

RAFAEL ANTONIO BRUNO

**VEÍCULO DE TRAÇÃO HUMANA PARA COLETA DE RESÍDUOS
RECICLÁVEIS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Engenheiro
Mecânico.

São Paulo
2006

RAFAEL ANTONIO BRUNO

**VEÍCULO DE TRAÇÃO HUMANA PARA COLETA DE RESÍDUOS
RECICLÁVEIS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Engenheiro
Mecânico.

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Prof. Dr. Marcelo Massarani

São Paulo
2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Bruno, Rafael Antonio

Veículo de tração humana para coleta de resíduos recicláveis.
São Paulo, 2006. 98p.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de
Engenharia Mecânica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, à minha família, amigos e ao Prof. Dr. Marcelo Massarani, orientador desse trabalho, que sempre se mostrou disposto e interessado a compartilhar informações, sugestões e idéias.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. ESTUDO DE VIABILIDADE	11
2.1. FUNDAMENTAÇÃO DA IMPORTÂNCIA SOCIAL DO PROJETO.....	11
2.2. O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM SÃO PAULO	12
2.3. O MERCADO DE SUCATAS.....	13
2.3.1 Catadores – Público alvo	14
2.3.2 Cooperativas	14
2.3.3 Sucateiros	15
2.3.4 Recicladores.....	15
2.4. O PANORAMA DA ATIVIDADE DE RECICLAGEM EM SÃO PAULO	16
2.4.1 Tipos de catadores	18
2.4.2 Relação depósito - carroceiro	19
2.4.3 Dificuldades no relacionamento	20
2.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DESEJÁVEIS E SOLUÇÕES PRATICADAS ATUALMENTE.....	20
2.6. VERIFICAÇÃO DAS RESTRICOES LEGAIS DE CIRCULAÇÃO DO VEÍCULO.....	24
2.7. POSSIBILIDADES DE IMPLEMENTAÇÃO/ VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO	24
2.8. DEFINIÇÃO TÉCNICA DO PRODUTO E SEUS ATRIBUTOS	26
2.9. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO.....	27
2.10. ESPECIFICAÇÕES E LIMITES TÉCNICOS PARA ALGUNS PARÂMETROS	29
2.11. APRESENTAÇÃO DAS PROPOSTAS PARA CADA SISTEMA.....	30

2.11.1 Sistema de rolagem.....	30
2.11.2 Sistema de frenagem.....	34
2.11.3 Compartimento de Carga.....	36
2.11.4 Sistema de Amortecimento.....	38
2.11.5 Sistema de Interação Veículo / Condutor	40
2.11.6 Dispositivos de Segurança.....	41
2.12. APRESENTAÇÃO DA SOLUÇÃO ESCOLHIDA	43
 3. PROJETO BÁSICO	 44
3.1. APRESENTAÇÃO DO MODELO FÍSICO GERAL.....	44
3.2. DIMENSIONAMENTO.....	46
3.2.1 Chassi	46
3.2.2 Eixo.....	51
3.2.3 Rodas traseiras	53
3.2.4 Rodízio	54
3.2. ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	56
 4. PROJETO EXECUTIVO	 59
 5. TESTES DO PROTÓTIPO	 75
5.1. TESTE DE CARGA (RESISTÊNCIA ESTRUTURAL).....	75
5.2. TESTE DE ESTABILIDADE.....	76
5.3. TESTE DE EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE FREIO	77
5.4. TESTE DE ESFORÇO DE TRAÇÃO	77
5.5. AVALIAÇÃO FEITA POR CARROCEIROS	78
 6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	 80
 ANEXO I – Relação de Parâmetros Geométricos Praticados nas Soluções Atuais.....	 82
ANEXO II – Desenhos	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Destino do lixo na região sudeste [17].	12
Figura 2: Estrutura do mercado de sucatas no município de São Paulo [3].	13
Figura 3: Representação esquemática das carroças, com indicação de cotas.	21
Figura 4: Alternativa de uso de rodas e pneus recondicionados de veículos.	30
Figura 5: Alternativa de uso de rodas e pneus recondicionados de motocicletas.	30
Figura 6: Alternativa de uso de rodas e pneus novos de bicicletas.	31
Figura 7: Alternativa de uso de rodas pneumáticas comerciais.	31
Figura 8: Alternativa de uso de rodas pneumaciças comerciais.	31
Figura 9: Alternativa de uso de rodas de girica.	32
Figura 10: Possíveis configurações para disposição das rodas.	32
Figura 11: Comparação entre as 2 configurações possíveis para as 3 rodas.	34
Figura 12: Alternativa de freio de bicicleta.	35
Figura 13: Alternativa de freio de motocicleta.	35
Figura 14: Alternativa de freio de alavanca.	36
Figura 15: Alternativa de compartimento feito com estruturas tubulares.	37
Figura 16: Alternativa de compartimento no modelo gaiola.	37
Figura 17: Alternativa de molas helicoidais.	38
Figura 18: Alternativa de feixe de molas [6].	39
Figura 19: Variedades de coxins poliméricos a disposição no mercado.	39
Figura 20: Representação esquemática da influência do diâmetro da roda na vibração transmitida.	40
Figura 21: Alternativa com transmissão por corrente.	40
Figura 22: Alternativa de compartimento à frente do condutor.	40
Figura 23: Alternativa de compartimento atrás do condutor.	41
Figura 24: Exemplo de adesivo reflexivo (catadióptrico).	42
Figura 25: Exemplo de espelho retrovisor de motocicleta.	42
Figura 26: Lanternas e pisca-alertas de uso ciclístico.	42
Figura 27: Esboço da solução escolhida.	43
Figura 28: Modelo físico geral (primeira versão).	44
Figura 29: Versão final do modelo físico geral (sem indicação de cotas e referências).	45
Figura 30: Versão final do modelo físico geral (com referências e cotas).	45

Figura 31: Representação do chassi.....	47
Figura 32: Chassi com modelo de carregamento na situação de descida de obstáculo..	48
Figura 33: Representação esquemática do carregamento sobre a viga HC.....	50
Figura 34: Modelo de carregamento no eixo.....	51
Figura 35: Croqui da montagem do eixo.....	52
Figura 36: Modelo de carroça com rodas de motocicleta.....	53
Figura 37: Rodízio comercial.....	54
Figura 38: Roda pneumática utilizada.....	54
Figura 39: Batente da suspensão dianteira do VW Gol G2.....	55
Figura 40: Croqui do rotor utilizando garfo de bicicleta.....	55
Figura 41: Imagem da interface da planilha de cálculo de massa, estabilidade e verificações geométricas.....	57
Figura 42: Diagrama auxiliar para cálculo de estabilidade do veículo.....	58
Figura 43: Construção do eixo traseiro.....	59
Figura 44: Vista da ponta de eixo após a construção do eixo ser concluída.....	59
Figura 45: Detalhe da articulação do braço de fixação do eixo.....	60
Figura 46: Vista da estrutura construída.....	60
Figura 47: Detalhe da montagem do eixo (sem o fixador do espelho do freio) e sua relação com o coxim e com o chassi do veículo.....	61
Figura 48: Vista do protótipo com a estrutura dos quadros definida e os quadros articulados já soldados.....	62
Figura 49: Detalhe do trinco instalado nos quadros articulados (superiores).....	62
Figura 50: Protótipo semi-acabado.....	63
Figura 51: Nova proposta de rodízio.....	64
Figura 52: Detalhe do chassi onde seria instalado o rodízio.....	64
Figura 53: Imagem do garfo.....	65
Figura 54: Vista superior do acoplamento do rodízio ao chassi.....	65
Figura 55: Aplicação da graxa no alojamento do rolamento.....	66
Figura 56: Colocação do rolamento (6302) da roda traseira.....	66
Figura 57: Colocação da bucha espaçadora.....	66
Figura 58: Colocação do rolamento 6202 (lado do espelho do freio).....	66
Figura 59: Montagem das lonas na posição indicada e das molas que as unem.....	66
Figura 60: Colocação do eixo abre-patim na posição indicada.....	66

Figura 61: Vista do conjunto de freio montado, com o espelho e a alavanca de acionamento (excêntrico).	67
Figura 62: Detalhe da porca do eixo com o anel de segurança.	67
Figura 63: Conexão do excêntrico com a haste (vareta).....	67
Figura 64: Manete de freio.	68
Figura 65: Detalhe do puxador do cabo de aço equalizador.....	68
Figura 66: Esticador do cabo de aço.....	69
Figura 67: Vista superior da configuração do sistema de freio sob o chassi.....	69
Figura 68: Detalhe das fitas de velcro.	70
Figura 69: Vista do manete com a trava de velcro atuando.....	71
Figura 70: Detalhe do manicoto esquerdo do veículo.	71
Figura 71: Detalhe do batente do quadro superior esquerdo após a aplicação do polímero.....	72
Figura 72: Vista traseira do protótipo concluído.	73
Figura 73: Vista perspectiva do protótipo concluído.....	73
Figura 74: Detalhe do compartimento de carga com o quadro superior rebaixado.....	74
Figura 75: Perspectiva do modelo em CAD.	74
Figura 76: Distribuição de custo do protótipo em categorias.	75
Figura 77: Teste de resistência estrutural.	76
Figura 78: Teste de estabilidade	76
Figura 79: Teste do sistema de freio.....	77
Figura 80: Teste de esforço de tração.	77
Figura 81: Carroceiro testando o veículo.....	78
Figura 82: Algumas sugestões de alterações dadas por carroceiros.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade estimada de materiais recicláveis por subprefeitura (amostra) e material reciclável triado por cooperativa [4]	17
Tabela 2: Quantidade de material reciclável triado (por tipo). Junho/2004 – subprefeitura Capela do Socorro [4].	17
Tabela 3: Dados de reciclagem (quantidade e valores financeiros) referentes à subprefeitura Capela do Socorro (Jan/04 – Jun/04) [4].	18
Tabela 4: Valores mínimos, máximos e médios dos parâmetros medidos nas carroças.	22
Tabela 5: Matriz de definição de pesos dos critérios.....	29
Tabela 6: Notas atribuídas a cada proposta.	33
Tabela 7: Notas atribuídas a cada alternativa proposta.	38
Tabela 8: Inclinações limites do veículo.	58

RESUMO

Em vista dos diversos problemas ambientais que o mundo vem enfrentando, parece evidente e necessária a existência dos diversos programas de coleta seletiva dos resíduos recicláveis. Nos grandes centros urbanos, mais que a importância ambiental, esse tipo de atividade acabou desempenhando outras funções como social e econômica, uma vez que muitas pessoas e famílias acabam encontrando nessa atividade uma forma de ocupação e fonte de renda. Pode-se entender a coleta seletiva em vários níveis de abrangência e sofisticação tecnológica. Entretanto, esse projeto está voltado para os coletores mais simples, que desempenham a coleta pelas ruas da cidade com veículos de tração humana e de custo reduzido. Sendo assim, este projeto tem como objetivo desenvolver um veículo que facilite o trabalho dessas pessoas, tanto na construção como também na utilização do produto, reduzindo esforços físicos e proporcionando uma segurança maior no trabalho.

ABSTRACT

In sight of the many environmental problems that the world is facing, it seems evident and necessary the existence of many programs of selective collection of recyclable residues. In the great urban centers, more than the environmental importance, this type of activity reaches other functions as social and economic, since many people and families find in this activity a form of occupation and money source. The selective collection can be understood in some levels of extension and technological sophistication. However, this project is come back toward the simplest collectors, that play their activities covering the streets of the city with vehicles of traction human and reduced cost. Thus, this project has the objective of develop a vehicle that turns easier the work of these people, as much in the construction as also in the use of the product, reducing physical efforts and providing a safe security work condition.

1. INTRODUÇÃO

Em vista dos diversos problemas ambientais que o mundo vem enfrentando, parece evidente e necessária a existência dos diversos programas de coleta seletiva dos resíduos recicláveis.

Nos grandes centros urbanos, mais que a importância ambiental, esse tipo de atividade acabou desempenhando outras funções como social e econômica, uma vez que muitas pessoas e famílias acabam encontrando nessa atividade uma forma de ocupação e fonte de renda.

Pode-se entender a coleta seletiva em vários níveis de abrangência e sofisticação tecnológica. Entretanto, esse projeto está voltado para os catadores mais simples, que desempenham a coleta pelas ruas da cidade com veículos de tração humana e de custo reduzido. Sendo assim, este projeto tem como objetivo desenvolver um veículo que facilite o trabalho dessas pessoas, reduzindo esforços físicos e proporcionando uma segurança maior no trabalho.

A composição desse trabalho parte da fundamentação da importância social, ambiental e econômica do projeto. São apresentados resultados de pesquisas de campo, onde foi possível tanto verificar parâmetros técnicos das soluções praticadas atualmente, como também entender de modo mais claro como são as relações pessoais e comerciais no mercado da sucata e dos resíduos recicláveis. São geradas propostas de solução para os diversos sistemas do veículo. Define-se parâmetros técnicos que a solução deve atender e alguns critérios de avaliação. Julga-se então a combinação de propostas mais adequada, elegendo-a como solução (final do capítulo 2). Inicia-se a fase de projeto básico, com o dimensionamento dos principais componentes e um detalhamento maior de alguns componentes (capítulo 3). O capítulo seguinte (capítulo 4) trata do projeto executivo, documentando as etapas de construção do protótipo. O capítulo 5 apresenta testes executados com o protótipo e, por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões e considerações finais do trabalho.

2. ESTUDO DE VIABILIDADE

2.1. FUNDAMENTAÇÃO DA IMPORTÂNCIA SOCIAL DO PROJETO

Atualmente, cada brasileiro produz, em média, 800g de lixo por dia [10]. De acordo com o recenseamento feito no ano de 2000, a população do município de São Paulo atingia o número de 10.434.252 habitantes [16]. Isso indica que, se a taxa de produção de lixo fosse constante em todas as regiões do país, somente o município de São Paulo produz cerca de 8 mil toneladas de lixo por dia. Sem dúvida, somente esse número já seria suficiente para nos fazer imaginar que isso deve se traduzir num grande problema ambiental e social.

De fato, o problema do lixo atinge os grandes centros urbanos de várias partes do mundo, trazendo sérios problemas ambientais, de saneamento e de saúde pública.

Em vista desse problema cada vez mais preocupante, políticas de reeducação ambiental e de consumo sempre são bem-vindas. Uma dessas políticas é a dos 3 R's. Ela consiste em orientar as pessoas de forma a tornar comum 3 tipos de prática:

- Redução no consumo e desperdício;
- Reutilização de objetos e materiais;
- Reciclagem.

Entretanto, as dificuldades (sejam elas políticas ou culturais) de se implementar a política dos 3 R's ainda são bastante expressivas. Para ilustrar esse fato, basta tomar conhecimento do destino final do lixo na região sudeste, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizado em 200 pelo IBGE [17]. Observando a Fig.1, conclui-se que apenas 5% dos resíduos seguem para estações de compostagem ou triagem, sendo que apenas uma fração desses 5% seguirá realmente para a reciclagem.

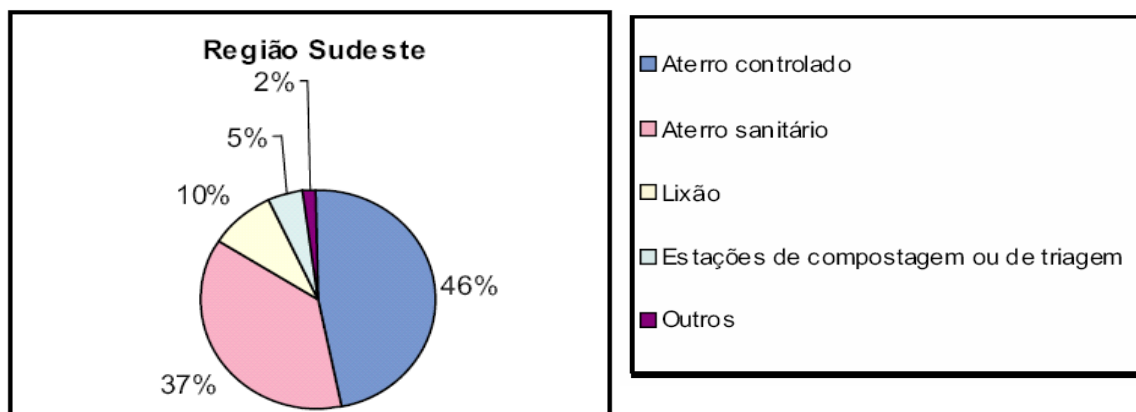


Figura 1: Destino do lixo na região sudeste [17].

Ainda que apenas uma pequena fração dos resíduos seja reciclada, quando se trata de números absolutos esses valores ganham expressividade, principalmente quando se faz a relação do que isso significa em termos econômicos e sociais.

Estima-se que na Colômbia cerca de 300.000 pessoas - isto é, cerca de 1% da população - vivam da recuperação de materiais recicláveis nas cidades. No México e no Egito, a população recicladora é ainda mais elevada em termos percentuais (2% do total nacional). Em Manila, Filipinas, cerca de 12.000 pessoas dependem diretamente da reciclagem. Em Beijing, aproximadamente 82.000 camponeses imigrantes trabalham como recicladores [18]. No Brasil, o número aproximado de catadores gira em torno de 200 mil [11], mas essa é apenas uma estimativa, que fica dificultada por se tratar de um segmento pouco organizado e muito informal.

2.2. O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM SÃO PAULO

A região metropolitana de São Paulo, formada por seus 39 municípios adicionados a capital, tem 16 de seus componentes acondicionando os resíduos sólidos em lixões. Apenas 10 dos municípios possuem aterros sanitários e os demais controlados.

As regiões metropolitanas brasileiras apresentam problemas semelhantes na gestão de seus resíduos sólidos como, por exemplo, a dificuldade de áreas para disposição final, contaminação dos rios, e problemas com as populações em áreas impróprias para moradia. A falta de recursos governamentais, ausência de políticas de governo e públicas no tocante ao saneamento, falta de recursos humanos preparados

para atuar em gestão de resíduos e também a ausência de educação ambiental prejudicam o adequado gerenciamento nas regiões metropolitanas brasileiras.

O município de São Paulo conta com os aterros sanitários: São João (recebe diariamente 6 mil toneladas) e o Bandeirantes (recebe diariamente 7 mil toneladas) ambos com sua capacidade em quase total esgotamento. O município gera em torno de 12.500 toneladas diárias de resíduos e recicla menos de 1% deste valor.

As opções de disposição para a área de estudo são mínimas. Além dos aterros mencionados, a cidade possui um aterro de resíduos inertes (Itatinga), dois incineradores de resíduos hospitalares (Jaguaré e Ponte Pequena) e por fim duas usinas de compostagem (Vila Leopoldina e São Matheus). O sistema de coleta seletiva do município atende a menos de 5% da população e recicla menos de 1% do material gerado [11].

2.3. O MERCADO DE SUCATAS

O mercado de sucatas brasileiro estrutura-se em torno de quatro níveis de negócios: catadores, pequenos a médios sucateiros e cooperativas, grandes sucateiros e finalmente os recicladores. Observe o fluxograma abaixo que demonstra a hierarquia e o fluxo do material:

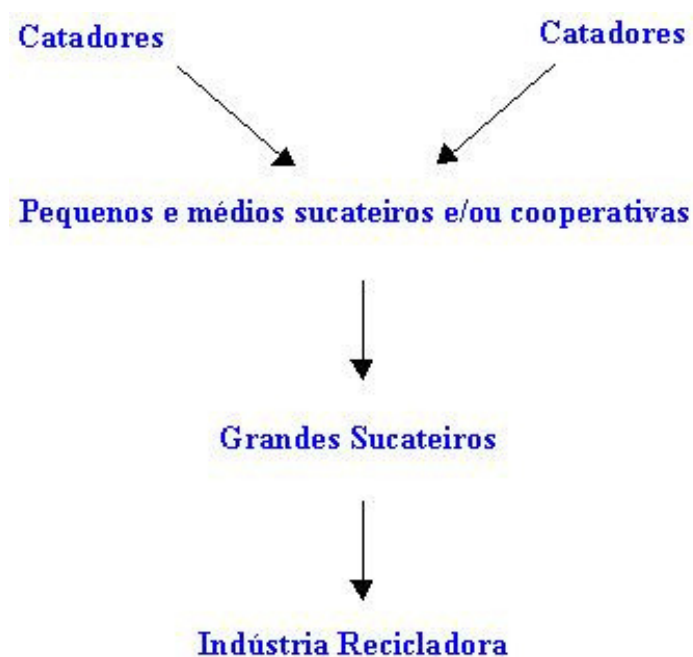


Figura 2: Estrutura do mercado de sucatas no município de São Paulo [3].

Em São Paulo, como no restante do Brasil observa-se a presença de grande número de catadores e sucateiros. As cooperativas surgem em pontos isolados enquanto os recicladores caminham para a inexistência em São Paulo [11].

2.3.1 Catadores – Público alvo

Em São Paulo estes atores são os que efetivamente consolidam o recolhimento de papéis no município trafegando pelos mais diversos bairros da cidade para a coleta e sua posterior venda aos sucateiros. Possuindo em média uma jornada de trabalho de dez horas e recebendo mensalmente o valor médio de R\$ 450,00 resgatam sucatas geradas em escolas, redes de supermercados, escritórios, comércios e das mais diversas fontes. Esses seriam os consumidores finais do produto desenvolvido nesse projeto, ainda que a relação comercial possa não se dar diretamente com eles. Estratégias de comercialização e distribuição do produto são pontos a serem discutidos mais adiante (Capítulo 2.7).

Tais indivíduos sentem dificuldades enormes para o exercício de sua atividade como, por exemplo, o transitar com a carroça nas ruas e avenidas, ou então, o roubo de sua carroça. Muitos catadores devido a assaltos dormem nas carroças pelas ruas da metrópole.

Conforme já mencionamos a reciclagem proporcionou novos mercados e o resgate da marginalidade de muitas pessoas. Neste sentido convém lembrar que o catador em São Paulo possui qualidade de vida precária, e muitas vezes, leva seus filhos para o recolhimento de papéis o que não é permitido pelas leis brasileiras. Muitas vezes também o valor obtido com a venda de materiais é consumido em bebidas alcoólicas.

2.3.2 Cooperativas

As cooperativas no município são reduzidas existindo apenas a COOPAMARE e a CORPEL respectivamente na região oeste e central do município.

A COPAMARE - Cooperativa de Catadores Autônomos de Papel, Aparas e Materiais Reaproveitáveis, perfaz no município de São Paulo, dez anos de existência na coleta e separação de recicláveis. Atualmente a cooperativa possui 55 cooperados e 150 associados sendo dirigida por um conselho administrativo eleito em assembléia geral.

A CORPEL – Cooperativa dos Catadores de Papel e Papelão possui em torno de dois anos de existência possuindo 22 cooperados. Nestas duas cooperativas citadas é

realizada a separação do papel por tipos, o seu enfardamento e posterior prensagem para envio às indústrias recicladoras.

2.3.3 Sucateiros

As etapas de separação do papel em usos (embalagens, sanitários, impressão, escrita entre outros), prensagem e enfardamento são realizadas pelo sucateiro tanto no município de São Paulo como no Brasil. No entanto devemos alertar que as duas cooperativas da área de estudo realizam a mesma atividade, mas lideradas pelos catadores responsáveis por sua gestão. O sucateiro como empresário não permite em seu estabelecimento a atividade do catador, colocando este apenas como fornecedor de papéis pós-consumidos.

Os sucateiros, assim como os catadores, constituem-se os atores principais para que a reciclagem no município de São Paulo seja realizada. Não existe nos órgãos relacionados com o serviço de limpeza urbana do município dados precisos do número de catadores e sucateiros envolvidos nesta atividade na capital por simplesmente não haver um cadastro público com estas informações. No entanto estima-se que na capital exista aproximadamente 100 sucateiros que recolhem materiais recicláveis incluso o papel em suas diversas tipologias espalhados por toda a área territorial do município.

Além da dificuldade do sistema público em quantificar o número de sucateiros desempenhando tal atividade cabe ressaltar que em muitas vezes o próprio sucateiro acaba por exercer seu trabalho clandestinamente uma vez que não está contribuindo legalmente com os impostos previstos em lei para o exercício de seu empreendimento (trabalhista, territorial entre outros).

Ao existir a presença do sucateiro por toda a extensão territorial do município, podemos concluir que o catador também está presente uma vez que este efetivamente permite que o papel pós-consumido seja direcionado da fonte geradora para a reciclagem.

2.3.4 Recicladores

Encerrando-se nesta etapa o beneficiamento e o estoque de papéis, concluímos a efetiva reciclagem destes resíduos que estará além dos limites do município de São

Paulo. As indústrias recicladoras de papel para fins de embalagem, impressão e escrita entre outros distam em média 100 km da capital.

Neste momento a capital funciona como a geradora e estoquista de matéria-prima para ser endereçada a outras cidades que compõe o corpo do estado de São Paulo. Os recicladores manterão unidades no estado que receberão este produto e concretizarão a reciclagem. Permitida a reciclagem o papel voltará a ser consumido na capital ou então em outras cidades brasileiras.

2.4. O PANORAMA DA ATIVIDADE DE RECICLAGEM EM SÃO PAULO

Segundo a instituição USP Recicla, no município de São Paulo, durante a gestão anterior (Prefeita Marta Suplicy) a prefeitura oferecia projetos de incentivo e construção de cooperativas de reciclagem denominado “Incubadora de Cooperativas Populares”. Nessa época inclusive foi solicitado ao “Disque Tecnologia – CECAE/USP” um plano de negócio onde fossem previstos todos os custos que se teria para montar uma cooperativa e a previsão de retorno desse investimento, com dados estatísticos de cada subprefeitura do município, descrevendo quantidades em massa e em valores financeiros [4].

Infelizmente, a gestão atual parece não ter priorizado esse tipo de projeto. Sendo assim, grande parte da coleta seletiva que ocorre no município se deve a instituições particulares, autônomas e sem nenhum vínculo direto com a prefeitura. Isso gera algumas características indesejáveis no segmento, como um alto grau de desorganização, informalidade e desregulamentação. Essas instituições incluem cooperativas, depósitos de sucata e ferros-velhos, daqui por diante intituladas simplesmente pelo termo ‘depósitos’.

Em São Paulo, existem áreas que concentram uma quantidade razoável de estabelecimentos como esses, sendo que boa parte dessas áreas está situada na periferia da cidade. Uma região que apresenta essa característica de forma bastante acentuada na zona sul da cidade é a região dos bairros de Santo Amaro e Socorro.

Tabela 1: Quantidade estimada de materiais recicláveis por subprefeitura (amostra) e material reciclável triado por cooperativa [4].

Grupo	Cooperativa	Quantidade estimada de material reciclável por subprefeitura-amostra (kg/mês)	Percentual da quantidade estimada de material reciclável por subprefeitura-amostra (kg/mês)	Quantidade de material reciclável triado no mês de jun de 2004 (kg/mês)	Percentual de quantidade triada por cooperativa no mês de junho/2004
Grupo 1	Capela do Socorro	4.674.277	100%	84.423	1,8%
	Pinheiros	4.619.671	100%	42.098	0,9%
	Mooca	4.103.989	100%	87.129	2,1%
Grupo 2	Sé	5.763.811	100%	75.821	1,3%
	Vila Leopoldina	3.167.673	100%	84.926	2,7%
Grupo 3	Jaçanã	1.696.677	100%	33.900	2,0%
	Penha	4.057.441	100%	39.092	1,0%
	São Mateus	2.074.118	100%	58.916	2,8%
	Vila Maria	3.605.532	100%	48.696	1,4%
	Granja Julieta	2.828.798	100%	13.564	0,5%
	Itaim	1.654.068	100%	36.222	2,2%

Fonte: Secretaria de Serviços e Obras da PMSP; LIMPURB, 2004. (dados de junho de 2004)

Tabela 2: Quantidade de material reciclável triado (por tipo). Junho/2004 – subprefeitura Capela do Socorro [4].

Tipo de material	Quantidade estimada – amostra (kg/mês)	Percentual de material do total de reciclável	Quantidade triada no mês de jun/04 (kg/mês)	Percentual triado da quantidade estimada
Papel, Papelão e Jornal	1.364.254	29,2%	36.364	2,7%
Embalagem Longa Vida	222.453	4,8%	4.882	2,2%
PET	100.611	2,2%	5.986	5,9%
Plástico	2.398.059	51,3%	12.063	0,5%
Metais Ferrosos	225.222	4,8%	6.450	2,9%
Vidros	202.146	4,3%	18.030	8,9%
Alumínio	161.532	3,5%	648	0,4%
TOTAL DE MATERIAL RECICLÁVEL	4.674.277	100%	84.423	1,8%

Fonte: Secretaria de Serviços e Obras do Município de São Paulo- SSO; LIMPURB, 2004.

Tabela 3: Dados de reciclagem (quantidade e valores financeiros) referentes à subprefeitura Capela do Socorro (Jan/04 – Jun/04) [4].

CAPELA DO SOCORRO Materialis Triados e Valores Obtidos na Venda – janeiro a junho/2004													
Materialis	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Total
	Qtd (Kg)	R\$	Qtd (Kg)	R\$	Qtd (Kg)	R\$	Qtd (Kg)	R\$	Qtd (Kg)	R\$	Qtd (Kg)	R\$	Qtd (Kg) R\$
Metais	1.820	964,52	4.169	2.388	4.900	2.505	7.774	4.597	4.205	4.514	7.098	4.569	29.566 19.537
Plásticos	2.743	2.194,40	11.386	6.685,65	9.684	5.321,30	11.954	9.540,36	17.408	10.400,83	18.049	12.080,59	71.224 46.223,13
Papel/Papelão	7.286	1.687,64	12.362	3.116,96	24.911	4.521,05	30.467	4.808,79	30.348	5.685,84	41.246	7.240,35	146.620 27.060,63
Vidros	0	0,00	0	0,00	0	1.723,66	10.937	1.640,55	11.648	1.747,20	18.030	2.704,50	40.615 7.815,91
Total	11.849	4.846,56	27.917	12.190,41	39.495	14.071,30	61.132	20.586,50	63.609	22.347,77	84.423	26.594,20	288.425 100.636,74

Materialis	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Total
	Qtd (Kg) %	R\$ %	Qtd (Kg) %	R\$ %	Qtd (Kg) %	R\$ %	Qtd (Kg) %	R\$ %	Qtd (Kg) %	R\$ %	Qtd (Kg) %	R\$ %	Qtd (Kg) % R\$ %
Metais	15	20	15	20	12	18	13	22	07	20	08	17	10 19
Plásticos	23	45	41	55	25	38	20	46	27	47	21	45	25 46
Papel/Papelão	61	35	44	26	63	32	50	23	48	25	49	27	51 27
Vidros	00	00	00	00	00	12	18	08	18	08	21	10	14 08
Total %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100 100

Agora observe que há muita diferença entre os valores dos produtos que estão no item Papel/papelão. Veja o caso de papel branco e papel misto.

Papel branco	1.041	541,32	2.483	1.291,16	0	0,00	2.447	1.125,62	2.518	1.158,28	2.810	1.292,60	11.299 5.408,98
Papel misto	0	0,00	0	0,00	12.829	1.924,35	7.625	610,00	0	0,00	0	0,00	20.454 2.534,35

Fonte: Secretaria de Serviços e Obras do Município de São Paulo- SSO, 2004

Dessa forma, em vista de iniciar uma pesquisa de campo, foram entrevistados alguns catadores que atuam nessa região para conseguir maiores informações sobre a rotina dessas pessoas, as dificuldades encontradas, detalhes e particularidades dessa atividade. Foi realizada também uma entrevista com o funcionário (Tiago) responsável pelo Comércio de Aparas de Papéis Alameda Ltda-ME, situado à Rua Suzana Rodrigues, 75 – Santo Amaro, que trabalha com sucatas em geral (não apenas papéis) e também com Wallison, encarregado da cooperativa Coopamare. O resultado dessas interações pode ser apresentado e compreendido melhor se dividido nos seguintes itens:

2.4.1 Tipos de catadores

Geralmente se distinguem dois tipos básicos de catadores: aqueles que atuam com veículo motorizado e os que se utilizam de veículos de tração humana (carroças), popularmente conhecidos como carroceiros.

O primeiro grupo, geralmente mais organizado, tem uma rotina de trabalho que se resume em se antecipar ao serviço de coleta pública de lixo efetuado pela prefeitura nas ruas da cidade. Sendo assim, eles já sabem o dia e o período em que o “caminhão do lixo” passa em diversas regiões da cidade. Logo, nesses dias, os catadores passam procurando nas lixeiras das residências por algum resíduo que possa ter algum valor de comercialização. Geralmente esse tipo de coleta é acompanhado por um caminhão de pequeno porte, por picapes ou até mesmo veículos utilitários.

Já o segundo grupo de catadores, o dos carroceiros, atua de forma mais irregular e desorganizada. Geralmente, o instrumento de trabalho deles – a carroça – pode ser feita por eles próprios ou pelos depósitos de sucata e ferros-velhos. Nesse último caso, o estabelecimento pode vender, emprestar ou até mesmo alugar o veículo para os catadores.

2.4.2 Relação depósito - carroceiro

Como exposto acima, o ferro-velho (ou cooperativa, ou depósito de sucata) pode emprestar, vender ou alugar a carroça para o carroceiro. Especificamente o depósito que serviu como base para essa pesquisa segue o padrão de emprestar a carroça para que o catador faça a coleta e retorne com os materiais encontrados. Sendo assim, há um grande “estacionamento de carroças” para atender à demanda dos carroceiros.

O procedimento funciona da seguinte forma: geralmente, quando uma pessoa desconhecida vai até o depósito pedir uma carroça emprestada para fazer coleta, o responsável pelo depósito empresta uma carroça, mas fica com um documento de identificação da pessoa como garantia. Assim que a pessoa retorna com os materiais coletados, eles são separados por tipo e pesados. No depósito existe uma tabela fixada em local visível com os tipos de materiais e os respectivos valores (por kg). Dessa forma, o depósito paga ao carroceiro pelos materiais, devolve seu documento e pega novamente a carroça.

A partir do momento que existe uma confiança maior de ambas as partes (depósito e carroceiro) esse procedimento pode sofrer algumas alterações, como por exemplo, a não obrigatoriedade de deixar um documento como garantia ou a ocorrência de um pagamento semanal, tudo depende do grau de confiança e do que foi previamente tratado.

Segundo o responsável pelo depósito, dificilmente ocorre de uma carroça ser roubada ou não retornar, pois cada ferro-velho procura seguir um padrão de identificação, seja por numeração, por cor ou por alguma outra característica. Além disso, os donos desses tipos de estabelecimentos mantêm uma rede de comunicação e cooperação constante. Portanto, se um catador desconhecido chega para entregar material num determinado lugar com uma carroça de outro estabelecimento, automaticamente o responsável pelo lugar já percebe que o carroceiro não é uma pessoa de boa índole e comunica o proprietário da carroça.

2.4.3 Dificuldades no relacionamento

Como já foi abordado, a questão do roubo de carroças não é algo muito freqüente nesse meio, entretanto há outros problemas que se mostram mais constantes. Entre esses problemas estão as pessoas que pegam a carroça emprestada para fazer outra utilização que não a coleta de materiais recicláveis. É comum, por exemplo, pegarem carroças para fazerem serviço de carreto em construções. Isso acaba consumindo um recurso do depósito, mas não se converte em grandes lucros, uma vez que a pessoa faz seu serviço particular e acaba voltando com uma quantidade mínima de material reciclável, apenas para não ficar evidente que pegou a carroça para outros fins.

Outra prática comum dos carroceiros que merece atenção e bom senso por parte do administrador do depósito é molhar os papéis e papelões coletados. Isso aumenta substancialmente o peso desses materiais, sendo que o depósito estaria pagando pela água contida. Em dias de chuva isso acaba sendo inevitável, mas segundo o responsável do depósito é possível perceber quando o carroceiro está agindo de má fé, principalmente pela freqüência com que isso ocorre.

Outro problema, bem mais sério, são carroceiros que se apropriam ilicitamente de materiais e acabam vendendo-os ao depósito. Na maioria dos casos, esses materiais são metais como cobre, ferro ou latão roubados de galpões ou fábricas (às vezes desativadas) ou até mesmo de bobinas das companhias de energia elétrica e telefonia. Muitos depósitos, para evitar esse tipo de transtorno, que acaba sendo caso de polícia, já advertem os carroceiros com a seguinte placa: “Não compramos Cobre Telefonica ou Eletropaulo!”.

2.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DESEJÁVEIS E SOLUÇÕES PRATICADAS ATUALMENTE

Durante as entrevistas, foi possível perceber algumas das dificuldades técnicas encontradas no cotidiano dos carroceiros, bem como algumas características construtivas das carroças que acabam interferindo de forma positiva ou negativa na execução das tarefas. Foi possível iniciar também um levantamento técnico das soluções mais comumente encontradas nos dias de hoje, onde foi possível identificar, com o auxílio das pessoas que utilizam mais diretamente as carroças, os aspectos positivos e negativos de cada uma das soluções praticadas.

Inicialmente, pode-se fazer uma distinção entre os seguintes tipos de carroças:

- Modelo Carcaça de Geladeira – Utiliza o corpo da geladeira como caçamba;
- Modelos em Madeira – Chassi e estruturas feitos em madeira;
- Modelos em Metal – Chassi e estruturas feitos em metal, geralmente aço, ferro, zinco ou alumínio (mais raramente);
- Modelos Mistos – Apresentam madeira e metais de forma aleatória nos vários subsistemas.

A seguir será apresentado um breve resumo técnico de algumas carroças vistas. A Fig. 3 apresenta um esquema genérico que reproduz a configuração básica da maioria das carroças.

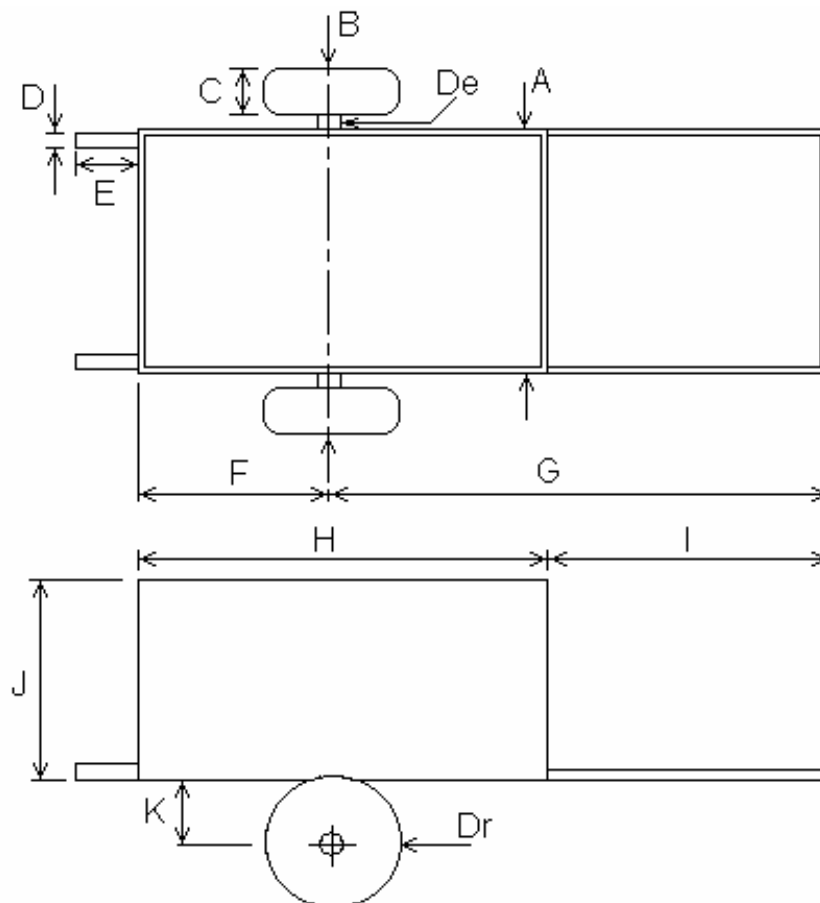


Figura 3: Representação esquemática das carroças, com indicação de cotas.

No ANEXO I é possível encontrar uma descrição mais detalhada de cada uma das carroças estudadas, entretanto, a seguir serão apresentados somente os valores máximos, mínimos e médios de cada parâmetro.

Tabela 4: Valores mínimos, máximos e médios dos parâmetros medidos nas carroças.

Parâmetro	Dimensões (mm)		
	mínimo	médio	máximo
A	950	1051,7	1120
B	1000	1343,3	1500
C	140	168,3	180
D	50	70,0	100
E	200	258,3	300
F	700	886,7	1000
G	1030	1618,3	2080
H	1340	1743,3	1950
I	700	879,2	1040
J	630	775,0	1020
K	200	291,7	400
De	40	60,8	80
Dr	540	563,3	580

O peso das carroças varia bastante, as pequenas chegam a pesar 60kgf, enquanto as maiores podem chegar até a 150kgf.

A capacidade de carga também varia muito. Em todos os lugares pesquisados, o valor máximo de carga que as pessoas reportavam estava entre 900 e 1300kgf. Entretanto, esses valores são exceções, pois a média de carga reportada costuma ser em torno de 300 a 500kgf.

Abaixo estão apresentadas na forma de tópicos as idéias e informações coletadas que contemplam o ponto de vista técnico do assunto:

- Os modelos de carcaça de geladeira são ineficientes por apresentarem um espaço interno reduzido;
- Para uma mesma capacidade de carga, uma carroça em aço costuma apresentar peso inferior à sua equivalente em madeira, desde que ela não seja superdimensionada.

Além disso, a madeira apresenta alguns problemas com relação à chuva, que além de molhar a madeira, deixando-a mais pesada, vai estragando o material, fazendo com que perca suas propriedades e seu desempenho. Com relação às carroças de metal, segundo carroceiros, desde que o metal esteja sempre cuidado (pintado com zarcão e tinta) não apresenta problemas de corrosão.

- O braço da carroça não pode ter um comprimento exagerado, pois embora isso facilite o movimento de pivotamento da carroça sobre o eixo (reduzindo a força vertical necessária para fazer a traseira da carroça levantar), isso representa um risco ao carroceiro, tendo em vista que numa situação de emergência, se a carroça tombar para trás, a barra frontal (apoio das mãos) pode atingir o queixo do condutor.
- Os dispositivos utilizados como freio são geralmente o prolongamento das duas vigas laterais do chassi, que se estendem aproximadamente 300mm além da tampa traseira da carroça e eventualmente têm a parte inferior revestida com pedaço de pneu. É interessante que essas partes não sejam de metal, pois quando o carroceiro está coletando materiais dentro de um condomínio, por exemplo, há reclamações por parte dos condôminos quanto ao barulho causado pelo freio metálico arrastando no chão e os riscos que eles provocam no pavimento.
- É interessante que a largura da carroça seja um pouco inferior a largura de um carro de passeio comum, para que ela possa transitar com mais agilidade (muitas vezes entre os veículos automotores nas vias públicas) e ter uma acessibilidade mais favorecida. Entretanto, a largura não pode ser tão reduzida, tal relação entre largura e altura (do centro de gravidade - CG) propicie o tombamento em situações de curvas.
- Os tipos de pavimento por onde as carroças trafegam podem ser os mais variados possíveis, mas os obstáculos que representam maior dificuldade são as irregularidades, como guias, desníveis nas calçadas, etc. Nesse sentido, quanto maior o diâmetro do conjunto roda/pneu mais facilidade em vencer tais obstáculos. Entretanto, deve-se tomar o cuidado de, ao aumentar o diâmetro da roda, não aumentar de forma exagerada a altura do eixo e, conseqüentemente, a altura do CG da carroça, incorrendo no ponto negativo abordado no item anterior.
- Embora a redução de massa seja algo desejável nas carroças, em entrevistas com carroceiros, percebe-se que uma carroça “pesada” para eles nem sempre significa uma carroça com massa elevada, mas sim uma carroça que se puxa com facilidade,

que apresente rolamentos bem lubrificados, etc. Logo, talvez mais significativo e mais eficiente que a redução da massa, seja a redução do fator de rolamento, que determina a força resistiva à rolagem.

Nesse sentido de busca de especificações técnicas, as próximas atividades do projeto consistirão em traduzir todas essas informações (e outras que deverão surgir) em parâmetros numéricos, a fim de possibilitar cálculos e um dimensionamento inicial da(s) proposta(s) de solução(ões).

2.6. VERIFICAÇÃO DAS RESTRICOES LEGAIS DE CIRCULAÇÃO DO VEÍCULO

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB) não faz nenhuma menção quanto à circulação de carroças de tração humana por vias públicas. Foi apurado que essas regulamentações, muitas vezes, ficam a cargo das subprefeituras e prefeituras.

Consultando a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), constatou-se que realmente não há nenhuma limitação quanto à circulação desse tipo de veículo no CTB, entretanto conforme o Capítulo III – das Normas Gerais de Circulação e Conduta, Art. 62, “A velocidade mínima não poderá ser inferior à metade da velocidade máxima estabelecida, respeitadas as condições operacionais de trânsito e da via”. Sendo assim, como a velocidade média do veículo estaria em torno de 5km/h, os condutores deveriam ser aconselhados, até mesmo para sua própria segurança, a trafegarem somente por vias locais, cuja velocidade de tráfego é reduzida, assim como o fluxo.

2.7. POSSIBILIDADES DE IMPLEMENTAÇÃO/ VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO

Existem algumas formas possíveis para se tentar a implementação do produto final desse projeto. De certa forma, o método de implementação está intimamente relacionado com a definição de alguns critérios e exigências que o projeto deve atender. Dessa forma, foram previstas algumas formas de implementação para o projeto e suas respectivas implicações nas características do produto final.

- **Alternativa A - (Projeto oferecido aos proprietários de depósitos)**

O projeto seria oferecido aos donos de depósito de sucatas, cooperativas, ferros-velhos, etc. A produção seria realizada no próprio local com mão-de-obra do depósito.

Critérios: Baixo peso, baixo custo, reaproveitamento de materiais.

Dificuldades: Padronização, proposição de materiais alternativos, definições de limites dimensionais para os componentes do veículo a fim de não comprometer a segurança e a funcionalidade do produto.

- **Alternativa B – (Projeto oferecido à prefeitura)**

O projeto seria oferecido à prefeitura do município de São Paulo, atuando como parte da proposta de padronização da atividade dos carroceiros no município.

Critérios: Baixo peso e baixo custo (talvez menos relevante do que na alternativa A), alto índice de padronização.

Dificuldades: Acessar os órgãos de provável interesse, enfrentar a burocracia e uma provável demora a cada interação.

- **Alternativa C – (Projeto oferecido a empresas privadas)**

O projeto seria oferecido a empresas privadas que apresentam algum tipo de interesse em ações sociais e ambientais. Essa alternativa pode ser dividida em duas opções: a própria empresa constrói os veículos e distribui (empresta ou doa) aos carroceiros, talvez com algum espaço publicitário reservado; ou então a empresa forneceria os materiais previamente fabricados (como um kit carroça) e deixaria como tarefa do carroceiro a montagem do veículo. Ambas as opções permitem que a empresa faça um acompanhamento periódico (inclusive com propostas de revisões nos veículos) da atividade dos carroceiros, garantindo que o serviço esteja sendo realizado da maneira como foi prevista e que o nome da empresa esteja causando uma boa impressão para a sociedade.

Critérios: Baixo peso. Talvez o baixo custo não seja tão determinante. No caso da opção do kit deveria ser priorizada também a facilidade de montagem do veículo.

Dificuldades: Encontrar empresas que se interessem por ações sociais nesse segmento. Associar de maneira positiva o nome da empresa patrocinadora à atividade de coleta de resíduos recicláveis.

Qualquer das alternativas propostas, aparentemente se mostram viáveis e possíveis do ponto de vista de retorno financeiro.

Após algumas considerações de ordem prática, as alternativas de oferecimento do projeto a donos de depósito (A) e à prefeitura (B) foram descartadas. Os motivos são os seguintes: talvez os donos de depósito não estejam dispostos a pagar o preço de produto para garantir uma condição de trabalho melhor aos carroceiros, pois é intuitivo que o preço do produto que está sendo desenvolvido será um pouco mais elevado do que o custo de fabricação de uma carroça construída com sucata. A opção de oferecer o projeto à prefeitura implicaria em questões políticas e burocráticas que às vezes estão além dos recursos disponíveis.

Sendo assim, a proposta mais viável parece ser destinar o projeto à empresas privadas e ONGs que apresentem ações sociais e ambientais. A idéia seria construir os veículos e oferecê-los montados aos catadores.

2.8. DEFINIÇÃO TÉCNICA DO PRODUTO E SEUS ATRIBUTOS

O veículo a ser desenvolvido deve se locomover através de tração humana. Deve apresentar um compartimento com dimensões adequadas (uma definição mais precisa será feita nas próximas etapas) para que sejam acomodados os materiais recicláveis coletados nas vias públicas. O veículo deverá transportar esses materiais trafegando pelas vias, percorrendo distâncias não muito longas (média de 10km por dia), a uma velocidade de aproximadamente 5km/h.

O veículo deve minimizar ao máximo os esforços físicos realizados pelo condutor e prezar por sua integridade física durante o exercício de sua atividade.

Pensando em termos funcionais, o produto deve apresentar os seguintes sistemas:

- Rolagem;
- Frenagem;
- Compartimento de carga;
- Amortecimento;
- Interação condutor / veículo;
- Dispositivos de segurança.

2.9. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Antes de definirmos as sugestões de solução para os referidos sistemas, serão apresentados alguns critérios de avaliação que estão alinhados com o objetivo e definição do produto. Dessa forma, a solução escolhida será aquela que contemplar da maneira mais completa possível os seguintes critérios:

- **Custo**

O custo da solução deve ser viável. Busca-se um valor estimado máximo de R\$750.

(menor custo → maior nota)

- **Peso**

O peso do conjunto deve ser o mais reduzido possível para minimizar o esforço que o condutor precisará fazer para mover o veículo.

(menor peso → maior nota)

- **Praticidade para o condutor e Versatilidade**

O veículo deve permitir uma utilização prática para o condutor, com dispositivos que possam ser usados de mais de uma maneira, se adaptando facilmente às características da carga, sem perder a funcionalidade.

(maior praticidade e versatilidade → maior nota)

- **Viabilidade Técnica e Facilidade de Construção**

O veículo deve ser possível do ponto de vista técnico. Deve utilizar ferramentas de fabricação não muito sofisticadas, mas que estejam disponíveis em um grande número de oficinas. Os processos de fabricação devem ser os mais simples possíveis.

(maior a viabilidade técnica e facilidade de construção → maior nota)

- **Facilidade de Reparo**

Mesmo que o veículo necessite de uma manutenção preventiva, não se pode descartar a hipótese de uma manutenção corretiva de emergência. Nesse sentido, é importante que o reparo dos sistemas seja algo fácil, que não demande um tempo longo

de manutenção e que não precise de mão-de-obra extremamente especializada nem de ferramentas sofisticadas.

(maior a facilidade de reparo → maior nota)

- **Robustez do Conjunto**

O veículo deve inspirar confiança no condutor. Logo, apesar de ser algo leve, não pode ter aparência de frágil.

(maior robustez → maior nota)

- **Segurança para o condutor e ergonomia**

O veículo deve ser projetado para que durante sua utilização o condutor realize movimentos menos prejudiciais possíveis do ponto de vista ergonômico. Esse critério contempla também questões de segurança com relação ao tráfego do veículo pelas vias públicas, sinalização e visibilidade, ou seja, sua interação com os demais automóveis.

(maior segurança e ergonomia → maior nota)

- **Incômodo aos demais cidadãos**

Certamente, a utilização desse tipo veículo pode causar incômodos expressivos para os outros cidadãos e para a sociedade em geral. Esses incômodos podem ir desde poluição sonora (caso a utilização do veículo produza um ruído elevado), danos ao patrimônio público (caso o veículo provoque danos às vias por onde circula), prejuízos ao trânsito local (caso atrapalhe a circulação dos demais veículos na região), poluição das vias (caso os materiais caiam do compartimento de carga durante o tráfego), etc... Dessa forma, o veículo deverá causar o menor impacto negativo possível na vida dos demais cidadãos.

(menor incômodo → maior nota)

Após definidos os critérios, como uns apresentam maior importância que outros, montou-se uma matriz comparativa para se atribuir pesos a esses critérios. O procedimento foi feito da seguinte forma: os critérios foram dispostos numa linha e numa coluna, em seguida, se o critério da linha fosse mais importante que o critério da coluna, colocava-se o número '1' na célula de intersecção entre esses dois critérios. Se o critério da linha não fosse mais importante que o critério da coluna, colocava-se o

número '0'. Ao final, somava-se os valores de cada linha e esse seria o peso atribuído ao critério daquela linha. A matriz ilustrada na Tabela 5 esclarece melhor o procedimento.

Tabela 5: Matriz de definição de pesos dos critérios.

CRITÉRIOS	Custo	Peso	Praticidade para o condutor e versatilidade	Viabilidade técnica e facilidade de construção	Facilidade de Reparo	Robustez do conjunto	Segurança para o condutor e ergonomia	Incômodo aos demais cidadãos	(PESOS)
Custo		0	0	1	1	1	0	0	3
Peso	1		0	1	1	1	0	1	5
Praticidade para o condutor e versatilidade	1	1		1	1	1	0	0	5
Viabilidade técnica e facilidade de construção	0	0	0		1	1	0	1	3
Facilidade de Reparo	0	0	0	0		1	0	0	1
Robustez do conjunto	0	0	0	0	0		0	1	1
Segurança para o condutor e ergonomia	1	1	1	1	1	1		1	7
Incômodo aos demais cidadãos	1	0	1	0	1	0	0		3

2.10. ESPECIFICAÇÕES E LIMITES TÉCNICOS PARA ALGUNS PARÂMETROS

Com base nos valores coletados no resumo técnico das carroças estudadas, nas dimensões médias de um carro de passeio pequeno e na literatura sobre ergonomia [2], chega-se à conclusão que a solução deverá apresentar as seguintes dimensões limites:

- Largura máxima total: 1500mm
- Comprimento máximo total: 3000mm
- Altura máxima: 1600mm
- Peso máximo: 100kgf
- Capacidade de carga máxima (líquido): 500kgf
- Largura do habitáculo do veículo: mín 700mm / máx 1170mm
- Comprimento do habitáculo do veículo: mín 720mm / máx 900mm
- Máximo esforço trativo realizado pelo condutor (plano horizontal): 41kgf
- Altura da manopla / barra de tração: mín 850mm / máx 1050mm

Outros parâmetros serão definidos nas próximas etapas, quando o nível de informação disponível sobre o produto solução for maior e possibilitar dimensionamentos mais precisos.

2.11. APRESENTAÇÃO DAS PROPOSTAS PARA CADA SISTEMA

2.11.1 Sistema de rolagem

A idéia do sistema de rolagem é definir uma estrutura sobre a qual o veículo esteja apoiado, tal que facilite a locomoção do veículo. Isso abrange não só o tipo de roda, rolo ou esteira que será utilizado, mas também a disposição do sistema. A seguir serão apresentadas algumas idéias que poderiam atender os requisitos de um sistema de rolagem:

- **Rodas e pneus reconicionados de carros**



Figura 4: Alternativa de uso de rodas e pneus reconicionados de veículos.

- **Rodas e pneus reconicionados de motocicleta**



Figura 5: Alternativa de uso de rodas e pneus reconicionados de motocicletas.

- **Rodas e pneus novos de bicicleta**



Figura 6: Alternativa de uso de rodas e pneus novos de bicicletas.

- **Rodas pneumáticas comerciais (novas)**



Figura 7: Alternativa de uso de rodas pneumáticas comerciais.

- **Rodas pneumaciças comerciais (novas)**



Figura 8: Alternativa de uso de rodas pneumaciças comerciais.

- **Rodas novas de girica (utensílio para transportar concreto)**

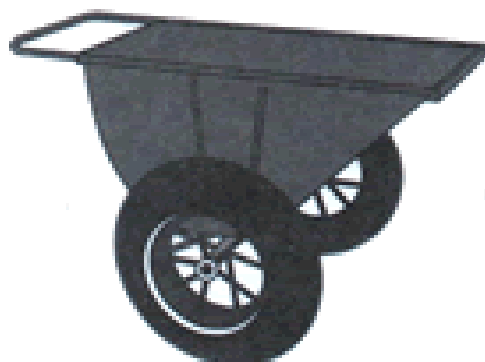


Figura 9: Alternativa de uso de rodas de girica.

Além disso, deve ser definido também sobre quantas rodas o veículo se apoiará:

- 2 Rodas
- 3 Rodas
- 4 Rodas

A Fig. 10 apresenta as possíveis configurações para a disposição das rodas:

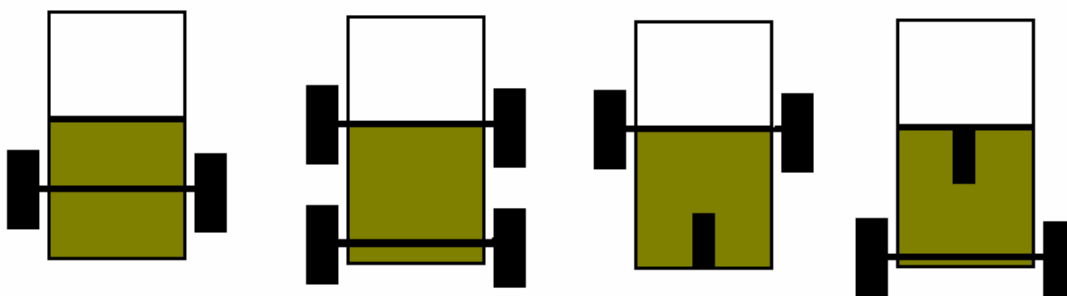


Figura 10: Possíveis configurações para disposição das rodas.

- **Comentários**

Visando reduzir a massa do conjunto e o custo, seria interessante que fossem utilizadas rodas de bicicleta ou rodas de motocicleta (recondicionadas) com pneus meia-vida. Entretanto, existe uma limitação técnica que deve ser verificada quanto à capacidade de radial desses modelos e a capacidade de carga axial, visto que nas

bicicletas ou motocicletas as rodas não são solicitadas axialmente, enquanto no veículo do projeto seriam.

Outra opção seriam as rodas encontradas comercialmente (pneumáticas ou pneumaciças). O inconveniente desses modelos, além do custo, é que o diâmetro máximo disponível está por volta de 360mm, o que pode ser pouco para a aplicação que se deseja fazer. Logicamente as rodas pneumáticas têm preferência sobre as pneumaciças por auxiliar no sistema de amortecimento.

A questão do número de rodas do veículo impacta diretamente num parâmetro básico de seu design: se ele consegue se manter estável em sua posição de trabalho ou não.

Os veículos de 2 rodas não conseguem se manter em posição de operação de maneira estável, sem ajuda de suportes. Por outro lado apresentam a vantagem de terem apenas 2 rodas, reduzindo seu custo, massa e resistência de rolamento.

Dentre os veículos que conseguem se manter estáveis em posição de trabalho, existem os com 3 rodas e os com 4 rodas. Dentre essas duas opções, parece razoável optar pelo de 3 rodas, visto que a vantagem da estabilidade se mantém, apresenta uma roda a menos, reduzindo custo, massa e resistência ao rolamento. Outro aspecto que torna o veículo com 3 rodas ainda mais vantajoso sobre o de 4 rodas é que ele nunca terá problemas de instabilidade com o solo, visto que seus 3 apoios definem um único plano de contato. Caso o veículo com 3 rodas seja eleito o mais adequado, será necessário discutir se é mais vantajoso dispor as duas rodas coaxiais na parte traseira ou dianteira do veículo e se a terceira roda será uma roda rígida ou um rodízio.

Com base nessas idéias, foram dadas notas (de 0 a 10) para cada proposta em cada critério, como ilustra a Tabela 6:

Tabela 6: Notas atribuídas a cada proposta.

PROPOSTAS	CRITÉRIOS								Notas
	Custo	Peso	Praticidade para o condutor e versatilidade	Viabilidade técnica e facilidade de construção	Facilidade de Reparo	Robustez do conjunto	Segurança para o condutor e ergonomia	Incômodo aos demais cidadãos	
Carro	7	2	8	1	8	10	1	1	102
Motocicleta	8	7	7	1	9	9	1	1	125
Bicicleta	6	6	6	1	8	8	1	1	107
Pneumática	1	6	5	1	6	7	1	1	84
Pneumaciça	1	7	5	1	6	6	1	1	88
Girica	9	6	5	1	8	7	1	1	110
2 rodas	10	10	4	9	1	6	4	1	165
3 rodas	5	7	10	7	1	7	8	5	200
4 rodas	3	4	10	5	1	8	8	5	174

De acordo com a tabela, a melhor solução (com base nos critérios definidos) seria utilizar rodas e pneus usados de motocicleta, sendo que o veículo estaria apoiado sobre 3 rodas.

Para que o veículo consiga fazer curvas de maneira adequada, é interessante manter a terceira roda sobre um rodízio, de forma que ela pode assumir qualquer direção de rolamento.

Ainda resta definir como será a configuração das 3 rodas, mas a Fig. 11 indica uma vantagem importante de uma das configurações:

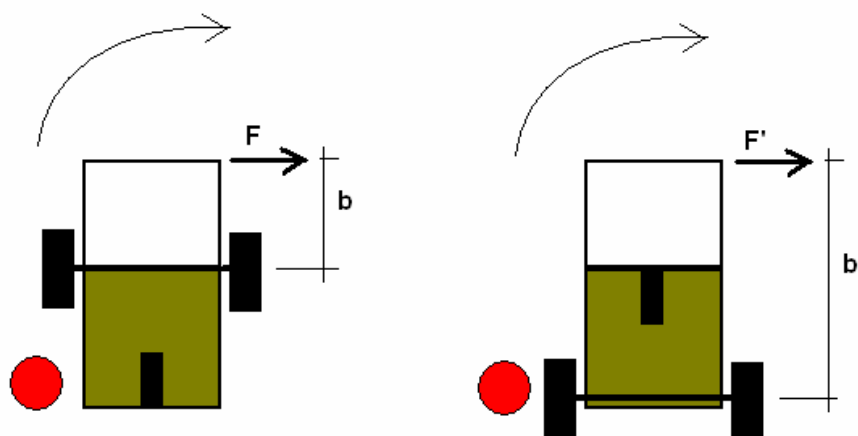


Figura 11: Comparação entre as 2 configurações possíveis para as 3 rodas.
Situação de manobra de giro do veículo.

Observe que a situação proposta é a mesma para os dois casos: descrever um giro mantendo a roda direita parada (ela será o centro da rotação). Aplicando-se uma força F no local indicado, observa-se que na configuração da esquerda, a força aplicada deve ser maior devido ao fato do braço ser menor ($b < b' \rightarrow F > F'$, visto que o momento aplicado deve ser o mesmo). Outra desvantagem da configuração apresentada a esquerda é que na situação proposta, a traseira do veículo colidiria com o obstáculo representado pelo círculo vermelho, enquanto na outra configuração isso não ocorreria, o que significa que a dirigibilidade dessa última configuração é melhor.

2.11.2 Sistema de frenagem

O objetivo desse sistema é permitir que o condutor consiga controlar a velocidade do veículo em qualquer condição de terreno ou de tráfego, inclusive manter o veículo parado em aclives sem que haja necessidade do usuário ficar atuando sobre o sistema (freio de estacionamento).

A seguir serão apresentadas algumas alternativas que contemplam a esses quesitos, sendo que a função de freio de estacionamento pode ser adaptada a qualquer uma delas, através de um sistema de travas simples ou algo mais complexo, como num alicate de pressão. As alternativas são:

- **Freio de bicicleta**



Figura 12: Alternativa de freio de bicicleta.

- **Freio de motocicleta**



Figura 13: Alternativa de freio de motocicleta.

- **Freio baseado em alavanca**, onde o condutor acionaria uma alavanca que pressionaria uma sapata contra a roda ou contra o eixo.

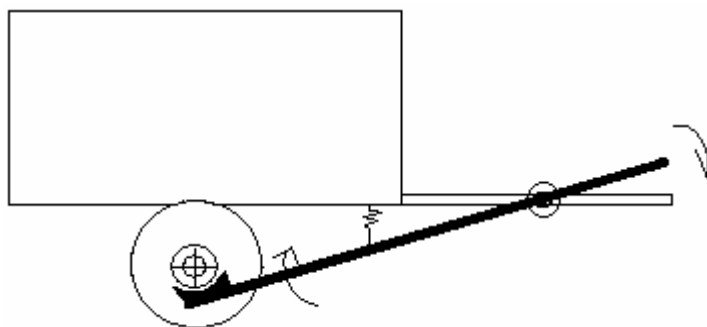


Figura 14: Alternativa de freio de alavanca.

- **Comentários**

Sem que haja necessidade da matriz de decisão, percebe-se que a alternativa de freio de bicicleta não é robusta e segura o suficiente para apresentar bom desempenho quando o veículo estiver carregado, com 500kg, por exemplo.

A idéia da alavanca também parece não ser o suficiente para dissipar a energia necessária e fazer o veículo parar ou então demandaria componentes de dimensões exageradas, o que não seria interessante.

Talvez a idéia do freio de motocicleta seja a mais adequada, pois apresenta custo não muito elevado e é um dispositivo seguro. Para saber se ele realmente apresentará um bom desempenho quando aplicado ao veículo que está sendo projetado será necessário buscar maiores informações de ensaios de frenagem de motocicletas a fim de se conseguir mais parâmetros e ser possível formular um modelo.

2.11.3 Compartimento de Carga

O que se espera do compartimento de carga é que seja um sistema capaz de acomodar os materiais de maneira prática e versátil, dado que o tipo e a geometria dos materiais coletados são os mais variados. Portanto, deveria ser algo que pudesse ser adaptado conforme a necessidade do usuário. A disposição dos materiais também pode influenciar de forma positiva ou negativa o desempenho do produto final. Logo, cada veículo seria acompanhado de um manual de instruções que apresentaria as condições mais adequadas de divisão de materiais para diversas situações. O compartimento deve permitir a deposição e retirada de materiais com relativa facilidade e não pode deixar com que os materiais caiam do veículo durante o percurso. As sugestões para o compartimento de carga são as seguintes:

- **Estruturas tubulares com vãos grandes.** Esses vãos seriam tampados com material leve, como pranchas de madeira compensada ou folhas de zinco.

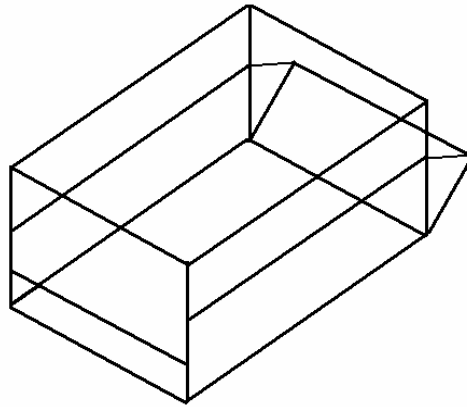


Figura 15: Alternativa de compartimento feito com estruturas tubulares.

- **Gaiola metálica com vãos menores**



Figura 16: Alternativa de compartimento no modelo gaiola.

- **Saco (lona) suspenso por uma armação metálica.** Essa alternativa se aproxima muito da primeira alternativa sugerida para esse sistema. A diferença básica é que os materiais estariam sendo armazenados dentro de um saco de lona, de forma que não seria necessário tampar os vãos do compartimento metálico com outros materiais.

- **Comentários:**

Com base nas alternativas propostas, foi utilizada a matriz de decisão para apurar qual seria aquela que melhor atenderia aos critérios estabelecidos.

Tabela 7: Notas atribuídas a cada alternativa proposta.

PROPOSTAS	CRITÉRIOS								Notas
	Custo	Peso	Praticidade para o condutor e versatilidade	Viabilidade técnica e facilidade de construção	Facilidade de Reparo	Robustez do conjunto	Segurança para o condutor e ergonomia	Incômodo aos demais cidadãos	
Estrut. Tubular	5	6	9	6	8	9	6	6	185
Gaiola	4	4	7	4	6	8	6	5	150
Lona	6	8	6	7	4	6	5	4	166

Como pode ser observado, a melhor alternativa para o compartimento de carga é a estrutura tubular com vãos grandes.

2.11.4 Sistema de Amortecimento

A função de um sistema de amortecimento é fazer com que a estrutura do veículo sofra o mínimo de vibração possível, tornando a condução mais facilitada e agradável.

- **Molas helicoidais (similares às molas de automóvel)**



Figura 17: Alternativa de molas helicoidais.

- **Feixe de molas (similares às usadas em veículos maiores, como picapes e caminhões)**

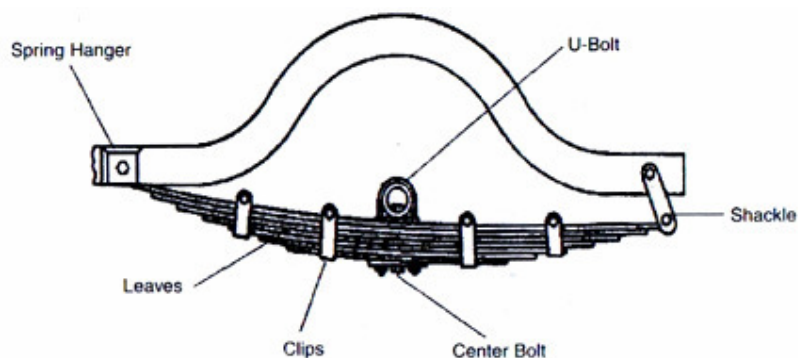


Figura 18: Alternativa de feixe de molas [6].

- **Coxins poliméricos**

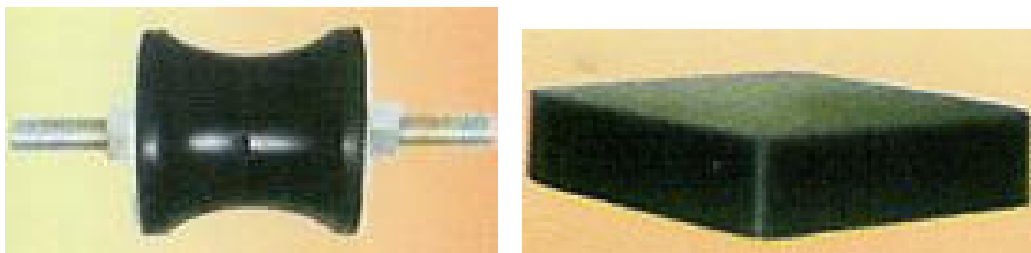


Figura 19: Variedades de coxins poliméricos a disposição no mercado.

- **Comentários**

Certamente as alternativas de molas helicoidais e feixe de molas apresentarão um bom desempenho, mas há aspectos negativos, como o espaço físico ocupado, complexidade do sistema e custo. Os coxins seriam uma alternativa mais prática, enxuta e com custo menor.

Para que o veículo não sofra tanto com as vibrações provocadas pelas irregularidades do terreno, deve-se pensar também em atribuir às rodas parte da função de “filtrar” as oscilações recebidas do terreno. Isso pode ser obtido utilizando-se rodas pneumáticas e do maior diâmetro possível, conforme sugere a Fig. 20.

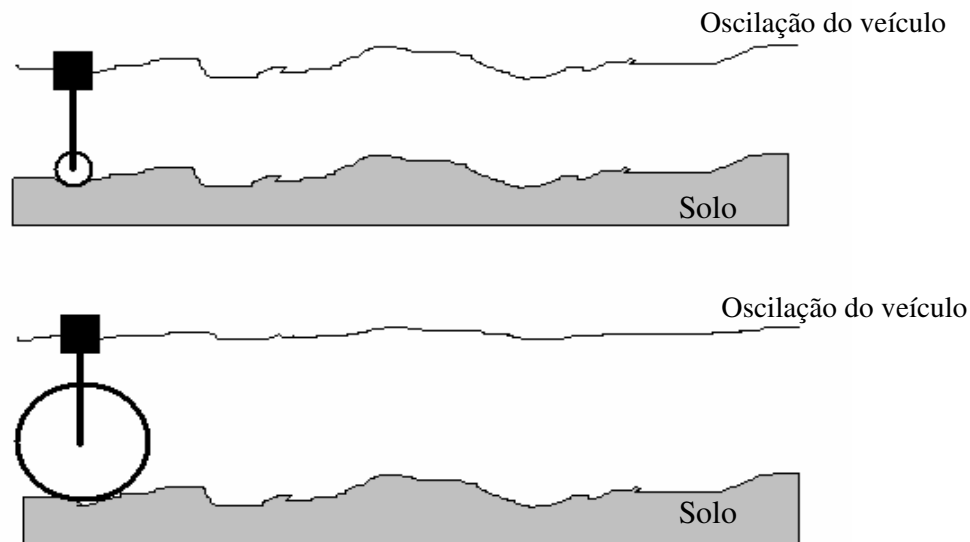


Figura 20: Representação esquemática da influência do diâmetro da roda na vibração transmitida.

2.11.5 Sistema de Interação Veículo / Condutor

Embora a tração do veículo seja humana, o condutor pode aplicar essa tração através de várias formas possíveis. O importante é que o veículo se movimente e apresente uma dirigibilidade adequada. A seguir são apresentadas as alternativas propostas:

- **Pedal com transmissão por corrente**

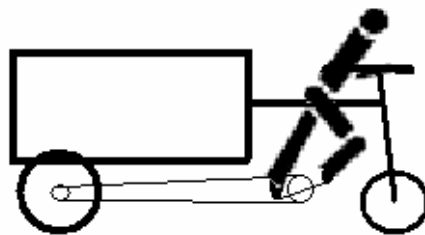


Figura 21: Alternativa com transmissão por corrente.

- **Barra horizontal com compartimento à frente do condutor**

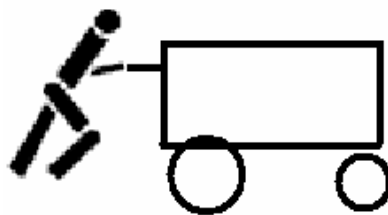


Figura 22: Alternativa de compartimento à frente do condutor.

- **Barra horizontal com compartimento para trás do condutor**

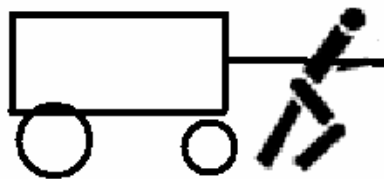


Figura 23: Alternativa de compartimento atrás do condutor.

- **Comentários**

A alternativa de pedal com transmissão por corrente seria algo muito similar a um sistema de propulsão de bicicleta. Essa alternativa teria um custo relativamente elevado e deveria ser desenvolvido um sistema de troca de relações de transmissão, para as diversas condições de carga do veículo. Tanto em caso de desenvolvimento total como de adaptação isso significaria um custo elevado.

Sendo assim, as alternativas em que o condutor vai caminhando apresentam vantagem. Entre a opção de se colocar o compartimento de carga a frente ou atrás do condutor, é mais viável a segunda opção, visto que se a altura da carga for elevada e o compartimento estiver à frente, o condutor perderá visibilidade.

2.11.6 Dispositivos de Segurança

A função desses dispositivos é melhorar o convívio e a relação desses veículos com os demais automóveis durante o tráfego nas vias públicas. É importante que tanto os motoristas quanto os catadores tenham uma idéia clara da situação do trânsito no local, a fim de evitar acidentes. Para isso, é essencial manter o condutor e o veículo sinalizados para que os outros automóveis possam enxergá-los. Outra medida interessante seria permitir que o condutor do veículo tenha uma visualização do que está acontecendo para trás, para saber se está atrapalhando o trânsito, se há algum perigo iminente, etc...

Dessa forma, as alternativas propostas seriam as seguintes, sendo que a implementação de todas elas é possível no mesmo veículo.

- **Adesivos reflexivos**



Figura 24: Exemplo de adesivo reflexivo (catadióptrico).

- **Espelhos retrovisores**



Figura 25: Exemplo de espelho retrovisor de motocicleta.

- **Pisca-alerta**



Figura 26: Lanternas e pisca-alertas de uso ciclístico .

2.12. APRESENTAÇÃO DA SOLUÇÃO ESCOLHIDA

A solução final apresenta a solução escolhida para cada sistema. Sendo assim ela apresentará as seguintes configurações:

- 3 Rodas (sendo um rodízio na frente e 2 rodas coaxiais atrás);
- Freios de motocicleta;
- Compartimento de carga de estrutura tubular;
- Amortecimento com coxins;
- Tracionada através de barra horizontal e compartimento de carga posterior;
- Espelhos retrovisores, adesivos reflexivos e pisca-alerta.

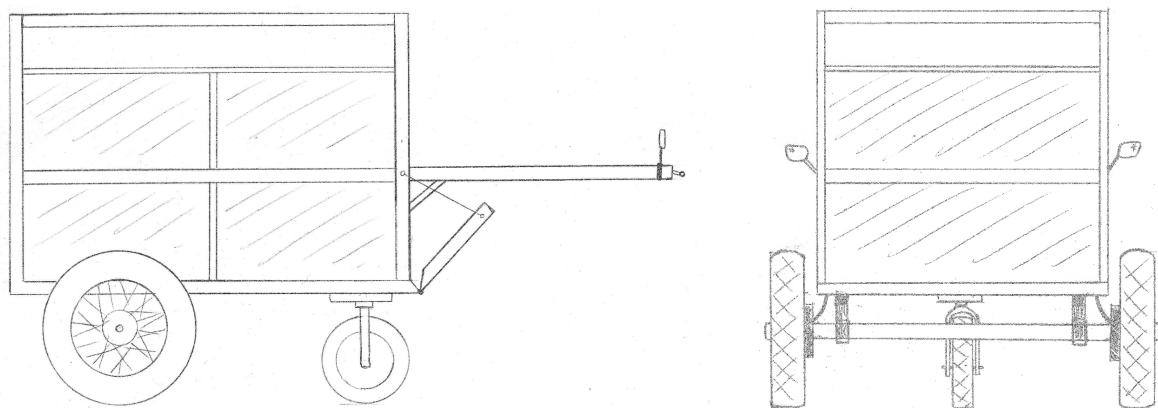


Figura 27: Esboço da solução escolhida.

3. PROJETO BÁSICO

3.1. APRESENTAÇÃO DO MODELO FÍSICO GERAL

A concepção do modelo físico se manteve a mesma desde o final da etapa de estúdio de viabilidade. Algumas modificações foram feitas apenas em partes do sistema. Inicialmente era previsto que o eixo fosse fixado ao chassi através de estruturas em “V”, como ilustra a Fig. 28. Entretanto, essa alternativa contribuiria com um aumento da altura da carroceria, o que não é desejável do ponto de vista de estabilidade.

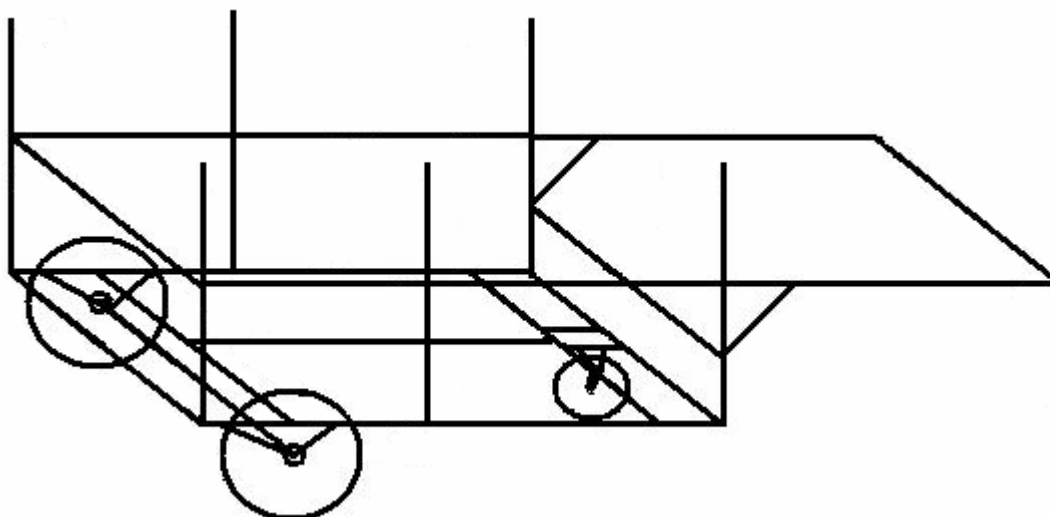


Figura 28: Modelo físico geral (primeira versão).

Outra opção encontrada foi relacionar o eixo à carroceria através de duas barras, soldadas cada uma a uma extremidade do eixo e unidas à carroceria através de articulações fixadas nas barras laterais do chassi. Essas barras funcionariam como braços de suspensão, sendo que entre o eixo e o chassi estariam os coxins. Essa montagem se mostrou muito mais compacta do ponto de vista de altura. Foi previsto o uso de pinos para guiar e restringir o movimento entre o chassi e o eixo, permitindo apenas uma movimentação vertical, decorrente da compressão dos coxins. Esse modelo modificado é apresentado na Fig. 29.

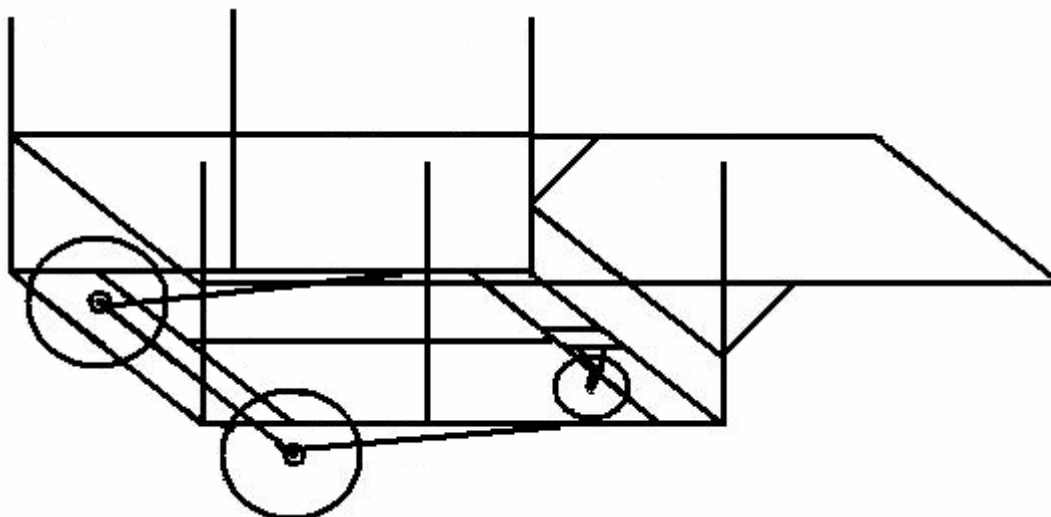


Figura 29: Versão final do modelo físico geral (sem indicação de cotas e referências).

O objetivo desse modelo físico é facilitar o desenvolvimento de algumas análises e até mesmo o próprio dimensionamento do veículo. Embora bastante simplificado, mantém um alto nível de fidelidade com o veículo real e permite estimativas com nível de precisão bastante razoável. Para facilitar a referência aos diversos componentes e subsistemas do veículo, a próxima figura (Fig. 30) apresenta o mesmo modelo físico apresentado na figura anterior, porém com os componentes e cotas referenciados. É possível que o veículo real apresente alguns itens adicionais, mas a grande maioria dos itens estruturais se encontra representada no modelo físico utilizado.

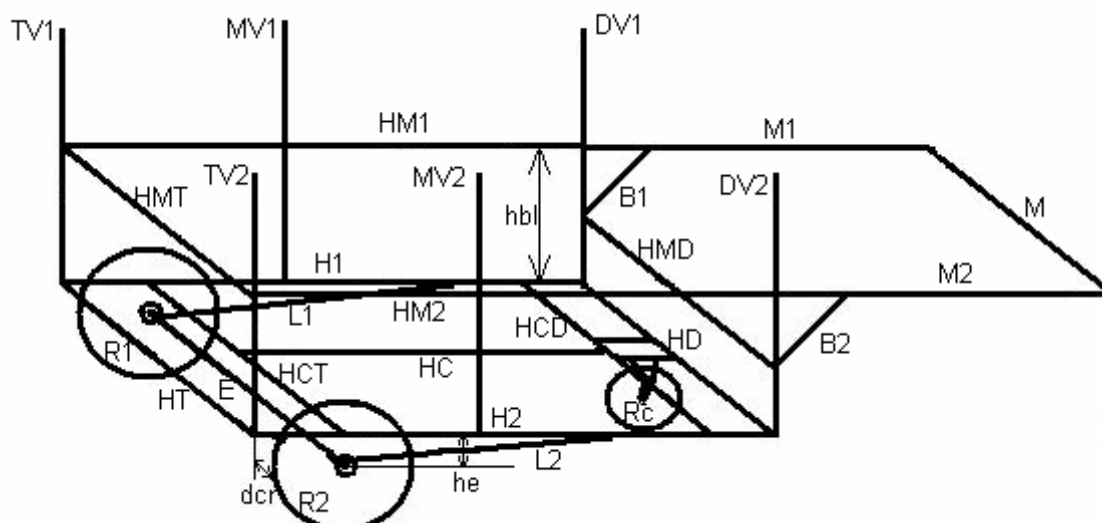


Figura 30: Versão final do modelo físico geral (com referências e cotas).

Para facilitar o entendimento da nomenclatura das cotas e referências, vale a seguinte orientação:

1 = Lado esquerdo

2 = Lado direito

H = Horizontal

V = Vertical

D = Dianteiro

T = Traseiro

C = Central

M = Médio

E = Eixo

Cotas em letras minúsculas indicam distâncias entre dois componentes.

3.2. DIMENSIONAMENTO

Para facilitar o dimensionamento dos componentes e se ter uma visão ampla de vários parâmetros, como peso próprio e custo, criou-se uma planilha para o dimensionamento de cada subsistema e uma planilha geral, utilizada para análises de desempenho do conjunto (apresentadas mais adiante).

3.2.1 Chassi

Para o dimensionamento dos tubos que compõem o chassi, inicialmente consultou-se o catálogo do fornecedor de tubos, onde era indicado as dimensões do perfil, o peso (linear) e o preço da barra. Verificou-se que o preço varia na mesma proporção que o peso da barra, o que significa que minimizando o peso do veículo, automaticamente estaria sendo minimizado o custo do protótipo. O material escolhido para os tubos foi aço carbono comum (NBR 6591 / NBR 8261 – tubos com ou sem costura seção quadrada, circular, retangular para usos estruturais) por ter um preço mais acessível. Pensou-se em usar aço carbono galvanizado para evitar oxidação, mas comparando o preço desses dois materiais, chegou-se a conclusão que um bom tratamento de pintura e acabamento no aço comum poderia proporcionar uma proteção semelhante e com um custo bem mais baixo. Outro fato importante é que as barras são

vendidas apenas no comprimento padrão de 6m, logo surgiu a preocupação com o aproveitamento de materiais para que o aproveitamento das barras fosse maximizado, reduzindo o desperdício. Os tubos terão seção quadrada ou retangular para facilitar operações de junção. Consultando a literatura, encontrou-se uma ampla faixa de valores de propriedades estruturais para esse material, mas os valores de segurança adotados para esse projeto serão:

$E = 190 \text{ GPa}$ (módulo de elasticidade)

$\sigma_e = 210 \text{ MPa}$ (limite de escoamento)

$\tau_e = 50 \text{ MPa}$ (limite de cisalhamento)

Com o auxílio da planilha de cálculo, calculou-se o momento de inércia da seção de cada tubo, pois esse parâmetro seria utilizado para calcular as tensões nas vigas.

O próximo passo foi escolher um modelo para o carregamento a que estariam submetidas as vigas. Chegou-se às seguintes conclusões:

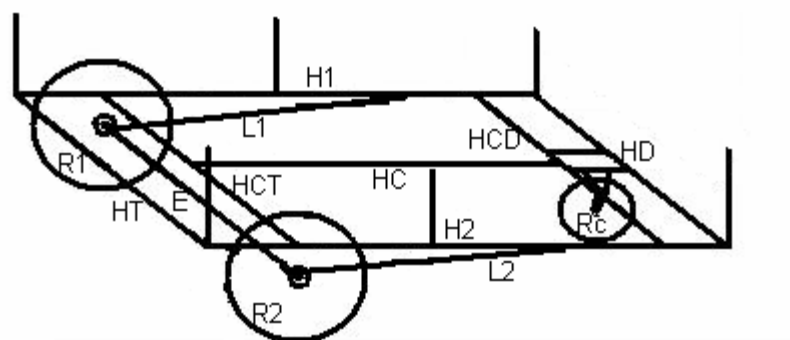


Figura 31: Representação do chassi.

- O carregamento estaria distribuído principalmente entre as vigas HCD, HC e HCT;
- As vigas H1 e H2 também receberiam carregamento, mas estariam sujeitas a esforços menores, visto que bem próximo aos pontos onde são solicitadas, já existem outras conexões com o eixo e com o rodízio, de forma que tais vigas apenas transmitem os esforços que recebem para esses componentes;
- As vigas HT e HD recebem um carregamento mínimo (comparado com as vigas HCD, HC e HCT);

- A situação crítica identificada para a estrutura é o caso do veículo estar descendo de uma guia ou de um degrau. Nessa situação, geralmente a roda dianteira recebe um impacto menor, pois o condutor ameniza a queda segurando o veículo e conduzindo-o de forma mais lenta, mas acaba esquecendo de tomar o mesmo cuidado com a parte traseira do veículo. Sendo assim, o que acaba acontecendo é que o impacto sentido pela estrutura é intensificado muitas vezes em relação à carga estática. Para modelar essa situação, foi suposto que toda a carga seria distribuída (igualmente) apenas entre as barras HCT e HC. Dessa forma, o carregamento estaria distribuído conforme ilustra a Fig. 32.
- Todas essas simplificações estão a favor da segurança, pois no caso do protótipo as outras vigas do chassi também estarão contribuindo para uma maior rigidez da estrutura.

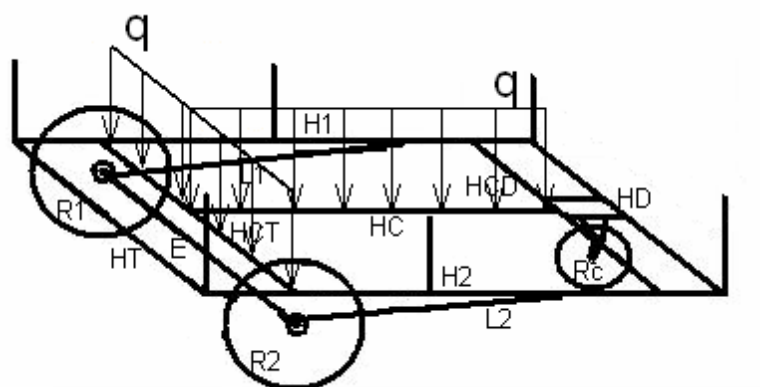


Figura 32: Chassi com modelo de carregamento na situação de descida de obstáculo.

Toda a carga (dinâmica) seria distribuída nos carregamentos “q” atuando nas barras HCT e HC, de tal forma que:

$$q \cdot (HCT) + q \cdot (HT) = P^*$$

(HCT) = comprimento da barra HCT = 1600mm

(HT) = comprimento da barra HT = 1200mm

P^* = peso equivalente da carga, considerando o impacto.

Para o cálculo de P^* considerou-se que o veículo estaria caindo de um obstáculo de 30cm de altura e os elementos de amortecimento (pneus e coxins) conseguiriam amortecer a queda, ou seja, fazer com que o corpo voltasse a ter velocidade vertical nula após tocar o solo, em 0,2s. Esse valor foi estimado com base em observações empíricas. Sendo assim:

$$V^2 = V_0^2 + 2 \cdot g \cdot \Delta S$$

$$V^2 = 2 \cdot 10 \cdot 0,3 = 6$$

$$V \cong 2,5 \text{ m/s}$$

sendo:

V = velocidade (vertical) de chegada ao solo;

g = gravidade = 10 m/s^2

Calcula-se o valor da desaceleração (g^*) à qual o corpo estará sujeito:

$$g^* = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$g^* = \frac{2,5}{0,2} = 12,5 \text{ m/s}^2$$

Logo, o limite de peso que era de 5000 N passa a ser:

$$P^* = 500 \cdot 12,5 = 6250 \text{ N}$$

$$\text{Logo, } q = P^* / [(HT) + (HCT)] = 2232 \text{ N/m}$$

Para se fazer a análise, desconsiderou-se que as duas vigas apresentavam uma conexão entre si. Foram avaliados os efeitos do carregamento sobre cada uma de forma independente e o dimensionamento foi feito baseado na viga que apresentava situação mais crítica (HC), ou seja, de maior comprimento. Utilizando um modelo de viga biapoiada (representado na Fig. 33), tem-se que:

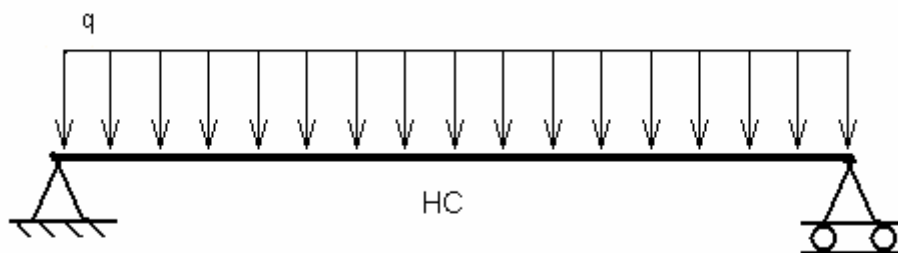


Figura 33: Representação esquemática do carregamento sobre a viga HC.

Para o modelo de carregamento proposto [1]:

$$\delta_{\max} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{q \cdot L^2 \cdot h}{16 \cdot I}$$

$$\tau_{\max} = \frac{q \cdot L \cdot Q}{2 \cdot I \cdot b}$$

Onde:

δ_{\max} : deflexão máxima da viga

σ_{\max} : tensão máxima

τ_{\max} : tensão cisalhante máxima

q: carregamento

L: comprimento da viga

h: altura da seção da viga

b: largura da seção da viga

I: momento de inércia (em relação a um eixo perpendicular ao papel) da seção da viga

Q: primeiro momento (máximo, ou seja, calculado sobre a linha neutra) da área da seção da viga.

Foram utilizados como critérios o limite de escoamento (por tração) do material ($\sigma = 210$ MPa), o limite de cisalhamento ($\tau = 50$ MPa) e era admitida uma deflexão máxima (δ) de 10% do comprimento da barra. Calculados σ , τ e δ utilizando cada tubo, chegou-se à conclusão que para essa aplicação o tubo mais apropriado, ou seja, o tubo de menor peso (e custo) que pode ser aplicado seria um tubo quadrado de 40x40x1,9mm.

Por uma questão de padronização e aproveitamento de tubos, todos os elementos do chassi serão construídos com o tubo selecionado.

3.2.2 Eixo

Para dimensionar o eixo, o projeto partiu de algumas premissas:

- O eixo seria rígido e ligaria uma roda a outra, tal como ilustra a barra (E) da Fig. 30.
- O eixo deveria ter diâmetro de 15mm, pois o diâmetro da pista interna do rolamento da motocicleta tem 15mm. Foi descartada a hipótese de se tornejar as pontas do eixo pois essa opção introduziria um custo maior no projeto, um ferramental mais diferenciado e, além disso, do ponto de vista estrutural estaria gerando um concentrador de tensão no eixo.

Dessa forma, a Fig. 34 ilustra o modelo de carregamento no eixo:

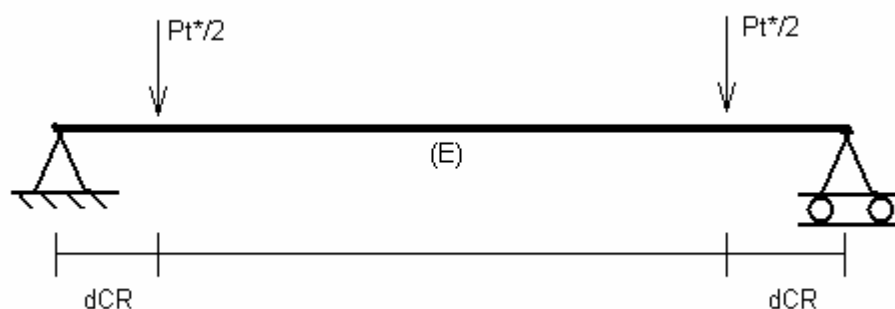


Figura 34: Modelo de carregamento no eixo.

Note que a carga seria transmitida ao eixo somente através dos coxins, distantes dCR das rodas. Para esse dimensionamento, mais uma vez foi utilizada a idéia de uma carga equivalente (dinâmica). Logo P_t^* representa a massa da carga máxima (P) somada ao limite de massa do próprio veículo (100kg) quando sujeita a uma aceleração (g^*) calculada anteriormente.

Logo:

$$P_t^* = 600 \cdot 12,5 = 7500 \text{ N}$$

Utilizando o modelo de carregamento descrito na Fig. 34, verificou-se que nem mesmo um eixo maciço de 15mm era capaz de suportar as tensões envolvidas. Sendo assim, para evitar processos de tornearia, resolveu-se fazer um eixo composto. O eixo seria feito de um tubo não necessariamente redondo e em cada extremidade seria acoplado o eixo da própria motocicleta. A idéia do arranjo seria tal como descrita no croqui da Fig. 35.

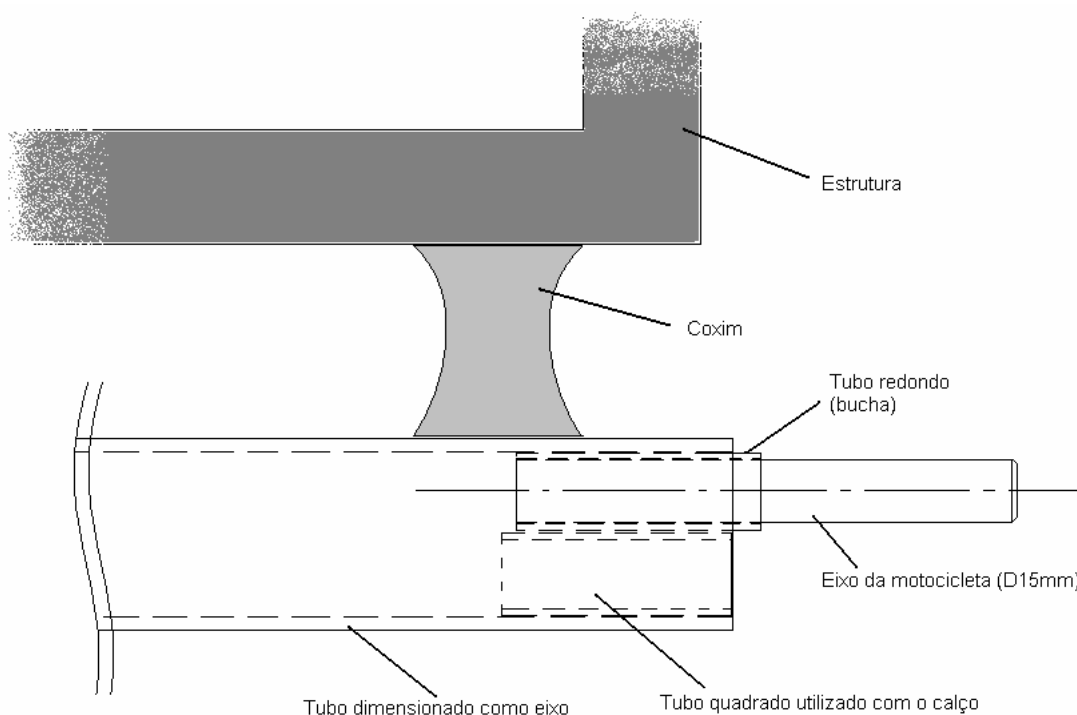


Figura 35: Croqui da montagem do eixo.

Para o modelo de carregamento proposto, devemos considerar [1]:

$$\delta_{\max} = \frac{F \cdot a \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2)}{24 \cdot E \cdot I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{F \cdot a \cdot h}{2 \cdot I}$$

$$\tau_{\max} = \frac{F \cdot Q}{I \cdot b}$$

Onde:

$$F = P_t^*/2$$

$$a = d_{CR}$$

Sendo assim, utilizando os mesmos critérios e propriedades utilizados para a determinação do tubo do chassi, chegou-se à conclusão que o tubo mais adequado seria o de seção retangular 50x30x3mm.

3.2.3 Rodas traseiras

Com relação às rodas traseiras, havia uma preocupação quanto à resistência a um carregamento axial que estaria atuando sobre as mesmas numa situação de curva. Entretanto, não foram necessários testes para concluir que as rodas suportariam. Em pesquisas de campo foram encontrados alguns modelos de carroça que utilizam rodas de motocicleta e, segundo os proprietários, esse componente nunca havia apresentado problemas.



Figura 36: Modelo de carroça com rodas de motocicleta.

Com relação à resistência radial das rodas e dos rolamentos, embora a capacidade de carga prevista para o veículo em desenvolvimento seja maior do que a carga suportada por uma motocicleta (estimada em 200kg), admitiu-se que esse não seria um problema, visto que a velocidade e os impactos envolvidos numa motocicleta são muito maiores do que aqueles enfrentados pelo veículo.

3.2.4 Rodízio

Os modelos de garfo giratórios existentes no mercado (como o ilustrado na Fig.37) apresentam preço na faixa de R\$150,00.



Figura 37: Rodízio comercial.

Visando minimizar o custo do projeto, optou-se por comprar uma roda pneumática (R3508 PCR – ilustrada na Fig. 38) e construir um rodízio.



Figura 38: Roda pneumática utilizada.

Inicialmente, pensou-se em utilizar como rodízio um batente de suspensão dianteira do veículo VW Gol G2, visto que sua aplicação automotiva exige esforços muito maiores e um elevado grau de confiabilidade. Entretanto, sua instalação e sua fixação na estrutura seriam dificultadas devido ao fato de apresentar pouca afinidade com a solda comum, pois o metal não apresentava boa soldabilidade e o componente apresenta muitas partes em borracha.



Figura 39: Batente da suspensão dianteira do VW Gol G2.

Sendo assim, buscou-se uma solução que envolvesse menor custo e facilidade de manufatura. A idéia foi utilizar um garfo de bicicleta, acentuar seu ângulo de inclinação e fazer um rotor utilizando dois rolamentos axiais, onde o pivô seria um parafuso de $\frac{3}{4}$ " de diâmetro. A Fig. 40 ilustra o croqui desse rotor.

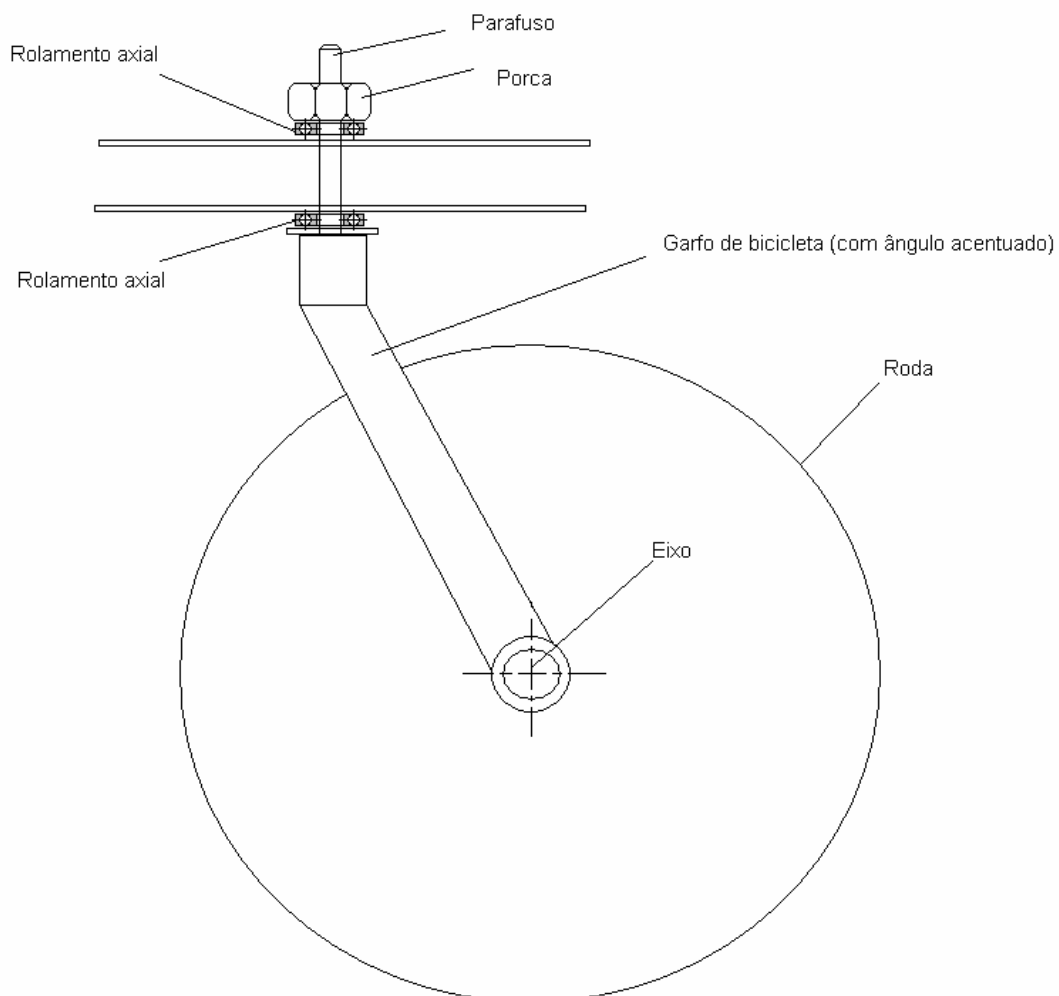


Figura 40: Croqui do rotor utilizando garfo de bicicleta.

Os rolamentos utilizados são BSA 51104, com capacidade de carga estática de 20,8kN e capacidade de carga dinâmica de 12,7kN. Para sua utilização, o parâmetro que deve ser avaliado é a capacidade de carga estática, visto que durante a operação o rolamento trabalhará com rotação desprezível. De qualquer forma, a solicitação que atuará sobre o componente será inferior aos limites de carga previstos em catálogo [7].

3.2. ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Para facilitar os cálculos, foi criada uma planilha contendo o posicionamento de cada componente do veículo em relação a uma referência absoluta. Nessa planilha, introduz-se as dimensões dos componentes, e automaticamente, através de relações físicas e geométricas que devem ser respeitadas, se tem como saída as coordenadas do centro de massa do veículo (com e sem carga), a massa do veículo e outros alertas indicativos relacionados a limites geométricos e espaciais. Para desenvolver tal planilha, uma das premissas é que o veículo é simétrico (simetria bilateral).

O modelo de veículo reproduzido nessa planilha está bastante próximo do projeto real. Apenas revestimentos e alguns acessórios não foram considerados, mas isso terá uma influência tão pequena em relação à estrutura do veículo que não invalidará os resultados obtidos.

A seguir será apresentada uma ilustração da planilha, que é dividida em subsistemas.

	Densidade Linear (kg/m)	Preço Linear (R\$/m)
Q 40x40x1.5	1.83	6.78
R 1 1/2"x2.65	7.70	8.00
Q 25x25x2	2.50	8.00
B 30x8	1.67	5.67
C 1 3/4"x1/8"	1.83	5.83
Rt 50x30x3	3.67	13.33

VERIFICAÇÃO				MAXIMOS		
X (mm)	Largura Total	(E++2*+2*dCR)	1470	1500		
Y (mm)	Compr. Total	(M1+H1)	3000	3000		
Z (mm)	Altura Total	(R1/2+he+TV1)	1590	1600		
(kgf)	Peso		589.4	100		

					XCG (mm)	YCG (mm)	ZCG (mm)	
					750	1071	979	
Componente	Perfil / dimensão (mm)	Comprimento (mm)	Massa (kg)	Xcg (mm)	Ycg (mm)	Zcg (mm)	Preço(R\$)	
habitáculo	hM (850-1050)	1000						
	M	R 1 1/2"x2.65	1200	9.2	750	3000	1000	9.6
	M1(720-900)	Q 40x40x1.5	900	1.7	150	2550	1000	6.1
	M2 (720-900)	Q 40x40x1.5	900	1.7	1350	2550	1000	6.1
	B1	Q 25x25x2	300	0.8	150	2206	1390	2.4
	B2	Q 25x25x2	300	0.8	1350	2206	1390	2.4
			14.0	750.0	2809.4	1041.7		
Chassi	HD	Q 40x40x1.5	1200	2.2	750	2100	390	8.1
	HCD	Q 40x40x1.5	1200	2.2	750	1915	390	8.1
	HCT	Q 40x40x1.5	1200	2.2	750	315	390	8.1
	HC	Q 40x40x1.5	1600	2.9	750	1115	390	10.9
	HT	Q 40x40x1.5	1200	2.2	750	0	390	8.1
	H1	Q 40x40x1.5	2100	3.9	150	1050	390	14.2
	H2	Q 40x40x1.5	2100	3.9	1350	1050	390	14.2
	L1	B 30x8	1700	2.83	150	1050	390	9.6
	L2	B 30x8	1700	2.83	1350	1050	390	9.6
			25.1	750	1069	390		
Gaiola	hBL	490	810					
	DV1	C 1 3/4"x1/8"	1300	2.4	150	2100	1040	7.6
	DV2	C 1 3/4"x1/8"	1300	2.4	1350	2100	1040	7.6
	MV1	Q 40x40x1.5	1300	2.4	150	680	1040	8.8
	MV2	Q 40x40x1.5	1300	2.4	1350	680	1040	8.8
	TV1	C 1 3/4"x1/8"	1200	2.2	150	0	990	7.0
	TV2	C 1 3/4"x1/8"	1200	2.2	1350	0	990	7.0
	HM1	Q 25x25x2	2100	5.3	150	1050	880	16.8
	HM2	Q 25x25x2	2100	5.3	1350	1050	880	16.8
	HMD	Q 25x25x2	1100	2.8	750	2100	490	8.8
	HMT	Q 25x25x2	1100	2.8	750	0	490	8.8
			29.9	750	1004	875		
Eixo	dCR	30						
	he	75						
	E	Rt 50x30x3	1170	4.3	750	315	315	15.6
Rodas	I	120						
	R1	d	630	7	60	315	315	20
	R2	d	630	7	1410	315	315	20
				14	735	315	315	
Rodízio	hr	35	Frente mais alta					
	Rc	d	381	2	750	2193	286	
Carga				500	750	1050	1040	

Figura 41: Imagem da interface da planilha de cálculo de massa, estabilidade e verificações geométricas.

Para fazer a análise de estabilidade do veículo, calculou-se as coordenadas do centro de massa para o veículo em duas condições: se carga e com carga máxima. Na condição de carga máxima foi assumido que a carga estaria distribuída de forma homogênea na carroceria (como os próprios carroceiros fazem), de tal forma que o centro de massa da carga estivesse posicionado no centro geométrico da gaiola.

Após o cálculo das coordenadas do centro de massa, procurou-se representar de forma analítica o posicionamento relativo do triângulo sobre o qual o veículo estaria apoiado (formado pelas duas rodas traseiras e pelo rodízio) e o posicionamento do centro de massa (CG). Calculou-se a distância do CG aos lados L1 / L2 (distâncias

iguais devido à simetria) e ao lado LT. Em seguida calculou-se a inclinação para que o ponto CG caísse fora do triângulo da base. Os resultados foram:

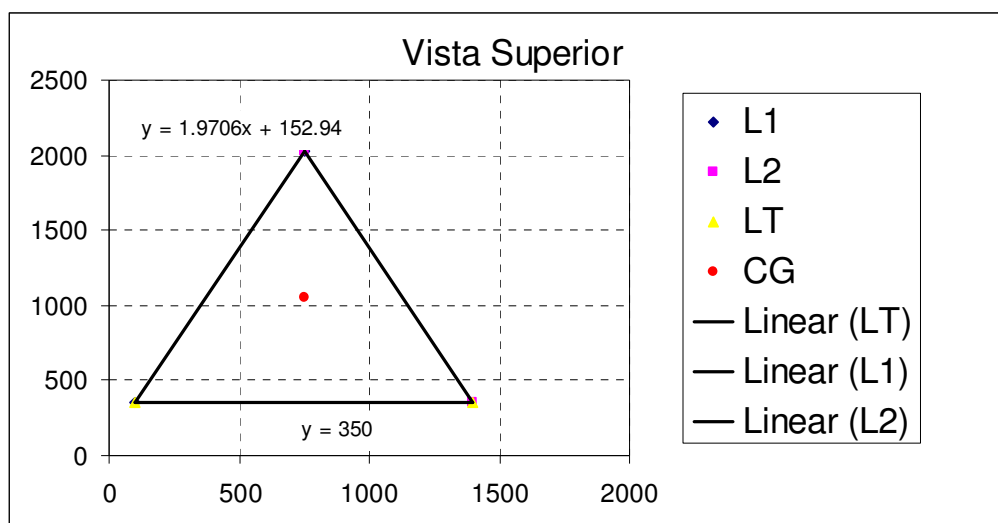


Figura 42: Diagrama auxiliar para cálculo de estabilidade, onde os vértices representam os apoios (rodas) do veículo e o ponto vermelho indica o centro de massa do conjunto.

Tabela 8: Inclinações limites do veículo.

	Sem Carga	Com Carga Máxima
Para o lado	21°	14°
Para trás	47°	34°

O caso crítico (limite inferior) de inclinação ocorre com o veículo carregado e quando a tendência ao tombamento é para o lado. Com base nesse valor foi feito um cálculo do desnível vertical que o veículo pode enfrentar sem que haja tombamento. Dadas as dimensões do veículo, chegou-se a conclusão que o máximo desnível lateral que ele pode suportar é 270mm, ou seja, o rodízio e uma roda traseira estarem apoiados num plano 270mm mais baixo do que o plano em que se apóia a outra roda traseira. Esse valor é aceitável, dado que as vias públicas não apresentam inclinação tão elevada (geralmente apresentam uma inclinação máxima de 15%, o que significa 8,5°) e os obstáculos que geralmente são encontrados no tráfego urbano, como guias de rua, lombadas, etc dificilmente atingem essa altura (270mm). Além disso, vale a pena lembrar que essas estimativas foram feitas considerando que o veículo se encontra posicionado na pior situação possível do ponto de vista de estabilidade, que é quando o lado (L1 / L2) do triângulo se encontra perpendicular à reta de maior inclinação do aclave (direção de máxima variação de altura).

4. PROJETO EXECUTIVO

A fase de construção do veículo teve início pelo chassi e pelo eixo traseiro. A montagem foi feita tal como representada nos respectivos desenhos (ver ANEXO II). Detalhes de construção do eixo podem ser obtidos no Desenho 001-01.



Figura 43: Construção do eixo traseiro.



Figura 44: Vista da ponta de eixo após a construção do eixo ser concluída.

Para se fazer os braços da suspensão (que ligam o eixo ao chassi) escolheu-se uma barra de seção retangular 30x8mm em aço carbono comum (mesmo material dos tubos da estrutura). Não houve necessidade de dimensionar estruturalmente tais barras, escolheu-se essa seção pelo fato de sua largura coincidir com a largura da aba do gonzo

e por oferecer rigidez adequada. Detalhes de construção do chassi podem ser obtidos no Desenho 001-02.



Figura 45: Detalhe da articulação do braço de fixação do eixo.

Após parafusar os coxins no chassi e soldar os braços da suspensão ao eixo e aos gonzos soldados ao chassi, o passo seguinte foi construir o rotor dianteiro. Dessa forma, a estrutura já conseguia se manter em posição de trabalho.



Figura 46: Vista da estrutura construída.

A figura abaixo (Fig. 47) ilustra que o coxim é parafusado ao chassi e apenas apoiado sobre o eixo (quando o veículo está em posição de operação). Na imagem representada o veículo estava suspenso pelo chassi. Observe que quando o veículo está

suspenso pelo chassi (como ilustrado na Fig. 47) a limitação de movimento vertical (para baixo) do eixo é feita pelos pinos que relacionam o eixo ao chassi (ilustrados em segundo plano na figura abaixo). Esses pinos também têm a função de transmitir carga lateral da carroceria para o eixo em situações em que o veículo percorre uma curva.



Figura 47: Detalhe da montagem do eixo (sem o fixador do espelho do freio) e sua relação com o coxim e com o chassi do veículo.

Nessa etapa do processo de construção as rodas traseiras ainda eram instaladas provisoriamente, sem o sistema de freio e rosqueando a porca até um limite que não danificasse o anel de segurança (feito em polímero). O garfo dianteiro havia sido construído baseado na proposta de solução que utilizava um garfo de bicicleta (ver Fig. 40). Entretanto, como será explicado mais adiante, esse tipo de configuração apresentou problemas estruturais e funcionais e precisou ser substituído.

A etapa seguinte do processo foi soldar as colunas (cantoneiras), definir os vãos e construir a estrutura dos quadros de fechamento articulados. A Fig. 48 ilustra o protótipo nessa etapa do processo.



Figura 48: Vista do protótipo com a estrutura dos quadros definida e os quadros articulados já soldados.

Os Desenhos 001-03 e 001-04 fornecem maiores detalhes de construção das estruturas utilizadas até a presente etapa.



Figura 49: Detalhe do trinco instalado nos quadros articulados (superiores).

A etapa seguinte foi fazer o fechamento dos quadros inferiores com tela de aço galvanizado e o fechamento dos quadros superiores com pedaços de vergalhão. Seria possível reduzir o peso final do protótipo em aproximadamente 10kgf caso fosse utilizada a tela de aço para fechar os quadros superiores. Essa alternativa não foi

adotada por motivo de custo, visto que se gastaria 3 vezes mais do que foi gasto em vergalhão e ainda seria necessário instalar cantoneiras na estrutura dos quadros articulados, o que elevaria ainda mais o custo. Por último foi construída a barra de tração do veículo, como ilustra a Fig. 50.



Figura 50: Protótipo semi-acabado.

As pessoas que aparecem na figura acima são o dono da serralheria onde o protótipo foi construído e um funcionário dele que se envolveu com o projeto. Nessa mesma ocasião em que a imagem foi registrada o garfo dianteiro já apresentou problemas, pois não resistiu à carga aplicada (o peso do serralheiro) e se rompeu na região onde havia sido feita a angulação. De fato, desde a fase de projeto já se havia a preocupação da peça apresentar problemas nessa região, dado que pela própria geometria apresenta um concentrador de tensão e o processo de fabricação utiliza bastante solda nessa região, o que acaba fragilizando o material.

Sendo assim, buscou-se uma nova configuração de garfo, que não apresentasse o problema existente na peça anterior, mas que ainda mantivesse a defasagem entre a linha de centro da roda e o eixo de rotação do rodízio, pois é essa característica que garante a tendência de auto-alinhamento do mesmo. A nova proposta foi fazer uma estrutura mais reforçada, ilustrada na Fig. 51 e apresentada em detalhes no Desenho 001-05.

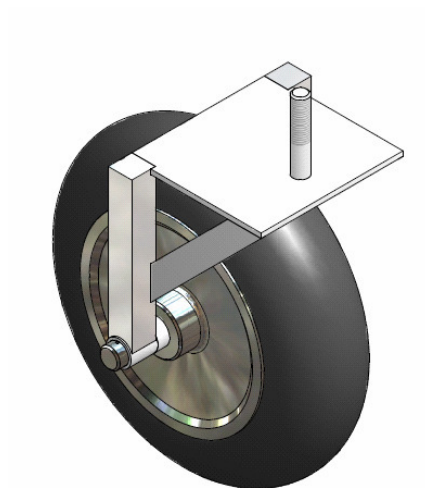


Figura 51: Nova proposta de rodízio.

A nova alternativa foi construída, instalada e não apresentou problemas. Testes mais elaborados e rigorosos seriam feitos em etapas posteriores.



Figura 52: Detalhe do chassi onde seria instalado o rodízio.



Figura 53: Imagem do garfo.



Figura 54: Vista superior do acoplamento do rodízio ao chassi (parte interna da carroceria).

Após instalado o rodízio, o veículo foi lixado, aplicou-se um produto neutralizador de ferrugem (*Ferrox*) e após removidos os pontos de ferrugem, foi aplicada uma demão de zarcão e uma farta demão de tinta à óleo (esmalte sintético – *Coral Hammerite*) sem diluição).

A próxima etapa consistiu na montagem das rodas traseiras já com o sistema de freio. Antes da montagem dos rolamentos no cubo da roda os componentes foram limpos, aplicou-se óleo lubrificante (*WD40*) e graxa de lítio (graxa branca) no cubo e nos alojamentos. As figuras a seguir ilustram a sequência de montagem.



Figura 55: Aplicação da graxa no alojamento do rolamento.



Figura 56: Colocação do rolamento 6302, que ficará no lado da roda voltado para a parte externa do veículo (ou o lado da relação da motocicleta).



Figura 57: Colocação da bucha espaçadora.



Figura 58: Colocação do rolamento 6202 (lado do espelho do freio).

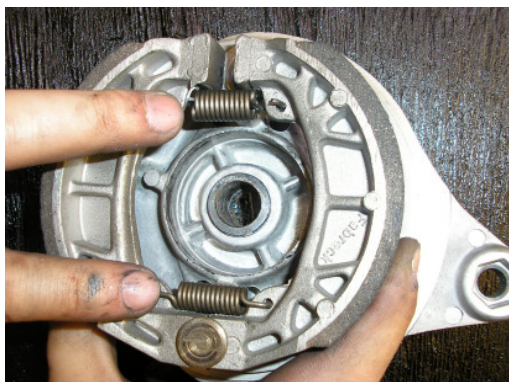


Figura 59: Montagem das lonas na posição indicada e das molas que as unem.



Figura 60: Colocação do eixo abre-patim na posição indicada.



Figura 61: Vista do conjunto de freio montado, com o espelho e a alavanca de acionamento (excêntrico).



Figura 62: Detalhe da porca do eixo com o anel de segurança.

Após seguir os passos ilustrados na sequência de figuras acima (Fig. 55 – Fig. 61), as rodas podem ser montadas no veículo de modo definitivo. Vale lembrar que a roda do lado direito do veículo (em vista traseira) terá o fixador do espelho de freio posicionado para baixo, enquanto a roda do lado esquerdo terá o fixador do espelho voltado para cima. Dessa forma, o excêntrico de ambos os lados podem ser posicionados para baixo, mantendo uma simetria no sistema de freio.

Após montadas as rodas foi montado o acionamento do sistema de freio, iniciando pela conexão do excêntrico à haste (vareta), conforme ilustra a Fig. 63.



Figura 63: Conexão do excêntrico com a haste (vareta).

Instalou-se o manicoto e o manete de freio na parte indicada da barra de tração (Fig. 64). Para que o manicoto tivesse um ajuste adequado, foi necessário aumentar levemente o diâmetro do suporte (originalmente $\frac{3}{4}$ "") com algumas voltas de fita isolante. Note que o manicoto esquerdo da motocicleta é instalado no lado direito do veículo e vice-versa.

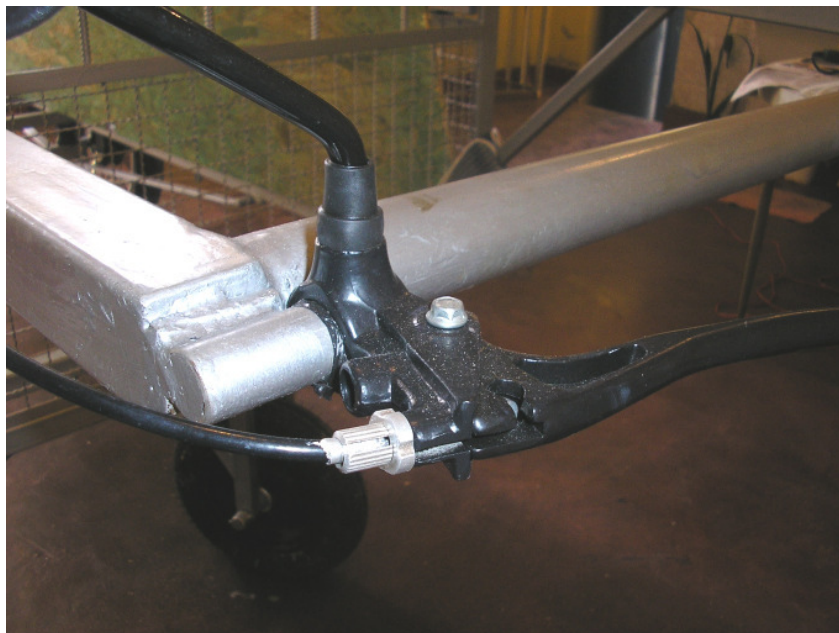


Figura 64: Manete de freio.

Foram utilizados cabos de aço e conduítes de bicicleta (2 segmentos de 2m cada). O cabo de aço acionado seguia a direção à parte inferior do chassi (tubo central – HC do modelo apresentado na Fig. 30). Após atravessar o passante instalado no tubo HC, o cabo de aço é preso a um puxador, que atuará sobre o outro segmento de cabo de aço (equalizador) que está ligado às hastes de freio (Fig. 65).



Figura 65: Detalhe do puxador do cabo de aço equalizador.

Uma extremidade do equalizador deve ser fixada à haste de freio esquerda (o cabo já apresenta um terminal que facilita essa conexão, dado que a haste tem um furo em sua extremidade). A outra ponta deve ser ligada a um esticador ($\phi 3/16''$) e este ligado à haste do freio direito (Fig. 66). A conexão entre o cabo equalizador e o esticador pode ser feita através de um terminal de freio de bicicleta.



Figura 66: Esticador do cabo de aço.



Figura 67: Vista superior da configuração do sistema de freio sob o chassi.

Essa configuração permite ajustes e regulagens rápidas do sistema de freio de modo bastante prático, podendo ser feita através da rosca existente na extremidade de cada vareta (onde se conecta o excêntrico), pelo esticador ou pelo próprio dispositivo de ajuste presente no manete de freio (regulagem fina).

Dado que o veículo possui 3 rodas, se fazia necessário um freio de estacionamento para que ele pudesse se manter imóvel (quando estacionado) em ladeiras. A idéia era que esse dispositivo atuasse como uma trava no sistema de freio já instalado. Dessa forma se aproveitaria os componentes já utilizados e se evitaria a instalação de novos sistemas, reduzindo a complexidade e o custo do projeto. A solução adotada para se fazer esse dispositivo foi utilizar uma cinta de velcro, que funcionaria como trava do manete (Fig. 69). A fita que apresenta aspecto mais macio foi colada (fita dupla-face de aplicação automotiva) na barra de tração e a fita de aspecto mais áspero funcionava como a parte móvel, ficando as asperezas posicionadas para o lado da barra para não causar incômodo ao operador (Fig. 68).



Figura 68: Detalhe das fitas de velcro.



Figura 69: Vista do manete com a trava de velcro atuando.

A etapa seguinte foi instalar os espelhos retrovisores. Note que o manicoto instalado no lado esquerdo do veículo foi serrado para que ficasse apenas com a rosca de encaixe do retrovisor (Fig. 70).

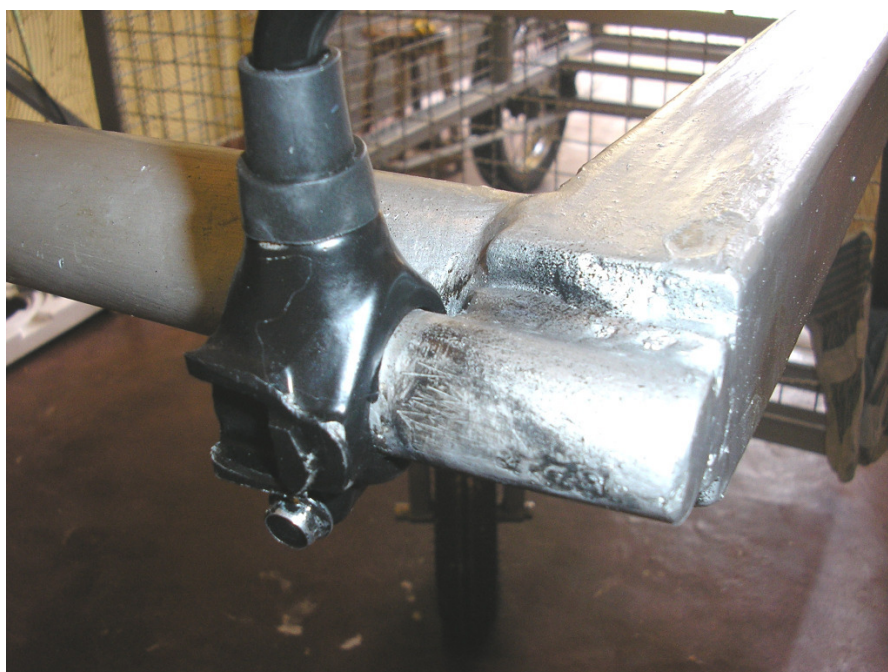


Figura 70: Detalhe do manicoto esquerdo do veículo.

Etapas seguintes foram cortar o assoalho da carroceria (madeirite OSB 12mm), colar os adesivos e elementos de sinalização, regular o freio e engraxar (com graxa branca) todos os sistemas do veículo que apresentassem movimento relativo e onde o atrito não fosse desejável, como o mancal do rodízio e os trincos.

Os pneus traseiros foram calibrados com 45 lbf/pol² (psi) e o dianteiro com 40 lbf/pol² (psi).

Após concluído o protótipo, o veículo foi levado à rua para ser testado e logo notou-se que alguns ruídos (sobretudo quando se trafegava sobre pavimento irregular) geravam um relativo incômodo ao condutor e às demais pessoas. Identificou-se que o ruído era originário da vibração dos quadros articulados, que colidiam contra os batentes. Logo, para solucionar o problema foram colados nos batentes (com fita dupla-face de aplicação automotiva) pedaços de um polímero, similar a uma espuma, usado para acomodar materiais durante o transporte, em casos de remessas, etc... Aplicando-se essa alternativa o problema foi solucionado.



Figura 71: Detalhe do batente do quadro superior esquerdo após a aplicação do polímero.

Assim, o protótipo já estava concluído e obteve o aspecto apresentado nas figuras seguintes.



Figura 72: Vista traseira do protótipo concluído.



Figura 73: Vista perspectiva do protótipo concluído.



Figura 74: Detalhe do compartimento de carga com o quadro superior rebaixado.



Figura 75: Perspectiva do modelo em CAD.

5. TESTES DO PROTÓTIPO

Foram verificadas algumas características básicas do protótipo concluído:

- Comprimento: 3,0m (dentro do limite previsto)
- Largura: 1,48m (dentro do limite previsto)
- Altura: 1,60m (dentro do limite previsto)
- Peso: 110kgf (excedeu em 10% o limite previsto)
- Custo final: R\$ 1100,00 (excedeu em aprox. 45% o orçamento previsto)

Fazendo-se um levantamento da distribuição do custo total do protótipo em algumas categorias, chega-se ao resultado ilustrado pela Fig. 76.

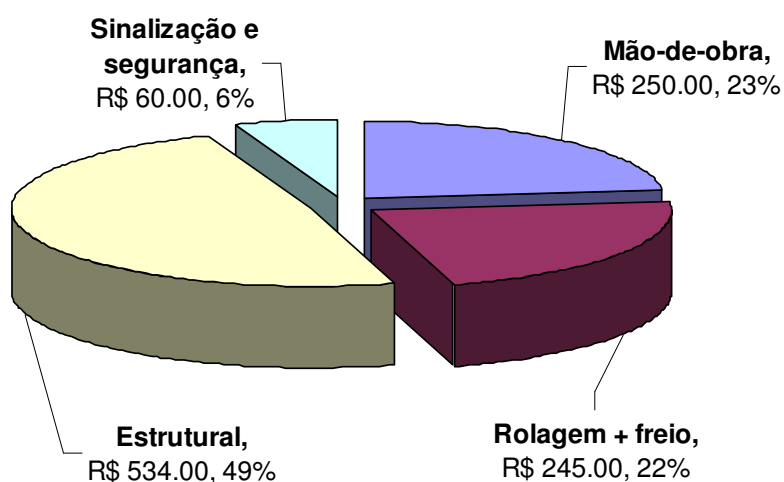


Figura 76: Distribuição de custo do protótipo em categorias.

Foram feitos alguns testes para avaliar o protótipo. Foram feitos testes de carga (resistência), de estabilidade, eficiência do sistema de freio, esforço de tração e avaliação por carroceiros.

5.1. TESTE DE CARGA (RESISTÊNCIA ESTRUTURAL)

O teste de resistência estrutural foi feito apoiando as rodas traseiras do veículo sobre um degrau de 20cm de altura. O veículo foi carregado com 400kgf (na forma de sacos de cimento) distribuídos homogeneamente sobre o assoalho e então o veículo era

empurrado do degrau. Tomou-se o cuidado de manter as rodas traseiras alinhadas com o limite do degrau para garantir que ambas as rodas tocassem o chão ao mesmo tempo.

Embora na condição de projeto fosse prevista uma carga máxima de 500kgf e uma queda da altura de 30cm, o teste não foi realizado com esses parâmetros devido a limitações de ordem prática e operacional com relação aos elementos que o compõem (carga e degrau). Entretanto, a condição de teste se aproxima bastante da condição crítica prevista em projeto e, portanto, o resultado pode ser considerado como válido, dado que o veículo não sofreu nenhum tipo de dano.

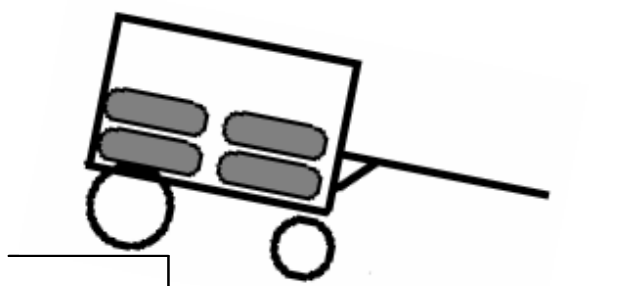


Figura 77: Teste de resistência estrutural.

5.2. TESTE DE ESTABILIDADE

O veículo foi conduzido a uma via pública de inclinação próxima a 15% (8,5°) e foi posicionado de modo a propiciar o tombamento lateral e traseiro, mas nenhum deles ocorreu. O mesmo teste foi repetido aplicando uma carga de 200kgf no centro do compartimento de carga (empilhou-se 4 sacos de cimento). Essa prática foi utilizada para simular uma carga cuja altura do centro de gravidade estivesse mais elevada (condição mais crítica para tombamento) mas o veículo se manteve estável também nessa situação.



Figura 78: Teste de estabilidade. Situação de tombamento traseiro (esq.) e lateral (dir.).

5.3. TESTE DE EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE FREIO

Na mesma via onde foi executado o teste de estabilidade, manteve-se o veículo em posição de aclave e de declive, acionou-se o freio de estacionamento (cinta de velcro) ao máximo e o veículo foi carregado com 400kgf (distribuídos homogeneamente). Tanto na posição de aclave como na de declive o veículo se manteve parado.

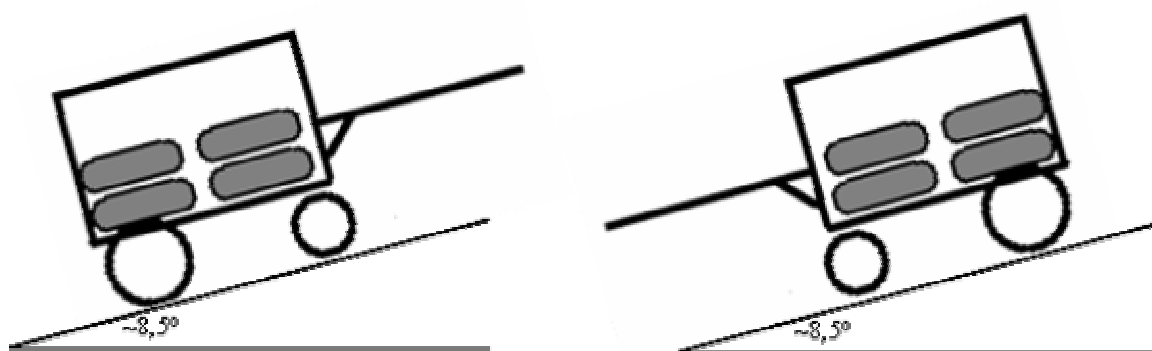


Figura 79: Teste do sistema de freio em situação de aclave (esq.) e declive (dir.).

5.4. TESTE DE ESFORÇO DE TRAÇÃO

Para avaliar o esforço necessário para prover movimento ao veículo, o protótipo foi levado (sem carga em seu compartimento) a um local de pavimento liso e horizontal. Posicionou-se um dinamômetro (balança de banheiro) entre a mão do operador e a barra de tração. Assim, buscou-se medir a força aplicada pelo operador à barra até que o veículo entrasse em movimento. O teste foi repetido cinco vezes, sempre tentando simular uma condição normal de partida com o veículo (sem grandes impactos) e chegou-se a um valor médio de 15kgf.

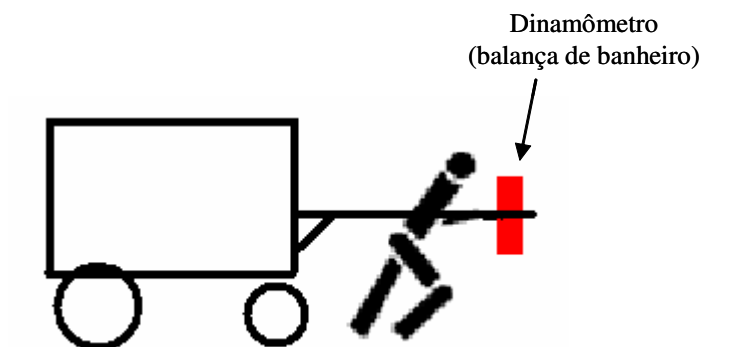


Figura 80: Teste de esforço de tração.

5.5. AVALIAÇÃO FEITA POR CARROCEIROS

O protótipo foi submetido à avaliação de alguns carroceiros e foi consenso entre eles de que o peso do veículo precisava ser reduzido.

Na figura abaixo, Sr. João, um experiente carroceiro de 62 anos que trabalha todos os dias de Santo Amaro a Moema coletando materiais recicláveis, testa o veículo.



Figura 81: Carroceiro testando o veículo.

Segundo os carroceiros, o veículo estaria mais “pesado” não necessariamente por causa de seu peso, mas pelo fato de possuir 3 rodas.

Investigando qual o princípio físico que poderia estar por trás dos comentários feitos de modo informal e sem rigor técnico pelos carroceiros, chegou-se às seguintes conclusões:

- O fato de se introduzir mais uma roda acarretou numa resistência à rolagem adicional, o que já era previsto.
- O modo de interação do carroceiro com o veículo muda bastante se o veículo possui 2 ou 3 rodas. Pelo fato de já estarem habituados a lidar com carroças convencionais, notou-se uma grande resistência em relação ao veículo de 3 rodas. Além disso, identificou-se que num veículo de 2 rodas existe um aproveitamento melhor do esforço aplicado pelo condutor, pois no veículo de 3 rodas pode haver alguma componente vertical no esforço, de tal forma que o condutor não perceba e essa parcela não estaria realizando trabalho.

Alguns carroceiros chegaram a sugerir de trazer o eixo traseiro mais para frente do veículo, instalar batentes na região traseira e manter os freios (Fig. 82). Dessa forma, o veículo se assemelharia a uma carroça convencional de 2 rodas, sendo que a roda dianteira poderia ser substituída por uma roda menor, visto que serviria apenas como apoio em casos de estacionamento e não estaria em contato com o solo enquanto o veículo trafega.

Foi sugerido reduzir as dimensões (largura e comprimento – indicado pela linha pontilhada vermelha da Fig. 82) do veículo e aumentar o espaço para o condutor (aumentar o comprimento das barras laterais de apoio da barra de tração – linha pontilhada preta), pois em algumas situações o calcanhar do condutor colidia contra a roda dianteira (Fig. 82).

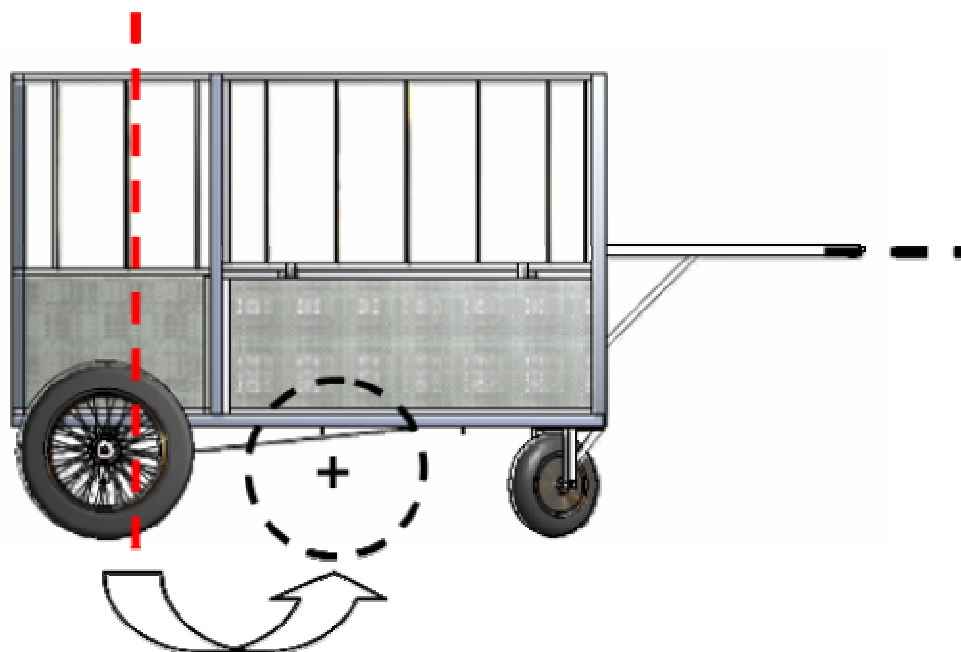


Figura 82: Algumas sugestões de alterações dadas por carroceiros.

Alguns aspectos positivos identificados foram o freio, os espelhos, a sinalização e o espaço, praticidade e segurança do compartimento de carga.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os testes e avaliações, é necessária uma redução de peso do veículo e seria desejável uma leve redução em suas dimensões. Para acompanhar tais alterações, talvez fosse necessária uma redução na capacidade de carga do veículo. Todas essas modificações apontam para uma redução no custo de fabricação do protótipo, uma vez que a quantidade de material estrutural utilizado seria menor e, de acordo com a Fig. 76, essa parcela representa metade do custo total do protótipo, o que significa um grande potencial de redução de custo. Isso seria bastante desejável, visto que a redução do custo também é outra necessidade do projeto. Estima-se que alterando alguns limites do projeto, exista um potencial de redução de peso de 40 a 50%. Ainda como alternativa complementar para redução de peso e de custo, surgiu a idéia de se substituir os vergalhões que fazem o fechamento dos quadros superiores da carroceria por taquaras de bambu.

Seria desejável aumentar a distância entre a barra de tração e o início da carroceria para garantir mais conforto ao condutor.

Alguns carroceiros sugeriram alterações mais radicais no veículo, como instalar batentes na parte traseira, posicionar o eixo traseiro na região central da carroceria e diminuir o diâmetro da roda dianteira – que funcionaria apenas como apoio. Todas essas modificações fariam com que o veículo ganhasse um aspecto funcional de uma carroça convencional de 2 rodas, mantendo contudo alguns diferenciais como o sistema de freio e a estrutura do compartimento de carga.

Com relação à segurança e facilidade de operação, o protótipo foi considerado adequado e não há modificações a serem feitas. O sistema de freio funcionou de modo adequado e eficaz e o veículo se mostrou estável, resistente e robusto. Os dispositivos de segurança, como espelhos retrovisores e adesivos reflexivos, agregaram valor ao produto e representaram uma parcela modesta no custo total do protótipo.

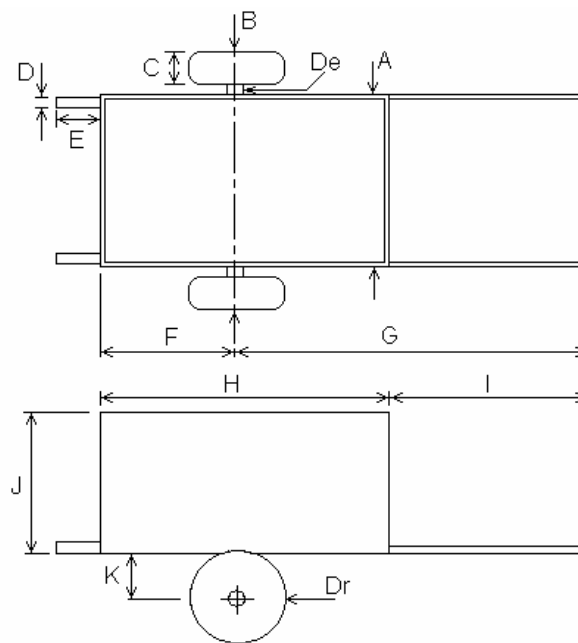
Após concluído o protótipo, surgiu a idéia de uma aplicação para o veículo um pouco diferente da proposta inicialmente. Em vez de ser destinado a coleta nas vias públicas, poderia ser destinado a coleta de materiais em condomínios. Com essa aplicação é aberta uma nova perspectiva de comercialização do produto, o que pode ser explorado em futuras fases do projeto.

A metodologia utilizada para estruturar o projeto se mostrou bastante eficaz, visto que as atividades seguiram uma seqüência lógica e fundamentada, o que possibilitou a execução de todas etapas previstas de maneira organizada e sem grandes atrasos no cronograma.

Embora o protótipo tenha excedido em 45% o custo previsto e em 10% o peso previsto, os demais parâmetros se mantiveram dentro dos limites previstos em projeto. Como primeira tentativa de aplicação de um conceito, o protótipo cumpriu seu papel, pois apontou algumas falhas e pontos críticos que não haviam sido identificados na fase de projeto. É necessária uma etapa de otimização do projeto. Após uma fase de captação de recursos é possível reestruturar o projeto de modo a contemplar as alterações sugeridas e assim iniciar uma replicação do protótipo.







ANEXO I – Relação de Parâmetros Geométricos Praticados nas Soluções Atuais

Carroça	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)	I (mm)	J (mm)	K (mm)	De (mm)	Dr (mm)	Altura Total (mm)	Comprimento (mm)	Altura acima do eixo sobre largura total $[(K+J)/B]$	Junção Chassi-Eixo	Junção Manopla-Braço
#1	1120	1460	170	D35x5	200	800	1030	1600	825	670	280	70	560	2705	2425	0.65	U	Solda
#2	1070	1400	170	50	300	920	1700	1770	700	820	350	80	580	2760	2470	0.84	U	Parafuso
#3	1000	1000	180	100	300	1000	2080	1900	1020	1020	400	75	540	3190	2920	1.42	V	Solda
#4	950	1200	140	--	300	700	1400	1340	1040	630	240	40	570	2665	2380	0.73	U	Parafuso
#5	1070	1500	180	70	200	1000	1700	1900	790	810	200	50	570	2975	2690	0.67	U	Parafuso
#6	1100	1500	170	60	250	900	1800	1950	900	700	280	50	560	3130	2850	0.65	U	Parafuso
Mínimo	950	1000	140	50	200	700	1030	1340	700	630	200	40	540	2665	2380	0.65	--	--
Média	1052	1343	168	70	258	887	1618	1743	879	775	292	61	563	2904	2623	0.83	--	--
Máximo	1120	1500	180	100	300	1000	2080	1950	1040	1020	400	80	580	3190	2920	1.42	--	--
Protótipo	1100	1500	100	N/A	N/A	N/A	N/A	2100	900	1240	80	15*	630	1600	3000	0.88		









#	IMAGENS			COMENTÁRIOS
#1				Carroça de estrutura tubular, apresenta uma espécie de gaiola, revestida com papelão.
#2				Carroça com estrutura de madeira e caçamba forrada com folha de zinco. Na segunda foto observa-se o tipo de recurso utilizado para o prego resistir melhor a garantir maior fixação. Na terceira foto, detalhe da junção entre um perfil em metal e um braço de madeira.
#3				Essa carroça apresenta um grande inconveniente. Sua altura total é exagerada, a altura do início de sua caçamba também é elevada (distante do eixo) e por fim, seu eixo é muito curto. O resultado é que ela já sofreu 3 tombamentos em ruas.

#4				Carroça comum, porém bem reforçada, com adesivo refletivo na traseira.
#5				Carroça bem estruturada, feita em madeira e forrada com folha de zinco. Um detalhe funcional importante é o porta-ferramenta representado na terceira foto.
#6				Carroça interessante e criativa, com estrutura de madeira e forro lateral feito com telhas de metal.

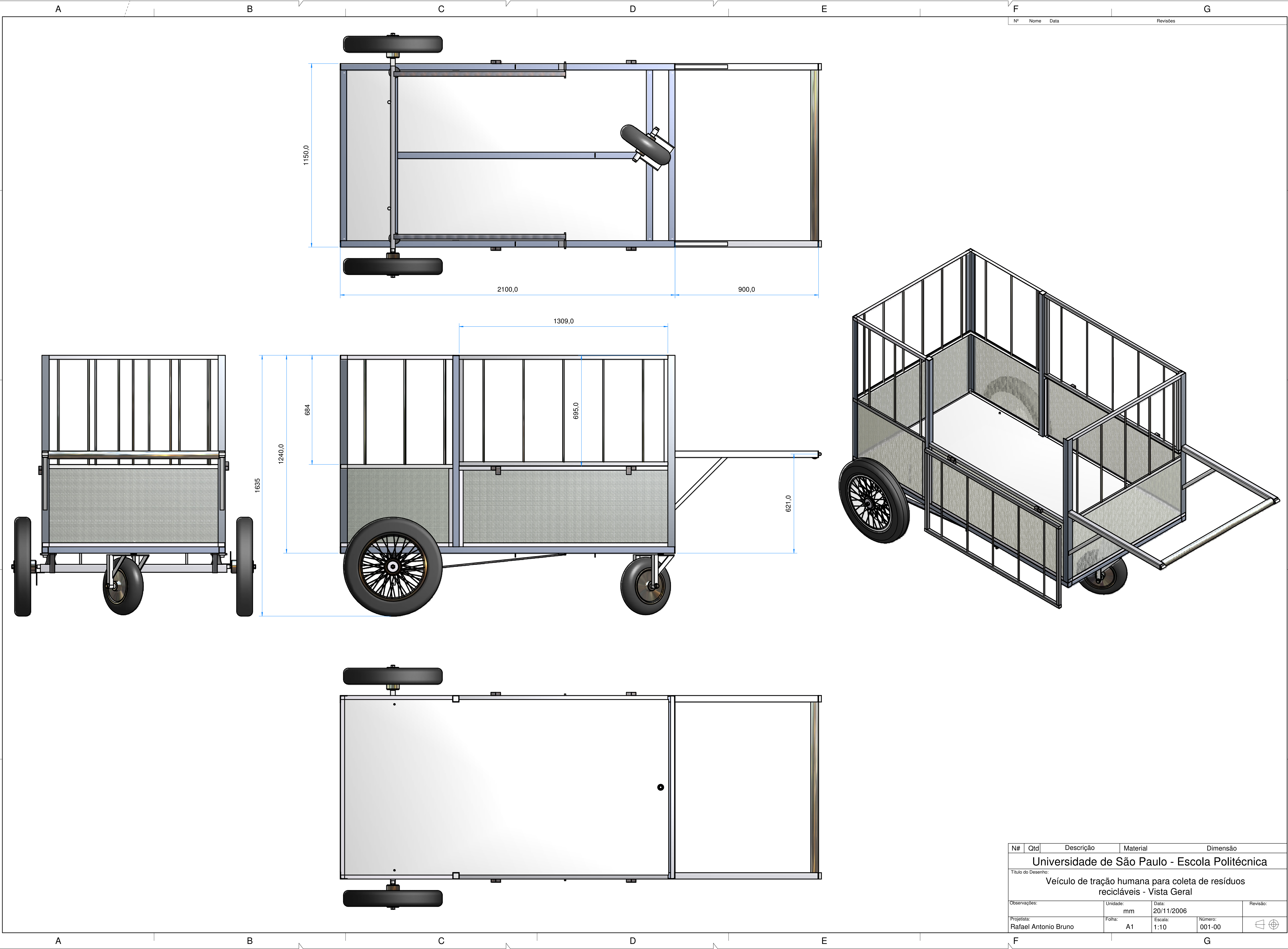
#7				<p>Carroça bem aceita pelos catadores. A quarta foto apresenta um detalhe funcional importante. É indesejável que as paredes laterais sejam inteiriças até a extremidade superior. É importante projetar a estrutura de forma que possibilite a amarração de cordas, que podem auxiliar na acomodação da carga. A terceira foto mostra a adaptação de um sistema eixo, cubo e roda de automóvel.</p>
				
#8				<p>Exemplo de uma carroça construída totalmente em metal, com gaiola pré-fabricada.</p>

#9				Carroça que apresenta um reforço para o braço e um prolongamento da caçamba, sem que atrapalhe o movimento do carroceiro durante o trabalho.
#10				Carroça decorada, com altura do compartimento de carga relativamente baixa. A terceira foto mostra uma maneira simples de se fixar a tampa traseira com pinos.
#11				Carroça com rodas de motocicleta e estrutura de aço. Embora apresente limitações de espaço e carga, é a carroça mais leve encontrada, com cerca de 60kg. Pertence a uma mulher.

#12				Durante uma entrevista com carroceiros na Coopamare, foi possível entender como uma carroça pode comportar tanto material e tanto peso. Embora o volume seja grande, nesse caso a carga pesava cerca de 500kg, pois o material era basicamente papelão.
#13				Modelo de carroça com rodas de carrinho-de-mão. Apresenta estrutura de madeira e altura inadequada para o condutor, visto que na posição de trabalho o braço da carroça deve ficar na altura da cintura do condutor. Em parte isso se deve às rodas pequenas.
#14				A carroça mais antiga existente na Coopamare. Usada somente em exposições, pesa cerca de 130kg, apresenta rodas maciças e não dispõe de rolamentos. Suspensão com feixe de molas, talvez para compensar a rigidez excessiva das rodas.

#15			<p>Veículo encontrado no pátio de uma indústria, destinado a carregar materiais pesados. Apresenta 3 rodas, sendo duas de trator e um rodízio pequeno e rígido.</p>
#16			<p>Modelo de carroça construído com a carcaça da geladeira. Fácil fabricação, porém não apresenta grande resistência e nem comporta uma quantidade muito grande de materiais.</p>

ANEXO II – Desenhos



N#	Qtd	Descrição	Material	Dimensão
Universidade de São Paulo - Escola Politécnica				
Título do Desenho:				
Veículo de tração humana para coleta de resíduos recicláveis - Vista Geral				
Observações:		Unidade:	Data:	Revisão:
		mm	20/11/2006	
Projeta:		Folha:	Escala:	Número:
Rafael Antonio Bruno		A1	1:10	001-00

A

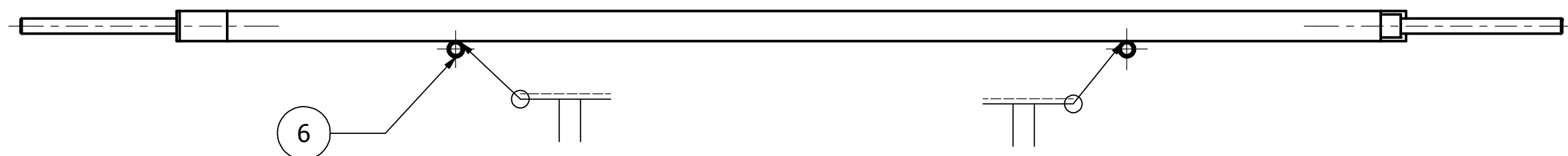
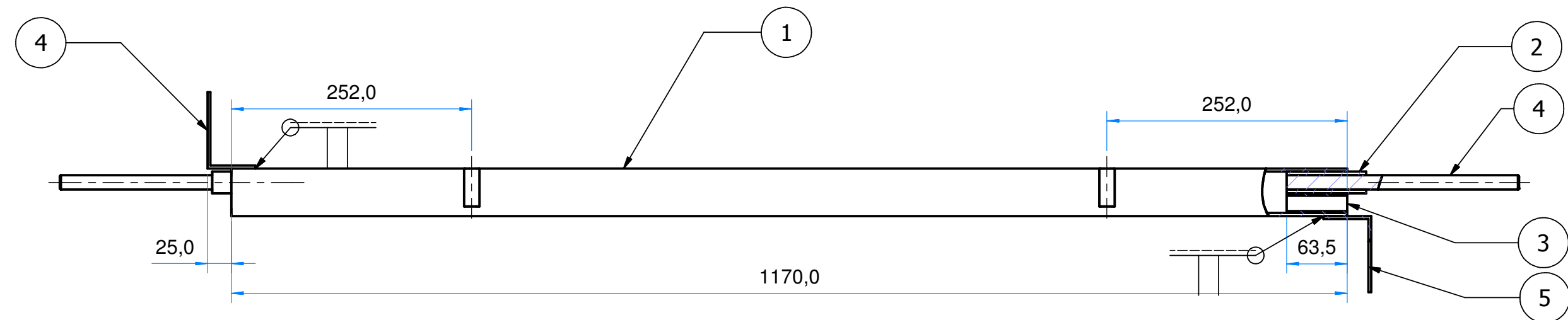
B

C

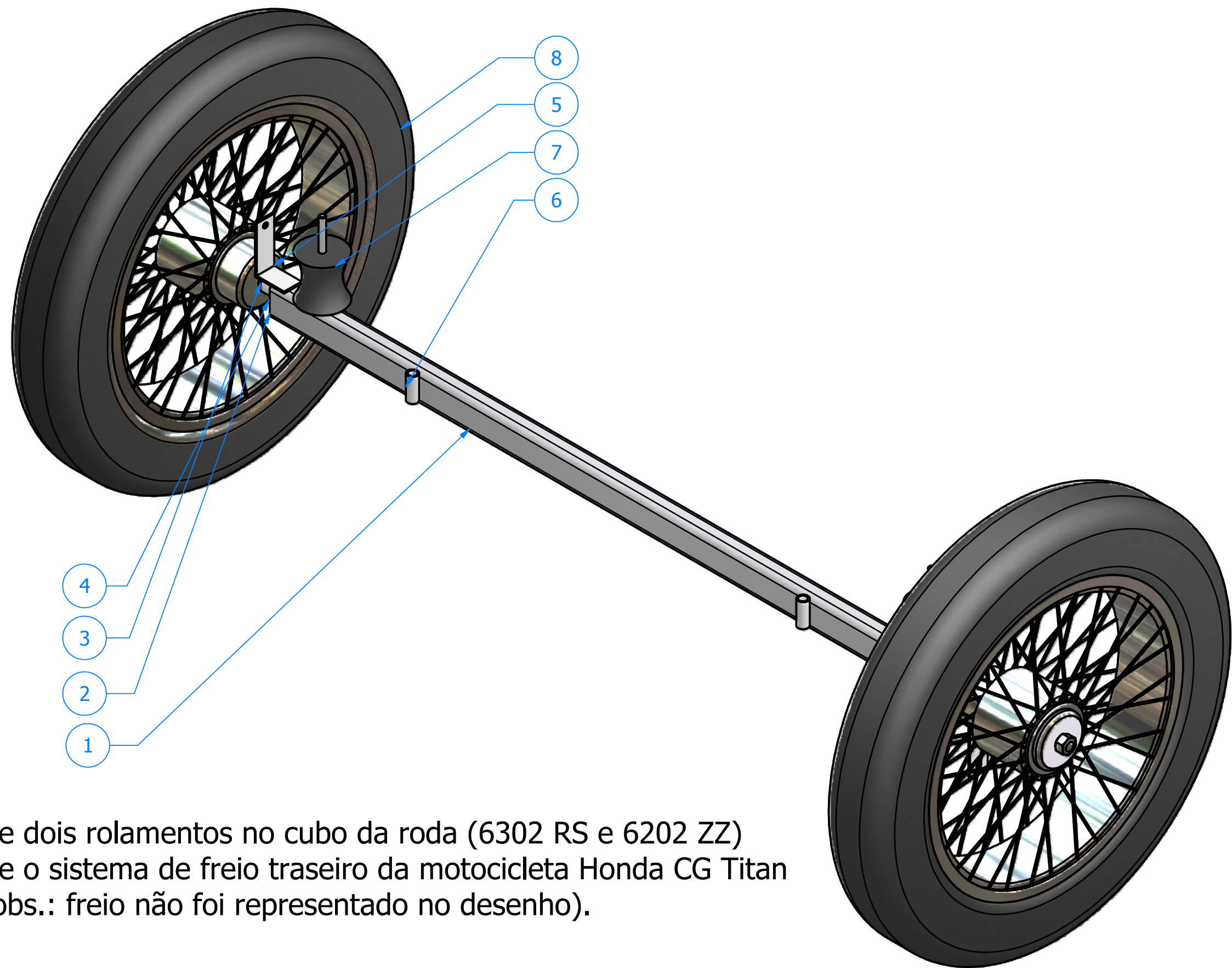
D

E

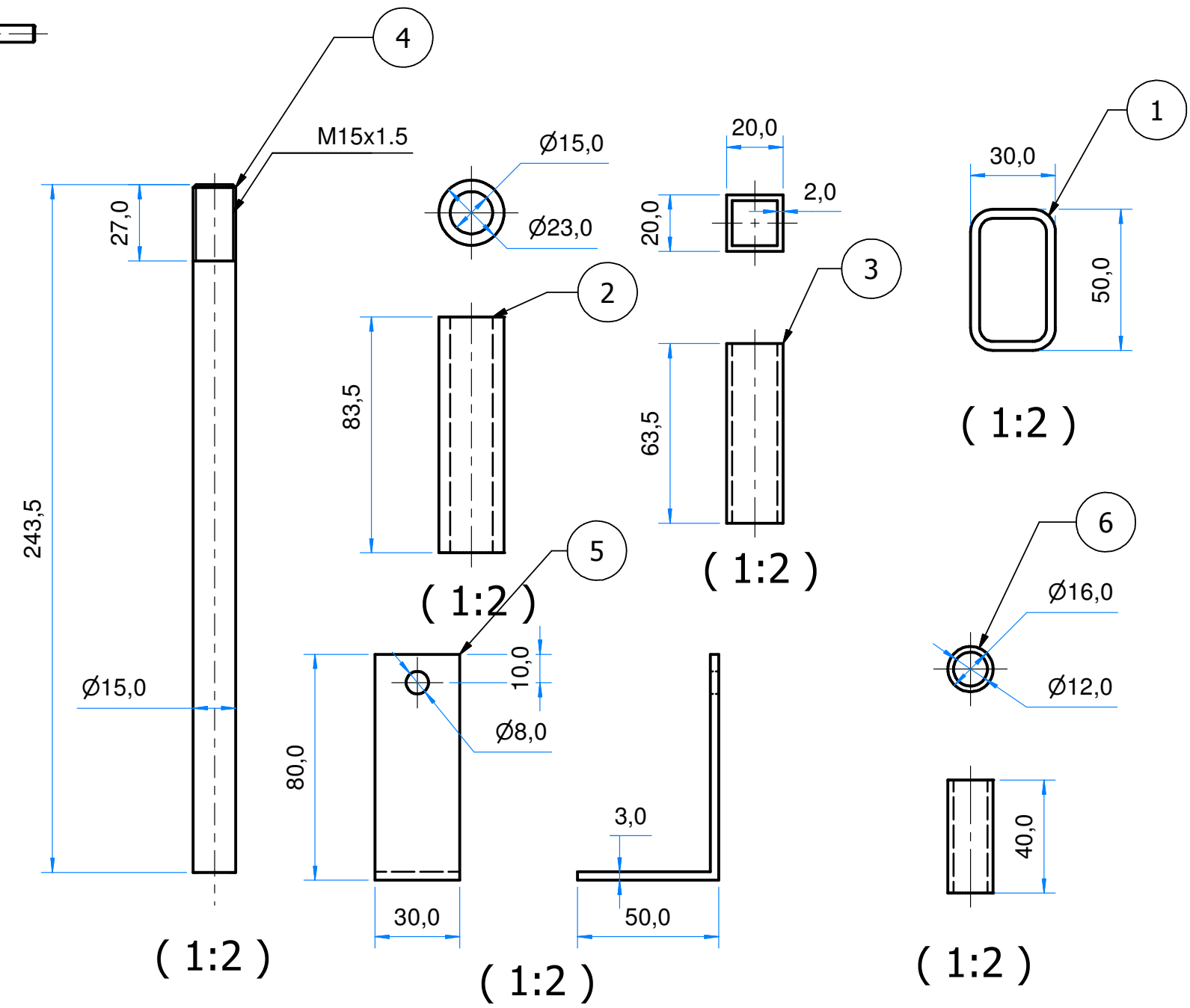
Nº	Nome	Data	Revisões
----	------	------	----------



(1:5)



Detalhamento das Peças:

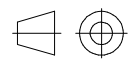


8	2	Roda e Pneu	Conjunto Traseiro da Motocicleta - Honda CG (18")	
7	2	Coxim #3	Polímero -Ø70 x 70 c/ rosca 1/2"	
6	2	Guia do Pino	NBR 8621 - Tubo Redondo Ø5/8"x1.5 x 40	
5	2	Fixador Espelho do freio	Aço Carbono - Chapa 130 x 30 x3	
4	2	Ponta de Eixo	ABNT 1045 - Eixo traseiro da Honda CG - Ø15x230	
3	2	Bucha Quadrada	NBR 8621 - Tubo Quadrado 20 x 20 x 2 - 63.5	
2	2	Bucha	NBR 8621 - Tubo Redondo Ø3/4" x 83.5 x 1.9	
1	1	Corpo de Eixo	NBR 8621 - Tubo Retangular 50 x 30 x 3 - 1170	
N#	Qtd	Descrição	Material	Dimensão

Universidade de São Paulo - Escola Politécnica

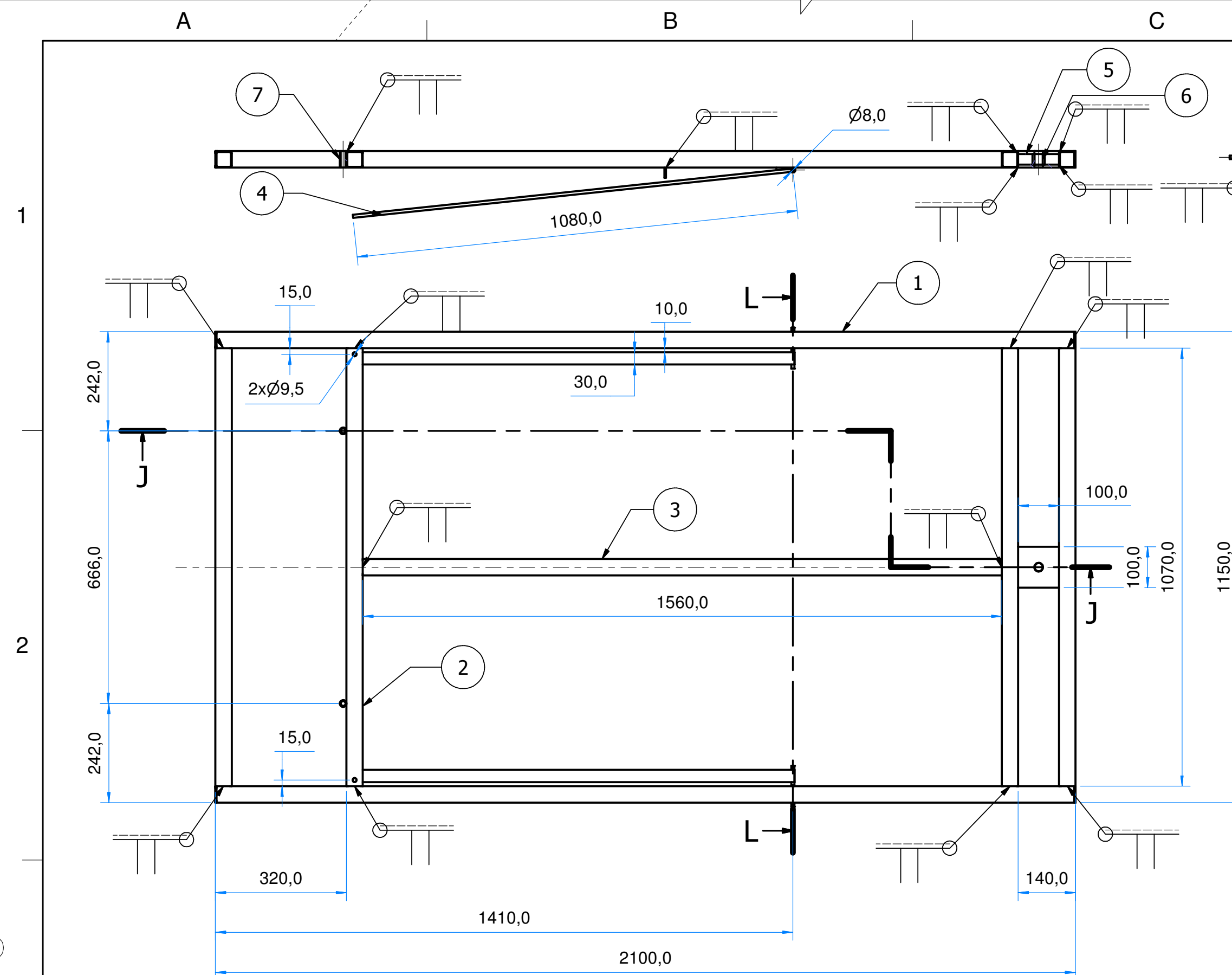
Título do Desenho:
Veículo de Tração Humana para Coleta de Resíduos
Recicláveis-Eixo Traseiro

Observações:	Unidade: mm	Data: 20/11/2006	Revisão:
Projeta:	Folha: A2	Escala: 1:5 (1:2)	Número: 001-01

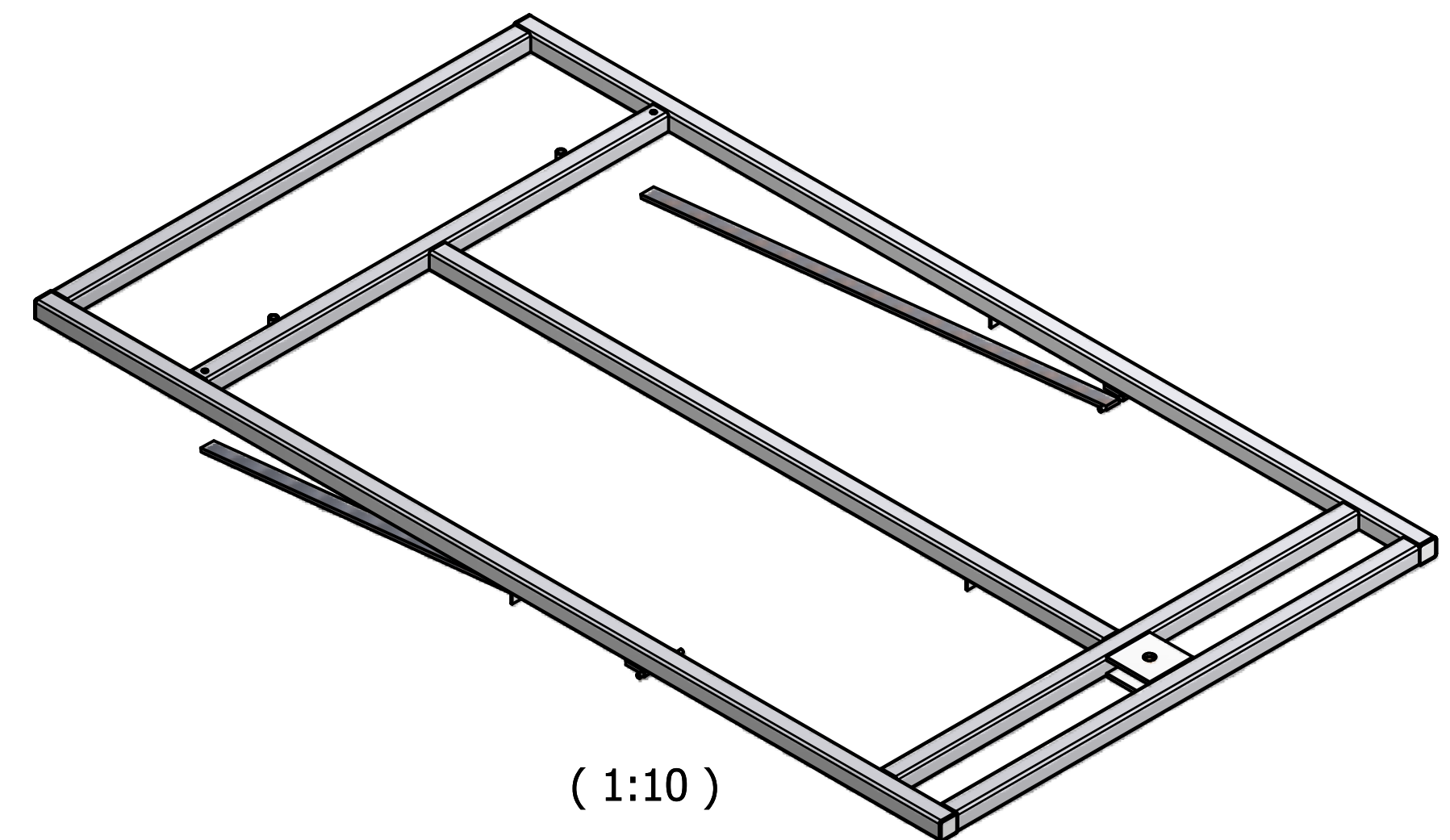
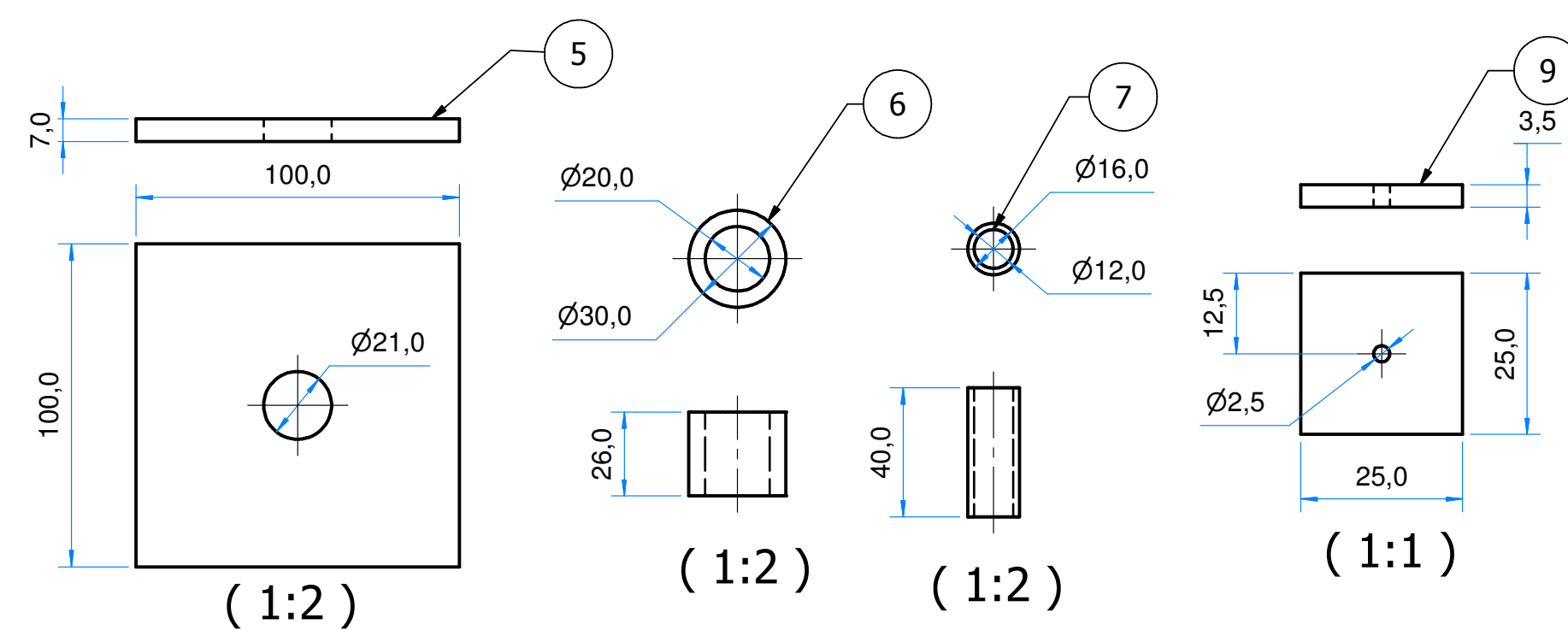
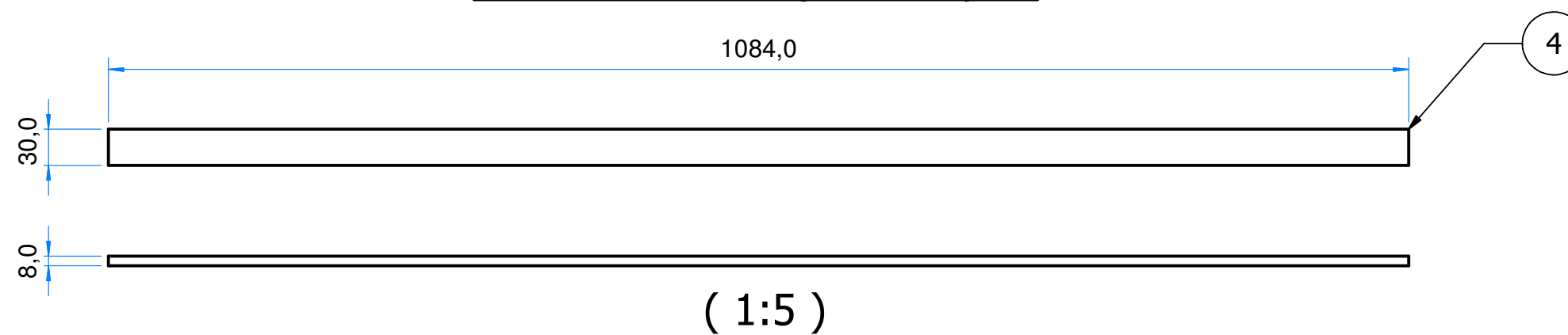


Notas:

- Utiliza-se dois rolamentos no cubo da roda (6302 RS e 6202 ZZ)
- Utiliza-se o sistema de freio traseiro da motocicleta Honda CG Titan 125 cc (obs.: freio não foi representado no desenho).



Detalhamento das Peças do Conjunto



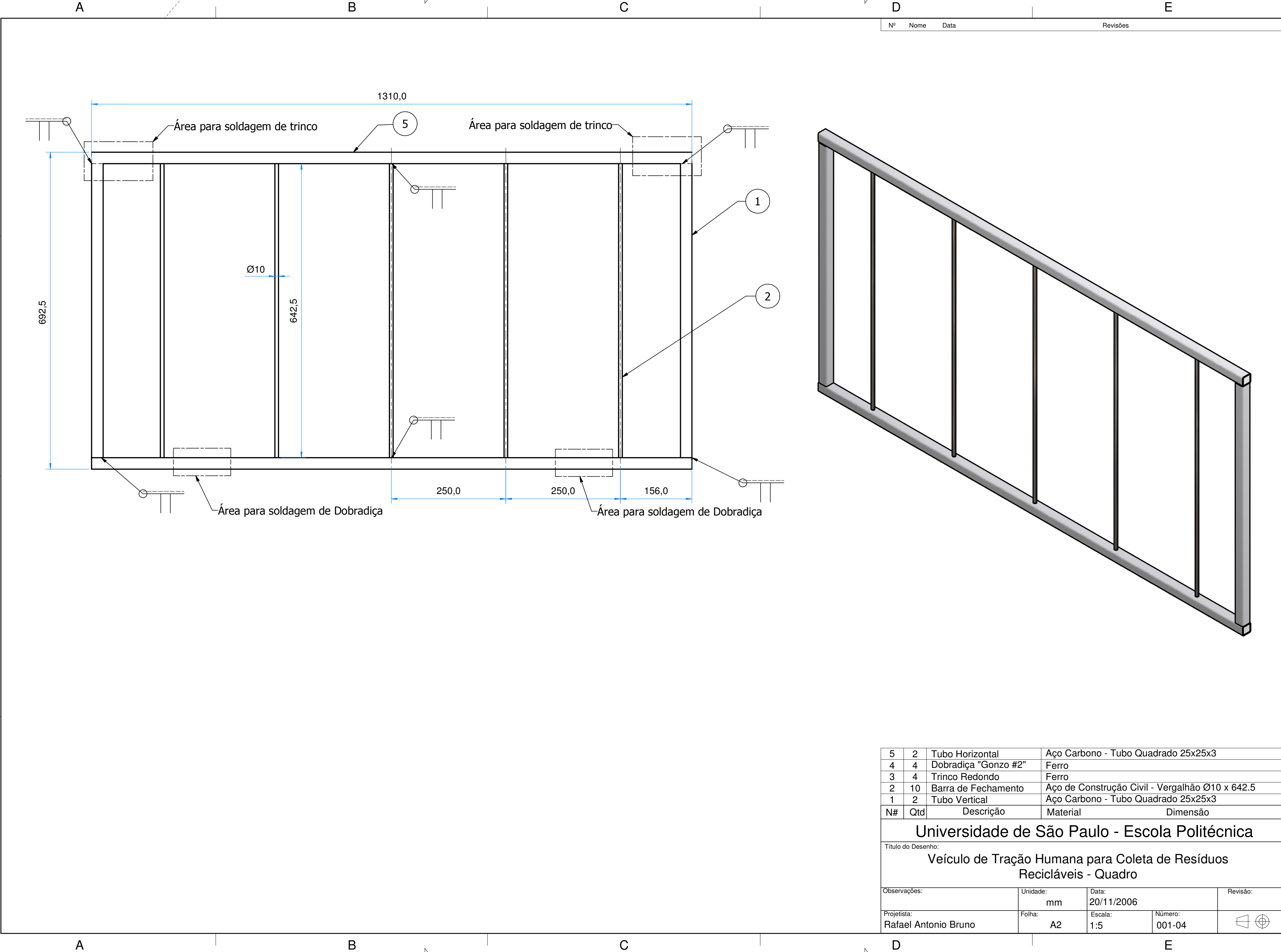
9	3	Suporte p/ Cabo de Aço	Aço Carbono - Chapa de 3.5mm - 25x25	
8	2	Dobradiça "Gonzo #3"	Ferro - 2 1/2"	
7	2	Guia de Pino	NBR 8621 - Tubo Redondo Ø5/8" x 1.5 - 40	
6	1	Bucha do Garfo	NBR 8261 - Ø1 3/8" x 10 x 26	
5	2	Chapa de fix. do Garfo	Aço Carbono - 100x100x7	
4	2	Braço Eixo/Chassi	Aço Carbono - Barra Chata 30x8 - 1084mm	
3	1	Tubo Central	NBR 8261 - Tubo Quadrado 40x40x2 - 1560mm	
2	4	Tubos Transversais	NBR 8261 - Tubo quadrado 40x40x2 - 1070mm	
1	2	Tubos Laterais	NBR 8261 - Tubo Quadrado 40x40x2 - 2100mm	
N#	Qtd	Descrição	Material	Dimensão

Universidade de São Paulo - Escola Politécnica

Título do Desenho:

Veículo de Tração Humana para Coleta de Resíduos
Recicláveis - Chassi

Observações:	Unidade: mm	Data: 20/11/2006	Revisão:
Projetista: Rafael Antonio Bruno	Folha: A2	Escala: 1:10 (1:5) (1:2)	Número: 001-02



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GERE, J.M. **Mecânica dos Materiais**, São Paulo: Ed.Thomson, 2003.
- [2] **Projeto de Máquinas – pro-tec**, São Paulo: Editora F. Provenza. 71ª ed., 1996.
- [3] ZIGLIO, L. **O Mercado da Reciclagem de Papel no Município de São Paulo**, Trabalho de Graduação. Universidade de São Paulo, 2001 apud Scripta Nova – Revista Electrónica de Gerografía y Ciencias Sociales, Universidad de Barcelona, V. VI, agosto de 2002. [11]
- [4] **Diário da Cooperativa – Plano de negócio desenvolvido pelo Projeto Incubadora de Cooperativas Populares**, em parceria com o CECAE/USP com apoio da prefeitura de São Paulo. São Paulo, 2004.
- [5] MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis – Os requisitos ambientais dos produtos industriais**, São Paulo: Edusp, 2005.
- [6] GILLESPIE T.D.; **Fundamentals of Vehicle Dynamics**; Society of Automotive Engineers, Inc.; 495p.
- [7] **Catálogo de Rolamentos FAG**. Catálogo WL 41 520/3 PB. Rolamentos FAG Ltda, São Paulo, 1999.
- [8] Rodrigues, Luciana. **A Globalização no Lixo**. Artigo veiculado pelo jornal “O Globo” em 13 de novembro de 2005.
- Disponível em:
<<http://ces.fgvsp.br/index.cfm?fuseaction=noticia&IDnoticia=35653&IDidioma=1>>
Acessado em 19 de abril de 2006.

[9] Página eletrônica da “**Associação Brasileira do Alumínio – ABAL**”.

Disponível em:

<<http://www.abal.org.br/reciclagem/introducao.asp>>

Acessado em 19 de abril de 2006.

[10] Página eletrônica da instituição “**USP Recicla**”.

Disponível em:

<<http://www.cecae.usp.br/recicla/seulixo/oseulixo.html>>

Acessado em 19 de abril de 2006.

[11] **Scripta Nova – Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, Universidad de Barcelona, V. VI, agosto de 2002.

Disponível em:

<<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn119-33.htm>>

Acessado em 19 de abril de 2006.

[12] **Boletim Meio Ambiente No. 33**. IETEC – Instituto de Educação Tecnológica. Fevereiro de 2006.

Disponível em:

<http://www.ietec.com.br/ietec/cursos/area_meio_ambiente/2006/02/15/2006_02_15_0001.2xt/materia_gestao/2006_02_15_0223.2xt/dtml_boletim_interna>

Acessado em 19 de abril de 2006.

[13] Página eletrônica do **CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem**.

Disponível em:

<http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas_latas_aluminio.php>

Acessado em 19 de abril de 2006.

[14] **Catadores denunciam perseguição** – SP. Artigo publicado pelo “Jornal do Grande ABC” em 4 de outubro de 2005.

Disponível em:

<<http://setorreciclagem.com.br/modules.php?name=News&file=article&sid=366>>

Acessado em 19 de abril de 2006.

[15] **Código de Trânsito Brasileiro.**

Disponível em:

<http://www.pr.gov.br/mtm/legislacao/ctb/cap_ix.htm>

Acessado em 19 de abril de 2006.

[16] **Enciclopédia online Wikipedia** – verbete “São Paulo (cidade)”.

Disponível em:

<[http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Paulo_\(cidade\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Paulo_(cidade))>

Acessado em 19 de abril de 2006.

[17] **Prova de vestibular 2006 da Universidade Federal Fluminense – UFF.**

Disponível em:

<<http://oglobo.globo.com/online/educacao/arquivos/uffprova1.pdf>>

Acessado em 19 de abril de 2006.

[18] **À procura de alternativas económicas em tempos de globalização: o caso das cooperativas de recicladores de lixo na Colômbia.** Texto de César Rodríguez.

Disponível em:

<<http://www.ces.uc.pt/emancipa/research/pt/ft/rescatar.html>>

Acessado em 19 de abril de 2006.

[19] Página eletrônica da **Metalúrgica Golin.**

Disponível em:

<www.golin.com.br/produtos/perfilados.php>

Acessado em 22 de agosto de 2006.

[20] Catálogo da **Distribuidora de Tubos e Aços Ratão.**

Disponível em:

<www.rataotubos.com.br>

Acessado em 15 de agosto de 2006.

[21] Catálogo da **Metalúrgica Tuper S.A. – Divisão de tubos.**

Disponível em:

<www.tuper.com.br>, acessado em 2 de setembro de 2006.