Brasil Petrobrás de Mini Baja propõe uma situação real de um projeto de engenharia com todos os seus desafios. Desta forma, a equipe Vitória Baja I trabalhou para projetar, construir, testar, promover, financiar e competir com um veículo em conformidade com as regras estabelecidas para o evento.

Apresenta-se assim, um veículo eficaz, resistente, confortável e seguro, com tecnologias modernas, processos eficientes e novos conceitos incorporados, fazendo-o distinto de projetos anteriores e com potencial para competir em condições de igualdade com as escolas de engenharia do país.

INTRODUÇÃO

Com a intenção de construir um veículo mais hábil e eficaz, a Equipe Vitória Baja I realizou um trabalho sério e organizado durante todo o ano, efetuando estudos, pesquisas, testes e simulações a fim de conseguir grande sucesso na competição.

Para o veículo de 2005 houve mudanças significativas, como no sistema de suspensão, que por ter apresentado falhas na competição anterior foi submetido às devidas alterações para solucionar tais problemas. Outra foi a mudança do tubo utilizado na construção do chassi, reduzindo o peso significativamente.

PROJETO

Em todas as etapas do projeto utilizaram-se conceitos de engenharia e para uma melhor gestão de atividades, optou-se por subdividir o projeto em sistemas, desde sua concepção até sua apresentação, conseguindo assim uma otimização temporal e eficácia do projeto.

PREMISSAS - As premissas adequadas têm por finalidade determinar as características desejadas ao veículo, sendo ele leve, ágil, resistente e que esteja nas conformidades da competição.

Inovações foram realizadas no sentido de reduzir ao máximo o peso do veículo, obtendo-se um peso em ordem de marcha de 232,89 kgf, considerando um piloto de 70 kgf, distribuído de maneira que 60% se localize na traseira (Figura 01). Desta forma, em curvas, o veículo aumenta o ângulo de deslizamento traseiro, sobresterçamento, além de transferir a maior parte da força normal ao eixo motriz.

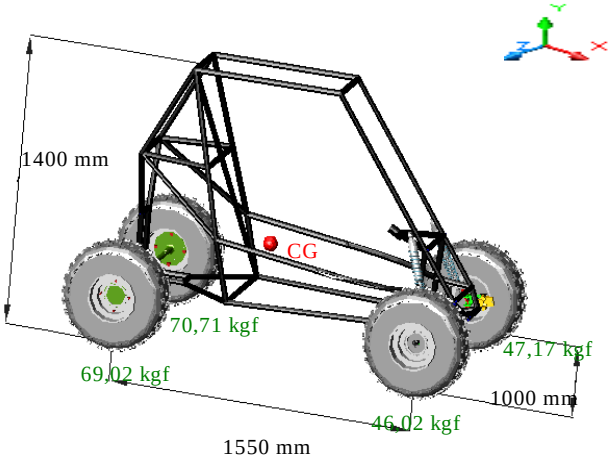


Figura 01 - Distribuição de peso e CG

Tomando-se como referência o ponto de contato do pneu traseiro esquerdo com o solo e a partir da distribuição do peso e cálculos encontrou-se o centro de gravidade na seguinte posição:

Posição do CG		
X = 647,0 mm	Z = 494,0 mm	Y = 489,5 mm

No projeto anterior existia um deslocamento de 55,82% do centro de gravidade para a esquerda que afetava o comportamento dinâmico do veículo. Esse problema foi solucionado deslocando alguns equipamentos para a direita, como o motor, principalmente, alcançando-se um deslocamento desprezível de 50,60% também para a esquerda.

As bitolas dianteira e traseira são iguais e medem 1000 mm cada, proporcionando um excelente funcionamento dos sistemas de suspensão e direção, sem comprometer a estabilidade do veículo. A distância entre eixos é de 1550 mm, o que propicia a fixação dos equipamentos de maneira a facilitar a manutenção, sem prejudicá-lo ergonomicamente. Estes valores reduzidos propiciam, juntamente com o perfeito funcionamento dos sistemas, um excelente desempenho dinâmico.

Procurando conseguir uma medida mínima que permita transpor facilmente os obstáculos aos quais seria submetido, chegou-se ao valor de 345 mm para a altura livre entre o fundo do veículo e o solo.

SISTEMA ESTRUTURAL - Um sistema estrutural adequado tem por finalidade fornecer a acomodação para os sistemas e demais componentes mecânicos, definir sua forma e aparência final (Figura 02), além de ter como principal função a proteção do piloto contra impactos, resistindo às condições de carregamento.

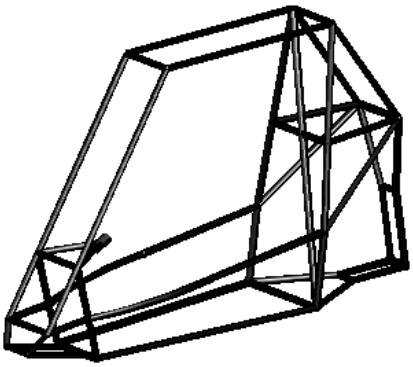


Figura 02 - Sistema estrutural

O material de toda a estrutura foi redimensionado visando o baixo peso linear e custo de manufatura, atentando-se ao fato de não necessitar tratamento térmico após a soldagem. Utiliza-se, então, tubo em aço SAE 1020, com costura, diâmetro externo de 31,75 mm e 1,2 mm de espessura de parede. Este material apresenta rigidez e resistência à flexão superior aos exigidos e proporcionou uma redução de 14,80 kgf do sistema estrutural.

Análise Estrutural	Mínima	Utilizada
EI	2156 Pa.m^4	2759 Pa.m^4
SyI/c	306,3 Pa.m³	313,6 Pa.m³

Os resultados acima apresentados foram calculados com base na regra e na formulação a partir dos seguintes dados, extraídos da regra, e formulação:
Para aço SAE 1018.
E = 205 GPa e Sy = 370 MPa;
$I = (\pi/4).(r_{ext}^4 - r_{int}^4)$.

Vale ressaltar que, como o material utilizado é o aço SAE 1020, existe um superdimensionamento por que suas propriedades mecânicas são superiores ao aço SAE 1018, superdimensionamento este considerado como coeficiente de segurança.

Devido à troca das dimensões do tubo, a estrutura sofreu várias modificações. Dentre as mudanças, que resultaram em um veículo mais leve e resistente, a mais considerável foi a retirada do subchassi (Apêndice, Figura 05).

O espaço interno foi ampliado visando à melhor ergonomia e à fácil visualização frontal e do painel de instrumentos, sem alterar a distância entre eixos e a bitola do veículo.

Corrigiu-se a posição do suporte da bandeja superior da suspensão dianteira. No projeto anterior esta ficará inclinada a que permitirá além de tração e compressão, também flexão. Agora este suporte é feito propiciando o carregamento, conferindo maior integridade estrutural ao veículo.

Em relação à regra, os membros de travamento (FAB), foram realizados na traseira do veículo visando à não redução de área livre para a saída do piloto. Os suportes foram projetados para resistir a severas solicitações, comprovada sua resistência em testes.

Todo o sistema estrutural foi simulado pelo método de elementos finitos com o auxílio do software ANSYS 5.3 (Apêndice, Figura 01). O

tipo de elemento utilizado foi o Pipe 16 porque este simula melhor o perfil utilizado, já que é tubular e possibilita a análise das tensões internas e externas. A análise foi linear porque trabalha com o material somente na zona elástica; sendo assim não haveria grandes deformações. Foi também estática, o que a tornou mais simples e não a distanciou da realidade.

Para as zonas em que se constatou maiores tensões, foi elaborada uma análise mais refinada (Apêndice, Figura 03).

As tensões obtidas foram:

Tipo da análise	Tensão (Mpa)	
	Mínima	Máxima
Estática	2,075	18,658
Choque frontal, a 8,3 m/s	35,938	323,44
Queda, a 1,5m de altura	25,598	212,38

A partir destes dados, que foram parâmetros iniciais, e observando que houve deformação plástica (Apêndice, Figura 01) já que a tensão máxima obtida em choque frontal foi superior a tensão admissível do material, o que não era prevista na simulação, optou-se por reforçar a estrutura fazendo-se travamentos de maneira a seguir a direção que as forças percorrem.
Neste sistema estrutural vale ainda ressaltar a mudança da posição do engate de tração. Cálculos foram realizados no sentido de equilibrar as forças e momentos evitando assim que o veículo levante a dianteira e também não perca tração por deslizamento, ou seja, tenha carga suficiente no eixo motriz.

SISTEMA MOTRIZ - Um sistema motriz adequado tem por finalidade transmitir o torque gerado pelo motor às rodas de forma eficiente, adequando-o as diversas situações impostas (Figura 03).

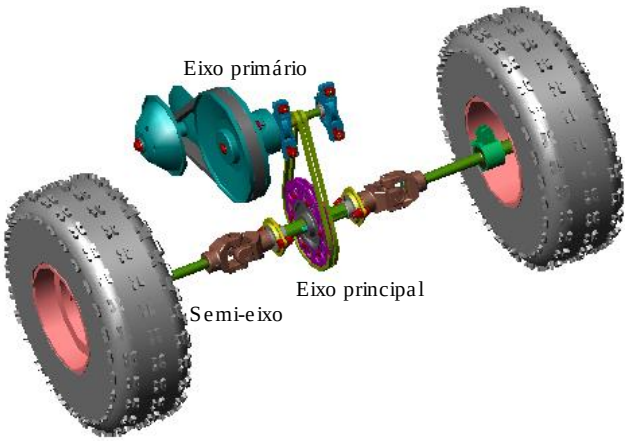


Figura 03 - Sistema motriz

Para um melhor funcionamento do sistema motriz algumas melhorias foram implementadas, como a extinção dos isolantes de vibração sob o motor, que eram de borracha, o que propiciou a não variação da distância entre centros das polias do CVT. Reduziu-se também a vibração, já que com a fixação sendo feita diretamente no chassi agregou-se mais massa ao motor. Por sua vez o chassi foi reforçado nesta região para resistir às solicitações.

Outra melhoria foi o reposicionamento do filtro de ar para a parte traseira superior do chassi, diminuindo a possibilidade da entrada de impurezas e encharcamento do mesmo. Vale ressaltar que o tanque de combustível também foi deslocado, 300 mm acima da sua posição original, o que facilitou a manutenção do motor e a instalação do filtro de combustível.

A transmissão do veículo é constituída por duas reduções em série, sendo uma variável, utilizando uma CVT com a relação de transmissão variando de 3,71:1 a 0,69:1 e outra fixa, feita por correntes de rolos. O torque produzido pelo motor é transmitido ao eixo primário através da CVT e deste ao eixo principal através da redução fixa. O torque finalmente chega aos semi-eixos e rodas por meio de juntas universais.

O sistema de transmissão pela CVT mostrou-se satisfatório por apresentar facilidade na manutenção e montagem, alto rendimento ao aproveitar o torque fornecido pelo motor, ocupar pouco espaço físico, ser leve, resistente e dar conforto ao piloto, uma vez que este evita trancos ao motor e é desnecessária a seleção de marchas.

O sistema de transmissão por correntes também foi mantido. Porém, depois de alguns testes internos, a relação de transmissão foi alterada de 6,5:1 para uma mais adequada de 5,5:1. Esta foi obtida através de testes usando o sistema de aquisição de dados (Apêndice, Figura 16).

Anteriormente utilizava-se duas polias dentadas de kart, mas observando problemas no alinhamento dessas polias optou-se por uma polia industrial, com passo de 3/8", que é facilmente encontrada no mercado, e por ser dupla, resolveu o problema do alinhamento.

Objetivando a diminuição de custos e com a utilização da polia industrial, o pinheixo, que era muito caro devido à difícil fabricação, foi substituído por um pinhão industrial prensado ao eixo primário. São fixados ao chassi por meio de

mancais em aço estampado e rolamentos auto-compensadores.

O semi-eixo é fixado ao eixo principal por meio de uma junta universal, na outra extremidade possui o acoplamento do cubo de roda traseiro. É suportado por um mancal com rolamento de dupla carreira de esferas de contato angular, por onde está conectado ao amortecedor e ao tirante de suspensão.

Como melhoria, mudou-se os mancais do eixo primário de ferro fundido para aço estampado, reduzindo-se peso e aumentando o espaço entre o motor e os mesmos, o que era um problema, pois em vibração, estes se tocavam.

Outra mudança foi a troca das juntas universais que foram trocadas para um modelo comercial que é mais leve, com custo inferior e de fácil aquisição. Sua resistência foi comprovada por testes, mostrando-se assim muito eficiente.

O redimensionamento dos eixos visou à adequação ao novo torque e à redução de peso. Utilizou-se o critério da energia da máxima distorção, levando-se em conta as seguintes considerações: ruptura brusca, ruptura por fadiga, deformação excessiva quanto à flexão, torção e vibração do eixo (Apêndice, Figura 02). Como toda a transmissão do torque é realizada por chavetas, estas e todos os ajustes foram dimensionados pela respectiva norma DIN.

Os eixos primário e principal e semi-eixos são feitos em aço SAE 4340 sem tratamento termoquímico, pois acarretou muitos problemas no projeto anterior devido à difícil fabricação e ao alto custo.

<u>Cálculo da velocidade final e tempo de aceleração</u> - Considerando que a CVT disponibilizará um torque constante do motor e variará sua relação de transmissão segundo sua curva especificada pelo fabricante, além de estar completamente ampliado ao fim dos 100 m, temos:
Torque disponível do motor (TM) = 17 Nm;
Relação variável, CVT em 30 m (R_{CVT30}) = 2,46:1;
Relação variável, CVT em 100 m (R_{CVT100}) = 0,69:1.

Dados:
Relação fixa (RF) = 5,5:1;
Massa do veículo, ordem de marcha (M) = 232,89 kgf;
Raio do pneu, calibragem normal (r) = 0,25 m;
Rendimento teórico total do sistema (n) = 90%.

Equações utilizadas:
$F = m.a$; $S = S_O + V_O t + at^2/2$ e $V = V_O + at$.

Simplificando, temos:
$t = \sqrt{(2.S.m/F)}$ e $V = (F/m).\sqrt{(2.S.m/F)}$

Substituindo, temos:
$t = \sqrt{[2.S.M/(TM.R_{CVT}.RF.n/r)]}$;
$V=(TM.R_{CVT}.RF.n/r)/M].\sqrt{2.S.M/(TM.R_{CVT}.RF.n/r)}$.

Em 30 m, temos:
$t = \sqrt{[2.30.232,89/(17.2,46.5,5.0,9/0,25)]}$
$t = 4,108$ s

Em 100 m, temos:
$V=[(17.0,69.5,5.0,9/0,25)/232,89].\sqrt{[2.100.232,89 / (17.0,69.5,5.0,9/0,25)]}$.
$V = 14,12$ m/s

SISTEMA DE RODAGEM - Um sistema de rodagem adequado tem por finalidade ser leve, para diminuir a inércia, aderente e resistente para melhor adaptação do veículo às condições a ele impostas (Figura 04).

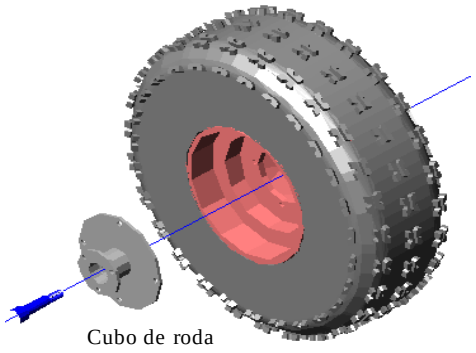


Figura 04 - Sistema de rodagem

Visando a essas premissas, no projeto desse ano as rodas permaneceram em liga de alumínio 6061 T5, porém, diminuiu-se a espessura de parede e a distância entre furos, reduzindo-se o peso do veículo mas mantendo a rigidez necessária. Já para os pneus, foram adotados modelos off-road, com cravos adequados, que se adaptaram perfeitamente ao tipo de terreno. Todos os pneus e rodas são do mesmo modelo e possuem dimensões iguais.

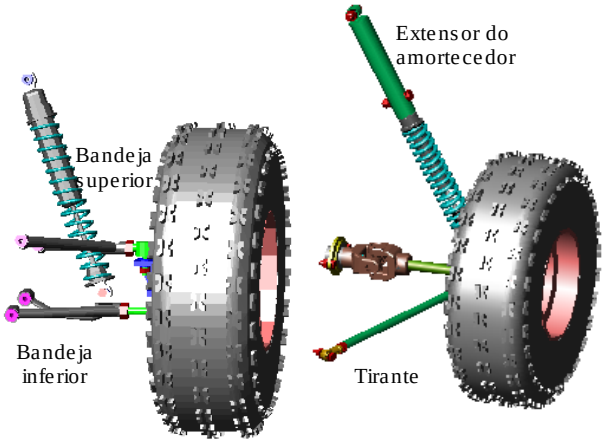
Os cubos de roda dianteiro e traseiro são de liga em alumínio 6351 T6. Os dianteiros possuem em um dos lados a roda, e do outro lado o disco de freio, sendo o comprimento do cubo dianteiro definido pelo conjunto de frenagem. Uma evolução dessa peça foi a redução de peso através de seu redimensionamento estrutural.

Os cubos traseiros, que antes eram de aço, agora são de alumínio, buscando-se assim alívio de peso. A fixação é feita por uma porca no sentido axial e por chavetas, facilitando montagem e manutenção. Os anteriores de aço eram soldados aos semi-eixos.

Rolamentos - Todos os rolamentos empregados no veículo foram dimensionados pelas equações especificadas nas normas JIS B 1518-1981 para cargas dinâmicas e ISO 76-1987 para cargas estáticas.

Nas rodas dianteiras foram utilizados rolamentos de rolos cônicos, dispostos costa a costa, pois estas rodas estão sujeitas ao peso do veículo, impactos, forças radiais e esforços axiais, no caso de uma curva.

SISTEMA DE SUSPENSÃO - Um sistema de suspensão adequado tem por finalidade manter o sistema de rodagem do veículo em contato permanente com o solo, sem transmitir os impactos provenientes deste ao piloto. Também deve propiciar uma redução do momento de rolagem lateral em curvas. Sendo assim deve ser aderente, confortável e estável, além de leve e seguro (Figura 05).



Suspensão dianteira Suspensão traseira

Figura 05 - Sistemas de suspensão

A suspensão é constituída por dois sistemas diferentes, ambos com molas helicoidais e amortecedores hidráulicos, todos iguais. Na suspensão dianteira a opção escolhida dentre os tipos de suspensão analisados, foi a de bandejas duplas articuladas, duplo A. Esta escolha deu-se porque este tipo de suspensão permite a implantação de uma geometria específica que atende aos objetivos e principalmente favorecer um perfeito funcionamento do sistema de direção. (Figura 05).

Já a suspensão traseira é do tipo swing axle. Os principais motivos para sua escolha foram a simplicidade de fabricação e geometria, permitindo um nível de eficiência satisfatório para as solicitações, além de ocupar pouco espaço e facilitar a manutenção (Figura 05).

Mudanças foram realizadas no sentido de minimizar os movimentos de rolagem. Estas mudanças consistiram: fazer com que tanto a suspensão dianteira e traseira fiquem com a cambagem negativa quando solicitadas; reposicionamento da fixação do amortecedor traseiro, fazendo com que em curvas a decomposição de forças e momentos resulte numa menor tendência à capotagem; preocupação de todos os sistemas do veiculo em tornar o CG mais baixo possível, aproximando-o assim do eixo de rolagem (Apêndice, Figura 07).

A alteração do ângulo de KPI de 13° para 5º, tornando assim a direção mais leve em manobras e não deixando o pneu arrastar em curvas, além de realizar o objetivo de tornar a cambagem negativa quando a suspensão é solicitada, confere mais estabilidade ao veículo.

Devido às alterações da geometria da suspensão dianteira e visando torná-la mais resistente e de fácil construção a manga de eixo foi projetada a partir de um perfil "U" facilmente encontrado no mercado (Apêndice, Figura 08).

O ângulo de *caster* não foi alterado e permanece em 12º positivos, valor fixo. A opção de se fazer o *caster* com a inclinação das bandejas é devido a esta propiciar a absorção de parte dos impactos frontais. Este valor foi obtido a partir de testes e permite um excelente retorno da direção após curvas sem torná-la pesada, Em curvas aumenta a estabilidade, devido a um ganho de cambagem.

A convergência das rodas traseiras é sempre mantida nula, diminuindo o arrasto. Para facilitar este posicionamento, desenvolveu-se uma pequena regulagem no tirante.

O tirante da suspensão possui na extremidade ligada chassi há uma rótula com intuito de compensar o movimento do semi-eixo quando a suspensão está funcionando. Na outra extremidade é ligada ao mancal por meio de uma articulação, com bucha em cobre (Apêndice, Figura 04).

Foi inserida uma regulagem no extensor do amortecedor traseiro, que permite corrigir pequenos desalinhamentos entre os semi-eixos e

o eixo principal, contribuindo dessa forma, para o controle de cambagem (Apêndice, Figura 06).

O extensor do amortecedor e as bandejas da suspensão são feitos em aço SAE 1020. As bandejas possuem buchas de cobre nas articulações, pois são leves, práticas e resistentes, e substituem o nylon que se deformava. Os pivôs que as unem às mangas de eixo são de um modelo facilmente encontrado no mercado.

Para o dimensionamento da suspensão utilizou-se o critério da energia de máxima distorção, levando-se em conta as seguintes considerações:

Considerações	
Massa total, coeficiente de segurança	330 kgf
Desaceleração, choque frontal	28,01 m/s²
Trasferência de carga, situação crítica	80%

Para as bandejas, ponta de eixo e parafusos, as considerações foram: força de frenagem do veículo, momentos fletores aplicados às bandejas, forças geradas por mudanças bruscas de trajetória nas bandejas e mangas de eixo. Já para o tirante e o extensor, foi considerado: flambagem pura com esforço de impacto.

SISTEMA DE DIREÇÃO - Um sistema de direção adequado tem por finalidade propiciar que o veículo mude a direção de marcha, podendo assim traçar percursos curvilíneos. As respostas do sistema devem ser rápidas e proporcionar que se reduza ao máximo o arrasto das rodas sobre o terreno (Figura 06).

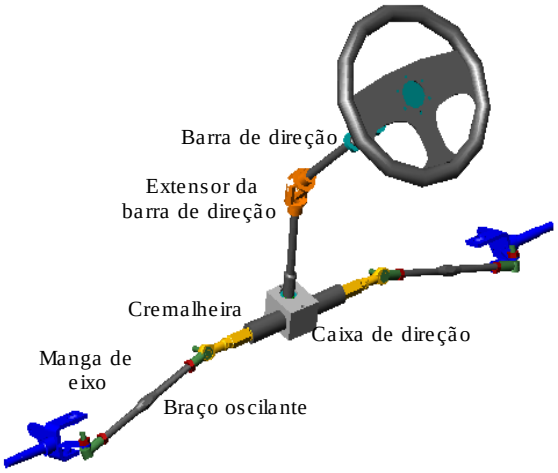


Figura 06 – Sistema de direção

A direção deve ainda trabalhar transmitindo conforto e confiabilidade e, portanto, ter precisão e ausência de folgas, além de ser auto-reversível após as curvas. Buscando-se este perfeito funcionamento seguiu-se o princípio de Ackermann (Apêndice, Figura 10).

A geometria da direção foi calculada levando-se em conta a bitola, entre-eixos, simulações computacionais e testes. É projetada para convergir com o funcionamento da suspensão, principalmente para que, em curvas, a roda externa se posicione de maneira a favorecer a manobra, possibilitando o sobresterçamento.

Para um melhor funcionamento do mecanismo de direção, é necessário que o centro de giro do braço oscilante esteja próximo a uma linha imaginária que passa pelos centros dos pontos de giro das bandejas da suspensão e esteja paralelo à bandeja inferior.

Adequando-se às mudanças e visando-a manter o centro de giro, já que a configuração da suspensão dianteira foi alterada, a cremalheira foi reduzida enquanto o braço oscilante foi aumentado. Para facilitar este posicionamento desenvolveu-se a fixação da cremalheira, travada com contra-porcas. A fixação vem substituir o extensor da cremalheira e tem por finalidade facilitar a construção, montagem e manutenção (Apêndice, Figura 09).

A rótula que fazia junção entre a cremalheira e o braço oscilante foi substituída por um pivô, pois este possui maior compensação angular. Com o aumento do braço oscilante resolveu-se o problema de fim de curso que acarretava em quebra do sistema.

Os braços oscilantes são de simples fabricação, produzidos a partir de perfis sextavados, evitando fresagem. Possuem roscas esquerdas e direitas em suas extremidades, facilitando o ajuste de seu comprimento e conseqüentemente o alinhamento das rodas dianteiras, trazendo assim maior facilidade na manutenção.

Para dimensionar o sistema de direção, definiu-se alguns parâmetros numéricos, escolhidos a partir das condições a que o veículo será submetido:
Giro máximo da roda interna: 45º;
Giro máximo do volante, de batente a batente: 270º.

A partir destes dados foram realizados cálculos, obtendo-se:

Resultados	
Deslocamento máximo da cremalheira	70,80 mm
Coprimento da cremalheira	170 mm
Comprimento do braço oscilante	350 mm
Diâmetro primitivo da eng. motora	20,15 mm

As buchas da caixa são tubo, em aço SAE 4340, mesmo material da cremalheira, e foram prensadas à caixa de direção para evitar folgas e proteger a cremalheira juntamente com coifas agora instaladas. As buchas são fixadas ao chassi por grampos tipo "U", não permitindo que a caixa tenha um momento torsor devido a impactos provenientes das rodas.

A engrenagem motora e a cremalheira são helicoidais direitas, fabricadas em aço SAE 4340. O módulo das mesmas foi alterado, diminuindo de 2,25 mm para 1,50 mm, no intuito de evitar interferência no engrenamento, erro que ocorreu no ano anterior.

Para a fabricação da caixa de direção, o material utilizado foi o alumínio devido a sua baixa densidade e por resistir à solicitação. Ela possui dois rolamentos fixos de esferas que suportam o pinhão e, para lubrificação, um pino graxeiro. Com a diminuição do módulo da cremalheira e o reposicionamento de seus parafusos de fixação houve diminuição do tamanho da caixa de direção.

O extensor da barra de direção existe para propiciar melhor ergonomia, já que este consiste principalmente em uma junta universal, que permite a escolha de uma inclinação ideal para o volante, além de ser um item de segurança, pois em caso de colisão frontal, a barra de direção não é projetada sobre o piloto. O referido extensor é fixado à barra de direção por um eixo estriado calculado a partir da norma DIN 0896.

A barra de direção também é bi-apoiada por rolamentos fixos de esferas e foi dimensionada considerando a situação crítica, (toda a força proveniente dos pneus é transmitida à barra com seu movimento impedido). Utiliza em sua fabricação aço SAE 1045.

SISTEMA DE FRENAGEM - Um sistema de frenagem adequado tem por finalidade, quando solicitado, desacelerar ou parar o veículo no menor espaço possível, sem desviá-lo da trajetória original (Figura 07).

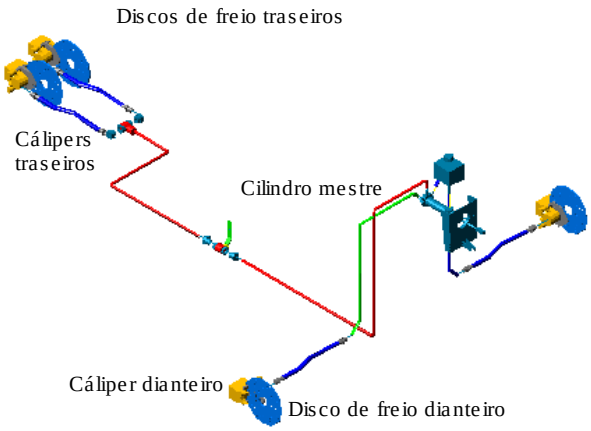


Figura 07 – Sistema de frenagem

Durante a frenagem o sistema deve atuar através de duas linhas hidráulicas independentes nas quatro rodas simultaneamente, provocando o travamento destas em condições estáticas ou dinâmicas, preservando a estabilidade e segurança do veículo.

Para desenvolvimento do sistema, utilizou-se parâmetros e cálculos tais como:

Parâmetros	
Desaceleração requerida	7,16 m/s²
Coeficiente mínimo de atrito	0,681
Trasferência de carga, na frenagem	17%

Em posse desses dados, testes dinâmicos e experiências de competições anteriores, optou-se pela utilização de um sistema de freio a disco devido à facilidade de manutenção e à eficiência frente aos demais.

A disposição destes é da seguinte maneira: quatro calipers iguais da motocicleta Falcon NX, um em cada roda dianteira e um em cada extremidade do eixo principal. Os discos são todos de aço SAE 1020 com 150 mm de diâmetro, valor determinado pelo espaço disponível e pela solicitação.

Os três cilindros-mestre utilizados foram substituídos por um cilindro duplo do fabricante Varga, utilizado no fusca, devido à melhor manutenção e a proporcionar resultados satisfatórios.

As linhas de pressão são feitas de aço trançado flexível, do tipo aeroquip, pois não permitem perda de pressão por dilatação.

SISTEMA ELÉTRICO - Um sistema elétrico adequado tem por finalidade aumentar a segurança do piloto, auxiliar no desenvolvimento do veículo, além de ajudar em sua manutenção.

Ele é constituído de uma bateria selada de 12 V, três chaves gerais, uma lanterna de indicação do freio, uma buzina, um sensor do cinto de segurança e de um sistema de aquisição de dados.

Chaves gerais, lanterna de indicação do freio, buzina e sensor do cinto são equipamentos indispensáveis para segurança do piloto. As chaves gerais, quando acionadas, desligam o motor e o sistema elétrico do veículo, exceto a luz de freio. O sensor do cinto de segurança não permite que o veículo seja ligado sem que o piloto o esteja utilizando, enquanto a lanterna de indicação da luz de freio e a buzina são destinadas à sinalização para terceiros.

O Sistema de Aquisição de Dados tem por objetivo monitorar o funcionamento e o desempenho do veículo nos seguintes parâmetros: rotação do motor, rotação do eixo primário e rotação das rodas, além de hodômetro, velocidade instantânea, nível de combustível e tempo total de motor ligado. O sistema pode armazenar em uma memória os parâmetros desejados (Apêndice, Figura 13).

Atualmente os dados são armazenados em uma memória RAM num intervalo de meio segundo. O acesso à memória é controlado por um interruptor localizado no painel do veículo; dessa forma, somente os dados relevantes são gravados.

Foi elaborado um programa em linguagem C para um microcontrolador PIC 16F876 da Microchip, que funciona como cérebro do sistema monitorando as entradas da placa, convertendo as grandezas, enviando os dados para o LCD, para a memória RAM e para o computador (Apêndice, Figura 14). Quando desejado, todos esses dados são convertidos do padrão TTL para o padrão RS232, sendo em seguida capturados pelo computador via porta serial através da ferramenta Serial Port Monitor, do software PCW C Compiler IDE. Finalmente os dados são transferidos para um programa desenvolvido no software Excel que os interpreta.

Os dados enviados para o LCD localizado no painel do veículo indicam a rotação do motor a cada meio segundo, o tempo de motor ligado a cada dois segundos e a distância percorrida atualizada a cada dez metros. A velocidade instantânea é mostrada a cada meio segundo.

A manutenção do veículo foi otimizada através do monitoramento do tempo de motor ligado e da distância percorrida. Um programa feito, em linguagem Delphi, permite visualizar qual componente do veículo deve ser trocado ou inspecionado.

CHAPARIA - Uma chaparia adequada tem por finalidade proteger o piloto e propiciar uma melhor apresentação do veículo (Figura 08).

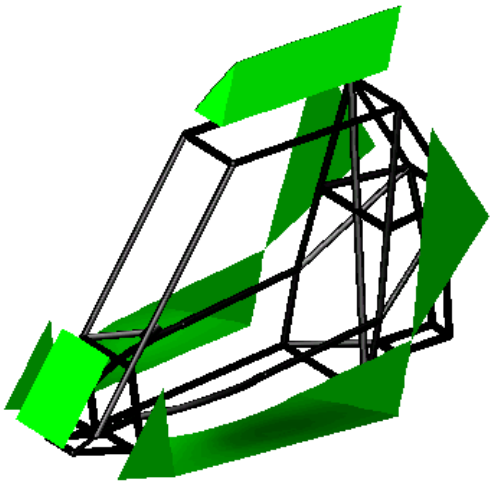


Figura 08 - Chaparia

Este ano a chaparia sofreu importantes modificações, sendo a principal a utilização do alumínio ao invés da fibra de vidro.

Devido à dificuldade no processo de produção a fibra de vidro tornava-se um material pesado, que não apresentava bom acabamento, além de caro porque utiliza técnicas de laminação e moldagem.

A opção por chapas de alumínio aconteceu por este ser um material relativamente barato, levando em consideração suas características, e propiciar uma fácil confecção, ser mais leve e ter como resultado um veículo mais bonito e atraente.

Um outro fator importante para a implementação da chaparia de alumínio foi o fato do novo chassi ter um aspecto mais retilíneo, facilitando assim o corte das chapas e diminuindo a vibração, problema enfrentado em projetos anteriores.

Este problema foi resolvido também com o uso de isopor na parte interna da chaparia, o que propiciou também um melhor acabamento.

FIXAÇÕES - Fixações adequadas têm por finalidade fixar todos os sistemas e equipamentos do veículo com segurança e garantir a resistência desejada. Optou-se por fixações confiáveis e facilmente encontradas no mercado.

As fixações são feita, em sua maioria, por parafusos. São todos de classe de resistência 8.8 e métricos, exceto os parafusos originais do motor e o parafuso que fixa a CVT ao eixo do motor, que são em sistema Inglês de medidas. Completando as fixações têm-se arruelas, lisas e de pressão, porcas com auto-travantes plásticos, todas classificadas segundo a norma DIN em suas variações. Braçadeiras metálicas, braçadeiras de nylon e velcro, completam a fixação dos demais componentes.

PADRONIZAÇÃO - A padronização adequada tem por finalidade facilitar aquisição e produção dos componentes. Para cada componente utilizou-se a respectiva norma, dentro das seguintes sistemas de nomatização: OIN, ISO, NBR, SAE e JIS.

A maioria das peças compradas pela equipe foram adquiridas no mercado nacional, por serem de menor custo e de qualidade satisfatória, como é o caso dos tubos de aço para o chassi, amortecedores, freios entre outros. Necessitou-se de obter peças importadas, por essas não serem encontradas no mercado nacional. Jogo de pneus com rodas e CVT são alguns exemplos de importados.

Para a fabricação do veículo foram utilizados processos convencionais e alguns processos de alta tecnologia, como uma máquina de corte a plasma CNC, que eliminou o trabalho de serrar, furar e ajustar cantos de todas as fixações, diminuindo assim os custos e aumentando a produtividade (Apêndice, Figura 12).

Na soldagem foi utilizado o processo MIG, proporcionando assim alta produtividade e boa qualidade final. Vale ressaltar que o veículo pode ser soldado em partes distintas ao mesmo tempo, sendo elas posteriormente unidas para a construção final do chassi.

Visando a facilitar, a agilizar e a melhorar a qualidade da execução das peças soldadas foram projetados gabaritos, evitando assim erros na produção e conseqüentemente reduzindo custos. É importante ressaltar que o gabarito da suspensão (Apêndice, Figura 11) dianteira minimizou o ângulo de set-back, que foi um grande problema em projetos anteriores.

Outro gabarito que merece destaque é o gabarito que permite a soldagem de todo sistema motriz alinhado, fixando em uma mesma peça, para soldagem, os suportes dos mancais dos eixos e as bandejas do motor.

TESTES - Os testes adequados tem por finalidade concretizar o projeto e verificar a evolução das mudanças realizadas. Decidiu-se por efetuar uma série de testes específicos, simulando as provas da competição, e com a implementação do sistema de aquisição de dados, pode-se fazer uma análise criteriosa dos resultados. Segue abaixo um resumo destes:

Manobrabilidade - Buscou-se nestes testes avaliar o sistema de direção segundo a confiabilidade do sistema e conferir se em todo o processo de confecção nenhum desvio na construção pudesse comprometer o perfeito funcionamento do sistema de direção.

Durante estes testes simulou-se a pista de manobrabilidade da regra, onde várias passagens foram realizadas. Buscando a melhor configuração do sistema de direção a posição da caixa de direção era alterada, podendo assim obter-se a melhor posição possível.

Ao fim destes alterou-se o posicionamento da caixa de direção que agora está situada de maneira que os braços oscilantes fiquem perpendiculares ao chassi. Sendo assim o carregamento no sistema é somente constituído de tração e compressão. Também permite mais agilidade ao sistema.

Aceleração Lateral - Buscou-se nestes testes avaliar e quantificar os resultados provenientes das alterações realizadas na suspensão de maneira que se diminuísse a tendência de capotamento.

Ao fim, constatou-se que as melhorias foram significativas e as condições dinâmicas do veículo são excelentes.

Transmissão - Buscou-se nestes testes, principalmente fazer-se uma análise minuciosa do sistema de transmissão e escolher a relação ideal para o veículo.

Com a utilização do sistema de aquisição de dados os testes de transmissão foram proveitosos. Através de um programa feito em EXCEL foi possível transformar os dados colhidos em gráficos da aceleração. Com estes gráficos visualizou-se o comportamento da transmissão, sendo possível calcular o rendimento da transmissão fixa e visualizar o comportamento da CVT, além de facilitar a escolha da relação de transmissão ideal para o veículo (Apêndice, Figura 16).

Sobre o comportamento da CVT, pode-se analisar graficamente a relação de transmissão que está aplicava instantaneamente. Sendo assim as decisões sobre o qual CVT a ser utilizada e a configuração desta puderam ser a melhor possível, propiciando ao veículo um excelente comportamento dinâmico (Figura 09).

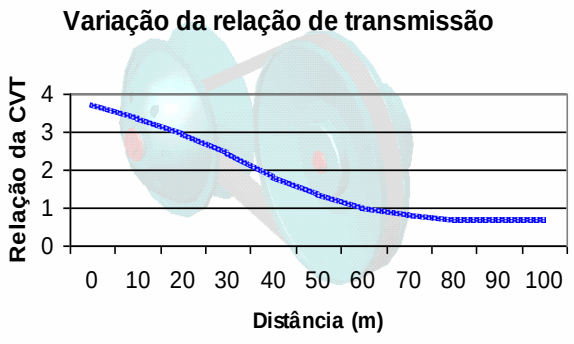


Figura 09 - Gráfico do comportamento da CVT.

Ao fim, pode-se comparar os valores teóricos e os práticos podendo-se avaliar o perfeito funcionamento dos equipamentos e comprovar a proximidade dos resultados.

Resistência - Buscou-se nestes testes avaliar o veículo como um todo, submetido a diversos tipos de obstáculos. Um grande número de testes foram realizados durante todas as etapas do projeto a fim de construir um protótipo capaz de resistir a tais obstáculos.

Em testes feitos em terrenos off-road procurou-se averiguar a resistência das partes do carro, como o chassi. Nesse ano foi construído em um novo tubo e sendo assim constituía o sistema que mais necessitava de teste, haja visto, que tem como principal função proteger o piloto. Enfatizou-se também neste teste, a suspensão e fixações do veículo.

Ao fim, constatou-se que o veículo é capaz de resistir a quaisquer obstáculo, satisfazendo todas as expectativas.

CRONOGRAMA - Um cronograma adequado tem por finalidade propiciar um melhor aproveitamento temporal, permitindo um projeto apurado e bem realizado. Construiu-se um planejamento baseado nas atividades a serem executadas, relacionando-as em seus períodos de necessidade.

O planejamento geral foi aprimorado, melhor organizado, destacando-se por possuir períodos extras para a recuperação de possíveis atrasos. Criou-se um planejamento macro e micro planejamentos, feitos e executados por subequipes com atividades mais específicas (Apêndice, Figura 15).

MARKETING - Um marketing adequado tem por finalidade promover o projeto de maneira a possibilitar a captação de recursos para financiá-lo. O projeto da equipe Vitória Baja I é custeado por patrocinadores externos e órgãos da Universidade Federal do Espírito Santo.

Os patrocinadores externos são contatados pelos membros do projeto e propostas de patrocínio são apresentadas aos respectivos departamentos de marketing.

A proposta de patrocínio é um resumo do projeto, com informações sobre a competição e a equipe, uma carta de recomendação assinada pelo reitor da Universidade, as cotas de patrocínio e uma coletânea de reportagens sobre o projeto. A entidade que decidir por patrocinar a equipe obtém o retorno promocional respectivo a sua cota.

A promoção do projeto é de responsabilidade da equipe, que busca a vinculação de notícias nos meios de comunicação acadêmicos e do estado. Com isso a comunidade acadêmica está sempre informada sobre datas, resultados das competições, testes dinâmicos com o veículo, exposições e feiras.

CONCLUSÃO

Ao término do projeto tem-se consciência das principais melhorias, como a implementação de um planejamento mais refinado e eficaz, aperfeiçoando assim o veículo e o projeto em todas suas etapas.

Elaborou-se um estudo detalhado sobre a geometria da direção da e suspensão, conseguindo-se assim uma combinação excelente, além da preocupação por qualidade de execução em todo o conjunto, tornando-o mais bem acabado.

Outra meta da equipe foi uma utilização mais abrangente de normas de engenharia no projeto. Isso proporcionou uma evolução na padronização e apresentação técnica.

Os testes receberam atenção especial. A transmissão foi escolhida por testes dinâmicos, com a ajuda da aquisição de dados. Outros componentes do veículo foram testados em provas simuladas nos moldes da competição oficial.

A Equipe Vitória Baja I tem plena consciência de que o projeto Mini Baja não se resume ao conteúdo abordado nas páginas deste relatório. O projeto exige de seus componentes uma visão real de engenharia, habilidade para trabalhar em grupo e capacidade de tomar decisões, dando-lhes oportunidade de crescimento e aprendizado profissional. A equipe acredita que a continuidade do projeto é extremamente importante, e pratica isto recrutando e treinando novos membros para projetos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS — ABNT, Normalização e Apresentação de Trabalhos Científicos e Acadêmicos. UFES: Biblioteca Central, 1999.

BEER, Ferdnand P. & JOHNSTON, E. Russel, Jr. Resistência dos Materiais. 3°. ed. São Paulo, Makron Books do Brasil Editora Ltda., 1996.

CALLISTER, William D. Materials Science and Engineering an Introduction. USA, Wiley, 2000.

CANALE, Antonio Carlos. Automobilística Dinâmica Desempenho. São Paulo, Érica, 1989.

GOMES, Mário Rennó & FILHO, Ettore Bresciani. Propriedades e Usos de Metais Não Ferrosos. Associação brasileira de metais.

IHNACK, J.J. & MEEK, J.F. Mark. II GT Sports Car Disc Brake System. New York: SAE Paper No. 670070, 1967.

METALS HANDBOOK. Properties and selection of metals. 8Th edition. USA: 1961.

MILLIKEN, William F. & MILLIKEN, Douglas L. Race Car Vehicle Dynamics. USA, SAE International, 1995.

PROVENZA, Engº Francesco. Projetista de Máquinas. São Paulo, Pro-Tec, 1976.

SMITH, C. Suspension Geometry and Alignment. Fallbrook, Calif, Aero Publishers, 1978.

EVERINO, Antônio Joaquim. Metodologia do Trabalho Científico. 21. Ed. rev. e ampla. São Paulo, Cortez Editora, 2000.

MATHEUS, Marco Antônio.Aprenda fiberglass: fibra de vidro. Ribeirão Preto: M. A. Matheus, 2002.

PEREIRA, Fabio. Pic, Programação em C, Editora Érica.

ROVAY, Henderson. Implementação de sistema de aquisição de dados para automóveis de competição, 2004.

CONTATOS

e-mail: vitoriabaja@mec.ufes.br

EQUIPE

Alexandre Rocha Martins Arruda
Allan Carlos Pereira Bragatto
Carlos Alberto M. Gonçalves
Daniele Venturim Andrião
Fabrício Plaster
Henderson Rovay
Rafael Pereira Mattedi
Vinicius Corrêa de Souza

Adriano Cabral Dan Capitão da Equipe	Elias Antônio Dalvi Professor Orientador

ABREVIAÇÕES

CNC - Controle Numérico Computadorizado

CVT - Continuoulsly Variable Transmission

DIN – Norm Deutschtechnick

ISO - International Organization for Standardization

KPI - kingpin Inclination

LCD - Liquid Crystal Display

MIG - Metal Inert Gas

NBR - Norma Técnica Brasileira

RAM - Random Access Memory

SAE - Society of Automotive Engineers

TTL - Transistor-Transistor Logic

APÊNDICE

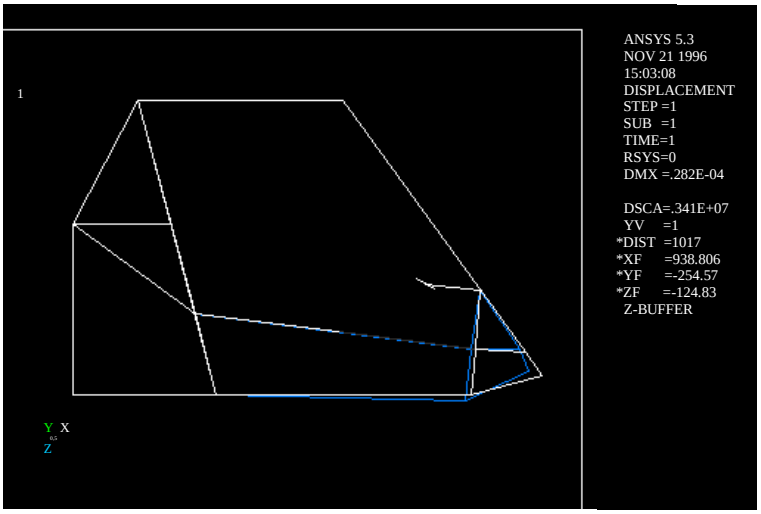


Figura 01
Simulação no *Ansys*. Comparação do chassi intacto e após choque frontal a 8,3m/s

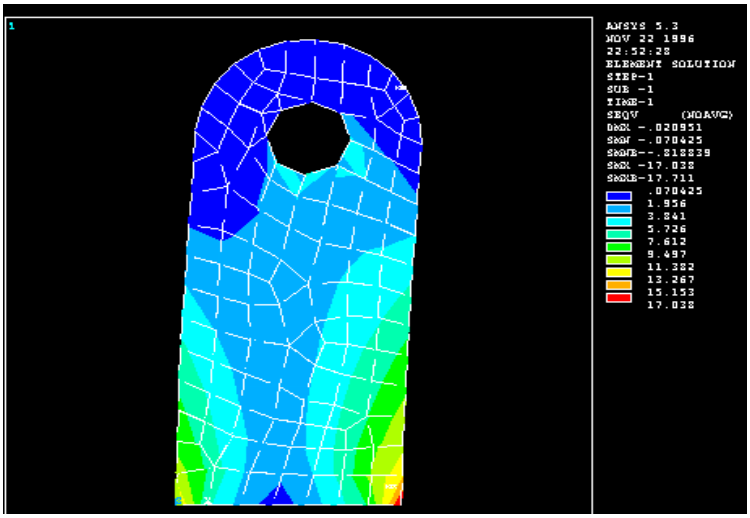


Figura 03
Simulação no *Ansys*. Suporte do amortecedor dianteiro

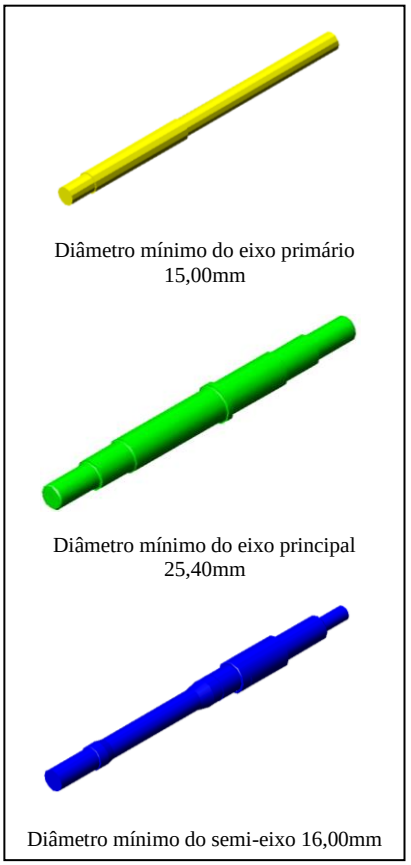
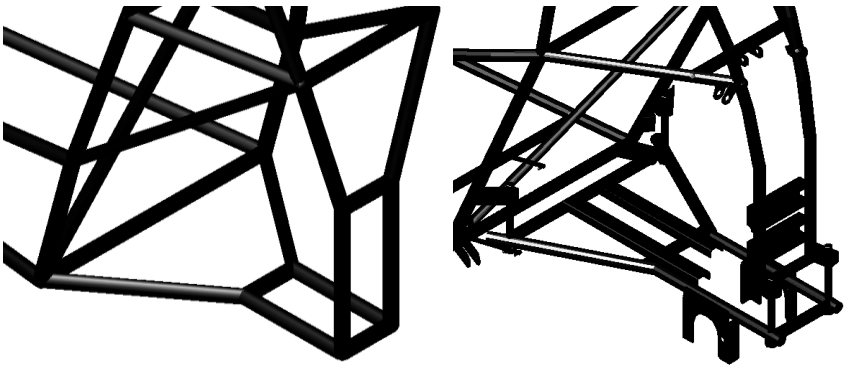


Figura 02 - Dimensionamento dos eixos

Figura 04 - Extensor do amortecedor



2005 2004

Figura 05 - Comparação do chassi e subchassi

Figura 06 - Extensor do amortecedor

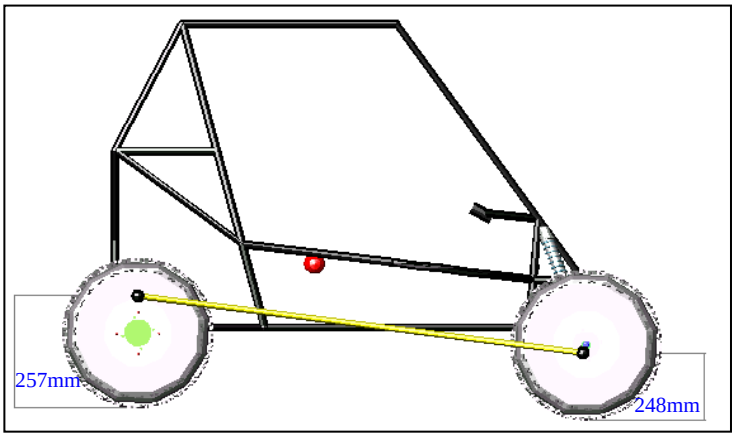


Figura 07 - Geometria da direção

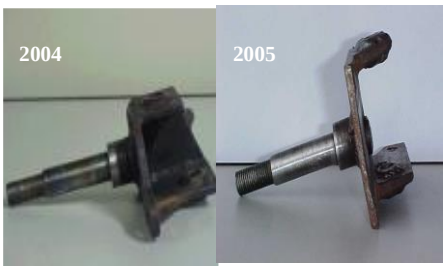


Figura 08 - Comparação entre as mangas de eixo

Figura 09
Comparação entre as fixações do braço oscilante

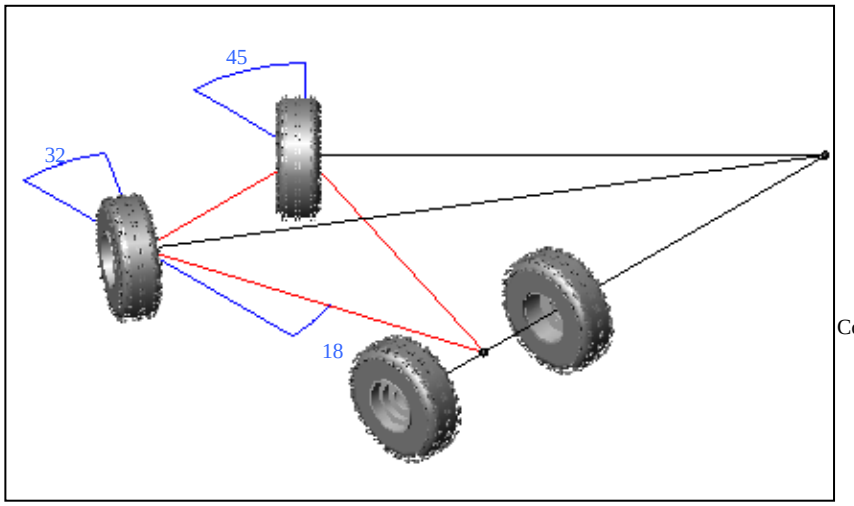


Figura 10 - Geometria da direção

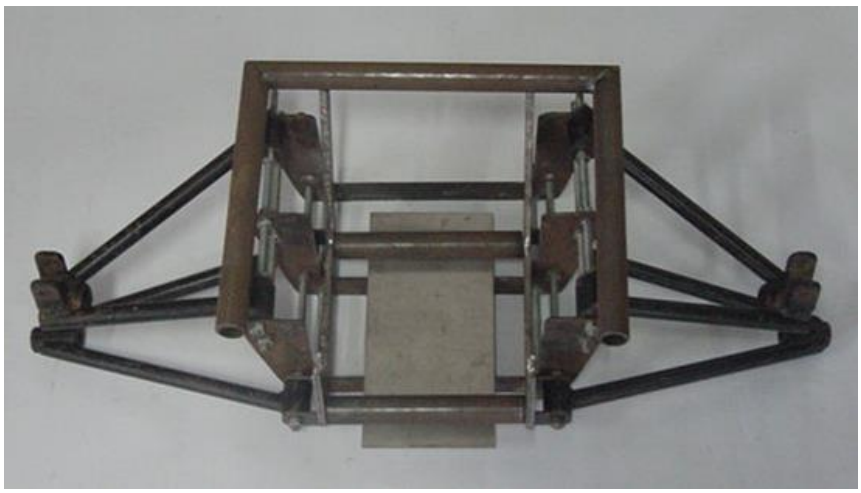


Figura 11 - Gabarito da suspensão dianteira

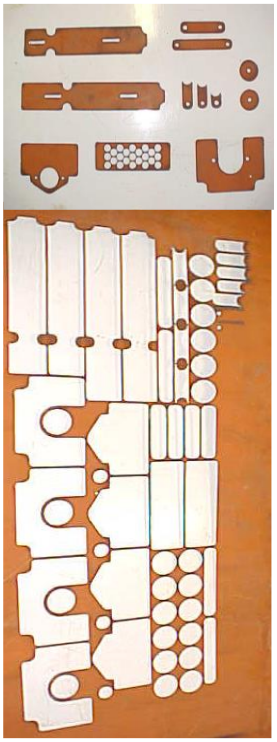
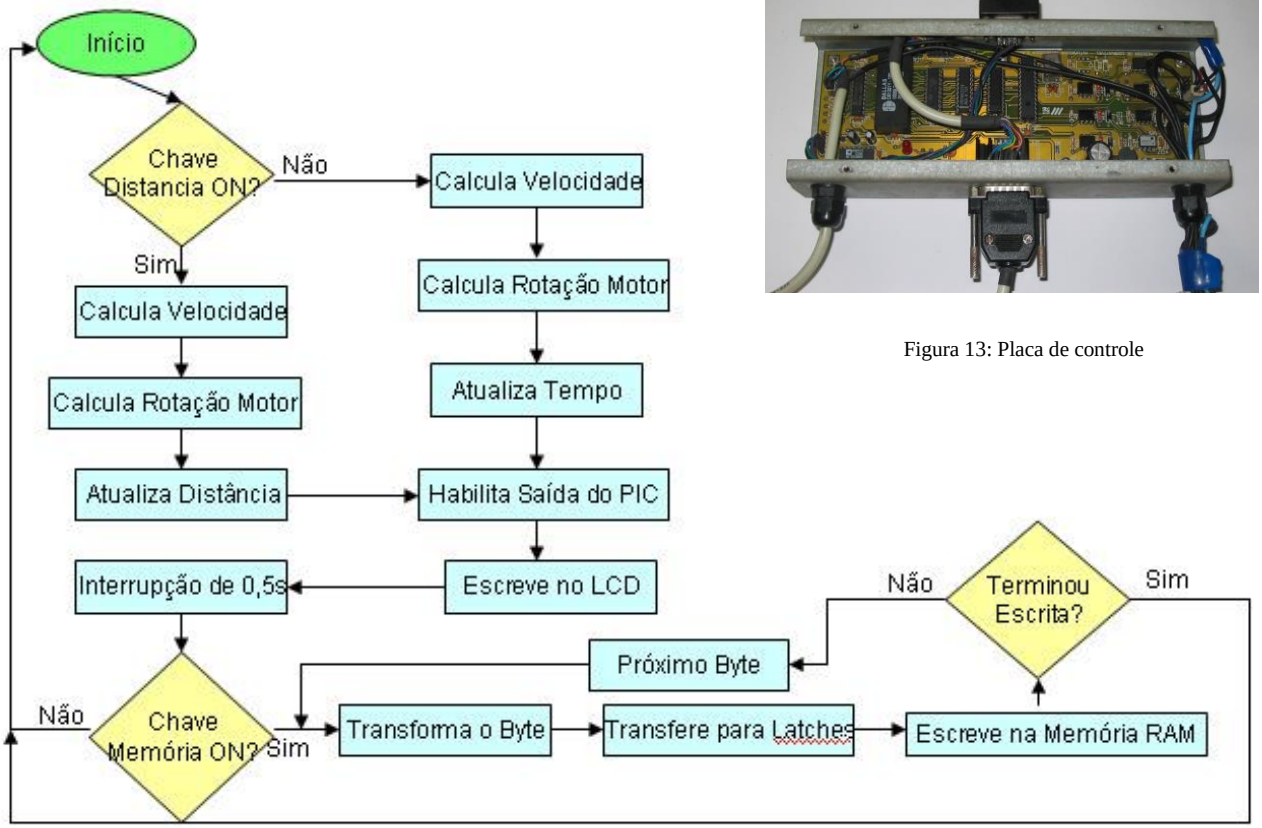


Figura 12 - Chapas cortadas pela CNC



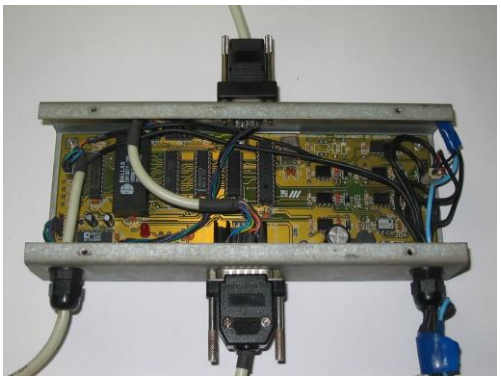


Figura 13: Placa de controle

Figura 14: Fluxograma do programa do microcontrolador.

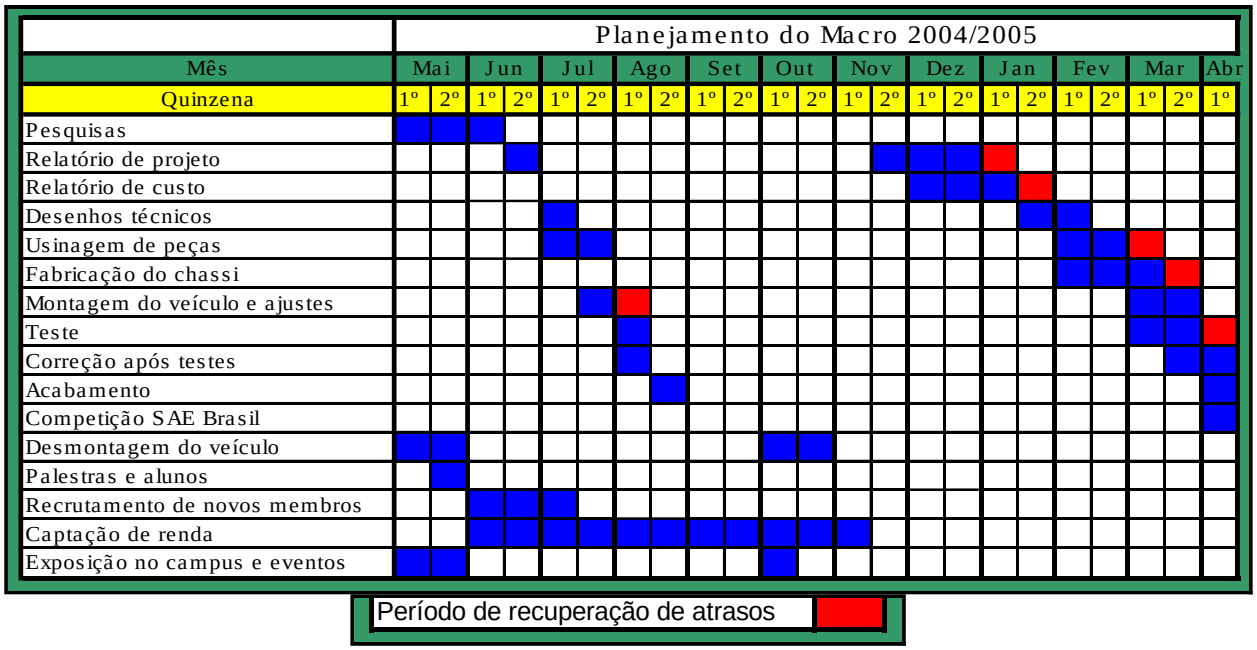
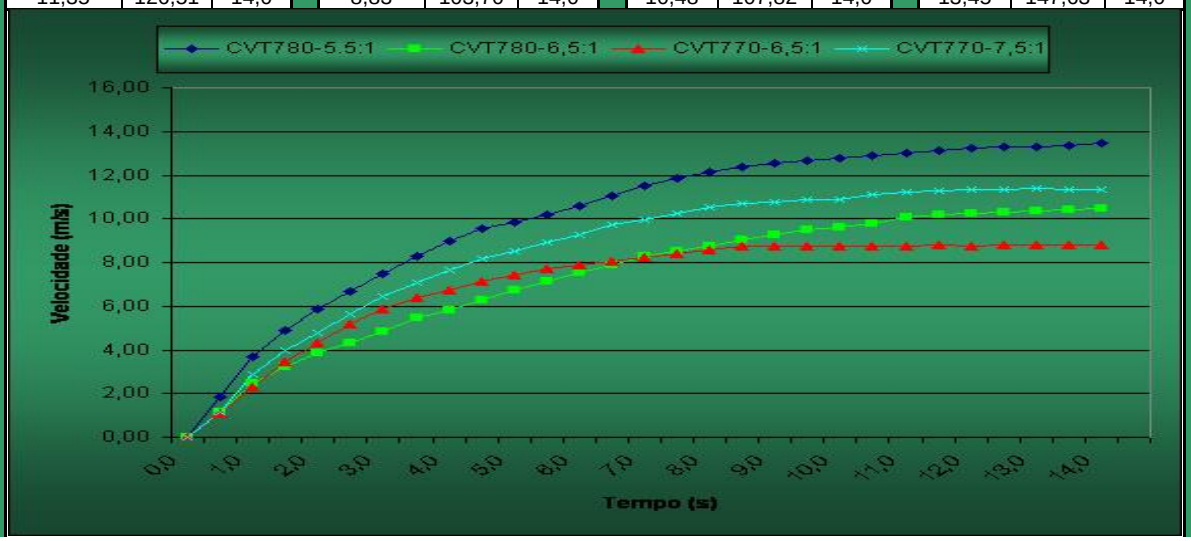


Figura 15 - Cronograma macro

Comparação de relações de transmissão (média de passagens)

CVT 770						CVT 780					
Relação fixa 7,5:1			Relação fixa 6,5:1			Relação fixa 6,5:1			Relação fixa 5,5:1		
Velocidade (m/s)	Distância percorrida (m)	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Distância percorrida (m)	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Distância percorrida (m)	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Distância percorrida (m)	Tempo (s)
0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
1,13	0,28	0,5	1,11	0,28	0,5	1,15	0,29	0,5	1,87	0,47	0,5
2,87	2,15	1,0	2,31	1,73	1,0	2,47	1,85	1,0	3,67	2,75	1,0
3,97	4,41	1,5	3,47	3,76	1,5	3,25	3,67	1,5	4,88	5,50	1,5
4,78	7,01	2,0	4,34	6,15	2,0	3,87	5,76	2,0	5,89	8,69	2,0
5,63	10,03	2,5	5,16	8,93	2,5	4,31	8,03	2,5	6,68	12,23	2,5
6,42	13,44	3,0	5,87	12,04	3,0	4,86	10,60	3,0	7,51	16,19	3,0
7,07	17,14	3,5	6,37	15,35	3,5	5,46	13,48	3,5	8,26	20,51	3,5
7,65	21,11	4,0	6,76	18,83	4,0	5,83	16,48	4,0	8,97	25,17	4,0
8,17	25,32	4,5	7,12	22,48	4,5	6,25	19,71	4,5	9,53	30,08	4,5
8,53	29,68	5,0	7,45	26,29	5,0	6,71	23,18	5,0	9,85	35,08	5,0
8,94	34,25	5,5	7,72	30,22	5,5	7,13	26,85	5,5	10,16	40,24	5,5
9,25	38,95	6,0	7,89	34,20	6,0	7,54	30,73	6,0	10,61	45,66	6,0
9,71	43,92	6,5	8,08	38,29	6,5	7,86	34,74	6,5	11,03	51,28	6,5
9,96	48,97	7,0	8,25	42,46	7,0	8,29	38,99	7,0	11,51	57,15	7,0
10,23	54,15	7,5	8,41	46,70	7,5	8,51	43,30	7,5	11,83	63,15	7,5
10,54	59,50	8,0	8,58	51,04	8,0	8,75	47,73	8,0	12,13	69,29	8,0
10,68	64,87	8,5	8,75	55,45	8,5	9,04	52,33	8,5	12,35	75,52	8,5
10,76	70,27	9,0	8,73	59,81	9,0	9,28	57,03	9,0	12,53	81,83	9,0
10,89	75,75	9,5	8,72	64,17	9,5	9,49	61,82	9,5	12,65	88,18	9,5
10,89	81,19	10,0	8,73	68,54	10,0	9,62	66,67	10,0	12,77	94,60	10,0
11,12	86,81	10,5	8,74	72,91	10,5	9,81	71,62	10,5	12,90	101,08	10,5
11,21	92,44	11,0	8,76	77,30	11,0	10,09	76,73	11,0	13,03	107,63	11,0
11,29	98,10	11,5	8,78	81,69	11,5	10,17	81,84	11,5	13,15	114,23	11,5
11,35	103,79	12,0	8,77	86,07	12,0	10,25	86,96	12,0	13,22	120,86	12,0
11,36	109,48	12,5	8,79	90,47	12,5	10,29	92,14	12,5	13,27	127,51	12,5
11,38	115,17	13,0	8,79	94,87	13,0	10,36	97,34	13,0	13,32	134,18	13,0
11,35	120,84	13,5	8,81	99,28	13,5	10,42	102,56	13,5	13,38	140,89	13,5
11,35	126,51	14,0	8,83	103,70	14,0	10,48	107,82	14,0	13,45	147,63	14,0



ANEXO C

Paper Estudantil – Estação de Teste para Mini Baja, Publicado no Congresso SAE Brasil 2005

0001

ESTAÇÃO DE TESTE DE POTÊNCIA PARA MINI BAJA

Adriano Cabral Dan
Universidade Federal do Espírito Santo

Elias Antônio Dalvi, Rodrigo Pereira Broetto
Universidade Federal do Espírito Santo

Copyright © 2005 SAE International

ABSTRACT

This paper introduces the process of elaboration the project of Mini Baja Performance Test Station, since the stimulus for its implementation, the stage of project and the advantages of its utilization in tests. With purpose increase the efficient and the competitiveness of car in SAE Brasil de Mini Baja competition in font of others cars.

RESUMO

Este artigo apresenta o processo de elaboração do projeto de uma Estação de Teste de Potência para Mini Baja, desde a motivação para sua implementação, as etapas do projeto e as vantagens da utilização desta estação para a realização dos testes. Com objetivo de tornar o veículo mais eficiente e competitivo diante os demais, na competição SAE Brasil de Mini Baja.

INTRODUÇÂO

Diante do desafio de se aprimorar ao máximo o projeto Mini Baja, a necessidade da realização testes com parâmetros eficientes e confiáveis, torna-se clara e indispensável. Para a realização deste tipo de teste surge a necessidade da construção de meios que os possibilitem.

O equipamento a ser descrito consiste em uma estação que propicia teste dinâmico do veículo em laboratório. Com este equipamento, que fornece dados de torque final, rotação final, distância percorrida e tempo, pode-se concluir sobre o rendimento do veículo e principalmente comparar estes parâmetros com diferentes configurações, podendo-se concluir precisamente sobre qual configuração é mais indicada à solicitação.

Este tipo de equipamento é largamente utilizado na indústria automobilística para a realização de testes similares aos realizados para Mini Baja, guardando-se as devidas proporções e objetivos.

OBJETIVO DO PROJETO

Como descrito anteriormente o objetivo do projeto é possibilitar testes que permitam a comparação de diferentes configurações do veículo concluindo-se sobre a ideal a ser utilizada.

Para se realizar esta comparação os dados captados pelo equipamento permitem a construção de gráficos da velocidade, torque, rendimento, potência e tempo pela distância percorrida. Estes gráficos são o objetivo fundamental do equipamento, e permitem a tomada decisão precisa sobre o veículo com um ganho temporal e funcional.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Para se desenvolver o projeto da Estação de Teste de Potência para Mini Baja três tipos de análises foram realizadas, análise dinâmica, estrutural e econômica. Ao fim destas análises a configuração do projeto estava definida, vide figura 01, seguindo-se principais valores:

Diâmetro do eixo:	30 mm;
Comprimento do eixo:	1700 mm;
Diâmetro do rolo:	200 mm;
Comprimento do rolo:	300 mm;
Perfil da estrutura:	Tubo de seção retangular 50 x 30 mm, espessura 2 mm;
Distância entre os rolos:	Máx.: 400 mm; Mín.: 300 mm;
Distância axial entre os rolos:	Máx.: 1300 mm; Mín.: 300 mm;

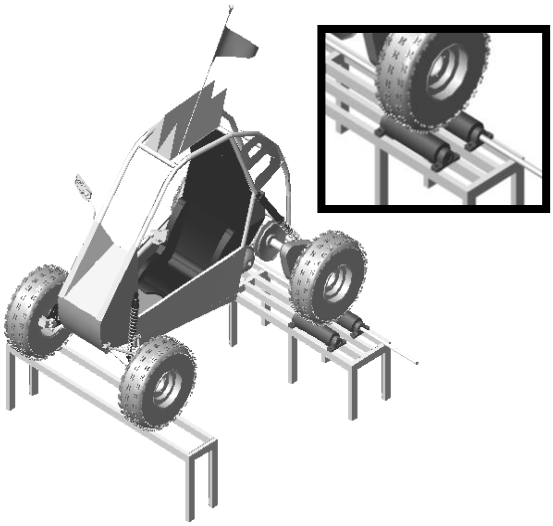


Figura 01: Estação de Teste de Potência para Mini Baja.

Vale-se ressaltar que estas análises embora abordadas separadamente, foram realizadas simultaneamente para um perfeito desenvolvimento do projeto.

ANÁLISE DINÂMICA – Nesta análise buscou-se decidir com as características básicas necessárias para que o equipamento realizasse o teste desejado.

Para isto definiu-se que a Estação iria ser constituída de uma estrutura que suportasse os rolos. O veículo transmitiria potência a estes rolos onde é efetuada a determinação dos parâmetros, via um sistema de aquisição de dados eletrônico e um dinamômetro hidráulico, mais tarde abordado especificamente.

Para a determinação da configuração do equipamento realizou-se uma pesquisa com equipamentos similares, dinamômetro de rolos, vide figura 02, com o objetivo de garantir a funcionalidade do equipamento e definir algumas variáveis como o diâmetro dos rolos, a distância entre eles e o material do seu revestimento. Variáveis estas de suma importância para o objetivo do equipamento.

Figura 02: Dinamômetro de rolos.

Definiu-se ainda que o equipamento possuísse um sistema de regulagens, que permitisse a realização do teste para diferentes veículos, com um limite máximo e mínimo de utilização. Estas regulagens consistem de um sistema que permite a montagem dos rolos a diferentes posições, podendo ser adaptada da melhor maneira possível para vários diâmetros de pneus e veículos com diferentes bitolas.

ANÁLISE ESTRUTURAL – Nesta análise definiu-se o projeto em suas dimensões segundo a resistência dos materiais. Para o dimensionamento de todo equipamento utilizou-se o critério de energia de máxima distorção, Vol misses, já que os materiais a serem utilizados são dúcteis. Os carregamentos baseiam-se em torção, flexão e compressão, se analisando ainda quanto à flambagem e fadiga.

Dimensiono-se também os equipamentos mecânicos a serem utilizados no projeto. As chavetas que transmitem a potência dos rolos ao eixo e o acoplamento que transmite a potência do eixo ao dinamômetro foram determinados seguindo a norma DIN e os rolamentos e mancais foram selecionados considerando-se o catálogo do fabricante.

A resistência de todas as junções do equipamento também foram analisadas, determinando-se assim o

diâmetro dos parafusos e suas classes de resistência. Nas junções soldadas definiu-se que a solda a ser utilizada seria a MIG, metal inerte gás, devido à resistência satisfatória e facilidade de fabricação.

ANÁLISE ECONÔMICA – Nesta análise todo o projeto foi realmente determinado, estruturada na análise dinâmica e estrutural conciliou-se a solicitação do projeto com o que o mercado podia oferecer a um custo satisfatório. Desta forma algumas alterações foram realizadas, como a utilização de rolos chavetados a um eixo, já que a construção de um único rolo seria uma solução mais cara, e a utilização de aço baixo carbono em todas as partes do equipamento, não necessitando assim de cuidados com a soldagem e o baixo preço.

DINAMÔMETRO

O dinamômetro utilizado é um equipamento desenvolvido na Universidade Federal do Espírito Santo, equipamento este que funciona com o principio de um rotor que gira em uma carcaça sem travamento radial, a esta carcaça é fixada uma haste de um metro de comprimento que é apoiado sobre uma balança digital, vide figura 03. Com esta configuração o valor fornecido pela balança é o torque imprimido ao dinamômetro.

A transferência da potência do rotor à carcaça é realizada por um fluído. Inicialmente o fluído utilizado era água, porém para se adaptar este equipamento à solicitação da Estação de Teste a alteração do fluído para um mais viscoso faz-se necessária, devido ao aumento do torque a ser medido.

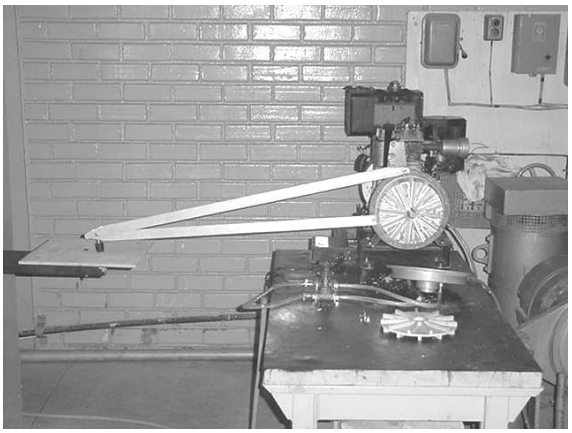


Figura 03: Dinamômetro.

A determinação de um óleo para substituir a água realizar-se-á experimentalmente, alterando se o óleo até que o dinamômetro consiga realizar o teste satisfatoriamente.

CAPTAÇÂO DE DADOS

Os dados são capturados em dois pontos do equipamento e duas variáveis são medidas. Um destes pontos é uma balança digital, já referida, que fornece o torque final do veículo e este valor é enviado via porta serial para o computador e cruzado com demais valores.

O outro valor é proveniente de um programa em PIC que possui um relógio e a cada meio segundo ele armazena o valor da rotação do eixo da Estação de Teste. Este valor é proveniente de um sensor magnético posicionado diante de seis furos efetuados em um dos rolos, vide figura 04, com a rotação do rolo o sensor capta a variação do campo magnético e envia um pulso elétrico ao PIC.

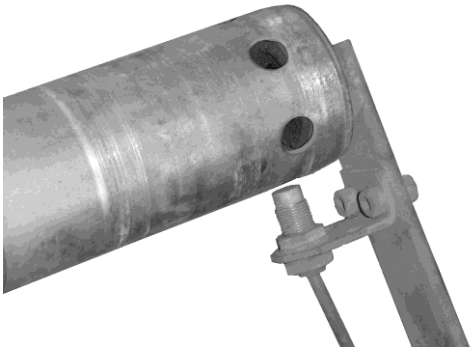


Figura 04: Sensor magnético

O programa do PIC, com este pulso, realiza cálculos e envia ao computador, também via porta serial, os parâmetros de velocidade final, distância percorrida, rendimento e tempo, além do torque, propiciando assim a construção dos gráficos que são o objetivo do projeto.

ANÁLISE DE DADOS

Com a construção dos gráficos, vide figura 05, 06, 07 e 08, acima referidos, a tomada de decisão sobre qual configuração é a ideal para a solicitação do veículo é clara e fácil.

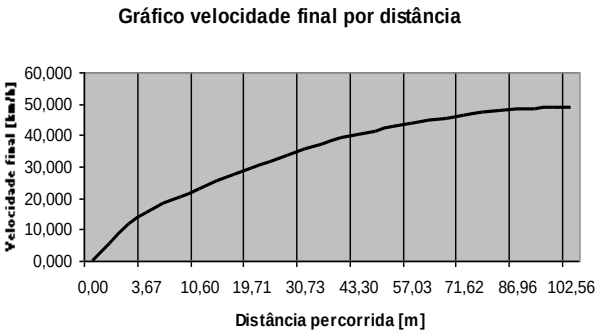


Figura 05: Gráfico comparativo, velocidade final versus distância.

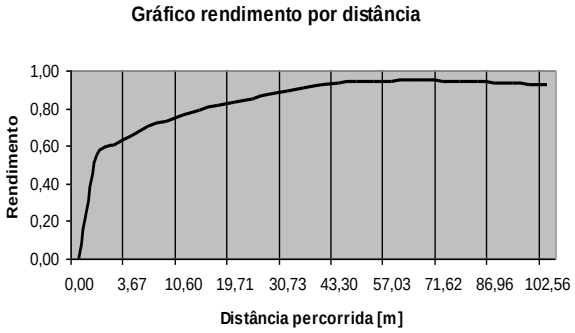


Figura 06: Gráfico comparativo, rendimento versus distância.

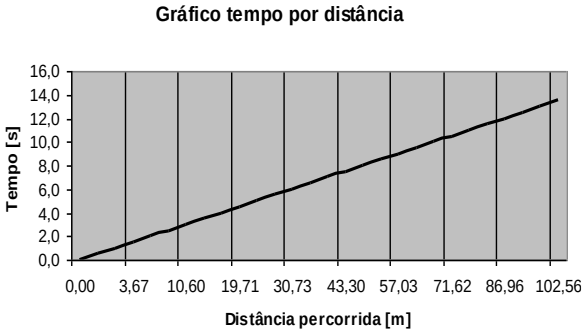


Figura 07: Gráfico comparativo, tempo versus distância.

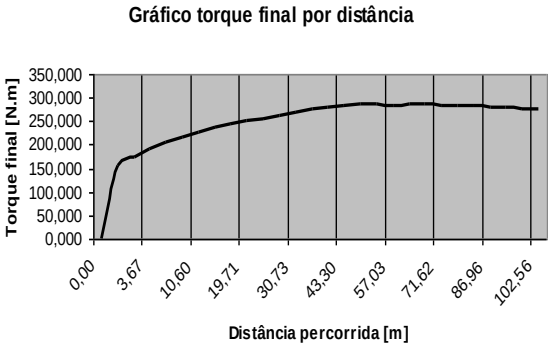


Figura 08: Gráfico comparativo, torque final versus distância.

As comparações entre as possíveis configurações podem ser realizadas desde aspectos mais relevantes, porém simples, como a relação de transmissão a ser utilizada como parâmetros mais complexos, como a distância entre centros da transmissão variável, a CVT, a tensão da corrente, dentre outros.,

As possibilidades de testes e variações são inúmeras, dependendo do objetivo do teste e da característica que se busca no veículo o teste pode ser alterado e dar um a foco na área especifica que se deseja analisar.

CONCLUSÃO

A Estação de Teste de Potência para Mini Baja mostrou-se uma ferramenta importantíssima para o desenvolvimento de um veículo mais competitivo. Os parâmetros monitorados permitem uma avaliação criteriosa e um grau de refinamento que pode levar o veículo referido a ser um dos melhores do país.

O equipamento se constitui ainda de um projeto que leva em consideração aspectos claros e bem definidos de engenharia, comprovando assim a importância deste para formação profissional.

AGRADECIMENTO

A participação dos co-autores e da Equipe Vitória Baja foram fundamentais para a execução deste projeto, assim como a instituição Universidade Federal do Espírito Santo que estruturou todo o projeto e a SAE Brasil que com seus eventos promovidos para estudantes motivou a realização deste. Ressalta-se também o IQT, empresa que permitiu a realização da pesquisa referida.

BIBLIOGRAFIA

BEER, Ferdinand P. & JOHNSTON, E. Russell, Jr. *Resistência dos Materiais*. 3°. ed. São Paulo, Makron Books do Brasil Editora Ltda., 1996.

CALLISTER, William D. *Materials Science and Engineering an Introduction*. USA, Wiley, 2000.

METALS HANDBOOK. *Properties and selection of metals*. 8Th edition. USA: 1961.

DIN, Norm Deutschtechnick

MILLIKEN, William F. & MILLIKEN, Douglas L. *Race Car Vehicle Dynamics.* USA, SAE International, 1995.

NSK, Catálogo MOTION & CONTROL NSK.

PROVENZA, Engº Francesco. *Projetista de Máquinas*. São Paulo, Pro-Tec, 1976.

CONTATO

Adriano Cabral Dan
e-mail: acdan@click21.com.br
Tel.: (27) 9949 2706

Adriano Cabral Dan

ANEXO D

Resultado Nacional do Paper Estudantil – Estação de Teste de Potência para Mini Baja

Congresso 2005 SAE BRASIL

XIV Congresso e Exposição Internacionais de Tecnologia da Mobilidade

22 a 24 Novembro

Novos Mercados, Novas Tecnologias: Desafios da Engenharia da Mobilidade

O Congresso e Exposição Internacional de Tecnologia da Mobilidade SAE BRASIL, realizado anualmente, é atualmente o mais importante evento de tecnologia da mobilidade do cone sul. O evento reúne milhares de profissionais, congregando diretores, executivos, engenheiros, representantes do governo, consultores e acadêmicos dos setores automotivo, aeroespacial, manufatura, veículos pesados e fora de estrada. São apresentados anualmente cerca de 180 trabalhos técnicos de autores nacionais e internacionais, paralelamente há várias conferências temáticas, painéis e fóruns com debatedores que são expoentes em universidades, na indústria e especialistas de renome. O Congresso SAE BRASIL é palco com visibilidade internacional, para os futuros engenheiros divulgarem seus trabalhos para as empresas. Os setores participantes incluem:

- Automotivo;
- Aeroespacial;
- Autopeças;
- Manufatura;
- Caminhões e Ônibus;
- Veículos Fora de Estrada;
- Fornecedores da cadeia de suprimentos

Os três melhores trabalhos serão apresentados na Noite dos Estudantes. Outros trabalhos serão selecionados para serem apresentados na forma de pôster num painel no Congresso.

XIV Congresso e Exposição Internacionais de Tecnologia da Mobilidade SAE BRASIL 2005

"Novos Mercados, Novas Tecnologias: Desafios da Engenharia da Mobilidade"

Resultado Trabalho Estudantil - Futuros Engenheiros

Classificação	Nome do Participante	Universidade	Tema
1º Colocado	José Luciano de Albuquerque Junior	Univ. do Ceará	Uso de buchas de nylon em veículos de Mini Baja
2º Colocado	Douglas Hildebrando Ol	Escola Eng. Mauá	Utilização de Etanol como Combustível em Motores Ciclo dieses
3º Colocado	João Paulo Panssiera	EESC	Aeronave não convencional de pouso e decolagem vertical
4º Colocado	Leonardo G. de Oliveira	Univ. Fed. Paulista	Módulo para condicionamento e aquisição de sinais provenientes de sensores analogicos e digitais em teste estáticos de motroes
5º Colocado	Luis Alberto Ferreira	Univ. Fed. Campinas	Aquisição e processos de dados experimentais aplicados à dinâmica rotores Dia. Cascata
6º Colocado	Leonilso Pereira da Silva	Univ. Fed. De Campina Grande	Sistema de Aquisição de dados de baixo custo para um grupo gerador de ciclo diesel
7º Colocado	Murilo Garcia Pelosi	EESC	Projeto, Construção, teste em túnel de vento e análise teórica
8º Colocado	Marcelo A. Silva	EESC	Navegação Autônoma de Veículo baseada em visão omnidirecional
9º Colocado	Adriano Cabral Dan	Univ. Fed. Do Espirito Santo	Estação de teste de potência para Mini Baja
10º Colocado	Alexandre Pepe Reis	SENAI	Análise de árvore de Alarmes

* Os 3 primeiros colocados apresentarão os trabalhos no Painel Futuro Engenheiro, no dia 23 de Novembro 2005 - Transamérica Expo Center - Av. Dr. Mário Villas Boas Rodrigues, 387

ANEXO E

Protocolo de Solicitação de Verba para Construção da Estação de Teste de Potência para Mini Baja

Número do protocolo de solicitação de verba → 7W1338/05-60

Do Prof. Elias Antonio Dalvi

Chefe do Departamento de Engenharia Mecânica
Prof. Oswaldo Paiva Almeida Filho

Prezado Professor:

Tendo em vista o Projeto de Graduação intitulado "Estação de Teste de Potência para Mini Baja", a ser desenvolvido pelo aluno Adriano Cabral Dan, projeto este que foi selecionado para ser apresentado no XIV Congresso e Exposição Internacionais de Tecnologia da Mobilidade SAE BRASIL 2005, em São Paulo, vimos consultar à V. Senhoria sobre a possibilidade desse Departamento ajudar financeiramente para a execução do mesmo, o qual está orçado em R$ 576,00 (quinhentos e setenta e seis reais). Segue em anexo o Trabalho Estudantil em formato *paper* , resultado da classificação e orçamento para execução.

Atenciosamente.

Vitória-ES, 22 de novembro de 2005.

Prof. Elias Antonio Dalvi
Coordenador