

MARCUS VINICIUS VILCINSKI COSTA

**SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO PARA USUÁRIOS DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Engenheiro**

São Paulo

2008

MARCUS VINICIUS VILCINSKI COSTA

**SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO PARA USUÁRIOS DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Engenheiro**

**Área de Concentração:
Engenharia Metalúrgica e de Materiais**

Orientador: Prof. Dr. César R. F. Azevedo

São Paulo

2008

DEDALUS - Acervo - EPMT



31800006698

TF-2008

C 824 A

M 2008 Q

1934958

FICHA CATALOGRÁFICA

Costa, Marcus Vinicius Vilcinski
Sistema de transporte público para usuários da
Universidade de São Paulo / M.V.V. Costa. – São Paulo, 2008.
113 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de
Materiais.

1.Ciclovias 2.Estacionamentos 3.Gás carbônico 4.Meio
ambiente urbano 5.Transportes públicos I.Universidade de São
Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia
Metalúrgica e de Materiais II.t.

RESUMO

Diante da situação caótica em que se encontra o sistema de tráfego de veículos por todo o país, soluções alternativas em pequena escala, que sirvam de modelo para grandes melhorias na capacidade de mobilidade dos cidadãos desta nação, são fundamentais. Portanto, as bicicletas transformam-se uma opção perfeita para que os usuários da Universidade de São Paulo possam locomover-se de forma mais eficiente e organizada. Devido à complexidade de desenvolvimento do sistema (mesmo para os meios de transporte mais simples e em situações básicas), inúmeros pontos precisam ser considerados, como: seleção do material e do modelo de veículo, regras e legislação, impactos gerados e atração de investimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Bicicleta; seleção de materiais; ciclovía; paraciclo; bicicletário.

ABSTRACT

In front the chaotic situation of the traffic system of vehicles throughout the country, alternative solutions on a small scale, which serve as model for great improvements in the ability of mobility for citizens of this nation, are essential. Therefore, the bicycles become a perfect choice for users of the University of Sao Paulo be able to move by a more efficient and organized way. Due the complexity of developing the system (even for the simplest means of transportation and basic situations), several points should be considered, such as: selection of the material and type of vehicle, rules and legislation, impacts generated and attraction of investments.

KEY WORDS: Bicycle; materials selection; cicloway; ciclopark; cicloparking.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.0: Estratégia de seleção de materiais.....	8
Figura 1.1: Estratégia baseada em análises quantitativas.....	9
Figura 2.0: Bicicleta dobrável	13
Figura 2.1: Protótipo Cannondale	14
Figura 2.2: Protótipo de bicicleta de madeira do arquiteto Andrew Maynard.....	14
Figura 2.3: Análise de elementos finitos para o quadro tradicional de uma bicicleta.....	15
Figura 2.4: Esforços principais nas barras de um quadro de bicicleta.....	16
Figura 2.5: Módulo (Z) x Área da seção para três tipos de material.....	23
Figura 2.6: Mapa de Ashby do custo específico em U\$D em função da emissão específica de CO ₂	29
Figura 2.7: Mapa de Ashby para minimização do custo.....	30
Figura 2.8: Mapa de Ashby para melhor performance.....	31
Figura 2.9: Mapa de Ashby para minimização da emissão de CO ₂	32
Figura 2.10: Mapa de Ashby da performance mecânica dos aços candidatos.....	34
Figura 2.11: Mapa de Ashby do custo em função das emissões de CO ₂ para os aços finalistas.....	36

Figura 2.12: Mapa dos arredores da Estação.....	39
Figura 2.13: Vista aérea das Obras da Estação Butantã e da área proposta para implantação da estação de aluguel.....	39
Figura 2.14: Distâncias básicas dos espaçamentos entre bicicletas, segundo diferentes arranjos.....	42
Figura 2.15: Ciclofaixa junto ao canteiro central.....	51
Figura 2.16: Ciclofaixa entre estacionamento e fluxo.....	52
Figura 2.17: Rota de inserção da ciclofaixa.....	53
Figura 2.18: Sinal R-1.....	56
Figura 2.19: Sinal R-2.....	56
Figura 2.20: Sinal R-10.....	57
Figura 2.21: Sinal R-12.....	57
Figura 2.22: Sinal R-29.....	57
Figura 2.23: Sinal R-34.....	58
Figura 2.24: Sinal A-30.....	58
Figura 2.25: Sinal A-30.....	59
Figura 2.26: Sinal A-32b.....	59
Figura 2.27: Sinal A-33b.....	59

Figura 2.28: Sinal A-33b.....	60
Figura 2.29: Sinal A-34.....	60
Figura 2.30: Placas de indicação de estacionamento.....	61
Figura 2.31: Placas de indicação de oficina mecânica.....	62
Figura 2.32: Placas de indicação de existência de ciclovia.....	62
Figura 2.33: Placas de indicação de rotas.....	63
Figura 2.34: Placas de indicação de início e fim de ciclovia.....	63
Figura 2.35: Linha simples seccionada (distanciamento a adotar).....	65
Figura 2.36: Linhas de canalização e simples contínua.....	65
Figura 2.37: Linha de borda de ciclofaixa.....	66
Figura 2.38: Bicicleta pintada no solo (cor branca).....	66
Figura 2.39: Seta pintada no solo (cor branca).....	67
Figura 2.40: Marcação de cruzamentos rodocicloviários.....	67
Figura 2.41: Marcação de áreas para travessia de pedestres.....	68
Figura 2.42: Comparação de capacidade de estacionamento entre carro e bicicletas.....	73
Figura 2.43: Proporção entre a área total do estacionamento e a área necessária para as bicicletas.....	73

Figura 2.44: Esquema de estacionamento e planta baixa de paraciclo proposto.....	75
Figura 2.45: Estacionamento com espaço de circulação entre as bicicletas.....	76
Figura 2.46: Estacionamento sem espaço de circulação entre as bicicletas.....	77
Figura 2.47: Bicicleta Caloi 100 – Aro 26.....	81
Figura 2.48: Bicicleta Caloi “City Tour”.....	83
Figura 2.49: Bicicleta Caloi Poti – Aro 26.....	84
Figura 2.50: Bicicleta Caloi Barraforte – Aro 26.....	86
Figura 2.51: Proposta de “ <u>advertising</u> ” na bicicleta.....	89
Figura 2.52: Proposta de “ <u>advertising</u> ” na ciclofaixa.....	90
Figura 2.53: Proposta de “ <u>advertising</u> ” no cartão de usuário.....	90
Figura 2.54: Proposta de “ <u>advertising</u> ” no uniforme.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.0 - Necessidades do transporte na USP (A USP em números).....	8
Tabela 2.0 : Condições de contorno do projeto.....	12
Tabela 2.1: Áreas das seções.....	18

Tabela 2.2: Fatores de forma para a flexão elástica.....	19
Tabela 2.3: Fatores de forma para a torção elástica.....	20
Tabela 2.4: Fatores de forma para a resistência em flexão.....	21
Tabela 2.5: Fatores de forma para a resistência em torção.....	22
Tabela 2.6: Candidatos selecionados para a minimização do custo.....	31
Tabela 2.7: Candidatos selecionados para a minimização das emissões de CO ₂	33
Tabela 2.8: Custo e emissões de CO ₂ dos aços finalistas.....	35
Tabela 2.9: Área exigida para estacionamento de 1.000 bicicletas conforme padrões da figura 2.14.....	43
Tabela 2.10 : Estimativa dos custos iniciais de instalação.....	48
Tabela 2.11: Proposta de salários para funcionários da Estação de aluguel.....	49
Tabela 2.12: Especificações de cor de placas de sinalização vertical de indicação.....	61

SUMÁRIO

1	<u>INTRODUÇÃO TEÓRICA</u>	6
	1.1 ASPECTOS SOCIAIS E AMBIENTIS DA BICICLETA	6
	1.2 A USP EM NÚMEROS	7
	1.3 SELEÇÃO DE MATERIAIS	8
	1.4 OBJETIVOS	10
2	<u>ESTUDO DE CASO</u>	11
	2.1 SELEÇÃO DO MATERIAL DA BICICLETA	11
	2.1.1 CONSIDERAÇÕES GEOMÉTRICAS	12
	2.1.1.1 Geometria do quadro	12
	2.1.1.2 Escolha da seção reta: fatores de forma	16
	2.1.1.2.1 Fator de forma para a flexão elástica	18
	2.1.1.2.2 Fator de forma para a torção elástica	19
	2.1.1.2.3 Fator de forma para a resistência em flexão	20
	2.1.1.2.4 Fator de forma para a resistência em torção	21

2.1.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ASHBY.....	24
2.1.2.1 <u>Cálculo dos índices de mérito dos materiais</u>	24
2.1.2.1.1 Determinação de índices para rigidez.....	24
2.1.2.1.2 Determinação do índice para a resistência mecânica.....	27
2.1.2.1.3 Ponderação entre os índices.....	28
2.1.2.2 <u>Mapas de Ashby</u>	29
2.1.2.2.1 Minimização do custo.....	30
2.1.2.2.2 Minimização da emissão de CO ₂	32
2.1.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	33
2.1.4 A ESCOLHA FINAL.....	37
 2.2 DIMENSIONAMENTO DO PROJETO.....	38
2.2.1 O BICICLETÁRIO.....	38
2.2.1.1 <u>Localização</u>	38
2.2.1.2 <u>Previsão da demanda</u>	39
2.2.1.3 <u>Tipo de construção</u>	40
2.2.1.4 <u>Área e Formato</u>	41
2.2.1.5 <u>Segurança</u>	43
2.2.1.5.1 Bicicletário.....	43
2.2.1.5.2 Bicicletas.....	44

2.2.1.6 <u>Número de bicicletas</u>	45
2.2.2 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA	45
2.2.2.1 <u>Preço</u>	45
2.2.2.2 <u>Manutenção e Reparos</u>	46
2.2.2.3 <u>Acesso dos usuários</u>	47
2.2.2.4 <u>Custos de iniciais e de operação</u>	48
2.3 PARTICIPAÇÃO DA USP	50
2.3.1 INSERÇÃO DE CICLOFAIXAS	50
2.3.1.1 <u>Rotas de circulação</u>	52
2.3.1.2 <u>Sinalização</u>	53
2.3.1.2.1 <u>Sinalização Vertical</u>	55
2.3.1.2.2 <u>Sinalização Horizontal</u>	64
2.3.2 CONSCIENTIZAÇÃO DOS MOTORISTAS	68
2.3.3 URBANIZAÇÃO DE ESTACIONAMENTOS	69
2.3.3.1 <u>Proposta de paraciclo</u>	74
2.3.3.1.1 <u>Especificações</u>	75
2.3.3.1.2 <u>Local de Instalação</u>	75
2.3.3.1.3 <u>Área mínima para instalação</u>	76

2.3.3.2 <u>Instalação do suporte sobre calçadas</u>	77
2.3.3.3 <u>Redução de emissão de CO₂</u>	79
2.3.4 ASPECTOS DE SEGURANÇA	79
2.4 SELEÇÃO DO MODELO DA BICICLETA.....	80
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
2.5.1 ADEQUAÇÃO DO NÚMERO DE MARCHAS.....	88
2.5.2 PARCERIAS.....	88
2.5.2.1 <u>Bicicleta</u>	89
2.5.2.2 <u>Ciclofaixa</u>	90
2.5.2.3 <u>Cartão de usuário</u>	90
2.5.2.4 <u>Uniformes</u>	90
2.5.3 A UNIVERSIDADE COMO LABORATÓRIO.....	91
3 <u>CONCLUSÕES</u>	91

4	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	94
5	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	94
6	<u>ANEXOS</u>	96

1 INTRODUÇÃO TEÓRICA

1.1 ASPECTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS DA BICICLETA

A bicicleta é um de nossos primeiros sonhos, símbolo de liberdade e instrumento de emancipação. Torna crianças capazes de percorrerem pela primeira vez, independente de seus pais, distâncias mais longas movidas por sua própria força.

Durante os últimos anos do século XIX pedalar era diversão para os nobres. Com o crescimento da industrialização, as “magrelas” tornaram-se o principal veículo das classes operárias. Hoje a bicicleta recebe diferentes tratamentos ao redor do mundo. A atual busca por qualidade de vida é responsável por colocar esse veículo tão simples como elemento renovador. Uma esperança na re-humanização das cidades e na recuperação do meio ambiente urbano.

A população urbana já representa mais da metade do total mundial. Vivem em um ambiente hostil ao ser humano, em meio à poluição atmosférica e sonora, acidentes de trânsito e engarrafamentos constantes. Uma vida agitada que leva a um aumento dos pequenos conflitos sociais e principalmente do estresse. A bicicleta apresenta uma série de soluções para tais adversidades.

Nos moldes conduzidos durante o século XX, a urbanização teve consequências danosas. Em nome da prioridade de circulação dada aos automóveis, as cidades hoje têm problemas crônicos em seu espaço público. A bicicleta aparece como uma luz para a fluidez do trânsito, não conhece engarrafamentos, desliza por eles devagar e sempre.

Apesar disso, motoristas estressados ainda perdem horas de suas vidas em veículos velozes, mas que não são capazes de manter médias de velocidade maiores do que carruagens movidas a cavalo ou uma simples bicicleta. Esta última ocupa pouquíssimo espaço para estacionar e exige infra-estrutura de baixo custo. É boa

para o administrador público pela diminuição de custos globais, da saúde à manutenção viária. Já o cidadão se beneficia por viver em uma cidade com espaços públicos de qualidade. As consequências podem ser atingidas tanto em cidades grandes e saturadas, como Rio de Janeiro e São Paulo, quanto nas médias e pequenas, onde a ocupação urbana ainda não se tornou tão caótica.

1.2 A USP EM NÚMEROS

A procura por uma alternativa para reduzir o tráfego de veículos automotivos dentro da Universidade Estadual do Estado de São Paulo, favorece a mobilidade de todos, além de proporcionar um benefício ao meio-ambiente e fornecer um exemplo de gestão sustentável aos comandantes desta nação.

A USP não recebe somente seus estudantes e funcionários, conta também com a presença de milhares de usuários que se distribuem nas mais diversas atividades, desde visitas aos Museus e exposições até encontros para treinos diários de atividades físicas. Em virtude desse grande volume de freqüentadores, a mais importante Universidade brasileira também apresenta necessidades de melhoria no transporte público, haja vista os números de sua população.

DESCRÍÇÃO DOS USÁRIOS	QUANTIDADE
Alunos Matriculados	76.560
Graduação	48.530
Pós-Graduação	22.069
Mestrado	11.376
Doutorado	10.693
Especiais	5.961
Atividades Culturais e de Extensão	29.203
Visitantes dos Museus	704.988
Universidade 3ª idade	7.551

Funcionários	15.772
Total de Usuários	932.703

*Fonte: Anuário Estatístico USP 2006 (base de dados 2005)

Tabela 1.0 - Necessidades do transporte na USP (A USP em números)

Tendo em vista o impressionante número de quase um milhão de usuários por ano na Cidade Universitária, uma questão importante em seu cenário é a facilidade com que sua população se movimenta entre pontos intrínsecos. Por isso, um sistema de transporte público eficiente e integrado faz da acessibilidade e da mobilidade dentro do Campus soluções para questões, até então, insolúveis nas metrópoles desenvolvidas.

Portanto, medidas inteligentes que facilitem o dia-a-dia de todos, tornam a Universidade mais atrativa e aproxima a população da Cultura e de todos os valores e benefícios que esta agrupa em sua disseminação.

1.3 SELEÇÃO DE MATERIAIS

M. Ashby propôs que a estratégia de seleção de materiais e processos se resume em: características do projeto (dados de entrada) e materiais e processos adequados (dados de saída), como mostrado na Figura 1.0.

Para isso, esta estratégia deve formular restrições de certas propriedades dos materiais, definir maneiras de quantificar a adequação dos materiais aos requisitos e estabelecer procedimentos de busca e classificação dos materiais mais adequados (função de transferência).

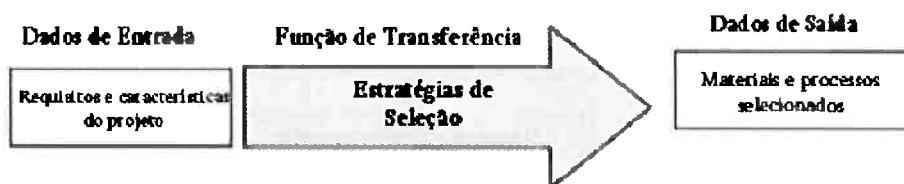


Figura 1.0: Estratégia de seleção agindo como funções de transferência, convertendo requisitos do projeto em lista de materiais e processo escolhidos

Esta estratégia prevê etapas de filtragem e classificação dos materiais em função de sua performance (uso de índices quantitativos de desempenho). As etapas finais correspondem à eliminação ou seleção de um material conforme as informações relativas ao projeto, sem o uso das propriedades dos materiais, mas levando em conta algumas condições de mercado (existência de fornecedores qualificados e confiáveis, logística de transportes, disponibilidade, histórico de variação de preços e histórico de falha).

A estratégia de Ashby é baseada na busca de propriedades críticas (limitantes) dos materiais, seguida de classificação dos materiais e da seleção dos mesmos (Figura 1.1). Esta estratégia é considerada rápida e eficiente, oferecendo grande liberdade de aplicações, sendo propícia para inovação, uma vez que a escolha é feita a partir de todos os materiais existentes no banco de dados utilizado.

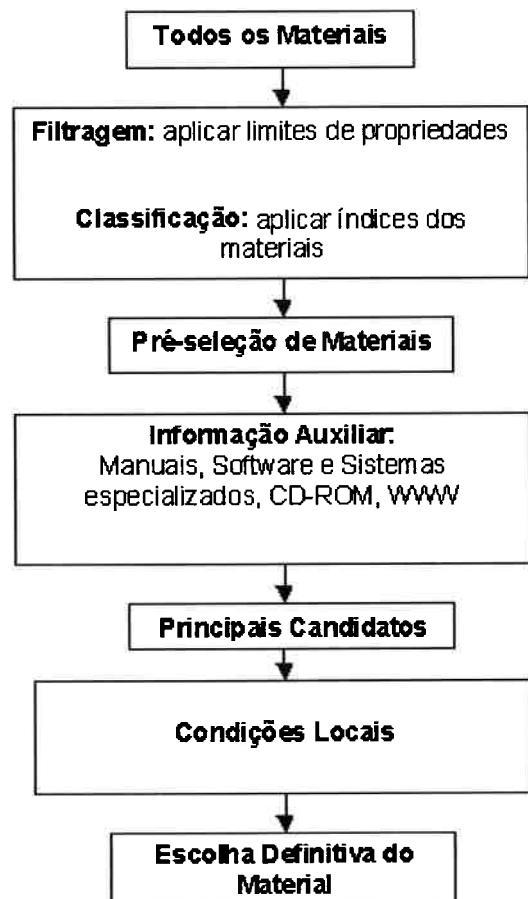


Figura 1.1: Estratégia de livre procura baseada em análises quantitativas para seleção de materiais

Definida a estratégia, o próximo passo é obter de maneira correta as condições de contorno do projeto para a filtragem e a classificação quantitativa. Estas são obtidas através da elaboração da tradução dos requisitos de projeto, feita através das respostas para as seguintes perguntas:

- Qual a função do componente? (suportar momento fletor, conter uma pressão externa, transmitir calor, etc.);
- Quais condições essenciais devem ser atendidas? (o componente deve suportar as tensões sem falhar, possuir controle dimensional adequado, suportar faixas de temperaturas e diferentes ambientes);
- Quais os objetivos do projeto? (fazer produto o mais barato possível, mais leve, seguro...);
- Quais parâmetros que o projetista tem liberdade de alterar? (geometria, condições de uso).

Estas respostas definem respectivamente: função, restrições, objetivos e as variáveis livres do projeto, que serão a base para a quantificação índice de performance (desempenho) dos materiais. As restrições são divididas em geométricas e funcionais, estas últimas contêm os limites e valores desejáveis das propriedades dos materiais. A partir da definição das propriedades restritivas (quantitativas) do projeto (por exemplo: limite de escoamento, tenacidade à fratura, condutividade térmica, temperatura máxima de uso) e dos objetivos do projeto (eficiência, custo, meio-ambiente), criam-se condições para a seleção de materiais.

1.4 OBJETIVOS

Através do método de Ashby será realizada a seleção do material para o quadro de uma bicicleta de transporte urbano e a análise crítica dos candidatos oriundos desta aplicação.

Selecionado o material da bicicleta, bem como seu modelo, este meio de transporte fará parte do projeto de criação de um Sistema Cicloviário dentro do Campus Capital da USP. Neste caso, uma estação de aluguel de bicicletas será construída junto à saída da Estação Butantã do Metrô para facilitar o acesso e circulação dos usuários da Universidade dentro e nos arredores da mesma.

Ainda como parte do trabalho serão estudados os impactos causados no que se refere à inserção de ciclofaixas, urbanização de estacionamentos e redução da emissão de CO₂, e as oportunidades de negócio que se fazem possível.

2 ESTUDO DE CASO

2.1 A SELEÇÃO DO MATERIAL DA BICICLETA

Para iniciar o estudo, é necessário a definição das condições de contorno que limitarão o nosso projeto:

Função
<ul style="list-style-type: none">• Bicicleta de transporte urbano.
Restrições
<ul style="list-style-type: none">• Tenacidade à fratura maior que $10,9 \text{ MPa.m}^{-0,5}$;• Resistência à fadiga (10^7 ciclos) maior que 52,3 MPa;

<ul style="list-style-type: none"> • Deve ser resistente ao impacto; • Deve ser rígido à flexão e à torsão; • Resistente à corrosão.
Objetivos
<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar custo; • Minimizar emissão de CO₂.

Tabela 2.0: Condições de contorno do projeto

2.1.1 CONSIDERAÇÕES GEOMÉTRICAS

2.1.1.1 Geometria do quadro

A determinação da geometria do quadro constitui uma etapa essencial no projeto da bicicleta. Quando olhamos para projetos de bicicletas recentes, notamos que, muitas vezes, é na geometria do quadro que consiste o grande fator de inovação. Temos muitas bicicletas dobráveis, cujo objetivo é conferir portabilidade, por exemplo:



Figura 2.0: Bicicleta dobrável [2]

Em geral, os protótipos são realizados em fundição, por não necessitarem um “batch size” (tamanho de lote) muito grande, isto é, por se tratar de uma peça única, um protótipo. Nesta etapa, ainda não há a necessidade calcular as solicitações aplicadas, pois o protótipo não precisa ser funcional. O objetivo da indústria é explorar novos “designs” para surpreender o cliente.

Numa etapa seguinte, temos o aprimoramento desta estrutura inicial para suportar as tensões aplicadas, com uma pequena mudança no desenho. Os materiais preferidos são ligas de alumínio reforçadas com fibra de carbono por minimizarem a massa, devido à sua grande resistência.

Um exemplo desta via de desenvolvimento é a nova bicicleta dobrável da Cannondale que teve seu protótipo apresentado no Eurobike [3] baseado no modelo “jack-knife” (canivete) e depois passou por uma fase de desenvolvimento até tomar sua forma final:



Figura 2.1: Protótipo Cannondale [4]

No caso em consideração, no entanto, os objetivos não estão ligados ao “marketing”, mas sim ao custo e à durabilidade. A maioria dessas bicicletas ditas inovadoras extrapola no custo, ou não oferece grande resistência por se tratarem de protótipos. Assim, nota-se a dificuldade de aplicar um “design” de quadro inovador.

Por outro lado, sabe-se que a geometria do quadro depende do material a ser considerado. Se por exemplo, o material almejado se trata de um polímero, que possui baixa rigidez, pode-se conceber uma geometria que minimize este efeito. Temos o exemplo do arquiteto australiano Andrew Maynard, que objetivou o uso de compensado de madeira para baratear a bicicleta:



Figura 2.2: Protótipo de bicicleta de compensado de madeira do arquiteto Andrew Maynard [5]

No entanto, não há informação quanto à resistência mecânica da bicicleta por ele projetada. Talvez, devido ao baixíssimo custo, ela tenha sido concebida como um produto de baixa durabilidade.

Como as tensões se distribuem no quadro conforme a sua geometria, tem-se que as propriedades do material dependem da mesma, e vice-versa. Uma extensiva análise pelo método dos elementos finitos, com diferentes geometrias de quadro candidatas, poderia levar a atribuição de pares forma-material que seriam então conflitados em relação aos objetivos almejados. Foi considerado que esta abordagem insere uma complexidade desnecessária que dificulta demasiadamente o avanço do projeto.

Porém, se a inovação é primordial, esta etapa é indispensável. Na busca por inovação nos projetos citados, é fixado o material e altera-se a geometria. No presente projeto, contudo, num esforço de simplificação, procurando manter o foco na resposta mecânica, escolheu-se o quadro de geometria tradicional, ilustrado na figura 2.3. Trata-se de uma mudança de abordagem: ao invés de objetivar o “design” inovador, foi focado o custo e a durabilidade.

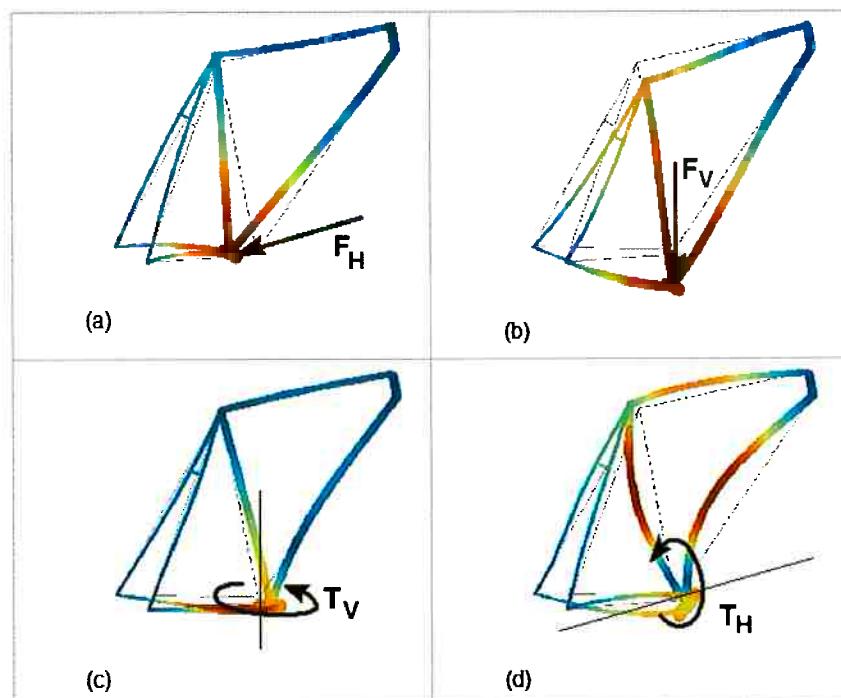


Figura 2.3: Análise de elementos finitos para o quadro tradicional de uma bicicleta, submetida às seguintes solicitações, na região de acoplamento dos pedais: (a) força horizontal, (b) força vertical, (c) torque vertical, (d) torque horizontal [5]

A geometria do quadro poderia ser modificada ulteriormente, pois no estudo realizado determina-se o material que melhor se adapta às condições de contorno propostas. Uma vez fixado o material, pode-se adaptar a forma, talvez até com várias iterações, buscando o melhor resultado final. A notar que a abordagem conjugada (forma-material) é muito rara, constituindo um campo a ser explorado.

2.1.1.2 Escolha da seção reta: fatores de forma

Os esforços no quadro de bicicleta podem ser resumidos em esforços de flexão e de torção para os fins desse projeto. Os esforços de tração e compressão axiais estão presentes, entretanto os requisitos necessários para a flexão e torção garantem a boa performance.

Serão comparadas as geometrias circular, elíptica e quadrada, todas vazadas e com a mesma área de seção. Essa escolha se dá ao fato que estruturas vazadas são melhores para os tipos de esforços [6].

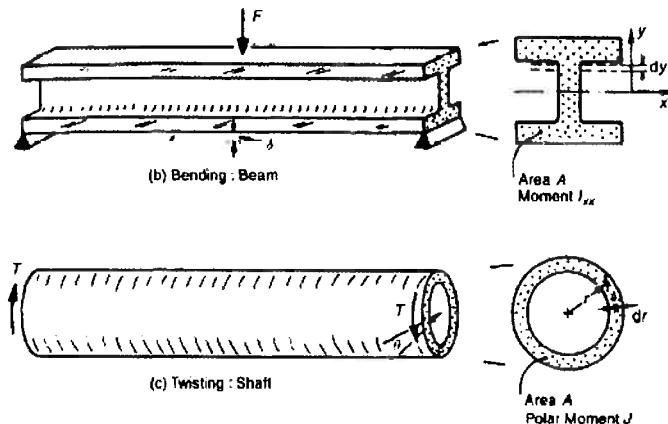


Figura 2.4: Esforços principais nas barras de um quadro de bicicleta

Pode-se pensar em números adimensionais que caracterizem a eficiência de uma determinada geometria de seção, independente da escala, submetida a um dado tipo de esforço. Esses números são conhecidos como fatores de forma.

O fator de forma é obtido comparando-se seções diversas com uma geometria de referência, no caso a seção de uma barra quadrada sólida.

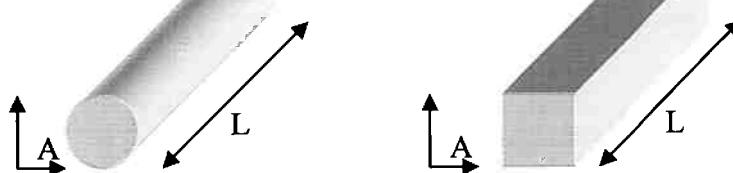
Para a comparação entre as diferentes seções retas, considera-se a mesma densidade linear, isto é, massa por unidade de comprimento nos três casos. Dessa forma, impede-se que um dado perfil, apesar de mais resistente, envolva o uso de mais material (o que complicaria a análise). A massa total é mantida constante e o que varia é apenas a forma.

Como hipótese simplificadora adicional, considera-se que a espessura t é a mesma para cada perfil, sendo limitada pela ductilidade do material e pelo método de produção. Assim é possível comparar os diferentes perfis quanto à eficiência de sua forma, sem a interferência de variáveis externas.

A densidade é função do material, e o comprimento total, da geometria do quadro. Uma mesma área da seção reta implica numa mesma massa total.

$$m = \rho V = \rho L A$$

$$m_1 = m_2 \Rightarrow A_1 = A_2$$



Como têm a mesma área pode-se relacionar as variáveis relevantes, remetendo-as todas para uma fração de r (raio do círculo), para facilitar os cálculos.

Na seção elíptica a relação entre a e b (definidos na tabela 2.1) adotada é $b = 3a/2$. Em três dos quatro critérios analisados a posição da elipse (vertical ou horizontal) influí no fator de forma e os dois resultados serão apresentados.

A igualdade das áreas resulta numa relação entre o raio da circunferência, a forma da elipse e o lado do quadrado como é mostrado abaixo. Com isso consegue-se obter fatores de forma, para as diversas geometrias em função de mesmas variáveis, o raio r do círculo e a espessura t .

$$2\pi rt = \pi(a + \frac{2}{3} \cdot a)t = 4lt \quad ; \quad r = \frac{5}{6} \cdot a = \frac{2}{\pi} \cdot l$$

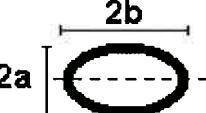
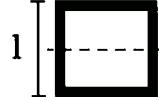
Geometria	Área
	$\approx 2\pi rt$
	$\approx \pi(a + b)t$
	$\approx 4lt$

Tabela 2.1: Áreas das seções.

2.1.1.2.1 Fator de forma para a flexão elástica

A rigidez S de um eixo à flexão elástica é proporcional ao produto do módulo de elasticidade E do material e do momento de inércia I da área da seção transversal.

Para selecionar o tipo de seção, o fator de forma ϕ_B^e pode ser definido como o ganho em rigidez mudando-se de um quadrado sólido para a forma em questão:

$$\phi_B^e = \frac{S}{S_0} = \frac{E}{E} \frac{I}{I_0} = \frac{I}{I_0} \quad \text{onde } I_0 = \frac{A^2}{12} \quad \phi_B^e = \frac{12I}{A^2}$$

A é a área da seção, e I_0 é o momento de inércia da barra quadrada sólida.

Para as geometrias escolhidas os fatores de forma serão:

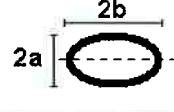
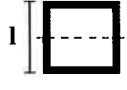
Geometria	ϕ_B^e	$\phi_B^e(I, t)$
	$\cong \frac{3}{\pi} \left(\frac{r}{t} \right)$	$\cong 0,96 \left(\frac{r}{t} \right)$
	$\cong \frac{3a(1+3b/a)}{\pi t (1+b/a)^2}$	$\cong 0,67 \left(\frac{r}{t} \right) \text{ ou } \cong 1,24 \left(\frac{r}{t} \right)$
	$\cong \frac{l}{2t}$	$\cong 0,79 \left(\frac{r}{t} \right)$

Tabela 2.2: Fatores de forma para a flexão elástica.

2.1.1.2.2 Fator de forma para a torção elástica

Para a torção elástica, a rigidez à torção S_T de um eixo é dada pelo torque dividido pelo ângulo de torção θ , o que é proporcional à $G.K$, onde G é o módulo de cisalhamento e K o momento torcional de área. Comparando com a seção quadrada cheia, assim como no caso anterior chega-se à ϕ_T^e .

$$\phi_T^e = \frac{S_T}{S_{T_0}} = \frac{GK}{GK_0} = \frac{K}{K_0} \quad , \quad \text{onde } K_0 = 0,14 A^2 \quad \text{e} \quad \phi_T^e = \frac{7,14 K}{A^2}$$

Geometria	ϕ_T^e	$\phi_T^e(l, t)$
	$\approx 1,14 \left(\frac{r}{t} \right)$	$\approx 1,14 \left(\frac{r}{t} \right)$
	$\approx \frac{9,12(ab)^{5/2}}{(a^2 + b^2)(a+b)^2 t}$	$\approx 0,99 \left(\frac{r}{t} \right)$
	$\approx \frac{3,57 l}{8 t} \cdot (1 - t/l)^4$	$\approx 0,70 \left(\frac{r}{t} \right) *$

* Considerando-se que $t \ll l$, $(1 - t/l) \approx 1$

Tabela 2.3: Fatores de forma para a torção elástica

A deformação plástica ocorre quando em algum ponto a tensão atinge o limite de escoamento, a fratura quando o limite de resistência é atingido e a falha por fadiga quando o limite de fadiga é atingido. Qualquer uma dessas situações caracteriza a falha do componente. Define-se σ_f como a tensão local que primeiro atinge qualquer uma das três tensões acima.

2.1.1.2.3 Fator de forma para a resistência em flexão

Na flexão de um eixo a tensão é máxima no ponto da superfície da seção mais distante da linha neutra (distância y_m) tal que o módulo da seção Z seja o momento de inércia dividido por y_m .

Assim, fazendo as mesmas considerações com a barra quadrada cheia, como anteriormente, chega-se ao fator de forma ϕ_B^f .

$$\sigma_f = \frac{M}{Z} \quad Z_0 = \frac{A^{3/2}}{6} \quad \phi_B^f = \frac{Z}{Z_0} = \frac{6Z}{A^{3/2}}$$

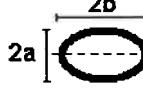
Geometria	ϕ_B^f	$\phi_B^f (l, t)$
	$\approx \frac{3}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{r}{t}}$	$\approx 1,20 \sqrt{\frac{r}{t}}$
	$\approx \frac{3}{2\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{a}{t}} \frac{(1+3b/a)}{(1+b/a)^{3/2}}$	$\approx 1,05 \sqrt{\frac{r}{t}} \text{ ou } 1,29 \sqrt{\frac{r}{t}}$
	$\approx \sqrt{\frac{l}{t}}$	$\approx 1,25 \sqrt{\frac{r}{t}}$

Tabela 2.4: Fatores de forma para a resistência em flexão

2.1.1.2.4 Fator de forma para a resistência em torção

A falha em torção acontece quando se atinge a tensão máxima de cisalhamento τ em um ponto da superfície. As relações matemáticas que permitem chegar ao fator de forma estão apresentadas a baixo. T é o torque, r_m a distância da superfície mais externa e J o momento polar da seção.

$$\tau_f = \frac{T \cdot r_m}{J} = \frac{T}{Q}$$

Define-se Q como a razão entre J e r_m . Para seções circulares com o eixo de rotação no centro da seção r_m é facilmente determinado. Para seções quadradas e

excêntricas a geometria envolvida é mais complexa e a grandeza Q é desenvolvida diferentemente.

Fazendo novamente as relações com a seção quadrada cheia temos os fatores ϕ_T^f .

$$\phi_T^f = \frac{Q}{Q_0} \quad Q_0 = \frac{A^{3/2}}{4,8} \quad \phi_T^f = \frac{4,8Q}{A^{3/2}}$$

Geometria	ϕ_T^f	$\phi_T^f(t)$
	$\approx 1,91 \sqrt{\frac{r}{t}}$	$\approx 1,91 \sqrt{\frac{r}{t}}$
	$\approx 5,41 \sqrt{\frac{a}{t}} \frac{1}{(1+a/b)^{3/2}}$	$\approx 1,50 \sqrt{\frac{r}{t}} \text{ ou } 2,24 \sqrt{\frac{r}{t}}$
	$\approx \frac{3,39}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{l}{t}}$	$\approx 1,50 \sqrt{\frac{r}{t}}$

Tabela 2.5: Fatores de forma para a resistência em torção

Percebe-se que o fator de forma em todos os casos depende inversamente da espessura das paredes. Cada material possui um limite de espessura com a qual os perfis podem ser produzidos. Tubos de madeira de espessura muito fina são raros, tornando seus fatores de forma menores do que os do aço, que pode ser moldado a espessuras bem menores.

A figura 2.5 apresenta a relação entre o módulo Z, referente ao fator de forma para a resistência a flexão, e a área de seções estruturais. As geometrias possíveis de se obter para cada material são representadas pelas respectivas áreas no gráfico. As retas onde a relação $Z/(A^{3/2})$ podem ser plotadas no gráfico que está em escala logarítmica e com isso visualiza-se o fator de forma possível do material.

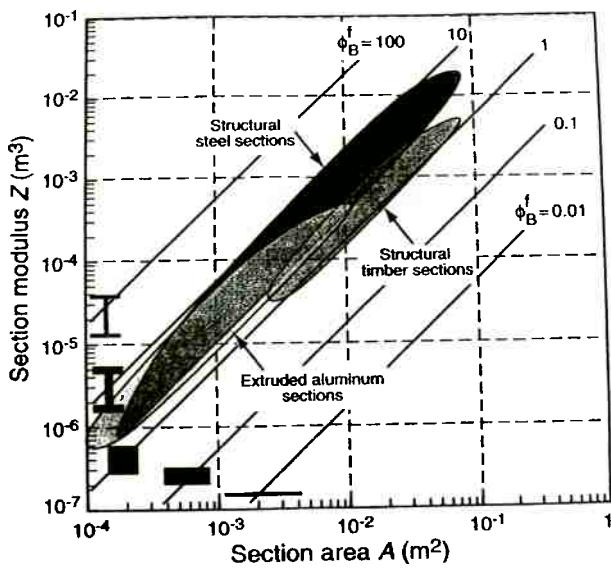


Figura 2.5: Módulo (Z) x Área da seção para três tipos de material.

Pode-se perceber que o fator de forma é dependente da geometria possível de ser formada [6].

A forma de seção circular é bastante atrativa pela facilidade de se trabalhar em operações como o dobramento e, de uma maneira geral, ela tem um bom desempenho quando comparada com as outras duas geometrias estudadas nos quatro casos. Além disso, trata-se de um perfil bastante simples e de disponibilidade fácil. Por esses motivos ela será usada neste projeto e suas dimensões exatas serão definidas juntamente com o material.

No presente estudo, obtiveram-se valores de fatores de forma que podem ser inseridos no desenvolvimento dos índices para a seleção conjunta de forma e material. Na abordagem seguida isso não será feito, pois a seleção do design do quadro é um processo mais elaborado e dependente de fatores que não foram abordados devido ao caráter mais didático do projeto. Entretanto, com esses números em mãos e apoiado de ferramentas como simulação por elementos finitos é possível desenvolver uma melhor eficiência de cada parte da peça notando o tipo de esforço mais crítico e selecionando uma forma de seção mais adequada. Isto pode ser feito em uma etapa posterior como meio de refinar o projeto quando as

condições de produção como os meios de conformação, junção e os fornecedores disponíveis estiverem bem claros.

2.1.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ASHBY

2.1.2.1 Cálculo dos índices de mérito dos materiais

Uma vez determinada à geometria do quadro, que constituía parte das variáveis livres, passa-se à próxima etapa, que é a determinação do material a ser utilizado. De posse desta nova informação, pode-se partir para a implementação do método.

A razão desta maneira de trabalho é que a propriedade buscada no material depende da geometria escolhida. No presente estudo, é tido que a bicicleta seja essencialmente constituída por vigas de seção circular vazadas, solicitadas em torção e flexão, que têm seu desempenho limitado pela rigidez. Nota-se que as vigas também não podem falhar por escoamento plástico, por exemplo, durante intervalos de alta solicitação, como nos momentos de impacto.

A escolha do material baseia-se no método de Ashby, de forma que se começa com um modelamento das solicitações para, a seguir, determinar os índices de mérito. Tal determinação foi efetuada inicialmente para atender os requisitos de rigidez, e a seguir para os requisitos de resistência.

2.1.2.1.1 Determinação de índices para rigidez

A partir do cálculo de distribuição de tensões em uma viga, conclui-se que a rigidez, dada pela razão entre a força aplicada e a flecha obtida, é proporcional ao módulo

de Young do material e ao momento de inércia da seção reta [7]. Dessa forma, pode-se propor a seguinte equação:

$$S_B = \frac{F}{\delta} = C \frac{EI}{L^3},$$

na qual C é uma constante que depende das condições de contorno da integração, δ é a flecha no ponto considerado, L é o comprimento da viga, E é o módulo de Young do material, I é o momento de inércia da seção reta e F a força média por unidade de comprimento aplicada sobre ela.

Esta equação pode ser formulada de diferentes maneiras, seja em função da força aplicada, da carga por unidade de comprimento ou do momento fletor. As condições de contorno dependem de como a viga é solicitada, assim como o ponto de maior flexa. De forma geral, retém-se que a rigidez é proporcional a EI.

Tudo mais constante, maximizar a rigidez envolve maximizar este produto. Como o momento de inércia depende da área da seção reta, materiais com módulo de Young inferiores podem servir à confecção de vigas rígidas se o tamanho da viga for maior. Isso implica num uso de mais material, que pode tornar a bicicleta muito pesada, muito grande, ou muito cara.

Considera-se então o custo total: a massa depende da área da seção reta, do comprimento e da densidade do material; o custo depende da massa e do custo por unidade de massa; as variáveis são colocadas em função da área.

$$\begin{aligned} m &= \rho A L, \\ \$ &= m C_m = \rho A L C_m, \\ A &= \frac{\$}{\rho L C_m} \quad (\text{eq. 1}) \end{aligned}$$

Recupera-se a dependência do momento de inércia com a área, para descrever como depende a rigidez da mesma:

$$I = \varphi_B^e \frac{A^2}{12},$$

$$S_B = C \frac{E}{L^3} \varphi_B^e \frac{A^2}{12} \quad (\text{eq. 2})$$

Para uma mesma rigidez, a área será tão maior quanto menor for o módulo de Young do material, implicando num aumento de custo, ou seja, substituindo o valor de variável "A" da equação 1 na equação 2:

$$S_B = C \frac{E}{L^3} \varphi_B^e \left(\frac{\$}{\rho L C_m} \right)^2$$

Rearranjando:

$$\$ = C' \sqrt{\frac{S_B L^5}{\varphi_B^e}} \cdot \frac{\rho C_m}{\sqrt{E}}$$

De onde se extrai o índice de mérito IM₁ relativo ao custo, para uma rigidez exigida:

$$IM_1 = \frac{\rho C_m}{\sqrt{E}},$$

que, minimizado, diminui o custo total na compra do material.

De maneira análoga pode-se obter o índice do mérito relativo à emissão de CO₂, partindo da geração por unidade de massa de material fabricado:

$$A = \frac{[CO_2]_{total}}{\rho L [CO_2]_m},$$

$$IM_2 = \frac{\rho[CO_2]_m}{\sqrt{E}}$$

2.1.2.1.2 Determinação do índice para a resistência mecânica

Prosseguindo para a análise da resistência mecânica, temos que a tensão aplicada projetada na direção paralela à linha neutra em flexão não deve exceder o valor do limite de escoamento do material. Dessa forma obtém-se a equação para a força que provoca ruptura, em função da geometria:

$$P = K \frac{I\sigma_e}{y_m L} \quad (\text{eq. 3})$$

na qual P é a força máxima suportada, K é uma constante, I é o momento de inércia, L é o comprimento da barra, σ_e é o limite de escoamento de material e y_m é a distância da linha neutra até a o ponto em consideração. A notar o que y_m crítico corresponde ao raio da circunferência para o perfil adotado. Assim, a equação fica:

$$A = \pi r^2 = \pi y_m^2, \quad P = K \frac{I\sigma_e}{\sqrt{A/\pi} L}$$

Considerando a dependência do momento de inércia com a área da seção reta, e substituindo a eq. 1 do custo em função da área:

$$P = K' \frac{\sigma_e}{L \sqrt{A}} \varphi_B^e \frac{A^2}{12}, \quad P = K'' \frac{\sigma_e}{L} \varphi_B^e \left(\frac{\$}{\rho L C_m} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Rearranjando:

$$\$ = K''' \left(\frac{PL^{5/2}}{\varphi_B^e} \right)^{2/3} \cdot \frac{\rho C_m}{\sigma^{2/3}}$$

De onde se extrai o índice de mérito IM_3 relativo ao custo para uma resistência exigida:

$$IM_3 = \frac{\rho C_m}{\sigma^{2/3}}$$

que, minimizado, diminui o custo total na compra do material. A ser considerado em paralelo com a emissão de CO₂ dos materiais candidatos.

Analogamente, realiza-se o mesmo procedimento para as emissões de CO₂ e obtém-se o índice de mérito:

$$IM_4 = \frac{\rho [CO_2]_m}{\sigma^{2/3}}$$

2.1.2.1.3 Ponderação entre os índices

Observando-se os índices de mérito obtidos, vê-se que se trata de dois pares de equações similares. Cada par equivale ao mapa de Ashby que surgiria se fossem plotados como custo mássico por emissão de CO₂ mássica (figura 2.6). Isto se dá pois, sob uma mesma restrição apenas multiplica-se os eixos por uma constante, já que os dois valores considerados (custo e emissão de CO₂) estão remetidos à massa. O problema passa a ser maximizar a resistência vs. rigidez, para cada um dos objetivos.

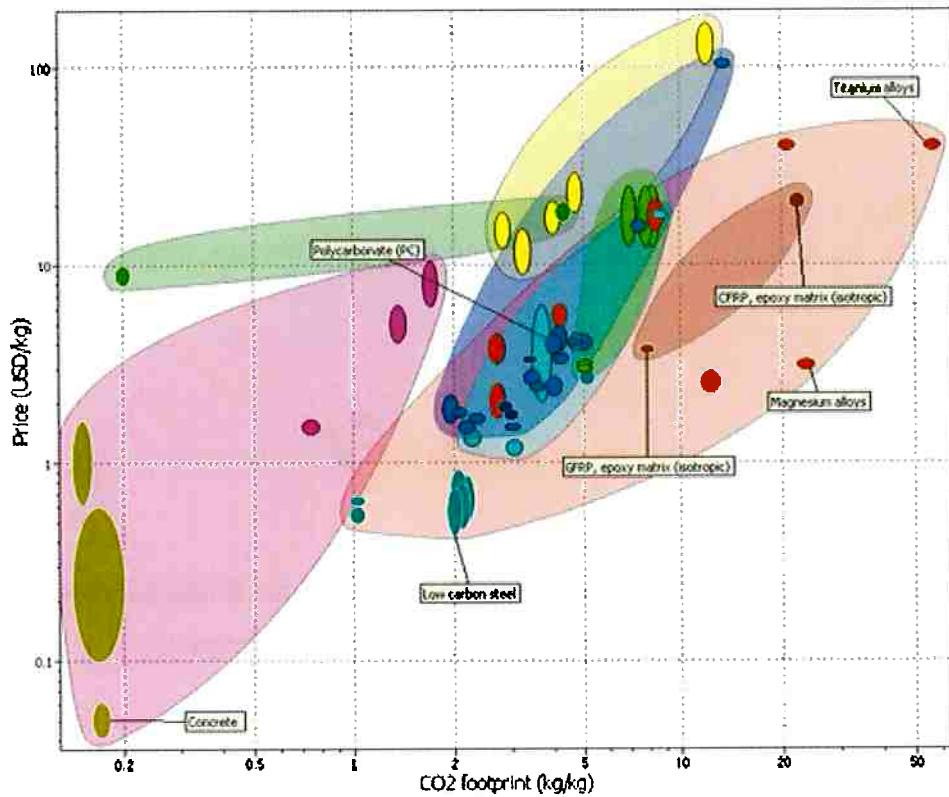


Figura 2.6: Mapa de Ashby do custo específico em U\$D em função da emissão específica de CO₂

2.1.2.2 Mapas de Ashby

Como foi dito anteriormente, a tensão sob a qual o componente estrutural falha pode ser o limite de escoamento, o limite de ruptura ou o limite de fadiga. No caso da bicicleta, submetida sempre a vibrações, o determinante é o limite de fadiga. Portanto, ele será usado como a tensão σ citada nas equações anteriores.

Para restringir o volume de dados analisados, em um primeiro momento, faz-se uso de filtros tais que apareçam nos mapas apenas materiais que atendam aos pré-requisitos estipulados nas restrições do projeto, apresentados na tabela 2.0. Quanto à resistência à corrosão, a seleção ficará limitada aos materiais com durabilidade no mínimo regular em meio aquoso e meio salino.

2.1.2.2.1 Minimização do custo

Inicialmente, plota-se o gráfico de IM_3 vs. IM_1 . Obtém-se a figura 2.7:

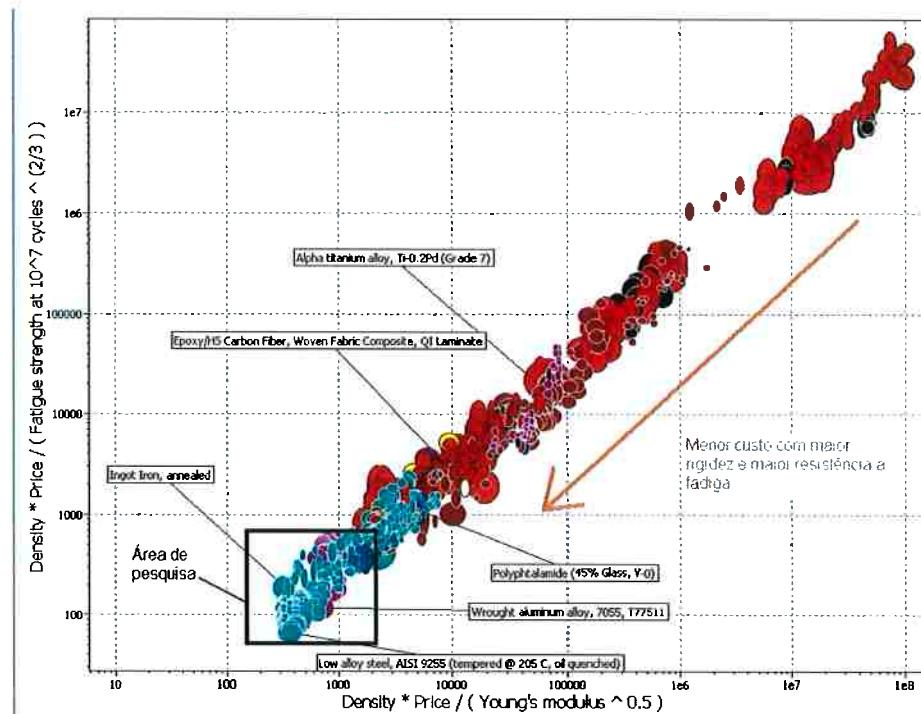


Figura 2.7: Mapa de Ashby para minimização do custo, apresentando 1625 candidatos

O grande número de candidatos obtidos se deve ao fato de que as condições restritivas são demasiadamente brandas. Observa-se igualmente que os materiais encontram-se todos numa mesma linha porque o preço sobrepuja os outros fatores dentro do critério para os índices de mérito: alguns materiais até apresentam uma melhor performance, mas seu custo elevado os faz perder destaque no gráfico. A figura 2.8 mostra um gráfico simplificado com os materiais mais rígidos e mais resistentes, sem a consideração do custo.

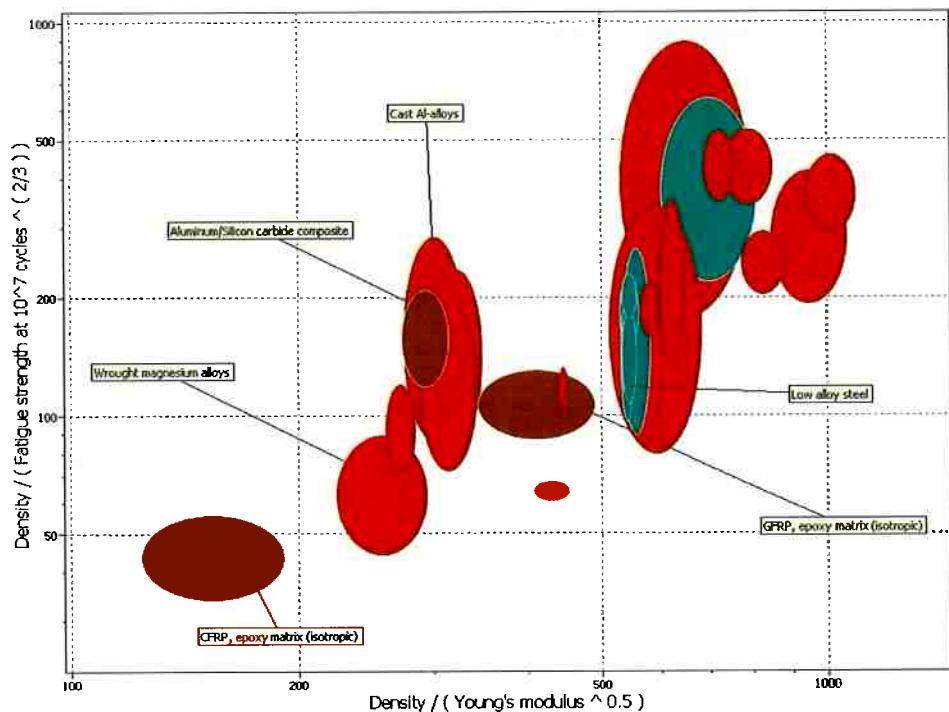


Figura 2.8: Mapa de Ashby para melhor performance, desconsiderando custo, com 26 materiais

Desta maneira, quando o custo é ponderado, os aços são bem mais vantajosos, portanto, a área de pesquisa pelo melhor material fica restringida a estes materiais. Na tabela abaixo, estão listados os aços com o melhor desempenho na minimização do custo, com seus respectivos tratamentos térmicos.

Candidatos – Primeiro Objetivo
Carbon steel, AISI 1137 (tempered @ 205.C, H2O quenched)
Carbon steel, AISI 1137 (tempered @ 315.C, H2O quenched)
Carbon steel, AISI 1141 (tempered @ 205.C, oil quenched)
Carbon steel, AISI 1141 (tempered @ 315.C, oil quenched)
Carbon steel, AISI 1340 (tempered @ 205.C, oil quenched)
Carbon steel, AISI 1340 (tempered @ 315.C, oil quenched)
Carbon steel, AISI 1340 (tempered @ 425.C, oil quenched)
Low alloy steel, AISI 5046 (tempered @ 205.C, oil quenched)
Low alloy steel, AISI 50B46 (tempered @ 315.C, oil quenched)
Low alloy steel, AISI 50B60 (tempered @ 315.C, oil quenched)

Tabela 2.6: Candidatos selecionados para a minimização do custo

2.1.2.2.2 Minimização da emissão de CO₂

Inicialmente, plota-se o gráfico de IM₄ vs. IM₂. Obtém-se a figura 2.9:

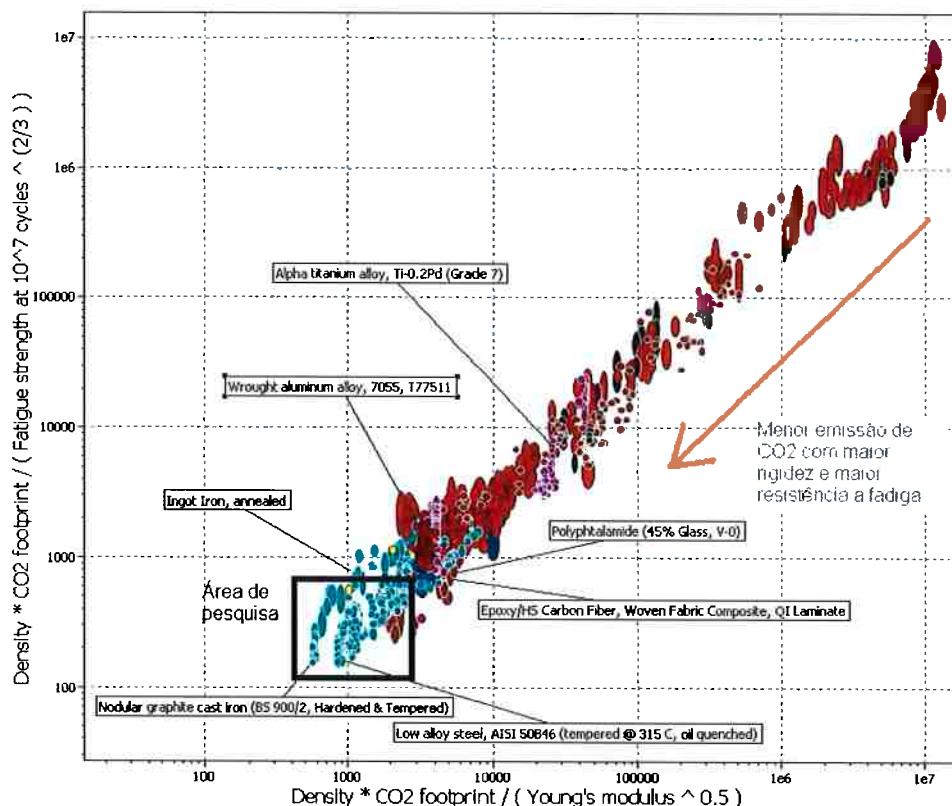


Figura 2.9: Mapa de Ashby para minimização da emissão de CO₂, apresentando 1623 candidatos

Analogamente à questão do custo, a emissão de CO₂ é um parâmetro que sobrepuja os outros fatores no critério. Na área de pesquisa, observa-se que os materiais com melhor desempenho são os ferros fundidos e novamente os aços. No entanto, os ferros fundidos serão desconsiderados pela dificuldade de se produzir tubos finos com estes materiais, o que eleva consideravelmente seu custo e indiretamente, devido ao processamento, sua emissão de CO₂. Por esta razão, serão elencados novamente apenas os melhores aços para a minimização da emissão de CO₂.

Candidatos – Segundo Objetivo
Low alloy steel, AISI 5046 (tempered @ 205°C, oil quenched)
Low alloy steel, AISI 50B46 (tempered @ 315°C, oil quenched)
Low alloy steel, AISI 50B60 (tempered @ 315°C, oil quenched)
Low alloy steel, AISI 5150 (tempered @ 205°C, oil quenched)
Low alloy steel, AISI 5160 (tempered @ 205°C, oil quenched)
Low alloy steel, AISI 5160 (tempered @ 315°C, oil quenched)
Low alloy steel, AISI 81B45 (tempered @ 205°C, oil quenched)
Low alloy steel, AISI 9255 (tempered @ 205°C, oil quenched)
Low alloy steel, AISI 9255 (tempered @ 315°C, oil quenched)
Low alloy steel, AISI 9260 (tempered @ 425°C, oil quenched)

Tabela 2.7: Candidatos selecionados para a minimização das emissões de CO₂

2.1.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foram selecionados 17 candidatos, 10 de cada um dos objetivos, com 3 presentes nas duas listas.

Com relação à performance mecânica destes materiais, a figura 2.10 indica que quanto à rigidez o seu desempenho é virtualmente o mesmo, e que sua durabilidade varia pouco.

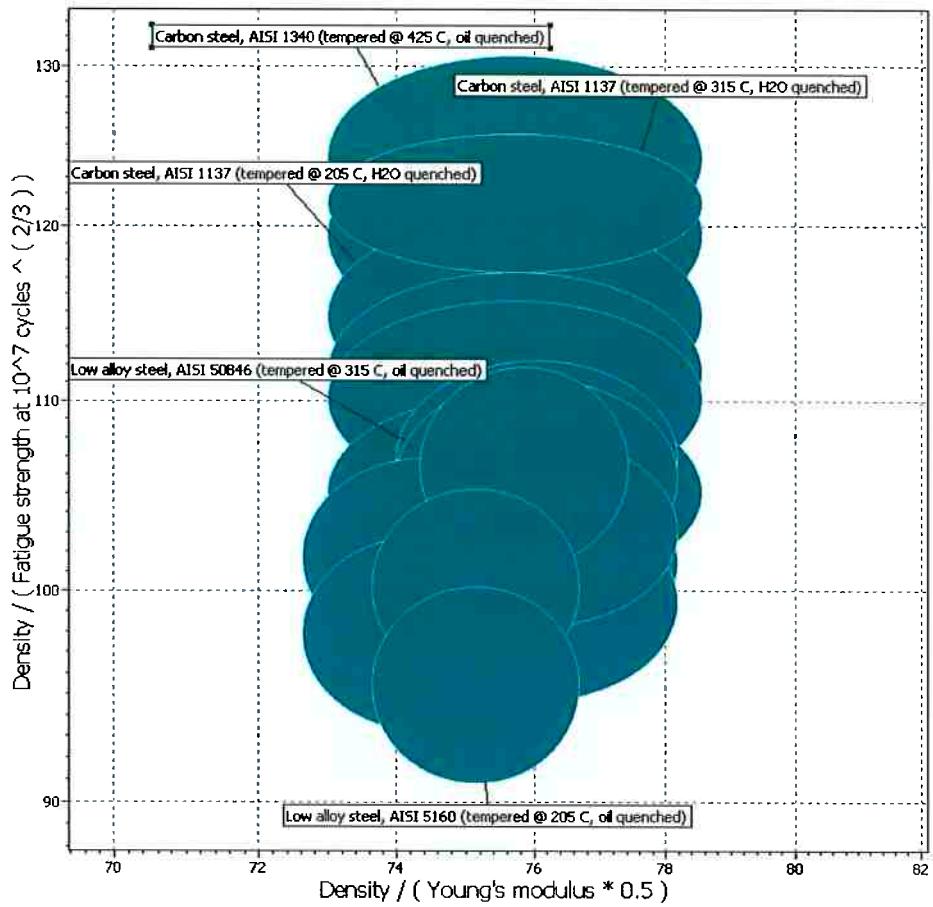


Figura 2.10: Mapa de Ashby da performance mecânica dos aços candidatos

É possível agora ponderar as emissões com o custo. A tabela 2.8 e a figura 2.11 apresentam o desempenho dos materiais.

Material	Emissão de CO₂ (kg/kg)	Custo (U\$D/kg)
AISI 50B60 (T @ 315 C, O)	1.46 - 1.61	0.535 – 0.8139
AISI 50B46 (T @ 315 C, O)	1.49 - 1.65	0.535 – 0.806
AISI 5046 (T @ 205 C, O)	1.49 - 1.65	0.5339 – 0.8044
AISI 9255 (T @ 205 C, O)	1.49 - 1.65	0.55 – 0.8227
AISI 9255 (T @ 315 C, O)	1.49 - 1.65	0.55 – 0.8227

AISI 9260 (T @ 425 C, O)	1.50 - 1.66	0.5557 – 0.8311
AISI 5160 (T @ 315 C, O)	1.55 - 1.71	0.5771 – 0.855
AISI 5160 (T @ 205 C, O)	1.55 - 1.71	0.5771 – 0.855
AISI 5150 (T @ 205 C, O)	1.55 - 1.71	0.5664 – 0.8391
AISI 81B45 (T @ 205 C, O)	1.58 - 1.74	0.6287 – 0.9164
AISI 1141 (T @ 205 C, O)	2 – 2.21	0.516 – 0.7833
AISI 1137 (T @ 315 C, H ₂ O)	2 – 2.21	0.5105 – 0.7743
AISI 1137 (T @ 205 C, H ₂ O)	2 – 2.21	0.5105 – 0.7743
AISI 1340 (T @ 205 C, O)	2 – 2.21	0.5205 – 0.7867
AISI 1340 (T @ 425 C, O)	2 – 2.21	0.5205 – 0.7867
AISI 1340 (T @ 315 C, O)	2 – 2.21	0.5205 – 0.7867
AISI 1141 (T @ 315 C, O)	2 – 2.21	0.516 – 0.7833

Tabela 2.8: Custo e emissões de CO₂ dos aços finalistas

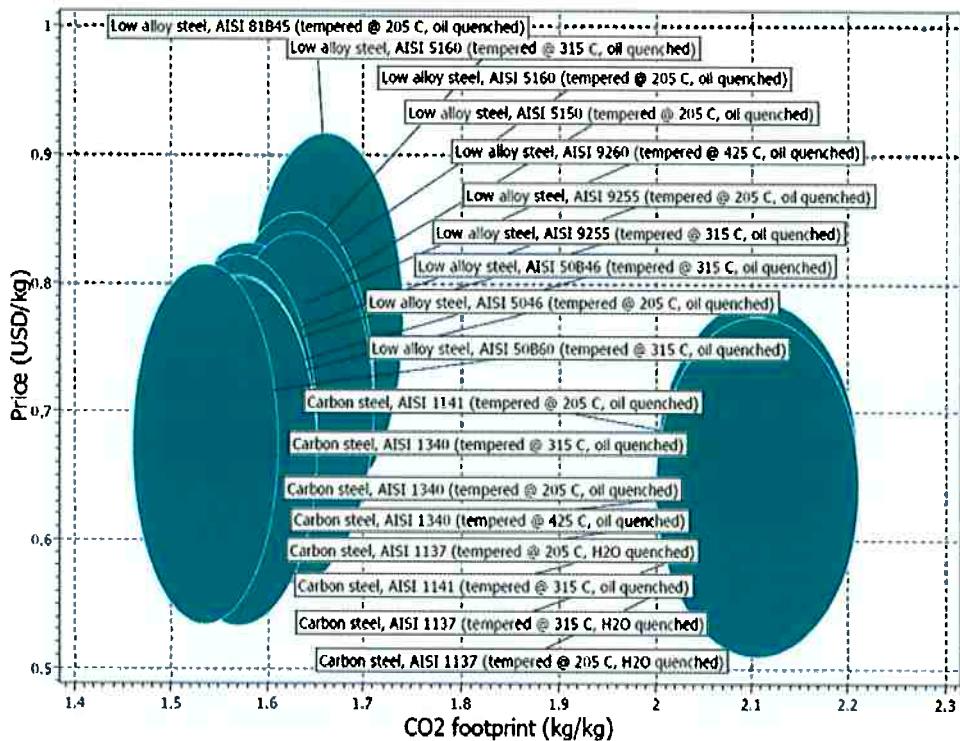


Figura 2.11: Mapa de Ashby do custo em função das emissões de CO₂ para os aços finalistas

Com base nestes dados, observa-se que o aço AISI 1137 é o mais barato, provavelmente por sua composição e pelo fato de ser temperado em água. Por razões óbvias, a têmpera realizada a 205°C também diminui o custo. O aço AISI 50B60 é aquele que possui menor valor de emissões de CO₂.

Comparando estes dois materiais, nota-se que a diferença de custo entre eles é de 4 centavos de dólar por kg de aço. A diferença das emissões de CO₂ é de 600g de CO₂ por kg de aço. No caso de uma produção hipotética de 100.000 bicicletas de 15 kg, a economia seria de 60 mil dólares caso fosse utilizado o aço AISI 1137, o que não é muito significativo para o projeto. Contudo, a economia seria de 900 toneladas de CO₂ com o emprego do aço 50B60, o que é consideravelmente relevante já que se está buscando um material que tenha apelo no quesito ambiental, tanto para o poder público que se beneficiará de um argumento de “marketing verde”, quanto para a população que estará estimulada por este mesmo fato a contribuir para o impacto ambiental positivo desta medida, evitando utilizar automóveis.

A processabilidade dos materiais não foi avaliada, pois os aços já são amplamente empregados na fabricação de bicicletas.

2.1.4 A ESCOLHA FINAL

No caso de um projeto de bicicletas para uso livre, a aplicação do método de Ashby à seleção do material para o quadro das bicicletas resultou na escolha do aço AISI 50B60 temperado em óleo a 315°C.

Efetivamente, foi observado desde as primeiras etapas de seleção que os aços carbono e de baixa liga apresentavam um melhor desempenho nos critérios estabelecidos por se tratar de materiais baratos e relativamente ecológicos. Materiais naturais, tais como o bambu, foram eliminados por não atenderem às restrições mecânicas impostas.

Não foram consideradas a espessura do quadro e sua massa total. No entanto, como ressaltado nas considerações geométricas, uma análise de elementos finitos pode servir para refinar este estudo, e com isso minimizar a massa total da bicicleta, gerando também uma maior economia.

A realização desta análise permitiu observar o alcance do software CES Edupack 2007 ® como ferramenta para a seleção de materiais. Foram observados os seus limites quanto à avaliação cruzada entre seleção de materiais e processos de conformação. No entanto, dado que o trabalho se resumiu a uma otimização de aços devido às restrições e objetivos impostos inicialmente, o software mesmo assim se mostrou bastante eficaz para tal empreitada.

Adaptado a diferentes contextos de matriz energética, fornecimento de materiais, parques industriais, entre outros fatores, o presente estudo pode servir de base para a substituição de aços já utilizados na fabricação de bicicletas, com o objetivo de reduzir o seu impacto ambiental.

2.2 DIMENSIONAMENTO DO PROJETO

2.2.1 O BICICLETÁRIO

A estação é o local onde o usuário, realmente conhece o sistema: nas ruas. Ela consiste em uma estrutura central interativa e informativa onde os usuários são identificados e os módulos, nos quais as bicicletas encontram-se estacionadas, estão prontos para o uso. Atendendo às necessidades imediatas do usuário, a estação deve ser composta pelos seguintes elementos básicos:

2.2.1.1 Localização

Para oferecer um transporte completo e efetivo, é essencial que a estação e as bicicletas estejam disponíveis a todo o momento para suprir a necessidade do usuário. A rede do sistema precisa ser densa para atender ao público. Ela deve estar posicionada em um local estratégico de grande circulação, sempre atentando ao fato de escolher a locação mais apropriada, com visibilidade e iluminação suficientes para garantirem a segurança.

A partir da data de conclusão das obras da Estação Butantã do Metrô (Linha 4 – Amarela) entre o final de 2009 e o início de 2010, esta obra do Governo do Estado passará a compor o trajeto da maioria das pessoas que buscam chegar até a USP. Portanto, nada mais racional do que procurar instalações próximas ao ponto de maior demanda, ou seja, a Estação em questão.

Localizada na esquina da Avenida Vital Brasil com a Rua Pirajussara, a estação é enterrada com plataformas laterais e salas de apoio acima do nível da superfície com estruturas em concreto aparente e passarelas de distribuição em estrutura

metálica fixada com tirantes sobre a plataforma. Possuirá acesso para pessoas portadoras de deficiência e integração com terminal urbano de ônibus.



Figura 2.12: Mapa dos arredores da Estação



Figura 2.13: Vista aérea das Obras da Estação Butantã e da área proposta para implantação da estação de aluguel

2.2.1.2 Previsão da demanda

A estação Butantã do Metrô será construída para suportar um fluxo de 21.290 passageiros por dia em 13.290 m² de área construída. Desse total, uma grande parte será composta pelo “target” deste trabalho. Supondo que 50% dos passageiros tenham a USP como destino final e que destes, 20% efetivem seu cadastro de adesão, teremos por volta de 2.200 usuários em potencial. Além disso, devemos contar com moradores dos arredores que prefiram o Sistema para encurtar distâncias e ganhar tempo nas viagens até o Campus.

Em números gerais, podemos estimar que 5.000 pessoas se interessem pelo esquema proposto. Esta previsão é suficiente para promover a disseminação da idéia através de inúmeros mecanismos, desde o famoso “boca a boca” até mídia (espontânea ou contratada).

2.2.1.3 Tipo de construção

A grosso modo, a obra bem planejada tem duas etapas principais: planejamento e execução. Na fase de planejamento são feitos os estudos iniciais, como sondagem do subsolo, aprovação nos órgãos públicos, projetos arquitetônico e executivo, orçamentos e cotações de preço para os diversos fornecimentos que serão necessários para iniciar os trabalhos de campo.

Dentre todas as possibilidades de construção a serem utilizadas, as 3 principais são:

- Alvenaria Convencional: Segundo o Índice de Construção Civil do IBGE, em Outubro de 2008, gastou-se R\$ 738,54 por metro quadrado de construção em São Paulo. Apesar de ser muito resistente e menos vulnerável estruturalmente, a construção em alvenaria é cara e não apresenta rapidez em sua realização.
- Concretos pré-fabricados: As vantagens oferecidas pela construção pré-fabricada são a garantia, a rapidez, a limpeza da obra, a indicação da mão-

de-obra e a possibilidade de combinação de materiais diferentes. As desvantagens são o preço relativamente alto (entre R\$450 e R\$600 o metro quadrado), a necessidade de o projeto ser modular, a possibilidade de apresentar fissuras na junção entre placas e a dificuldade de reforma.

- **Tensoestrutura (tecido em estrutura metálica):** Todo tipo de construção pode tirar proveito das membranas de tecido (clubes, academias de ginástica, museus, galerias de arte, escolas, ginásios, etc.). O custo total varia conforme a durabilidade pretendida, a complexidade do projeto, o tipo de material usado e as dimensões do conjunto (de R\$ 300,00 / m², podendo chegar a R\$ 3 mil nas obras de altíssimo padrão, como as coberturas de estádios, por exemplo). Quanto maior o vão, mais competitivas as estruturas retesadas se tornam. Já a estrutura de concreto fica mais cara à medida que o vão cresce.

Pela necessidade de uma estrutura mais resistente ao longo dos tempos, descartaremos a possibilidade da utilização da tensoestrutura que, além disso, pode apresentar valores muito elevados por unidade de área.

Deste modo, a decisão ficou entre a alvenaria convencional e os concretos pré-fabricados. Estes últimos, por apresentarem um preço médio menor e por necessitarem de um tempo mais curto de execução da obra, serão a nossa escolha final.

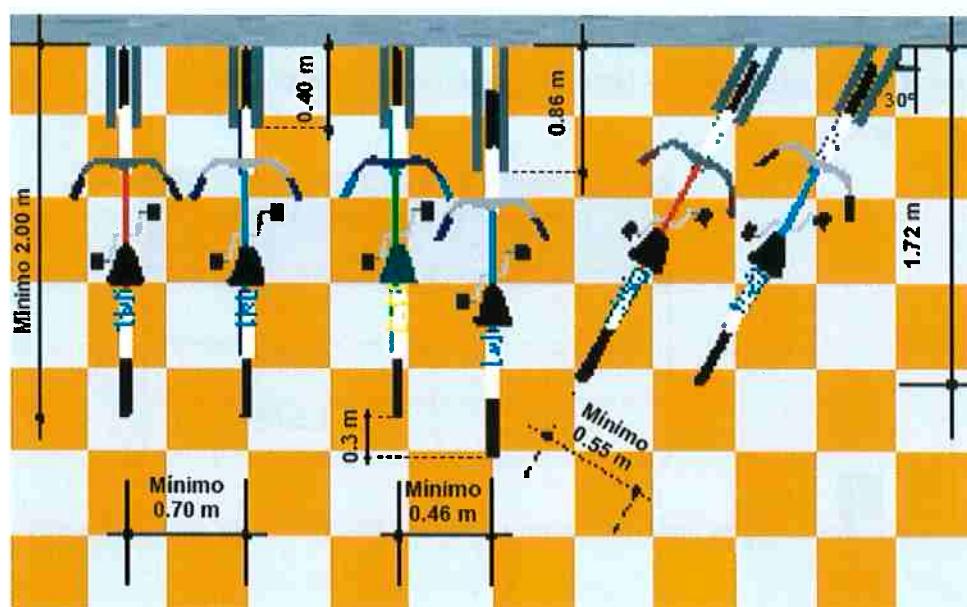
Portanto, para construir a estação de aluguel das bicicletas recomenda-se a utilização de concretos pré-fabricados.

2.2.1.4 Área e Formato

A estação deverá possuir um formato simples, que possibilite uma rápida instalação e adequação às possíveis exigências, e uma área suficiente para atender à necessidade do local. Os módulos de estacionamento das bicicletas poderão ser

instalados sobre o solo facilitando reparos rápidos enquanto, ao mesmo tempo, garantem fácil instalação e mínimos danos ao local. A disposição das vagas não deve comprometer a circulação e as condições de visibilidade.

O esquema abaixo define algumas distâncias padrão para o estacionamento das bicicletas, segundo diferentes arranjos:



*Fonte: Governo do Distrito Federal - GDF. Integração Bicicleta e Transporte Coletivo, Conceitos, Procedimentos e Pré-Normas. Brasília, 2005.

Figura 2.14: Distâncias básicas dos espaçamentos entre bicicletas, segundo diferentes arranjos.
Brasília - Brasil, 2006.

Como pode ser observado no primeiro esquema, bicicletas estacionadas perpendicularmente, em ângulo de 90°, se inscrevem em um retângulo de 1,30m x 2,00m. A primeira medida corresponde ao espaço entre os eixos das bicicletas (mínimo 0,70m), somado em 0,60m, referente à projeção da metade dos guidões para além dos seus eixos, enquanto a segunda corresponde ao comprimento padrão da bicicleta acrescido de pequena folga de 0,10m a 0,20m.

Já o segundo arranjo pode ser realizado, por exemplo, defasando o alinhamento das bicicletas, de tal maneira que um guidão fique deslocado em relação ao outro na sua lateral em cerca de 0,20m a 0,50m. Com tal procedimento é possível

aumentar o número de vagas no mesmo espaço em, pelo menos, 20%, onde duas bicicletas ocupam um espaço retangular de 2,20m x 1,06m.

No terceiro exemplo, dentro da mesma área, é apresentada a disposição de veículos estacionados em ângulo de 30º. Nesse caso, duas bicicletas se inscrevem em um retângulo de 1,72m x 1,60m, aproximadamente.

Na tabela abaixo, segue uma estimativa da área necessária para alocação das 1.000 bicicletas, sem levar em consideração o espaço requerido para as demais necessidades (portaria de controle, oficina, banheiro, etc.):

Modelo	Área Mínima Exigida (m ²)
1	1.300
2	1.166
3	1.376

Tabela 2.9: Área exigida para estacionamento de 1.000 bicicletas conforme padrões da figura 2.14

2.2.1.5 Segurança

2.2.1.5.1 Bicicletário

Para garantir a integridade das instalações da estação, o esquema de segurança para conservação do patrimônio deve ser ostensivo, uma vez que o valor de mercado das bicicletas é relativamente alto.

Para observar a movimentação dentro do bicicletário, câmeras de monitoramento precisam ser instaladas garantindo a visibilidade total do local.

Ainda assim, tal mecanismo não é suficiente para coibir atos ilícitos ou de vandalismo, portanto faz-se necessária a atuação de seguranças que se revezem em 3 turnos para proteger o bicicletário 24 horas por dia.

2.2.1.5.2 Bicicletas

Dentre os pontos em destaque, este em questão pode ser considerado o mais fraco e que dificulta a implementação do projeto.

A vulnerabilidade ao furto, de peças ou da bicicleta toda, é um fator desestimulante ao uso deste veículo. Os próprios usuários, ou terceiros, intencionados em lesar o Sistema inibem a inserção de investimentos devido ao alto grau de risco que este apresenta, uma vez que não há identificação individual de cada bicicleta. Deste modo, a partir do momento em que a bicicleta é furtada, fica praticamente impossível sua posterior recuperação por meio de identificação da mesma.

Para coibir este tipo de prática, há duas alternativas (não excludentes entre si): monitoramento individual através de radiofreqüência e submissão dos praticantes de atos ilícitos às penas legais.

A primeira opção, além de ser cara, tanto para implementação quanto para manutenção da operação, ainda fica a mercê de atos ilegais, pois não impediria o infrator de também remover o monitor para inviabilizar a localização da bicicleta furtada.

A segunda ação, não requer nenhum tipo de investimento tecnológico. Porém, apesar de não combater fortemente atos de furto, inibe aqueles que enxergam a vulnerabilidade do veículo como oportunidade de benefício próprio. Uma vez identificado o autor do delito, este será encaminhado para as autoridades responsáveis, que tomarão as medidas cabíveis.

Para que este meio de prevenção de furtos seja eficaz, é fundamental o total cumprimento das exigências, bem como a averiguação quanto à veracidade das informações fornecidas no item 2.2.2.3 deste trabalho.

2.2.1.6 Número de bicicletas

Considerando números tão expressivos apresentados na tabela 1.0, e sendo conservadores quanto ao sucesso de projeto, devido às eventuais dificuldades de implementação e culturalização da população, números iniciais podem estimar uma adesão ao Programa de 5% de todos os usuários da USP, o que representaria por volta de 50.000 usuários, em potencial, do Sistema. Diante de tal perspectiva, justifica-se a realização inicial do projeto com 1.000 bicicletas de passeio à disposição para aluguel.

2.2.2 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

2.2.2.1 Preço

Este item é de extrema importância, pois determina a acessibilidade e atratividade que o projeto terá frente ao usuário em potencial.

Para promover uma arrecadação razoável, que proporcione a manutenção das operações, necessita-se de uma assiduidade que possibilite prever um comprometimento de gastos.

Conhecendo a realidade brasileira e comparando com os gastos diários de transporte realizados pelos usuários da Cidade Universitária (que chegam à soma mínima de R\$ 2,30), a taxa adequada para associação ao Projeto deverá ser por volta de R\$10,00 mensais. Com este valor, o usuário terá o direito de utilizar a bicicleta por um período diário de 8 horas e, a partir deste prazo será cobrada uma taxa adicional de R\$ 2,00, que extenderá o aluguel da bicicleta por mais 6 horas. Este último período se renovará automaticamente ao término do anterior acrescendo, assim, mais uma quantia de R\$ 2,00 ao valor total devido pelo locatário, sendo permitida a extensão máxima de 24 horas por locação.

O intuito deste projeto não é gerar liquidez que faça desta uma oportunidade de negócio, mas sim promover a melhoria no transporte público a partir da parceria entre Estado e iniciativa privada.

2.2.2.2 Manutenção e Reparos

Estas operações fazem parte de uma porção fundamental do Sistema. Bicicletas sujas e quebradas não são apenas um incômodo para os usuários e para a cidade, mas atrapalham a cadeia de transporte público. Na realidade, para garantir um gerenciamento tranquilo e livre de problemas, é necessária a atuação de uma equipe de Serviços (se não durante 24 horas por dia, que atue ao longo do horário de utilização da Cidade Universitária).

Manutenção e reparos rápidos podem ser realizados localmente, na própria estação. Para isso, deverá ser instalada uma pequena oficina com ferramentas que possibilitem ao mecânico ajustar ou trocar peças, bem como uma espécie de estoque com peças principais para pronta substituição.

Caso sejam necessários maiores cuidados, como operações de solda, funilaria e usinagem, por exemplo, os trabalhos precisam ser executados em uma espécie de garagem central ou empresa terceira contratada.

O fluxo de pessoas, dependendo do dia e dos horários precisa ser estudado, para que este ponto não atue como gargalo, limitando a capacidade de atendimento por indisponibilidade de algumas bicicletas.

2.2.2.3 Acesso dos usuários

Todo e qualquer usuário deverá estar previamente cadastrado no Sistema através de uma identificação detalhada, que deverá constar dos seguintes itens:

- Nome completo;
- Endereço;
- RG e CPF;
- Foto;
- Filiação;
- Comprovante de Residência.

Além disso, o novo usuário receberá um termo de adesão onde constarão todas as regras de utilização do Sistema, bem como deveres e direitos. Para efetivação do cadastro, o usuário deverá assinalar a ciência sobre todas as condições e confirmar a adesão através da mesma assinatura presente no RG. Tal formulário servirá como documento oficial e deverá ser arquivado para eventuais consultas.

Como forma de identificação, o procedimento mais simples seria a busca do cadastro através do computador central. O usuário deverá fornecer seu nome ao atendente que checará sua foto no Sistema e, se o mesmo possuir alguma pendência anterior que o impossibilite de efetuar um novo aluguel

À medida que a Sociedade e a Tecnologia evoluírem, novas tendências poderão ser incorporadas com a finalidade de melhorar e ampliar o serviço prestado.

O Software gerenciador poderá gerar relatórios e estatísticas que serão úteis para adequar os serviços às variações das necessidades dos usuários. Além disso, fornecerão informações valiosas para um melhor entendimento das movimentações dos cidadãos.

Para completar o processo de efetivação do aluguel, o locatário deverá apresentar seu capacete de segurança. Sem esse equipamento, não será permitida a saída da bicicleta do seu local de origem. Para não restringir a possibilidade de aluguel somente àqueles que possuem capacete próprio, estes poderão ser disponibilizados para aluguel mediante ao pagamento de uma taxa extra (R\$ 2,00, por exemplo).

2.2.2.4 Custos de iniciais e de operação

Para adequar as instalações do bicicletário será necessário um investimento inicial que contemple o aluguel do terreno, a construção do espaço físico que será aproveitado e a aquisição de equipamentos e peças de estoque. Na tabela abaixo estão estimados valores de mercado:

Descrição	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo Total (R\$)
Aluguel do terreno	10 / m ²	1400 m ²	14.000
Construção das instalações	500 / m ²	700 m ²	350.000
Estoque	–	–	20.000
			384.000

Tabela 2.10: Estimativa dos custos iniciais de instalação

Soma-se a este valor, outros gastos de funcionamento da estação, listados na sequência:

Descrição	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo Total
			(R\$)
Aluguel do terreno	10 / m ²	1400 m ²	14.000,00
Atendentes/Operadores	1.200,00	6	7.200,00
Limpeza	700,00	2	1.400,00
Mecânicos	900,00	4	3.600,00
Água e Luz	3.000,00	—	3.000,00
Seguranças	800,00	6	4.800,00
			34.000,00

* Todos os funcionários deverão ser contratados sob CLT (Consolidação das Leis do Trabalho)

** Estes valores são propostas e podem variar conforme as condições de trabalho acordadas entre contratante e contratado.

Tabela 2.11: Proposta de salários para funcionários da Estação de aluguel

Um estudo de mercado mais profundo nos permite prever um gasto médio mensal de manutenção de R\$ 10,00 por bicicleta. Sendo assim, teríamos um custo mensal de manutenção de, aproximadamente, R\$ 10.000,00

Portanto, para manter o sistema em boas condições de atendimento, sem perder qualidade de serviço e atendimento, a receita total mensal do bicicletário deverá estar por volta de R\$ 44.000,00.

Considerando os números já discutidos nos itens 2.2.1.2 e 2.2.2.1 (previsão de demanda e preço, respectivamente), se os cinco mil clientes forem assíduos no pagamento da mensalidade de, e só desta (sem taxas de extensão de aluguel), será gerada uma receita bruta de R\$ 50.000,00, o que já seria suficiente para suportar os gastos mensais e promover um fundo de caixa para possíveis gastos não previstos e melhorias funcionais.

Caso a receita gerada pelas mensalidades não seja suficiente para cobrir os gastos fixos da estação, faz-se extremamente importante a co-participação, em investimentos, do Estado (em nome da empresa de Metrô, por exemplo) e da iniciativa privada, que se beneficia da oportunidade para realizar um Marketing Institucional. Este tipo de ação tem muita importância nos moldes de mercado atuais e será discutido nos próximos itens.

2.3 PARTICIPAÇÃO DA USP

Para a completa realização deste projeto, a Universidade de São Paulo tem um papel decisivo na implementação de medidas que proporcionem conforto e segurança à todos aqueles que optarem pela bicicleta como meio de transporte.

2.3.1 INSERÇÃO DE CICLOFAIXAS

É muito importante utilizarmos bicicleta para nos locomovermos em São Paulo e, especificamente, na Cidade Universitária e seus arredores. Seja pelo gosto da prática, ou pelo fato de ser o meio de transporte mais verdes que existe. O grande desafio está em encorajar o ciclista a enfrentar, junto com os carros, ônibus e caminhões, uma luta cruel por um pedaço de chão e, em incentivar a mudança de hábitos na troca de caminhadas e ônibus por bicicleta.

A Lei 14.266 criou o Sistema Cicloviário de São Paulo e legitima a bicicleta como um meio de transporte. Esta também prevê que o município articule o transporte por bicicleta com o Sistema Integrado de Transporte de Passageiros, implemente infra-estrutura adequada como ciclovias e bicicletários, permita acesso de passageiros com bicicletas em vagões especiais de trens e metrôs, e crie sinais e legislação específica para que o transporte com bicicletas seja seguro. Em tese, tudo parece muito bom. Mas o fato é que a extensão das ciclovias na Cidade de São Paulo não

atinge 30 km, sendo que 19 km encontram-se dentro de parques, ou seja, a grande maioria da nossa malha de ciclovias é destinada ao lazer e não ao transporte. Enquanto isso, outras localidades como o Rio de Janeiro com 140 km de vias exclusivas para bicicletas e o Reino Unido com uma malha nacional de mais de 16.000 km estão muito à frente de nossa Capital Estadual.

Em uma cidade como São Paulo, que possui um dos maiores problemas de trânsito e congestionamento, gerados pelo imenso número de veículos nas ruas - cerca de 5,5 milhões de automóveis e 62% deles com apenas um usuário - ter menos de 30 km de ciclovias servindo toda a cidade é extremamente ineficiente.

Certamente, a implantação da Cultura de utilização das ciclovias ou ciclofaixas só será possível se estas estiverem à disposição dos ciclistas para melhorarem as condições de tráfego e, concomitantemente, reduzirem significativamente a emissão de poluentes na Atmosfera.

Procurando otimizar os espaços de circulação de veículos da Cidade Universitária, sem promover grandes alterações em sua infra-estrutura, este projeto propõe a inserção de ciclofaixas pelo lado esquerdo destas vias e junto aos canteiros centrais. Esta opção é viável e não compromete a capacidade de fluxo das ruas escolhidas, pois há um super-dimensionamento das mesmas, tornando possível a implantação de faixas exclusivas para tráfego de ciclistas.

Há duas opções possíveis para adaptação destas ciclofaixas:

- Ciclofaixa junto ao canteiro central: Deste modo, ficaria proibido a parada e/ou estacionamento de veículos deste lado da pista (fato que ocorre hoje);



Figura 2.15: Ciclofaixa junto ao canteiro central

- Ciclofaixa entre estacionamento e via: Nesta proposta, o ciclista ficará posicionado à direita dos carros estacionados junto ao canteiro central e à esquerda do fluxo de veículos.



Figura 2.16: Ciclofaixa entre estacionamento e fluxo

Considerando o fato dos estacionamentos da USP apresentarem uma grande capacidade ociosa, não seria catastrófico para a organização dos veículos, se estes fossem proibidos de estacionar junto aos canteiros centrais para cederem espaço à ciclofaixa.

Desta forma, a proposta da figura 2.15 é a mais viável para ser implantada, além do fato de preservar de forma mais intensa a integridade física do ciclista, pois não promove o cruzamento destes com o fluxo dos automóveis interessados em estacionar (conforme figura 2.16).

2.3.1.1 Rotas de circulação

Uma vez proposta a posição da ciclofaixa pelo item anterior, não é aceitável deixar de preocupar-se com a segurança daqueles que são os mais vulneráveis neste sistema de tráfego: os ciclistas.

Para minimizar a possibilidade de colisões com veículos automotores, que poderiam causar acidentes graves, e trazer complicações ainda maiores ao trânsito no

Campus, decidiu-se implantar o conceito da ciclofaixa apenas nas vias onde haja canteiro central, implantando esta à esquerda do fluxo.

As vias de mão dupla possuem dimensões menores e tornariam muito mais difícil a convivência harmônica entre ciclistas e motoristas.

Pelos argumentos inferidos, a proposta de inserção de ciclofaixas contempla as ruas, ditas primárias, destacadas na figura 2.17:

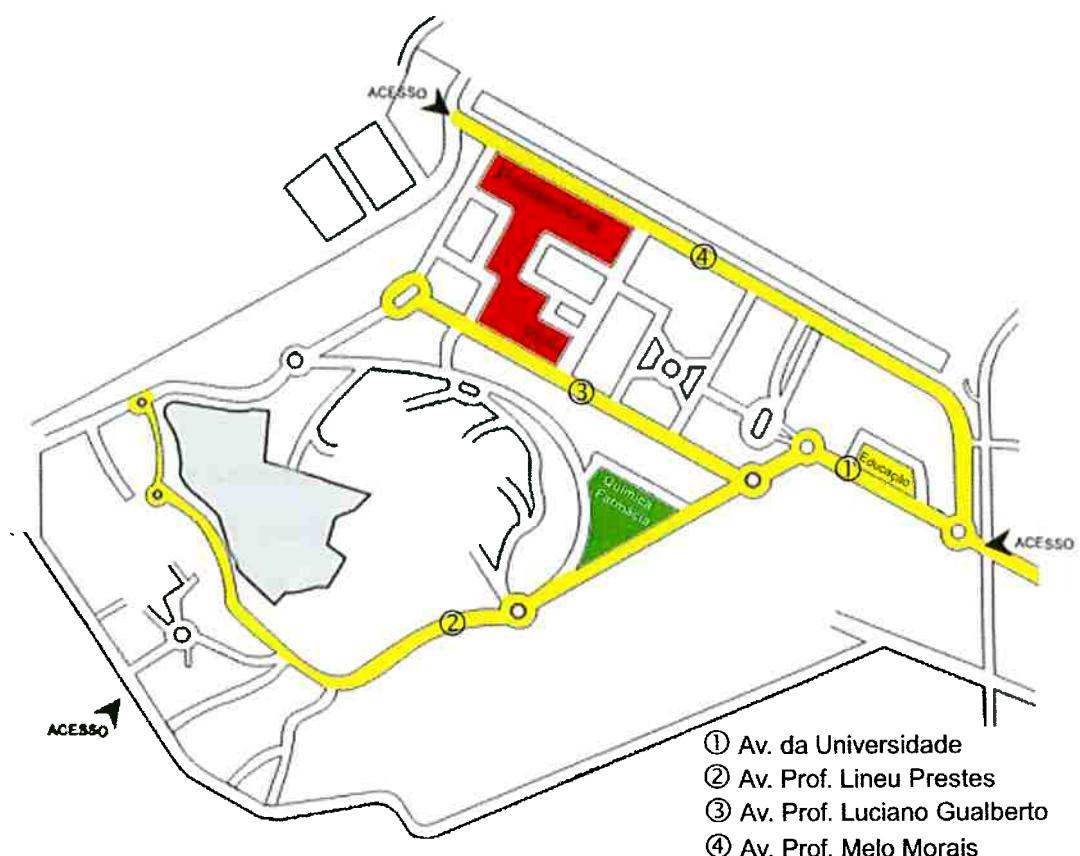


Figura 2.17: Rota de inserção da ciclofaixa

2.3.1.2 Sinalização

A sinalização de trânsito é um sistema de comunicação utilizado para a transmissão de mensagens relativas a trânsito, por intermédio de um conjunto de marcas, símbolos e sinais definidos pelo Código de Trânsito de cada país. O Código de Trânsito Brasileiro, em seu Capítulo VII – DA SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO, apresenta 11 artigos, entre os quais se destacam os Artigos 87, 88, 89 e 90:

Art. 87. Os sinais de trânsito classificam-se em:

- I – verticais;
- II – horizontais;
- III – dispositivos de sinalização auxiliar;
- IV – luminosos;
- V – sonoros;
- VI – gestos do agente de trânsito e do condutor.

“Art. 88. Nenhuma via pavimentada poderá ser entregue após a sua construção, ou reaberta ao trânsito após a realização de obras ou de manutenção, enquanto não estiver devidamente sinalizada vertical e horizontalmente, de forma a garantir as condições adequadas de segurança na circulação.”

“Art. 89. A sinalização terá a seguinte ordem de prevalência:

- I – as ordens do agente de trânsito sobre as normas de circulação e outros sinais;
- II – as indicações do semáforo sobre os demais sinais;
- III – as indicações dos sinais sobre as demais normas de trânsito.”

“Art. 90. Não serão aplicadas as sanções previstas neste Código por inobservância à sinalização quando esta for insuficiente ou incorreta.”

“§ 1º O órgão ou entidade de trânsito com circunscrição sobre a via é responsável pela implantação da sinalização, respondendo pela sua falta, insuficiência ou incorreta colocação.”

A sinalização cicloviária é uma parte da sinalização viária, e deve se compor principalmente da sinalização vertical, horizontal e semafórica. A parte vertical será integrada por placas contendo sinais de regulamentação, de advertência e de

indicação, e a parte horizontal será composta por marcas, símbolos e legendas. Ambas deverão ser aplicadas nas ciclofaixas e ciclovias e, também, nas vias de apoio e transversais mais importantes voltadas para os condutores de veículos automotores e pedestres.

A sinalização semafórica de controle de fluxos cicloviário poderá subdividir-se nos grupos de sinalização semafórica de regulamentação ou de advertência. A sinalização semafórica de regulamentação terá a função de efetuar o controle do trânsito num cruzamento ou seção de via, através de indicações luminosas, alternando o direito de passagem dos vários fluxos de veículos, pedestres e ciclistas. Para os condutores de bicicleta, será composta de dois focos semafóricos quadrados, nas cores verde e vermelha com o símbolo de uma bicicleta estampada nas lentes, fixados em colunas metálicas, cujos acionamentos estarão sincronizados com os dos demais focos semafóricos.

A sinalização semafórica de advertência, por sua vez, terá a função de advertir os ciclistas da existência de obstáculo ou situação perigosa adiante, devendo o condutor da bicicleta reduzir a velocidade e adotar medidas de precaução compatíveis com a segurança. Será composta de uma ou duas lentes de cor amarela, cujo funcionamento é intermitente ou piscante alternado no caso de dois focos.

2.3.1.2.1 Sinalização Vertical

A sinalização vertical cicloviária é composta de três tipos de sinais: de regulamentação, de advertência e de indicação:

- a) Sinalização Vertical de Regulamentação: Composta por sinais que indicam aos condutores de veículos proibições, restrições ou obrigações relativas à utilização das vias públicas, e o desrespeito a esta sinalização constitui infração às normas legais estabelecidas pelo Código de Trânsito Brasileiro, por terem suas

informações caráter impositivo. O Código de Trânsito Brasileiro instituído pela Lei n.º 9.503 de 23 de Setembro de 1997, apresenta seis sinais de regulamentação que serão mais freqüentemente utilizados na formulação de um projeto de sinalização viária envolvendo ciclovias:

- **Sinal R-1 – “PARADA OBRIGATÓRIA”**: indica, aos condutores de veículo, a obrigatoriedade de parar antes de entrar na interseção;



Figura 2.18: Sinal R-1

- **Sinal R-2 – “DÊ A PREFERÊNCIA”**: indica, aos condutores de veículos, a obrigatoriedade de dar a preferência de passagem ao veículo que circula pela via que está cruzando, parando completamente se necessário;



Figura 2.19: Sinal R-2

- **Sinal R-10: “PROIBIDO TRÂNSITO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES”**: indica aos condutores de veículos automotores, a proibição de ultrapassar o ponto sinalizado da via;



Figura 2.20: Sinal R-10

- **Sinal R-12 – “PROIBIDO TRÂNSITO DE BICICLETA”:** indica, aos condutores de bicicletas, a proibição de ultrapassar o ponto sinalizado da via, e deverá ser utilizado para proibir a passagem ou a entrada de bicicletas nas vias que servirão de apoio as ciclofaixas e ciclovias;



Figura 2.21: Sinal R-12

- **Sinal R-29 – “PROIBIDO TRÂNSITO DE PEDESTRES”:** indica, aos pedestres, a proibição de ultrapassar o ponto sinalizado da via;



Figura 2.22: Sinal R-29

- **Sinal R-34 – “CIRCULAÇÃO EXCLUSIVA DE BICICLETA”:** indica que somente os condutores de bicicletas poderão ultrapassar o ponto sinalizado da via, e deverá ser utilizada para indicar aos condutores de veículos motorizados e pedestres a exclusividade de uso das ciclofaixas e ciclovias.



Figura 2.23: Sinal R-34

- b) **Sinalização Vertical de Advertência:** Composta de sinais que têm a função de advertir os condutores de veículos da existência, adiante, de um perigo ou situação inesperada na via, bem como da sua natureza. Em estruturas viárias como a da Baixada Santista, uma das situações inesperadas para os condutores de veículos motorizados principalmente para os turistas, é o cruzamento com fluxos intensos de bicicletas. O Código de Trânsito Brasileiro apresenta seis sinalizações de advertência que serão mais freqüentemente utilizados na formulação de um projeto de sinalização viária envolvendo ciclovias:

 - **Sinal A-30 – “CICLISTAS”:** indica ao condutor dos veículos motorizados a existência, adiante, de local de travessia de número significativo de ciclistas, e deverá ser instalado nas vias transversais que seccionam as ciclofaixas ou ciclovias;



Figura 2.24: Sinal A-30

- **Sinal A-32a – “PASSAGEM DE PEDESTRES”:** adverte o condutor de veículo da existência, adiante, de local de travessia de pedestres;



Figura 2.25: Sinal A-30

- **Sinal A-32b – “PASSAGEM SINALIZADA DE PEDESTRES”:** adverte o condutor de veículo da existência, adiante, de local demarcado para travessia de pedestres;



Figura 2.26: Sinal A-32b

- **A-33a – “ÁREA ESCOLAR”:** adverte o condutor do veículo da existência, adiante, de área de travessia de escolares;



Figura 2.27: Sinal A-33b

- A-33b – “**PASSAGEM SINALIZADA DE ESCOLARES**”: adverte o condutor do veículo da existência, adiante, de área demarcada para travessia de escolares;



Figura 2.28: Sinal A-33b

- A-34 – “**CRIANÇAS**”: adverte o condutor do veículo da existência, adiante, de área destinada ao lazer de crianças.



Figura 2.29: Sinal A-34

Além destes sinais, outras mensagens de advertência poderão ser utilizadas nas ciclovias, tais como: “Atenção. Cruzamento com veículos a 20m”, “Devagar. Valeta a 30m”, “Devagar. Divisão de pista a 50m”, “Pedestre – Não Caminhe na Ciclovia”, etc.

- c) Sinalização Vertical de Indicação: nas Malhas Cicloviárias extensas, recomenda-se o uso da Sinalização Vertical de Indicação Cicloviária com as características descritas a seguir, a ser instalada nas ciclofaixas e ciclovias e também nas vias de tráfego motorizado inseridos na área de influência direta da Malha Cicloviária, para transmissão aos condutores de bicicleta de informações úteis em seus deslocamentos.

- Cores

As placas de Sinalização Vertical de Indicação voltada para os condutores de bicicletas deverão ser confeccionadas nas cores recomendadas pelo Manual de Planejamento Cicloviário:

Fundo	Azul marinho
Borda	Branco
Quadro interno	Fundo branco com letras e símbolos pretos
Mensagem principal	Branco

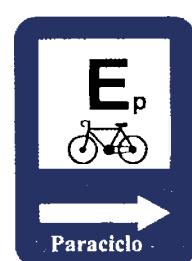
Tabela 2.12: Especificações de cor de placas de sinalização vertical de indicação

- Tipos de Placas

- Localização de Áreas de Estacionamento: para indicação de bicicletários ou paraciclos.



Placa I-26: Ciclovia a 100m
(dirigida aos ciclistas)



Placa I-25: Estacionamento para bicicletas

* Fonte: Manual de Planejamento Cicloviário

Figura 2.30: Placas de indicação de estacionamento

- Localização de Oficinas de Conserto de Bicicletas: para indicação das oficinas instaladas nas proximidades da Malha Cicloviária.



Figura 2.31: Placas de indicação de oficina mecânica

- Indicação de Existência de Ciclovia: para indicação de rotas de acesso à Malha Cicloviária. Trata-se da placa recomendada pelo Manual de Planejamento Cicloviário onde a mensagem principal (distância) está acompanhada de uma seta indicativa da direção a seguir.



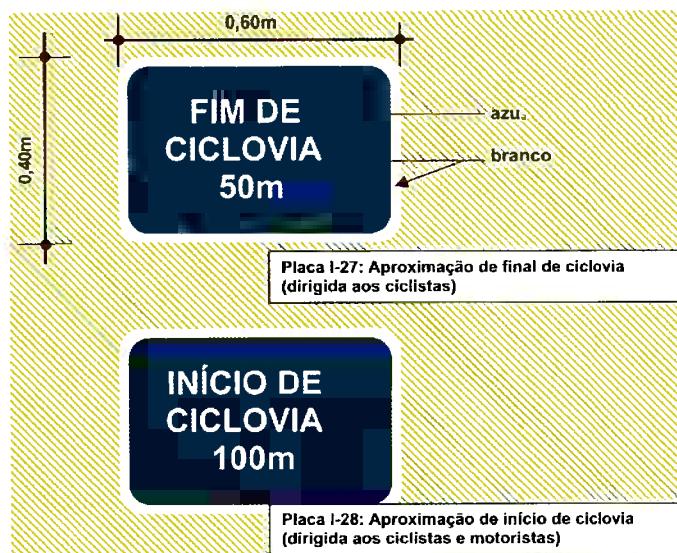
Figura 2.32: Placas de indicação de existência de ciclovia

- Indicação de Destinos de Viagens: para sinalização de rotas de viagens do Sistema de Orientação de Tráfego Cicloviário em direção a bairros, Atrativos Turísticos, pólos de atração de ciclistas, etc.



Figura 2.33: Placas de indicação de rotas

- Indicação de Início e Fim de Ciclovias: para informação do ponto inicial ou de término de uma ciclofaixa ou ciclovia, nas quais não são inseridos os quadros internos.



* Fonte: Manual de Planejamento Cicloviário

Figura 2.34: Placas de indicação de início e fim de ciclovia

- Especificação de Materiais

Por se tratar de sinalização viária, os materiais a serem utilizados para a confecção das placas e das colunas de sustentação, bem como as películas dos sinais de trânsito, serão os seguintes:

– **Sinalização Vertical - Película Grau técnico:** A película refletiva deve ser constituída de microesferas de vidro aderidas a uma resina sintética. Deve ser resistente às intempéries, possuir grande angularidade de maneira a proporcionar ao sinal as características de forma, cor e legenda ou símbolos e visibilidade sem alterações, tanto a luz diurna, como à noite sob luz refletida.

2.3.1.2.2 Sinalização Horizontal

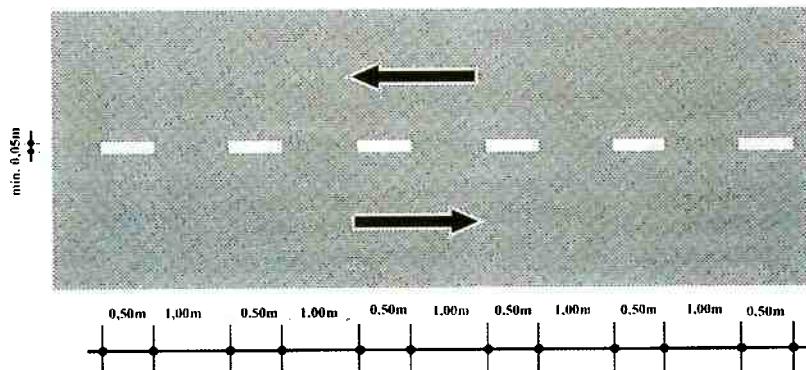
A sinalização horizontal cicloviária é composta de marcas, símbolos e legendas, demarcadas sobre as ciclofaixas e ciclovias, cuja função é organizar o fluxo de veículos e pedestres. Pode ser composta por marcas longitudinais e inscrições no pavimento (símbolos e legendas).

A sinalização horizontal longitudinal tem por objetivos dar ao condutor da bicicleta, sua exata posição na via e, ainda, estabelecer regras de ultrapassagem, mudanças de faixa, conversões, etc.

Os símbolos e legendas são utilizados para orientar o condutor da bicicleta quanto ao uso da via e ordenação da circulação, atuando também como reforço das sinalizações verticais de regulamentação e de advertência.

a) Sinalização horizontal Longitudinal:

- *Linha Divisória de Fluxos Opostos:* divide fluxos opostos de tráfego em ciclofaixas e ciclovias com duplo sentido de circulação.
 - *Tipo 1:* linha simples seccionada na cor amarela (5cm de largura), a ser utilizada nos trechos entre interseções com vias de tráfego motorizado.



* Fonte: Manual de Planejamento Cicloviário

Figura 2.35: Linha simples seccionada (distanciamento a adotar)

- *Tipo 2:* linha simples contínua na cor amarela (10cm de largura), a ser utilizada nas aproximações das intersecções com vias de tráfego motorizado, nas aproximações de obstáculos (valetas, por exemplo) e em aproximações de bifurcações de pista, onde as ultrapassagens são indesejáveis por problema de segurança.

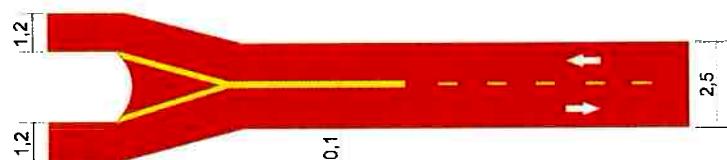
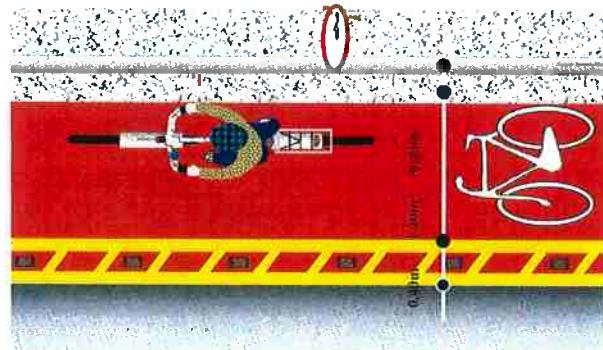


Figura 2.36: Linhas de canalização e simples contínua

- *Linha de Canalização:* linha contínua na cor amarela (10 cm de largura) destinada a canalizar os fluxos de bicicletas por motivos de segurança e/ou fluidez, como por exemplo, para afastamento de um obstáculo no centro da ciclovia.
- *Linha de Borda de Ciclofaixa (faixa de segurança):* a ser aplicada junto à pista de tráfego motorizado com 50 cm de largura, composta por duas linhas

simples contínuas complementadas com zebração e tachões monodirecionais (elemento refletivo voltado para o fluxo de veículos motorizados).



*Fonte: Manual de Planejamento Cicloviário

Figura 2.37: Linha de borda de ciclofaixa

b) Símbolos e Legendas

- **Símbolo de Bicicleta:** pintada na cor branca, inscrita em um retângulo de 90 cm de base e 1,80m de altura, sobre a ciclofaixa ou ciclovia para enfatizar a destinação das faixas de uso exclusivo dos ciclistas.

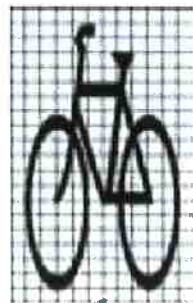


Figura 2.38: Bicicleta pintada no solo (cor branca)

- Setas: pintada na cor branca com 1,80m de altura sobre a ciclofaixa ou ciclovía para ordenação de fluxos de bicicletas direto e/ou de conversão.

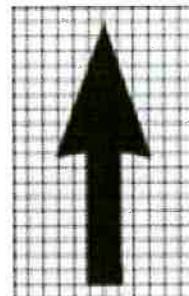
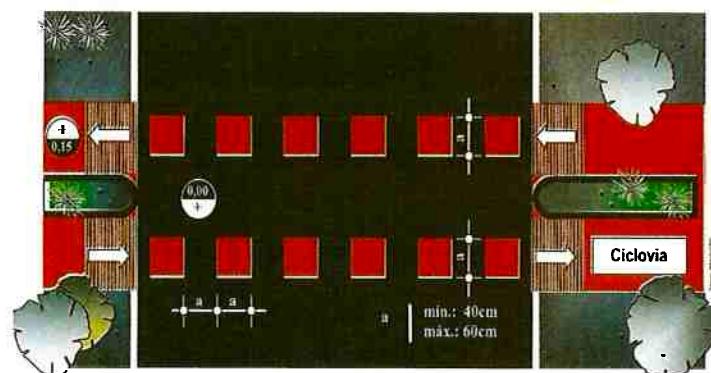


Figura 2.39: Seta pintada no solo (cor branca)

c) Marcação de Cruzamentos rodocicloviários

A sinalização horizontal a ser adotada para a marcação de cruzamentos rodocicloviários é a recomendada pelo Manual de Planejamento Cicloviário, com quadrados pintados na cor vermelha com 40 cm a 60 cm de lado, na diretriz da ciclofaixa ou ciclovía, conforme se mostra no desenho a seguir.



* Fonte: Manual de Planejamento Cicloviário

Figura 2.40: Marcação de cruzamentos rodocicloviários

d) Marcação de áreas para travessia de pedestres

A sinalização horizontal recomendada para a marcação de áreas para travessia de pedestres nas ciclofaixas e ciclovias deverá assemelhar-se às demarcações de travessia de pedestres nas vias de veículos automotores, ou seja, faixas na cor branca com 40 cm de largura e com 3m a 4m de comprimento, aplicadas sobre a pista exclusiva das e bicicletas pintada na cor vermelha, conforme se mostra no desenho a seguir.

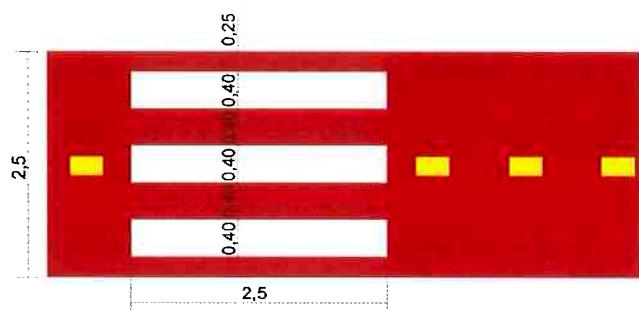


Figura 2.41: Marcação de áreas para travessia de pedestres

e) Especificação de Materiais

Por se tratar de sinalização viária, as especificações das tintas são as seguintes:

Tinta à base de Resina Acrílica para pintura de faixas de demarcação em Rodovias e Vias Urbanas. Resina acrílica modificada à base de solvente, com alto desempenho e performance para rodovia e via urbanas. É uma tinta que resguarda suas características e qualificações, mesmo submetida a altos volumes de tráfego. Apresenta como características principais: fácil homogeneização, ótima resistência à abrasão, ótima aderência ao substrato, secagem rápida, integridade de cor, excelente retenção de microesferas de vidro, ótima retrorrefletividade noturna.

2.3.2 CONSCIENTIZAÇÃO DOS MOTORISTAS

Para impedir que ciclistas e motoristas de veículos motorizados travem uma batalha perigosa por um pedaço de asfalto, a Universidade não pode se omitir.

Ações de informação que divulguem a importância da ciclofaixa no sistema de transporte do Campus conscientizam a todos de que carros, ônibus e bicicletas podem, e precisam, conviver em harmonia em prol de um trânsito mais eficiente e seguro.

Para disseminar essa filosofia, estratégias de comunicação precisam ser adotadas para criar uma cultura comum aos usuários da USP:

- Distribuição de panfletos explicativos sobre legislação cicloviária;
- Implantação de mídia “Out of Home” para suplementar comunicação impressa;
- Cursos de legislação cicloviária e educação no trânsito aos guardas universitários,
- Promover debates com autoridades do assunto para esclarecer dúvidas da população e discutir pontos a desenvolver.

2.3.3 URBANIZAÇÃO DE ESTACIONAMENTOS

Dentro dos quase 78 km² de área total da USP, um dos elementos que ocupa uma grande parte do espaço, e muitas vezes de forma ineficiente, são os estacionamentos. Com a implementação deste Projeto, estes últimos deverão ser replanejados e redimensionados para otimizar seus espaços liberando, assim, maiores oportunidades para alternativas arquitetônicas que beneficiem a circulação de pedestres.

As viagens efetuadas pelos ciclistas compõem-se obrigatoriamente de duas partes. A primeira é caracterizada pelo deslocamento entre dois pontos, onde o padrão de segurança e a comodidade estão associados à disponibilidade de uma Malha Cicloviária eficiente. A segunda parte refere-se à facilidade de o ciclista encontrar um local para estacionamento seguro de seu veículo, junto ou o mais próximo possível de seu destino.

Os maiores obstáculos para o uso das bicicletas como meio de transporte, são os riscos de atropelamentos e a falta de ciclovias e de estacionamentos para as bicicletas.

Diante disto, torna-se evidente que, além da ampliação da Malha Cicloviária, que irá proporcionar conforto nos deslocamentos e contribuir decisivamente para a redução do número de acidentes de trânsito envolvendo os ciclistas, será necessário ampliar o número de paraciclos dentro da USP.

O estacionamento das bicicletas deve ser cuidadosamente analisado sob pena de se criar uma situação de insegurança com reflexos negativos na adesão ao sistema que se pretende implementar. Estes estacionamentos deverão estar localizados junto aos pontos de parada e terminais de ônibus, escolas e edifícios públicos, faculdades e outros locais movimentados como as praias, praças, parques, Atrativos Turísticos, estabelecimentos comerciais e bancários, entre outros, sendo indispensável uma forma adicional de vigilância a ser exercida pelas autoridades policiais.

O estacionamento para bicicletas representa um dos grandes problemas na implementação de um projeto cicloviário e, também, um grande desafio a ser vencido. Trata-se de definir as condições exigidas para o seu correto funcionamento e, posteriormente, selecionar os locais mais adequados para a sua instalação. O estacionamento de bicicletas dever ser concebido de modo a:

- Proporcionar um bom apoio para a bicicleta;
- Possibilitar um estacionamento ordenado e harmonioso;

- Exigir pouco esforço do ciclista;
- Permitir amarrar a bicicleta e instalar um cadeado;
- Oferecer proteção contra as adversidades do clima, em especial contra as chuvas;
- Possibilitar a segurança das bicicletas contra roubo ou depredações.

Prevê-se que, com a ampliação da Malha Cicloviária e com o aumento do número de paraciclos e bicicletários, os deslocamentos dos ciclistas se tornarão mais seguros e confortáveis, e poderá ocorrer uma maior utilização da bicicleta como meio de transporte para os deslocamentos residência – trabalho e residência – escola. Deste modo, de acordo com o Manual de Planejamento Cicloviário, para que a integração modal seja atrativa para os ciclistas será necessário que os paraciclos apresentem as seguintes características:

- **Segurança pública:** os paraciclos deverão ser implantados em áreas de maior circulação para facilitar o trabalho de monitoramento. No caso de inexistência deste, pode-se estudar a possibilidade de franquear o espaço para venda de produtos de consumo a particulares, desde que haja a obrigação do franqueado em exercer a vigilância das bicicletas estacionadas no paracílico;
- **Segurança individual:** o projeto do paracílico deve prever a existência de dispositivo especial que possibilite o uso de cadeado ou tranca para prender a bicicleta;

- **Facilidade de acesso:** construção de pequenos trechos de ciclovia ou de rampas de acesso a pisos eventualmente mais elevados em relação ao nível da rua;
- **Caracterização do espaço:** o paraciclo deverá ser solidário, mas independente do espaço do abrigo, da parada de ônibus, ou do terminal de passageiros onde o ciclista irá realizar sua integração;
- **Iluminação e identificação:** os paraciclos devem ser providos de iluminação noturna e de sinalização clara que possibilite a sua identificação à distância pelos ciclistas;
- **Sinalização das rotas de chegada:** devem ser instaladas placas indicativas visando orientar os ciclistas sobre a localização do paraciclo em todas as vias de acesso lindeiras à área onde está implantado o estacionamento;
- **Informação aos ciclistas:** produzir, na área ou em local próximo ao paraciclo, tabelas dos transportes coletivos com os quais é possível realizar a integração, objetivando orientar os ciclistas sobre as melhores opções à realização desta integração.

Um bom exemplo para adotarmos é a Escola Politécnica, que possui um grande número de alunos e funcionários e, por isso, possui um dos maiores estacionamentos da Cidade Universitária.

A figura a seguir nos mostra o número de vagas, e consequentemente de espaço, economizado quando se faz a substituição do automóvel pela bicicleta:



Figura 2.42: Comparação de capacidade de estacionamento entre carro e bicicletas

Deste modo, seria necessária a exclusão de apenas 40 vagas de automóveis para criarmos, aproximadamente, 300 vagas de bicicletas. Tal operação não comprometeria a capacidade dos estacionamentos de receber a mesma quantidade de carros, haja vista a grande capacidade ociosa que os mesmos apresentam.

Na vista superior têm-se uma idéia da insignificância da área utilizada, se comparada à área total e ao benefício que a mesma traria.



Figura 2.43: Proporção entre a área total do estacionamento e a área necessária para as bicicletas

Todo e qualquer projeto arquitetônico que vise otimizar o espaço utilizado é bem-vindo e fundamental para promover a constante melhoria do serviço prestado à população local.

Conforme observado na figura 2.42, um automóvel médio ocupa o mesmo espaço do que 7 bicicletas. Portanto, considerando uma situação hipotética ideal, onde todas as pessoas se dirijam ao seu local de estudo através da bicicleta, pouparíamos 6/7 da área total dos estacionamentos por todo o Campus. Essa economia de espaço proporcionaria uma oportunidade única de reverter 86% do espaço urbanizado, hoje utilizado para os estacionamentos, em área verde.

2.3.3.1 Proposta de paraciclo

Há inúmeros modelos de suportes que servem indistintamente para paraciclos e biciletários, diferentes na forma de apoio da bicicleta, e no sistema de fixação no solo, havendo, inclusive, alguns modelos bastante sofisticados que chegam a disponibilizar um armário para trancar a bicicleta. De maneira geral, o grau de segurança a ser oferecido e o custo envolvido na implantação serão determinantes na escolha do tipo a ser implantado.

Recomenda-se que os suportes para estacionamento de bicicleta, assim como todos os acessórios de apoio às ciclovias, sejam homogêneos a fim de ser reconhecimento facilmente por todos quantos circulem ou cruzem a Malha Cicloviária.

Dentro do Plano Cicloviário Metropolitano, sugere-se o uso do suporte "U" invertido, de fácil confecção, instalação e manutenção, que permite o estacionamento de duas bicicletas em cada suporte, e possibilita ao usuário prender por meio de cadeado, as duas rodas e o quadro da bicicleta, como se pode observar na figura 2.44.

Apresentam-se, a seguir, as especificações do modelo de suporte sugerido para estacionamento de bicicleta do tipo "U" invertido, onde cada unidade pode ser utilizada para duas bicicletas.

2.3.3.1.1 Especificações

- **Dimensões do Suporte:** 80 cm de largura por 80 cm de altura.
- **Forma, Fixação e Material:** apresentado na figura 2.44.

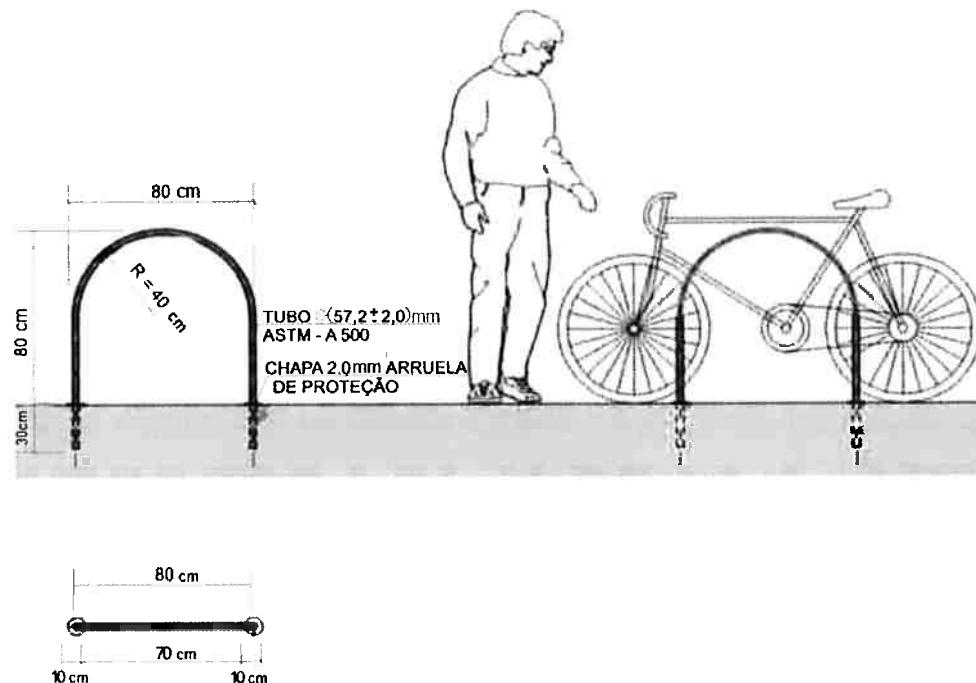


Figura 2.44: Esquema de estacionamento e planta baixa de paraciclo proposto

2.3.3.1.2 Local de Instalação

O suporte "U" invertido pode ser instalado em qualquer local em que se disponha de uma área mínima de 1,10m x 2,20m, tais como calçadas, praças, vias de tráfego motorizado, recuos de pequenos estabelecimentos comerciais, estacionamento de automóveis de grandes estabelecimentos comerciais, áreas de estacionamento de automóveis junto às praias, entre outras.

2.3.3.1.3 Área mínima para instalação

Para a instalação em paraciclos ou bicicletários, os suportes para estacionamento poderão ser dispostos de duas maneiras, isto é, permitindo ou não a circulação das pessoas entre as bicicletas:

- Estacionamento com espaço de circulação de pessoas entre as bicicletas: exigirá o espaçamento de 1,10m entre dois suportes, conforme se mostra na figura 2.45, e permitirá a fixação de duas bicicletas em cada suporte.

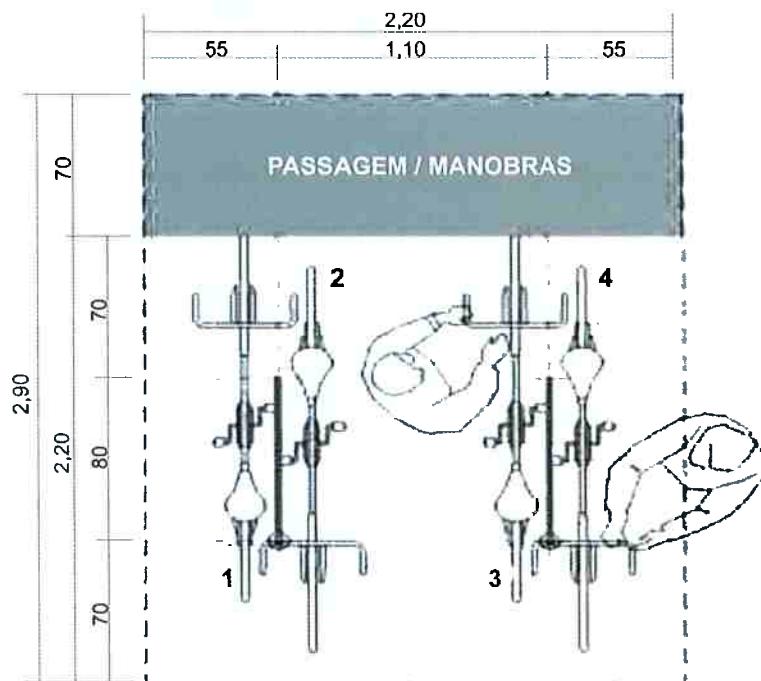


Figura 2.45: Estacionamento com espaço de circulação entre as bicicletas

- Estacionamento sem espaço de circulação de pessoas entre as bicicletas: exigirá o espaçamento de 76 cm entre dois suportes, conforme se mostra na figura 2.46, e permitirá a fixação de uma bicicleta em cada suporte.

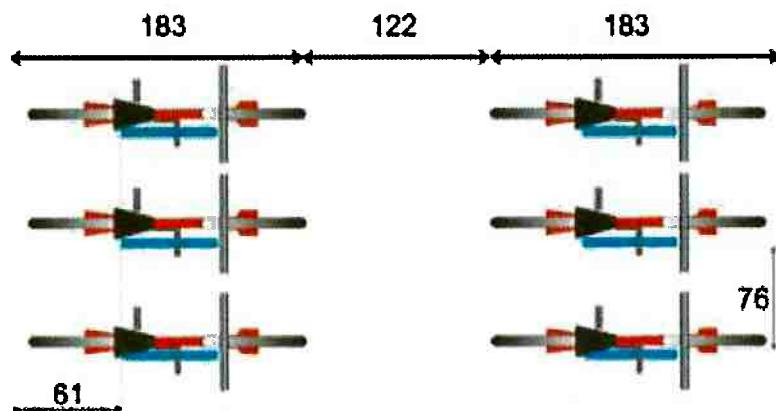


Figura 2.46: ESTACIONAMENTO SEM ESPAÇO DE CIRCULAÇÃO ENTRE AS BICICLETAS

2.3.3.2 Instalação do suporte sobre calçadas

A instalação dos suportes para estacionamento de bicicletas sobre a calçada poderá ser feita desde que sejam obedecidas algumas restrições:

- **Largura mínima da calçada:** considerando a área ocupada pelas duas bicicletas fixadas uma de cada lado do suporte, igual a $1,75m^2$ (2,20 m de comprimento por 80 cm de largura), e a necessidade de garantir uma passagem de 1,60 m para pedestres, livre de qualquer obstáculo, a largura mínima exigida para a calçada será de 3,00m. Com esta dimensão, será possível manter um afastamento mínimo de 0,60m do meio-fio em relação à bicicleta estacionada, e um corredor livre para a circulação de pedestres com a largura mínima de 1,60m, suficientes para a abertura das portas de um automóvel e para a circulação bidirecional de pedestres, respectivamente;

- **Afastamento de guias rebaixadas:** o suporte tipo “U” invertido não poderá localizar-se a menos de 1,50m de distância de uma guia rebaixada para não interferir no acesso dos veículos às áreas de estacionamento;
- **Afastamento de faixas de travessia de pedestres:** o estacionamento de uma bicicleta em um suporte tipo “U” invertido não poderá interferir no acesso à faixa de travessia de pedestres, de modo que a distância mínima de instalação do suporte em relação à faixa será igual a 80 cm, e deverá ser mantida tanto para as faixas nas interseções como naquelas instaladas no meio de quadra;
- **Fluxos intensos de pedestres:** em calçadas que apresentam grande fluxo de pedestres, o estacionamento de bicicletas sobre a calçada não poderá ser admitido mesmo que apresente a largura mínima de 3m. Assim, em zonas comerciais, proximidades de escolas, hospitais e outros pólos de atração de pedestres ou ciclistas, onde não existam calçadas bastante largas (o que é muito raro nos meios urbanos), a instalação dos suportes para estacionamento de bicicletas só poderá ser feita sobre em áreas privadas (como muitas existentes em todas as cidades em frente a estabelecimentos comerciais, bancários, indústrias, padarias, bares, etc.) ou sobre a via pública, como se verá adiante;
- **Pontos de parada de ônibus:** a instalação dos suportes não poderá dificultar o embarque ou o desembarque dos passageiros. Nos casos de integração modal bicicleta – ônibus, recomenda-se que o estacionamento das bicicletas seja instalado em local próprio, especialmente projetado para este fim, como se descreveu anteriormente;
- **Circulação de pessoas com restrição de mobilidade:** o estacionamento de bicicletas sobre a calçada representará, assim como outros equipamentos urbanos (“orelhões”, caixas de correio, postes, etc.), pontos de interferências para o deslocamento de pessoas com restrição de mobilidade, tais como deficientes visuais, cadeirantes, idosos, entre outros. Assim, o projetista

deverá estar atento à presença destas pessoas, pois as bicicletas apresentam três saliências em alturas diferentes que poderão agredir um portador de deficiência visual: o selim (banco) com cerca de 20 cm de largura, os pedais que ocupam quase 45 cm e o guidão cuja largura ultrapassa os 60 cm – a elevação do piso em alguns centímetros deverá ser considerada para o retângulo de 2,20m x 80 cm (estacionamento), de modo a ser detectado pelo deficiente visual.

2.3.3.3 Redução de emissão de CO₂

O uso da bicicleta representa uma mudança de comportamento com grande impacto positivo não só para a saúde do ciclista, como também para o meio ambiente e a cidade. Se o usuário escolher pedalar ao invés de dirigir seu carro até a Universidade, deixará de lançar para a atmosfera, em uma semana, 15 quilos de CO₂ (considerando que deixou de utilizar um veículo popular movido a gasolina percorrendo um trajeto de 20 quilômetros por dia). Em apenas um mês, esse ciclista deixará de emitir 60 quilos de CO₂.

Se mil bicicletas substituíssem o automóvel, diariamente, como meio de transporte, a atmosfera se verá livre de 3,1 toneladas de CO₂. Isso equivale ao que 720 árvores nativas da Mata Atlântica absorvem em um ano, em seu processo de crescimento por meio da fotossíntese. Elas ocupariam uma área um pouco maior do que meio campo de futebol. Isso em apenas um dia!

2.3.4 ASPECTOS DE SEGURANÇA

O papel de Universidade também é o de fornecer segurança para os ciclistas, seja quando eles estão montados na bicicleta ou quando estas estão estacionadas.

No primeiro caso, a segurança de circulação do ciclista se efetiva quando o trabalho de sinalização e conscientização são bem realizados e democráticos para expandir a informação de forma igualitária.

Na segunda necessidade de segurança, a vigilância de cada prédio, associada à guarda universitária, devem intensificar a fiscalização pela vulnerabilidade das bicicletas que, por não apresentarem identificação individual, tornam quase impossível sua recuperação após um furto.

2.4 SELEÇÃO DO MODELO DA BICICLETA

Para a finalidade proposta neste trabalho, além de consideradas as condições de trabalho e restrições do material, é fundamental que se leve em conta o conforto do ciclista, uma vez que há a possibilidade de utilização diária do Sistema por parte do usuário. Com este ponto em questão, a característica primordial para seleção do modelo de bicicleta é a *ergonomia*. Considerando que serão utilizados 2.000 exemplares do modelo selecionado, um fator secundário decisivo para a escolha final é o preço de cada um.

Dentre todos os modelos fabricados pela Caloi, aqueles que apresentam a ergonomia como forte apelo estão listados abaixo, com seus respectivos custos (mais ergonômico = 5; menos ergonômico = 1; mais barato = 5; menos barato = 1). Por possuírem importâncias distintas no contexto em questão, serão designados pesos aos critérios. Sendo assim, a ergonomia receberá peso 2, enquanto atribuir-se-á peso 1 ao custo.

- CALOI 100 (Aro 26):

Ideal para pedaladas em parques, ruas ou praia. Esse modelo exclusivo Caloi, traz modernidade em seu conceito sem deixar de privilegiar o conforto do ciclista.



Figura 2.47: Bicicleta Caloi 100 – Aro 26

FICHA TÉCNICA:

Quadro: Quadro “dolphin” com tubos de alumínio 6061 T6

Garfo/Suspensão dianteira: Aço carbono

Guidão: Aço carbono curvo tipo “cruiser”

Suporte do guidão: Em aço carbono

Movimento de direção: “Oversize”

Manopla: Plástica para “grip” em PVC

Pedivela: Tripla – 170 mm

Corrente: KMC - Indexada

Freio: “V – Brake” em alumínio

Pedal: MTB com refletor

Cubo dianteiro: Aço

Tubo traseiro: Aço

Aros: Caloi em alumínio

Raios: Aço

Pneus: 26" Preto com faixa branca

Selim: Extra “soft”

Canote do selim: Em alumínio com suspensão e regulagem de carga (peso)

Abraçadeira do selim: Alumínio com “*quick release*”

Alavanca de freio: Suporte plástico com manete de alumínio para “*V-Brake*”

Alavanca de câmbio: “*Grip system*” Caloi com regulador de esforço

Câmbio dianteiro: “*Grip system*” Caloi micro índice

Câmbio traseiro: “*Grip system*” Caloi indexado

Cassete/roda livre: Roda livre de 7 velocidades

Movimento central: 3 Partes

Número de marchas: 21 Velocidades

Tamanho: Aro 26

Diferencial: - Quadro em alumínio; - Câmbio “*Grip System*” Caloi

Preço: R\$ 499,00

$$\begin{array}{rcl} \text{ergonomia} = 5 & \xrightarrow{\text{Coeficiente}} & \\ \text{custo} = & 3 & \xrightarrow[\text{Adequação}]{\text{de}} \\ & & = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 3}{5} = \underline{\underline{4,2}} \end{array}$$

- CALOI “CITY TOUR”

Quanto maior a distância, melhor. Perfeita para percorrer longos percursos, a “*City Tour*” foi desenvolvida para o cicloturismo, prática muito comum na Europa através da qual os ciclistas percorrem de médias a longas distâncias, com muito conforto, de bicicleta. Vem equipada com componentes “*Shimano*”, suspensão dianteira com 50 mm de curso, bagageiro com mola, paralamas e rodas aro 700 que garantem segurança, conforto e agilidade.



Figura 2.48: Bicicleta Caloi "City Tour"

FICHA TÉCNICA:

Quadro: Quadro "City Bike" em alumínio 6061 T6

Garfo/Suspensão dianteira: Alumínio com suspensão de 50 mm de curso para aro 700C

Guidão: Alumínio curvo

Suporte do guidão: Alumínio preto com regulagem de inclinação

Movimento de direção: "Oversize"

Manopla: Em "Kraton"

Pedivela: Tripla "Shimano" 170 mm com protetor de corrente

Corrente: KMC - Indexada

Freio: "V – Brake" em alumínio

Pedal: "Comfort"

Cubo dianteiro: Alumínio com "Quick release"

Cubo traseiro: Alumínio com "Quick release"

Aros: Em alumínio – 700C

Raios: Aço inoxidável

Pneus: 700 Híbrido preto

Selim: Velo

Canote do selim: Em alumínio com suspensão e regulagem de carga (Peso)

Abraçadeira do selim: Alumínio com "Quick release"

Alavanca de freio: Integrada com alavanca de câmbio

Alavanca de câmbio: "Shimano" EZ – "Fire plus" EF 50 integrada

Câmbio dianteiro: "Shimano"

Câmbio traseiro: "Shimano" TX 50 7 velocidades

Cassete/roda livre: "Everest" 7 velocidades

Movimento central: Semi-blindado

Número de marchas: 21 velocidades

Tamanho: Único

Diferencial: - Suporte de guidão em alumínio com ajuste de inclinação; - Componentes "Shimano"; - Suspensão dianteira; - Bagageiro em alumínio com mola; - Aro 700 com parede dupla

Preço: R\$ 1.199,00

$$\frac{\text{ergonomia}}{\text{custo}} = \frac{2}{1} \Rightarrow \frac{\text{Coeficiente de Adequação}}{\text{Adequação}} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 1}{5} = \underline{\underline{1,6}}$$

- CALOI POTI (ARO 26)

Uma clássica e tradicional bicicleta de transporte, a Poti oferece além do maior bagageiro da categoria, selim com mola e um cesto frontal. Com seu quadro de aço carbono rebaixado, ela é resistente e atende a todo tipo de consumidor.



Figura 2.49: Bicicleta Caloi Poti – Aro 26

FICHA TÉCNICA:

Quadro: Quadro "Poti" em aço carbono super resistente

Garfo/Suspensão dianteira: Aço carbono

Guidão: Aço carbono cromado

Suporte do guidão: Aço carbono cromado com extensão

Movimento de direção: STD

Manopla: Plástica

Pedivela: Monobloco cromado

Corrente: Grossa

Freio: Cantilever

Pedal: Plástico com refletor

Cubo dianteiro: Aço

Cubo traseiro: Aço

Aros: Caloi em alumínio

Raios: Aço

Pneus: 26X1.1/2X2 Praieiro

Selim: Caloi AMS 2 molas

Canote do selim: Aço carbono

Abraçadeira do selim: Aço carbono com parafuso

Alavanca de freio: Plástico

Alavanca de câmbio: Não possui

Câmbio dianteiro: Não possui

Câmbio traseiro: Não possui

Cassete/roda livre: Roda livre 1 vel com 20 dentes

Movimento central: Caixa de esperas 45 mm

Número de marchas: 1 velocidade

Tamanho: Aro 26

Diferencial: - Cesto aramado; - Bagageiro em aço extra forte com 500mm de comprimento (O Maior da Categoria); - Descanso lateral

Preço: R\$ 379,00

$$\begin{array}{rcl}
 \text{ergonomia} = 4 & \xrightarrow{\quad \text{Coeficiente} \quad} & \\
 \text{custo} = \quad 4 & \xrightarrow{\quad \text{de} \quad} & \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 4}{5} = \underline{\underline{4,0}} \\
 & \xrightarrow{\quad \text{Adequação} \quad} &
 \end{array}$$

- CALOI BARRAFORTE (ARO 26)

Uma bicicleta robusta, referência histórica no segmento de transporte. Desenvolvida para levar o ciclista com segurança e conforto. Com seu quadro em aço carbono, ela é resistente e se adapta a qualquer situação.



Figura 2.50: Bicicleta Caloi Barraforte – Aro 26

FICHA TÉCNICA

Quadro: Quadro “Barra Forte” em aço carbono super resistente

Garfo/Suspensão dianteira: Aço carbono

Guidão: Aço carbono cromado

Suporte do guidão: Aço carbono cromado com extensão

Movimento de direção: STD

Manopla: Plástica

Pedivela: Monobloco cromado

Corrente: Grossa

Freio: Cantilever

Pedal: Plástico com refletor

Cubo dianteiro: Aço

Cubo traseiro: Aço

Aros: Caloi em alumínio

Raios: Aço

Pneus: 26X1.1/2X2 Praieiro

Selim: Caloi AMS 2 molas

Canote do selim: Aço carbono

Abraçadeira do selim: Aço carbono com parafuso

Alavanca de freio: Plástico

Alavanca de câmbio: Não possui

Câmbio dianteiro: Não possui

Câmbio traseiro: Não possui

Cassete/roda livre: Roda livre 1 vel com 20 dentes

Movimento central: Caixa de esperas 45 mm

Número de marchas: 1 Velocidade

Tamanho: Aro 26

Diferencial: - Quadro super-resistente aço carbono com anel de reforço central; -

Bagageiro em aço extra forte com 500mm de comprimento (O Maior da Categoria); -

Descanso lateral

Preço: R\$ 369,00

$$\frac{\text{ergonomia}}{\text{custo}} = \frac{3}{5} \Rightarrow \frac{\text{Coeficiente de Adequação}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = \underline{\underline{3,8}}$$

Realizando as multiplicações dos valores aplicados, por seus respectivos pesos, obteve-se o *Coeficiente de adequação* (C_a) que, a partir do maior valor final, indica o modelo mais apropriado para a utilização exigida.

Em função dos critérios de avaliação estabelecidos neste item, a Caloi 100 (Aro 26), com $C_a = 4,2$, seria a melhor opção. Porém, devido às restrições impostas pela seleção do material (realizada no item 2.1), o quadro da bicicleta não poderá ser em alumínio. Nesse caso, a escolha final do modelo de bicicleta ideal para este projeto é

a Caloi Poti, cujo coeficiente de aprovação ($C_a = 4,0$) ficou muito próximo do maior valor obtido ($C_a = 4,2$).

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após inúmeras questões vitais aqui discutidas, ficou nítida a complexidade de se desenvolver um sistema público de transporte, até mesmo para os meios e ambientes mais simples. Em vista disso, alguns pontos colocados neste projeto poderiam receber um estudo maior para otimizar suas respectivas implantações.

2.5.1 ADEQUAÇÃO DO NÚMERO DE MARCHAS

Pela irregularidade do relevo dentro da Cidade Universitária, será necessária a implantação de um dispositivo de marchas no modelo selecionado. Porém, o sistema mais utilizado apresenta 21 velocidades, o que possivelmente dificultaria a movimentação de usuários menos habituados ao ciclismo. Por conta disso, para que todos os tipos de pessoas consigam enfrentar ladeiras sem complicações com um câmbio complexo, recomenda-se um câmbio mais simples com apenas três marchas que atendam a todo tipo de situação: subidas, descidas e planos.

2.5.2 PARCERIAS

Mais uma vez, ressalta-se aqui a importância e a necessidade de realização de parcerias que invista no Sistema. Independente da origem do recurso (público ou privado), esta é uma oportunidade ímpar de promover um Marketing Institucional em

um projeto que terá repercussão nacional e trará um retorno de exposição só alcançado em mídias extremamente caras.

Para ilustrarmos o que está sendo defendido, 16 inserções de uma mídia de 30 segundos na TV Globo em um horário intermediário (13 horas, por exemplo), custará 225 mil reais ao anunciante. Comparativamente, a participação neste projeto gerará mídia espontânea em todos os meios de comunicação durante um intervalo de tempo considerável, além de significar uma oportunidade de exposição constante da marca em virtude dos espaços de propaganda inclusos nos elementos básicos do Sistema.

A vantagem dessa operação está na mobilidade da propaganda, ou seja, a marca estará pulverizada por todos os pontos onde houver um elemento do Sistema. Sem contar nos usuários que funcionarão como “promotores” da marca por onde quer que estejam pedalando aumentando, assim, a visibilidade e a abrangência da propaganda.

As empresas interessadas no projeto poderão explorar todos os elementos do Sistema (bicicletas, ciclofaixas, cartões, uniformes de equipe, etc.) para divulgarem a imagem de suas marcas:

2.5.2.1 Bicicleta



Figura 2.51: Proposta de “advertising” na bicicleta

2.5.2.2 Ciclofaixa



Figura 2.52: Proposta de “advertising” na ciclofaixa

2.5.2.3 Cartão de usuário



Figura 2.53: Proposta de “advertising” no cartão de usuário

2.5.2.4 Uniformes



Figura 2.54: Proposta de “advertising” no uniforme

2.5.3 A UNIVERSIDADE COMO LABORATÓRIO

É sabido do papel da Universidade Pública no desenvolvimento do Estado. Seu funcionamento visa promover a difusão do conhecimento a todos de forma imparcial e democrática para que o saber transforme o cidadão e lhe forneça ferramentas para melhorar as condições de existência da humanidade.

Basicamente, como em qualquer atividade experimental, à princípio os testes precisam ser realizados em pequena escala para, posteriormente, serem implementados de uma forma mais abrangente. Deste modo, o objetivo maior do projeto aqui proposto é tornar possível a adaptação do experimento em questão em ambientes maiores (e com condições de contorno menos específicas) para promover o desenvolvimento do país em prol de uma existência melhor.

3 CONCLUSÕES

A bicicleta consome pouquíssima energia não gera gases poluentes ou geradores do efeito estufa, faz pouquíssimo ruído e seu impacto por onde passa praticamente inexiste. Ajuda a manter a cidade limpa e com um trânsito livre promovendo, assim, uma melhor qualidade de vida para todos. É também amiga do meio ambiente e se integra a ele harmonicamente como a máquina mais eficaz inventada pelo ser humano para transformar energia em movimento.

Seu principal benefício individual está no fato de que enquanto se desloca pela cidade, o cidadão exerce uma atividade física benéfica à sua saúde, tornando-o mais disposto, bem humorado e fisicamente em forma.

A bicicleta é econômica, o cidadão economiza em transporte, estacionamento, bem como no preço do veículo e sua manutenção. Gera também emprego e renda para a economia local e nacional. No Brasil hoje são fabricadas e vendidas cinco milhões de bicicletas por ano. Somos, portanto, auto-suficientes.

Um ciclista é capaz de percorrer 7 quilômetros em 30 minutos. Para pequenas e médias distâncias são quase sempre mais velozes que qualquer outro meio de transporte. Por não serem sujeitas a engarrafamentos, os tempos de viagem são sempre os mesmos. Além disso, são excelentes alimentadoras do transporte público e ambos integrados fazem um sistema de transporte quase perfeito para o ambiente urbano.

Promover a bicicleta é também promover a democracia e a igualdade social. Uma cidade com um bom planejamento cicloviário garante a qualquer cidadão em uma simples bicicleta os mesmos direitos de ir e vir, bem como os que circulam em carros luxuosos. Por esses e outros motivos é um dos muitos canais para se resolver o problema da imobilidade urbana e do sedentarismo. No entanto ela é acima de tudo um símbolo. Uma invenção que se equilibra em movimento, torna mais saudável quem pedala sem poluir o ar que respiramos, pode ser usada por ricos e pobres, crianças e idosos. Promove ainda a integração dos espaços públicos e favorece a aproximação entre as pessoas.

Como qualquer experiência, este projeto visou expor tentativas de melhoria em pequena escala, mas que frente às necessidades dos dias atuais pode trazer – e apresenta potencial para tal – benefícios e melhorias imensuráveis para manutenção do nosso dia-a-dia.

“A luta contra o erro tipográfico tem algo de homérico. Durante a revisão os erros se escondem, fazem-se positivamente invisíveis. Mas, assim que o livro sai, tornam-se visibilíssimos, verdadeiros sacis a nos botar a língua em todas as páginas. Trata-se de um mistério que a ciência ainda não conseguiu decifrar...”

(Monteiro Lobato)

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – Norlin-Weissenrieder A., Board S., “The Importance of advanced material selection and testing strategies”, St. Jude Medical, Minnesota, 2007
- 2 – Bicicleta dobrável, “The One”:
<http://www.trendhunter.com/trends/the-one-finally-a-goodlooking-folding-cycle/>
- 3 – Apresentação de Protótipos:
<http://www.bikemagic.com/news/article.asp?UAN=5756&v=1>
- 4 – Acompanhamento do projeto da Cannondale:
<http://www.cannondalecommunity.com/default.asp?item=272389>
- 5 – Site do arquiteto australiano Maynard, A.:
<http://www.andrewmaynard.com.au/Site/projects.html>
- 6 – Ashby, M. F., “Materials Selection in Mechanical Design”, Oxford(NY), Pergamon Press, 1992
- 7 – Timoshenko, S., “Resistência dos materiais”, Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 196

5 BIBLIOGRAFIA

EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES. “*Manual de planejamento cicloviário*”. 3ed.rev.ampl.. Brasília: GEIPOT, 2001;

ALVES, Antonio Carlos. “*Ciclismo para todos: história, técnica moderna, alimentação*”. São Paulo: 1972;

BALLANTINE, Richard; GRANT, Richard. “*Ultimate bicycle book*”. New York: Dorling Kindersley Book, 1992;

IIDA, Itiro. “*Ergonomia – projeto e produção*”. São Paulo: Edgar Blucher, 1990;

KOLLIN, Michael J; LA ROSA, Denise M. “*The custom bicycle: buying, setting up and riding the quality bicycle*”. Emnaus, Rodale, 1972;

MC CULLAGH, James C. “*Pedal power: in work, leisure and transportation*”. S.L.P. Rodale, 1977,

WILSON, David G. “*Bicycling Science*”. Third edition.

6 ANEXOS (Fonte: Granta CES Edupack 2007 ®)

Oak (Quercus spp.) (I)

General Designation

Quercus spp. (L.)	850	-	1030	kg/m ³
Density	10.37	-	16.59	USD/kg
Price				

Composition

Composition (summary)

Cellulose/Hemicellulose/Lignin/12%H₂O

Base	Other
------	-------

Mechanical

Young's modulus	* 20.6	-	25.2	GPa
Shear modulus	* 1.52	-	1.86	GPa
Bulk modulus	* 2.52	-	2.82	GPa
Poisson's ratio	* 0.35	-	0.4	
Yield strength (elastic limit)	* 43.2	-	52.8	MPa
Tensile strength	* 132.7	-	162.2	MPa
Compressive strength	* 68.2	-	83.3	MPa

Flexural strength (modulus of rupture)	142.7	-	174.4	MPa
Elongation	* 1.74	-	2.12	%
Hardness - Vickers	* 12.94	-	15.82	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 42.8	-	52.3	MPa
Fracture toughness	* 9	-	10.9	MPa.m ^{1/2}
Mechanical loss coefficient	* 5.2e-3	-	6.4e-3	
Thermal				
Glass temperature	77	-	102	°C
Maximum service temperature	120	-	140	°C
Minimum service temperature	* -73	-	-23	°C
Thermal conductivity	* 0.41	-	0.5	W/m.K
Specific heat	1660	-	1710	J/kg.K
Thermal expansion coefficient	* 2	-	11	μstrain/°C
Electrical				
Electrical resistivity	* 6e13	-	2e14	μohm.cm
Dielectric constant (relative permittivity)	* 9.15	-	11.19	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0.111	-	0.136	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 0.4	-	0.6	MV/m
Optical				
Transparency	Opaque			
Durability				

Flammability	Flammable
Fresh water	Average
Salt water	Average
Weak acids	Average
Strong acids	Very Poor
Weak alkalis	Good
Strong alkalis	Poor
Organic solvents	Good
Sunlight (UV radiation)	Good
Oxidation at 500C	Very Poor
Eco properties, material production	
CO2 footprint	* -1.16
Embodied energy	3.62
Recycle fraction	* 0.4
	-
	-1.05
	3.89
	0.5
	kg/kg
	MJ/kg
Eco properties, recycling and disposal	
Recycle	False
Downcycle	True
Biodegrade	True
Combust for energy recovery	True
Landfill	True
A renewable resource?	True

Notes

Typical uses

Flooring; sleepers; mine timbers; tight cooperage; boat & ship construction; decorative veneers.

Warning

All woods have properties which show variation; they depend principally on growth conditions and moisture content.

Reference sources

Data compiled from multiple sources. See links to the References table.

Links

[ProcessUniverse](#)

[Producers](#)

[Reference](#)

[Shape](#)

[Structural Sections](#)

No warranty is given for the accuracy of this data. Values marked * are estimates.

Carbon steel, AISI 1137 (tempered @ 205 C, H₂O quenched)

General Designation

Carbon steel: AISI 1137 (tempered @ 205 C, H₂O quenched)

UNS number

G11370	-	7900	kg/m ³
7800	-	7900	kg/m ³
* 0.5101	-	0.7743	USD/kg

Density

Price

Tradenames
S-1137, Villares (BRAZIL); SAARSTAHL SAE 1137, Saarstahl AG (GERMANY);

Composition

Composition (summary)

Fe/32-.39C/1.35-1.65Mn/<.04P/.08-.13S

Base	Fe (Iron)		
C (carbon)	0.32	-	0.39
Fe (iron)	97.79	-	98.25
Mn (manganese)	1.35	-	1.65
P (phosphorus)	0	-	0.04
S (sulfur)	0.08	-	0.13

Mechanical

Young's modulus	200	-	215	GPa
Shear modulus	77	-	84	GPa
Bulk modulus	155	-	175	GPa
Poisson's ratio	0.285	-	0.295	
Yield strength (elastic limit)	1045	-	1285	MPa
Tensile strength	1345	-	1650	MPa
Compressive strength	1045	-	1285	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	1045	-	1285	MPa
Elongation	4	-	6	%
Hardness - Vickers	375	-	455	HV

Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 526	-	608	MPa
Fatigue strength model (stress range)	* 454.2	-	691.9	MPa
Parameters: Stress Ratio = -1, No. of Cycles = 1e7				
Fracture toughness	* 22	-	42	MPa.m ^{1/2}
Mechanical loss coefficient	* 2.8e-4	-	3.6e-4	
Thermal				
Melting point	1442	-	1510	°C
Maximum service temperature	* 165	-	195	°C
Minimum service temperature	* -23	-	7	°C
Thermal conductivity	* 47	-	53	W/m.K
Specific heat	* 440	-	500	J/kg.K
Thermal expansion coefficient	12	-	13.5	μstrain/°C
Electrical				
Electrical resistivity	16	-	19	μohm.cm
Durability				
Flammability	Non-flammable			
Fresh water	Good			
Salt water	Average			
Weak acids	Average			
Strong acids	Poor			
Weak alkalis	Good			
Strong alkalis	Average			

Organic solvents	Very Good
Sunlight (UV radiation)	Very Good
Oxidation at 500C	Good
Eco properties, material production	
CO2 footprint	2 - 2.21 kg/kg
Embodied energy	24.4 - 26.8 MJ/kg
Recycle fraction	* 0.8 - 0.9
Eco properties, processing	
Casting energy	3.1 - 3.4 MJ/kg
Forging, rolling energy	8 - 8.8 MJ/kg
Machining energy (per unit wt removed)	5.6 - 6.2 MJ/kg
Metal powder forming energy	19 - 21 MJ/kg
Vaporization energy	20 - 22 MJ/kg
Eco properties, recycling and disposal	
Recycle	True
Downcycle	True
Biodegrade	False
Combust for energy recovery	False
Landfill	True
A renewable resource?	False

Notes

Standards with similar compositions

The following information is taken from ASM AlloyFinder 3 - see link to References table for further information.

GBT 15712(95) YF35MnV (China)

AFNOR 35MF4 (France)

AFNOR NFA355562 35MF6 (France)

IS 1570 40Mn2S12 (India)

IS 5517 40Mn2S12 (India)

JIS G4804(83) SUM41 (Japan)

DGN B-296 1137 (Mexico)

NMX-B-301(86) 1137 (Mexico)

AS 1442 K1137 (NSW Australia)

AS 1442 K1138 (NSW Australia)

AS 1442(92) 1137 (NSW Australia)

AS 1443 K1137 (NSW Australia)

AS 1443 K1138 (NSW Australia)

AS 1443(94) 1137 (NSW Australia)

AS 1443(94) D14 (NSW Australia)

AS 1443(94) T14 (NSW Australia)

GOST 1414 A35E (Russian Federation)

GOST 1414(75) A35 (Russian Federation)

UNE F.210.G (Spain)

UNE 36021 35MnS6 (Spain)

UNE 36021 F.2131 (Spain)

UNE 36021(80) 35MnSPb6 (Spain)

UNE 36021(80) F.2132 (Spain)

BS 970/1(83) 212M36 (United Kingdom)

BS 970/1(83) 225M36 (United Kingdom)

AMS 5024F 1137 (USA)
ASTM A108(95) 1137 (USA)
ASTM A29/A29M(93) 1137 (USA)
ASTM A311/A311M(95) 1137 Class A (USA)
ASTM A510(96) 1137 (USA)
ASTM A519(96) 1137 (USA)
ASTM A576(95) 1137 (USA)
FED QQ-S-633A(63) 1137 (USA)
FED QQ-S-637A(70) C1137 (USA)
MIL-S-16124 --- (USA)
SAE J1397(92) 1137 (USA)
SAE J403(95) 1137 (USA)
AISI 1137 (USA)
COPANT 330 1137 (Venezuela)
COPANT 331 1137 (Venezuela)
COPANT 332 1137 (Venezuela)
COPANT 514 1137 (Venezuela)

Typical uses

Heavy duty shafts; Axles; Crankshafts; Couplings; Used particularly where enhanced mach inability is important.

Warning

Free cutting' steel - in common with all such steels, it is not recommended where welding is involved.

Other notes

A free-cutting version of AISI 1040 grade, used when enhanced machinability is required.

Reference sources

Data compiled from multiple sources. See links to the References table.

Links

[ProcessUniverse](#)

[Producers](#)

[Reference](#)

[Shape](#)

[Structural Sections](#)

No warranty is given for the accuracy of this data. Values marked * are estimates.

Carbon steel, AISI 1137 (tempered @ 315 C, H₂O quenched)

GeneralDesignation

Carbon steel: AISI 1137 (tempered @ 315 C, H ₂ O quenched)			
Density	7800	-	7900
Price	* 0.5101	-	0.7743
Tradenames			USD/kg

S-1137, Villares (BRAZIL); SAARSTAHL SAE 1137, Saarstahl AG (GERMANY);

Composition

Composition (summary)

Fe/.32-.39C/1.35-1.65Mn/<.04P/.08-.13S	Fe (Iron)		
Base	0.32	-	0.39
C (carbon)			%

Fe (iron)	97.79	-	98.25	%
Mn (manganese)	1.35	-	1.65	%
P (phosphorus)	0	-	0.04	%
S (sulfur)	0.08	-	0.13	%

Mechanical

Young's modulus	200	-	215	GPa
Shear modulus	77	-	84	GPa
Bulk modulus	155	-	175	GPa
Poisson's ratio	0.285	-	0.295	
Yield strength (elastic limit)	1005	-	1240	MPa
Tensile strength	1230	-	1415	MPa
Compressive strength	1005	-	1240	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	1005	-	1240	MPa
Elongation	7	-	11	%
Hardness - Vickers	340	-	415	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 494	-	546	MPa
Fracture toughness	* 22	-	38	MPa.m ^{1/2}
Mechanical loss coefficient	* 3.1e-4	-	3.8e-4	

Thermal

Melting point	1442	-	1510	°C
Maximum service temperature	* 275	-	305	°C
Minimum service temperature	* -28	-	2	°C
Thermal conductivity	* 47	-	53	W/m.K

Specific heat	* 440	-	500	J/kg.K
Thermal expansion coefficient	12	-	13.5	$\mu\text{strain}/^\circ\text{C}$
Electrical				
Electrical resistivity	16	-	19	$\mu\text{ohm.cm}$

Optical	Opaque
Transparency	
Durability	
Flammability	Non-flammable
Fresh water	Good
Salt water	Average
Weak acids	Average
Strong acids	Poor
Weak alkalis	Good
Strong alkalis	Average
Organic solvents	Very Good
Sunlight (UV radiation)	Very Good
Oxidation at 500C	Good

Eco properties, material production			
CO2 footprint	2	-	2.21 kg/kg
Embodied energy	24.4	-	26.8 MJ/kg
Recycle fraction	* 0.8	-	0.9

Casting energy	3.1	-	3.4	MJ/kg
Forging, rolling energy	7.7	-	8.5	MJ/kg
Machining energy (per unit wt removed)	6.6	-	7.3	MJ/kg
Metal powder forming energy	19	-	21	MJ/kg
Vaporization energy	20	-	22	MJ/kg

Eco properties, recycling and disposal

Recycle	True
Downcycle	True
Biodegrade	False
Combust for energy recovery	False
Landfill	True
A renewable resource?	False

Notes

Typical uses

Heavy duty shafts; Axles; Crankshafts; Couplings; Used particularly where enhanced mach inability is important.

Warning

Free cutting' steel - in common with all such steels, it is not recommended where welding is involved.

Other notes

A free-cutting version of AISI 1040 grade, used when enhanced machinability is required.

Reference sources

Data compiled from multiple sources. See links to the References table.

Links

ProcessUniverse
Producers
Reference
Shape
Structural Sections

No warranty is given for the accuracy of this data. Values marked * are estimates.

Low alloy steel, AISI 50B60 (tempered @ 315 C, oil quenched)

General Designation

Low alloy steel, AISI 50B60 (tempered @ 315 C, oil quenched)	7800	-	7900	kg/m ³
Density	* 0.535	-	0.8139	USD/kg
Price				

Tradenames

TKS 65 MN 4, ThyssenKrupp Stahl AG (GERMANY); TKS C60, ThyssenKrupp Stahl AG (GERMANY); CK1065 (K65A), Steelmark-Eagle & Globe (AUSTRALIA); TKS C55, ThyssenKrupp Stahl AG (GERMANY); A-1150, AFORA (Aceros Afora S.A.) (SPAIN); TKS CK 55, ThyssenKrupp Stahl AG (GERMANY); WESTIG C 60, Westig (U.K.) Ltd. (UK); WESTIG CK 60, Westig (U.K.) Ltd. (UK); DIRO-ST 70-2, DIROSTAHL Karl Diederichs (GERMANY); DIRO-C 60, DIROSTAHL Karl Diederichs (GERMANY); DIRO-CK 60, DIROSTAHL Karl Diederichs (GERMANY);

Composition

Composition (summary)

Fe/.56-.64C/.75-1Mn/.15-.3Si/<.035P/<.04S/.0005-.003B	Fe (Iron)
Base	

B (boron)	5e-4	-	3e-3	%
C (carbon)	0.56	-	0.64	%
Fe (iron)	97.98	-	98.54	%
Mn (manganese)	0.75	-	1	%
P (phosphorus)	0	-	0.035	%
S (sulfur)	0	-	0.04	%
Si (silicon)	0.15	-	0.3	%

Mechanical

Young's modulus	201	-	212	GPa
Shear modulus	77	-	83	GPa
Bulk modulus	155	-	173	GPa
Poisson's ratio	0.285	-	0.295	
Yield strength (elastic limit)	1595	-	1950	MPa
Tensile strength	1700	-	2065	MPa
Compressive strength	1595	-	1950	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	1595	-	1950	MPa
Elongation	6	-	10	%
Hardness - Vickers	470	-	575	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	* 620	-	712	MPa
Fracture toughness	* 21	-	43	MPa.m ^{1/2}
Mechanical loss coefficient	* 2e-4	-	2.6e-4	

Thermal

Melting point	1382	-	1492	°C
---------------	------	---	------	----

Maximum service temperature	* 275	-	305	°C
Minimum service temperature	* -48	-	-23	°C
Thermal conductivity	* 40	-	50	W/m.K
Specific heat	* 440	-	520	J/kg.K
Thermal expansion coefficient	11	-	13	μstrain/°C
Electrical				
Electrical resistivity	* 15	-	30	μohm.cm
Optical				
Transparency	Opaque			
Durability				
Flammability	Non-flammable			
Fresh water	Good			
Salt water	Average			
Weak acids	Average			
Strong acids	Poor			
Weak alkalis	Good			
Strong alkalis	Average			
Organic solvents	Very Good			
Sunlight (UV radiation)	Very Good			
Oxidation at 500C	Good			

CO2 footprint	* 1.46	-	1.61	kg/kg
Embodied energy	* 23.2	-	25.5	MJ/kg
Recycle fraction	* 0.7	-	0.8	

Eco properties, processing

Casting energy	3.1	-	3.4	MJ/kg
Forging, rolling energy	9.2	-	10	MJ/kg
Machining energy (per unit wt removed)	7.3	-	8.1	MJ/kg
Metal powder forming energy	19	-	20	MJ/kg
Vaporization energy	20	-	22	MJ/kg

Eco properties, recycling and disposal

Recycle	True
Downcycle	True
Biodegrade	False
Combust for energy recovery	False
Landfill	True
A renewable resource?	False

Notes

Typical uses

General construction; general mechanical engineering; automotive; tools; axles; gears; springs.

Reference sources

Data compiled from multiple sources. See links to the References table.

Links

[ProcessUniverse](#)

[Producers](#)

[Reference](#)

[Shape](#)

[Structural Sections](#)

No warranty is given for the accuracy of this data. Values marked * are estimates.