

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA  
E DE SISTEMAS MECÂNICOS

SISTEMA AUTOMÁTICO DE COMPARTILHAMENTO DE BICICLETAS

MAURÍCIO MASSAO SOARES MATSUMOTO  
MAURICIO SERRANO GOY VILLAR

SÃO PAULO  
2009

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA  
E DE SISTEMAS MECÂNICOS

SISTEMA AUTOMÁTICO DE COMPARTILHAMENTO DE BICICLETAS

Trabalho de formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
obtenção do título de graduação em Engenharia

Área de Concentração: Engenharia Mecatrônica

Maurício Massao Soares Matsumoto  
Mauricio Serrano Goy Villar

Orientador:  
Prof. Dr. Marcos Ribeiro Pereira Barretto

SÃO PAULO  
2009

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

Matsumoto, Maurício Massao Soares; Villar, Mauricio Serrano Goy

Sistema Automático de compartilhamento de bicicletas / Maurício Massao Soares Matsumoto; Mauricio Serrano Goy Villar -- São Paulo, 2009

106f.

Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1. Compartilhamento de bicicletas.
2. Transporte público.
3. Aluguel Automático.
4. Bicicletas.
5. Aplicação RFID.

I. Título
-----------

## **DEDICATÓRIA**

Aos nossos pais, que nos deram todo o carinho e apoio de que precisamos para chegar até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, ao professor Marcos Barretto, que acreditou em nosso projeto de formatura, nos apoiou e orientou durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Ao técnico da oficina mecânica Fidel Paula, por todo o auxílio, boas idéias e amizade que foram fundamentais para a construção do protótipo.

Ao professor Julio Cezar Adamowsky e à equipe do laboratório de ultra-som, pelo apoio constante durante os últimos meses de trabalho.

Aos nossos pais, irmãos, amigos e namoradas que nos incentivaram constantemente não apenas durante esse trabalho, mas também durante todo o curso de Engenharia, e nos ajudaram a nos tornarmos quem somos.

## RESUMO

Visando a disponibilização de bicicletas como meio de transporte público alternativo, foi desenvolvida nesse trabalho a tecnologia necessária para a criação de um sistema automático de compartilhamento de bicicletas.

Tal sistema é composto de um conjunto de estações estrategicamente espalhadas por uma região, nas quais bicicletas estão armazenadas. Um usuário do sistema deve poder retirar uma bicicleta em alguma das estações, utilizá-la para se transportar, e devolvê-la em qualquer outra estação.

Neste trabalho foram projetadas as estações de armazenamento de bicicletas, incluindo tanto o sistema de travamento mecânico das bicicletas quanto o hardware necessário. A trava é constituída por um sistema eletromecânico, acionado digitalmente por intermédio de um circuito de potência, e que utiliza a tecnologia RFID para efetuar a identificação das bicicletas pelas estações.

Foi também desenvolvido um sistema de comunicação entre as estações e uma unidade central de gerenciamento, que também foi projetada.

O software necessário para o funcionamento de todo o sistema foi desenvolvido neste trabalho, utilizando a linguagem estruturada orientada a objetos C#, e ASP.NET para gerar o conteúdo Web.

Enfim, um protótipo foi construído para provar o conceito do sistema aqui proposto.

## ABSTRACT

With the aim of allowing the use of bicycles as an alternative means of public transportation, the technology needed for automatic bicycle sharing has been developed in this work.

The principle of the system is to have a group of bicycle-parking stations strategically spread in a region, and then allowing users to rent bicycles in any station and hand them back in any other one, so that they can use it for their transportation. In the present work the project of the bicycle-parking station has been developed, which includes the electro-mechanical device for locking bicycles, as well as the hardware needed to control it. The RFID technology is used to identify the bicycles when they are locked.

The means of communication between the stations and a central management station has also been designed, as well as the management station itself. The system's software has been designed, and then coded using object-oriented C#, and ASP .NET for the Web content.

Finally, a prototype has been constructed in order to demonstrate the concept proposed.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIG. 1 GRÁFICO QUE CLASSIFICA OS MEIOS DE TRANSPORTE DE ACORDO COM A DISTÂNCIA A SER PERCORRIDA, E O CUSTO. ADAPTADO DE [1].....</b>	<b>18</b>
<b>FIG. 2 SISTEMAS IMPLEMENTADOS E EM ESTUDO PELO MUNDO [4].....</b>	<b>21</b>
<b>FIG. 3 IMAGENS DO VÉLO'V (ESQUERDA) E VÉLIB' (DIREITA).....</b>	<b>23</b>
<b>FIG. 4 BICICLETA DO VÉLIB' FIXADA NA ESTAÇÃO.....</b>	<b>24</b>
<b>FIG. 5 IHM DO VÉLIB'.....</b>	<b>25</b>
<b>FIG. 6 EXEMPLOS DE VANDALISMO VÉLO'V (ESQUERDA) E VÉLIB' (DIREITA).....</b>	<b>26</b>
<b>FIG. 7 BICICLETA DO BICING FIXADA NA ESTAÇÃO, VISTA SUPERIOR.....</b>	<b>28</b>
<b>FIG. 8 IHM E ESTAÇÃO DO BICING.....</b>	<b>29</b>
<b>FIG. 9 FIXAÇÃO DO CALLABIKE.....</b>	<b>32</b>
<b>FIG. 10 IHM INTEGRADA NA BICICLETA DO CALLABIKE.....</b>	<b>33</b>
<b>FIG. 11 EXPLICATIVO DE FUNCIONAMENTO DO SAMBA.....</b>	<b>35</b>
<b>FIG. 12 FIXAÇÃO DO SAMBA.....</b>	<b>36</b>
<b>FIG. 13 SISTEMA BICIPUMA DA UNAM.....</b>	<b>37</b>
<b>FIG. 14 ESTAÇÃO DO USEBIKE.....</b>	<b>40</b>
<b>FIG. 15 EVOLUÇÃO DOS EMPRÉSTIMOS DO USEBIKE [10].....</b>	<b>42</b>
<b>FIG. 16 EXPLICATIVO DA ANÁLISE SWOT .....</b>	<b>43</b>
<b>FIG. 17 ESQUEMA DA ESTAÇÃO DE ARMAZENAMENTO DE BICICLETAS.....</b>	<b>48</b>
<b>FIG. 18 DIAGRAMA EXPLICATIVO DO SISTEMA A SER DESENVOLVIDO.....</b>	<b>49</b>
<b>FIG. 19 DIAGRAMA DE BLOCOS GERAL DO SISTEMA.....</b>	<b>50</b>
<b>FIG. 20 PINO MACHO.....</b>	<b>54</b>
<b>FIG. 21 FÊMEA.....</b>	<b>55</b>
<b>FIG. 22 PEÇAS MÓVEIS DA FÊMEA.....</b>	<b>55</b>
<b>FIG. 23 SOLUÇÃO 2 DE FIXAÇÃO.....</b>	<b>56</b>
<b>FIG. 24 FIXAÇÃO DO QUADRO DA BICICLETA ABERTO – VISTA SUPERIOR.....</b>	<b>56</b>
<b>FIG. 25 SISTEMA DE FIXAÇÃO DO QUADRO FECHADO – VISTA SUPERIOR.....</b>	<b>57</b>
<b>FIG. 26 SISTEMA DE FIXAÇÃO DAS RODAS.....</b>	<b>57</b>
<b>FIG. 27 TRAVAMENTO DA SOLUÇÃO 3.....</b>	<b>59</b>
<b>FIG. 28 ESQUEMA DE TRAVAMENTO DA SOLUÇÃO 3, INSPIRADO DE TRAVAS DE PORTA DE CARRO .....</b>	<b>61</b>
<b>FIG. 29 SOLUÇÃO 3 COM PINO SIMPLES.....</b>	<b>63</b>
<b>FIG. 30 SOLUÇÃO 3 COM PINO DUPLO.....</b>	<b>64</b>
<b>FIG. 31 TRAVAMENTO DA SOLUÇÃO 4.....</b>	<b>65</b>

FIG. 32 TRAVAMENTO FORA DA ESTAÇÃO - PARA USUÁRIO.....	66
FIG. 33 DETALHE DO TRAVAMENTO DA SOLUÇÃO 4.....	66
FIG. 34 VISTAS GERAIS DO DESENHO DE CONJUNTO 1.....	68
FIG. 35 VISTAS GERAIS DO DESENHO DE CONJUNTO 2.....	69
FIG. 36 CARCAÇA DO SISTEMA DE FIXAÇÃO.....	70
FIG. 37 PINO DUPLO DO SISTEMA DE FIXAÇÃO PRESO NO CANO DIANTEIRO DA BICICLETA.....	71
FIG. 38 TRAVA FÊMEA DO SISTEMA DE FIXAÇÃO.....	71
FIG. 39 SOLENÓIDE ATUADOR DO SISTEMA DE FIXAÇÃO.....	72
FIG. 40 EIXO DO SOLENÓIDE.....	72
FIG. 41 PINO DE TRAVAMENTO.....	73
FIG. 42 ESTRUTURA PARA O PINO DE TRAVAMENTO.....	73
FIG. 43 POSIÇÃO "TRAVA ABERTA".....	74
FIG. 44 POSIÇÃO "TRAVA FECHANDO".....	74
FIG. 45 POSIÇÃO "TRAVA FECHADA".....	75
FIG. 46 POSIÇÃO "TRAVA ABRINDO".....	75
FIG. 47 DIAGRAMA DE FORÇAS COM A TRAVA ABERTA.....	76
FIG. 48 DIAGRAMA DE FORÇAS COM A TRAVA FECHADA.....	78
FIG. 49 DIAGRAMA DE FORÇAS COM A TRAVA ABRINDO.....	79
FIG. 50 TRAVA FÊMEA CONSTRUÍDA.....	81
FIG. 51 SISTEMA DE TRAVAMENTO CONSTRUÍDO.....	82
FIG. 52 SISTEMA DE TRAVAMENTO COM CARCAÇA.....	83
FIG. 53 FOTO DO PRIMEIRO PROTÓTIPO DE TRAVA CONSTRUÍDO.....	84
FIG. 54 VISTA SUPERIOR DO PROTÓTIPO DE TRAVA CONSTRUÍDO PELOS ALUNOS, ABERTO (ESQUERDA) E DE SUA TAMPA (DIREITA). O PROTÓTIPO ESTÁ, NA FIGURA, TRAVANDO UM PINO PARA BICICLETA MUNIDO DE TAG RFID.....	84
FIG. 55 DIAGRAMA DE BLOCO GERAL DO ACIONAMENTO/SENSORIAMENTO.....	85
FIG. 56 ESQUEMA ELÉTRICO DA PLACA SELETORA.....	86
FIG. 57 ESQUEMA ELÉTRICO DA PLACA DE ACIONAMENTO E SENSORIAMENTO.....	87
FIG. 58 ESQUEMA ELÉTRICO DA PLACA DE ALIMENTAÇÃO DE 5 E 12V.....	88
FIG. 59 ESQUEMA ELÉTRICO DA PLACA DE ALIMENTAÇÃO DE 110V.....	89
FIG. 60 CIRCUITO PARA IMPRESSAO DA PLACA SELETORA.....	90
FIG. 61 ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO RFID.....	93
FIG. 62 DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO.....	94

FIG. 63 ILUSTRAÇÃO DA INTEGRAÇÃO FÍSICA DO RFID NA TRAVA MECÂNICA. 1: QUADRO DA BICICLETA ; 2 : TAG RFID ; 3 : LEITOR RFID.....	95
FIG. 64 ARQUITETURA DO SOFTWARE.....	100
FIG. 65 ESQUEMA DOS CASOS DE USO.....	101
FIG. 66 DIAGRAMA LÓGICO E-R.....	102
FIG. 67 DIAGRAMA COM MODELAGEM DAS CLASSES EM CAMADAS.....	103
FIG. 68 DIAGRAMA ESTADO-TRANSIÇÃO DO SOFTWARE.....	104
FIG. 69 DIAGRAMA DE CLASSES DOS WEB SERVICES . A CLASSE PORTACCESSAPI DO DESTRAVADOR PERMITE O ACESSO À PORTA PARALELA DO COMPUTADOR, PARA COMUNICAÇÃO COM O CIRCUITO DE ACIONAMENTO/SENSORIAMENTO DA ESTAÇÃO.....	105
FIG. 70 FLUXOGRAMA DE MONITORAMENTO DO APLICATIVO.....	106
FIG. 71 DIAGRAMA DE CLASSES DO APLICATIVO DE MONITORAMENTO.....	107
FIG. 72 1 – TRAVA ELETROMECÂNICA ; 2- LEITOR RFID ; 3- CIRCUITO DE ACIONAMENTO/SENSORIAMENTO ; 4 – PINO DA BICICLETA.....	108
FIG. 73 PROTÓTIPO DE ESTAÇÃO MONTADO. 1: COMPUTADOR PARA CONTROLE DOS DISPOSITIVOS DA ESTAÇÃO E INTERFACEAMENTO COM O USUÁRIO; 2: LÂMPADA PARA SIMULAR UMA TRAVA ELETROMECÂNICA; 3: HARDWARE; 4: TRAVA ELETROMECÂNICA CONSTRUÍDA PELOS ALUNOS.....	109
FIG. 74 PLACA SELETORA; 2: PLACA DE ALIMENTAÇÃO 110V RETIFICADO; 3: PLACA DE ACIONAMENTO E SENSORIAMENTO; 4: PLACA DE ALIMENTAÇÃO 5V/12V; 5: PINO DA BICICLETA TRAVADO; 6: TRAVA ELETRO-MECÂNICA CONSTRUÍDA PELOS ALUNOS ; 7 : LÂMPADA PARA REPRESENTAR UMA SEGUNDA.....	110

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 TRANSPORTE INDIVIDUAL X TRANSPORTE COLETIVO.....	17
TABELA 2 INSTRUÇÕES DO CALLABIKE.....	31
TABELA 3 SISTEMA COM ESTAÇÃO X SISTEMA SEM ESTAÇÃO.....	47
TABELA 4 QUESITOS E PESOS.....	66
TABELA 5 MATRIZ DE DECISÃO DO SISTEMA DE TRAVAMENTO.....	67
TABELA 6 IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE FIXAÇÃO.....	69
TABELA 7 FORÇAS E DISTÂNCIAS DO DIAGRAMA DE FORÇAS COM A TRAVA ABERTA.....	77
TABELA 8 FORÇAS E DISTÂNCIAS DO DIAGRAMA DE FORÇAS COM A TRAVA FECHADA.....	78
TABELA 9 FORÇAS E DISTÂNCIAS DO DIAGRAMA DE FORÇAS COM A TRAVA ABRINDO.....	79
TABELA 10 RFID X IBUTTON.....	92

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CI Circuito Integrado

IHM Interface Homem-máquina

CUASO Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira

SWOT Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<u>INTRODUÇÃO.....</u>	<u>17</u>
<u>MOTIVAÇÕES DO COMPARTILHAMENTO DE BICICLETAS.....</u>	<u>17</u>
<u>OBJETIVOS.....</u>	<u>19</u>
<u>CONTEXTUALIZAÇÃO.....</u>	<u>20</u>
<u>CONTEXTO BRASILEIRO E DA CIDADE UNIVERSITÁRIA DA USP.....</u>	<u>20</u>
<u>RESUMO DOS SISTEMAS EXISTENTES.....</u>	<u>21</u>
<u>CYCLOCITY - JCDECAUX.....</u>	<u>22</u>
<u>SMARTBIKE – BICING (CLEAR CHANNEL).....</u>	<u>27</u>
<u>CALLABIKE.....</u>	<u>30</u>
<u>SAMBA (SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA MOBILIDADE POR BICICLETA DE ALUGUEL).....</u>	<u>34</u>
<u>BICIPUMA (“UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DO MÉXICO”).....</u>	<u>37</u>
<u>USEBIKE (PARADA VITAL/METRO/PORTO SEGURO).....</u>	<u>39</u>
<u>SWOTS.....</u>	<u>42</u>
<u>CYCLOCITY – JCDECAUX.....</u>	<u>43</u>
<u>SMARTBIKE – BICING (CLEAR CHANNEL).....</u>	<u>44</u>
<u>1.1.1.CALLABIKE.....</u>	<u>44</u>
<u>1.1.2.SAMBA (SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA MOBILIDADE POR BICICLETA DE ALUGUEL).....</u>	<u>45</u>
<u>1.1.3.BICIPUMA (“UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DO MÉXICO”).....</u>	<u>45</u>
<u>USEBIKE (PARADA VITAL/METRO/PORTO SEGURO).....</u>	<u>46</u>
<u>ARQUITETURA DO SISTEMA.....</u>	<u>47</u>
<u>SISTEMAS DE COMPARTILHAMENTO DE BICICLETAS.....</u>	<u>47</u>
<u>DIAGRAMA DE BLOCOS GERAL DO SISTEMA.....</u>	<u>49</u>
<u>SWOT.....</u>	<u>51</u>
<u>REQUISITOS PARA A TECNOLOGIA.....</u>	<u>52</u>
<u>PROJETO DO SISTEMA DE FIXAÇÃO ELETROMECÂNICO.....</u>	<u>54</u>
<u>MECÂNICA.....</u>	<u>54</u>
<u>SOLUÇÃO 1.....</u>	<u>54</u>

<u>SOLUÇÃO 2.....</u>	56
<u>SOLUÇÃO 3.....</u>	58
<u>SOLUÇÃO 4.....</u>	64
<u>ESCOLHA DA SOLUÇÃO A SER DESENVOLVIDA.....</u>	66
<u>DETALHAMENTO DA SOLUÇÃO ESCOLHIDA .....</u>	67
<u>DESENHO DE CONJUNTO .....</u>	67
<u>DETALHAMENTO DE PEÇAS.....</u>	69
<u>CARCAÇA.....</u>	69
<u>PINO DUPLO NA BICICLETA.....</u>	70
<u>TRAVA FÊMEA.....</u>	71
<u>SOLENÓIDE ATUADOR.....</u>	71
<u>PINO DE TRAVAMENTO.....</u>	73
<u>ESTRUTURA DO PINO.....</u>	73
<u>POSIÇÕES DA TRAVA.....</u>	74
<u>ESTUDOS DE ESFORÇOS.....</u>	76
<u>FABRICAÇÃO DA TRAVA.....</u>	80
<u>CIRCUITO DE ACIONAMENTO E SENSORIAMENTO.....</u>	85
<u>PROJETO DO HARDWARE.....</u>	85
<u>FABRICAÇÃO DOS CIRCUITOS.....</u>	89
<u>SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DA BICICLETA – RFID.....</u>	91
<u>DESCRÍÇÃO DA TECNOLOGIA RFID.....</u>	92
<u>IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA NO PROJETO.....</u>	94
<u>INTEGRAÇÃO FÍSICA NA ESTAÇÃO E NA BICICLETA.....</u>	94
<u>SISTEMA DE COMUNICAÇÃO ESTAÇÃO - CENTRAL.....</u>	96
<u>GPRS (JUSTIFICATIVA VERSATILIDADE).....</u>	96
<u>WIFI (JUSTIFICATIVA USP).....</u>	97
<u>PROJETO DO SOFTWARE.....</u>	99
<u>ESCOLHA DAS LINGUAGENS E AMBIENTES DE TRABALHO .....</u>	99
<u>CASOS DE USO DO SOFTWARE.....</u>	101
<u>MODELAGEM DO BANCO DE DADOS (DIAGRAMA LÓGICO E-R).....</u>	101
<u>WEBAPPLICATION.....</u>	102
<u>DIAGRAMA DE CLASSES COM ESTRUTURA DE CAMADAS.....</u>	102
<u>DIAGRAMA DE NAVEGAÇÃO DA IHM (DIAGRAMA ESTADO-TRANSIÇÃO).....</u>	103

<u>WEB SERVICES.....</u>	<u>104</u>
<u>WEB SERVICES DESTE SOFTWARE.....</u>	<u>104</u>
<u>APLICATIVO DE MONITORAMENTO.....</u>	<u>105</u>
<u>INTEGRAÇÃO DOS SUBSISTEMAS E RESULTADOS.....</u>	<u>108</u>
<u>CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS.....</u>	<u>111</u>
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</u>	<u>113</u>

## INTRODUÇÃO

### Motivações do compartilhamento de bicicletas

Muitos utilizam a bicicleta como meio de transporte. Via de regra, para poder utilizar uma bicicleta para se deslocar, é necessário possuir uma. A bicicleta constitui, nesse caso, um meio de transporte particular e individual, assim como carros e motos, em oposição aos transportes públicos coletivos como ônibus, metrô e trem.

Nesse momento algumas distinções devem ser feitas sobre termos aqui usados. Quando nos referimos a transporte coletivo, estamos designando formas de transportar muitas pessoas ao mesmo tempo, em oposição ao transporte individual. Ainda, ao tratarmos de transporte público, nos referimos a um sistema de transporte que pertence a uma coletividade, e é por ela gerido; em oposição ao transporte particular.

Comparando transportes individuais particulares e transportes públicos coletivos, chegamos à tabela 1.

Tabela 1 Transporte Individual X Transporte Coletivo

	Transporte Particular Individual	Transporte Público Coletivo
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liberdade de horários, trajetos e destinos</li> <li>• Rapidez</li> <li>• Conforto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos poluente</li> <li>• Mais barato</li> <li>• Investimento inicial e manutenção repartida entre todos</li> </ul>
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mais caro</li> <li>• Preocupação com segurança do veículo</li> <li>• Ociosidade do veículo quando não é usado</li> <li>• Preocupação e gastos com manutenção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restrições de horários e itinerários</li> <li>• Mais lento</li> <li>• Desconforto</li> </ul>

A idéia do compartilhamento de veículos vem então tentar reunir as vantagens do transporte individual às do transporte público. Para um grupo de pessoas vivendo numa mesma região, e com necessidades de transporte complementares, pode-se colocar um conjunto de veículos à disposição de todos. Assim, de uma relação de um veículo para uma pessoa, passa-se a uma relação de m veículos para n pessoas ( $m < n$ ), e esse conjunto de veículos passa a constituir um meio de transporte público.

Assim, os investimentos necessários para aquisição e manutenção dos veículos são compartilhados entre as pessoas, mas não se perde a individualidade no transporte (escolher a hora, o destino e o trajeto). Oferece-se também, ao usuário desse sistema, uma maior liberdade para compor seus trajetos requisitando diferentes meios de transporte: ele não precisa mais se preocupar em levar seu veículo consigo, pois quando for necessário haverá um veículo nas proximidades disponível para uso. Isso, claro, depende também de uma gestão inteligente do sistema, o que não é tão simples.

A bicicleta é um meio de transporte ideal para ser compartilhado. Além de ser um meio de transporte barato, necessitando baixo investimento inicial e poucos gastos com manutenção, é complementar a outras modalidades de transporte, pois não atende às mesmas necessidades. Isto pode ser observado na figura 1.

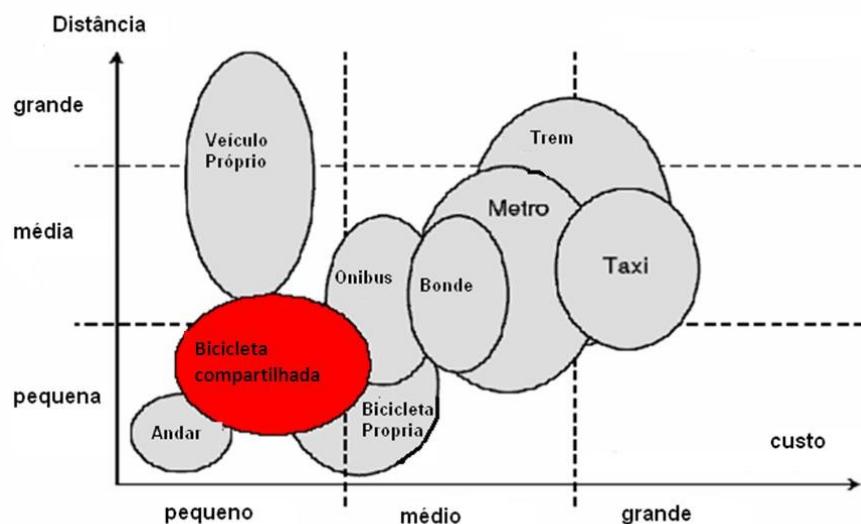


Fig. 1 Gráfico que classifica os meios de transporte de acordo com a distância a ser percorrida, e o custo. Adaptado de [1].

A idéia de compartilhar bicicletas não é nova no mundo. Muitos casos de sucesso já existem em diversas cidades, principalmente européias, e este trabalho se inspira neles. Mais adiante serão descritos, em maior detalhe, alguns desses casos.

A termo, deseja-se ver este trabalho implantado no campus da USP – Butantã. Tal projeto, além de constituir uma importante melhoria na mobilidade da comunidade universitária, seria também uma vitrine para a proliferação da idéia de compartilhamento automático de bicicletas no Brasil.

## Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver a tecnologia necessária para possibilitar o compartilhamento de bicicletas. Isso se traduz em três subsistemas básicos:

- Travamento eletromecânico para fixar as bicicletas nas estações de armazenamento
- Hardware para acionamento da trava eletromecânica e sensoriamento
- Software para bom funcionamento do sistema, incluindo a Interface Homem-Máquina (IHM).

Na prática, ao final deste trabalho, estes subsistemas estarão com um nível de detalhamento suficiente para permitir a construção de um protótipo para demonstrar o funcionamento do sistema. Serão necessários então:

- Desenhos técnicos da parte mecânica, elétrica e eletrônica
- Especificação de componentes necessários a serem adquiridos
- Detalhamento da montagem do sistema
- Software necessário codificado

Não faz parte do escopo deste trabalho:

- Desenvolvimento de uma bicicleta especial para o sistema de compartilhamento
- Estudo da implementação de tal sistema em um caso real

## CONTEXTUALIZAÇÃO

### Contexto brasileiro e da cidade universitária da USP

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de bicicletas (4,2% da produção mundial), tem a quinta maior frota (aproximadamente 60 milhões - 2005), porém dispõem de apenas 2505 km de ciclovias e convive com um elevado número de acidentes com ciclistas em vias [2].

A bicicleta é o veículo individual mais utilizado nos pequenos centros urbanos do Brasil – o que representa 90% das cidades do país [2]. Já nas cidades médias, a presença das bicicletas diminui, pois as pessoas podem utilizar os meios de transportes públicos presentes nestas cidades. Nos grandes centros urbanos, o uso da bicicleta é mais freqüente nas periferias, devido, principalmente, à precariedade dos sistemas de transporte coletivo dessas regiões.

A bicicleta é o meio de transporte individual mais utilizado no Brasil; além disso, trata-se da única alternativa de transporte acessível a todas as pessoas, com pouca restrição de renda. A bicicleta pode ser utilizada por todos aqueles que gozam de boa saúde, desde a infância até uma idade mais avançada.

No Brasil os usuários mais comuns são: os industriários, comerciantes, operários da construção civil, estudantes, entregadores de mercadoria, carteiros e até mesmo policiais.

Já na cidade universitária da USP, local onde um estudo de implementação do sistema de compartilhamento automático de bicicletas será realizado posteriormente a este trabalho, o uso da bicicleta como meio de transporte é feito principalmente por alunos e funcionários. O principal meio de transporte na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (CUASO) é o automóvel, seguido dos ônibus [3].

É comum encontrar problemas de tráfego, como estacionamentos lotados e congestionamentos – principalmente nos horários de início e término das aulas, dentro da CUASO.

Os principais objetivos do uso de bicicletas na USP são o esporte e o lazer. Após presenciar diversos problemas com os ciclistas esportistas que realizavam seus

treinos nas ruas do campus, a coordenação colocou limitações para esse tipo de prática.

Apesar disso, há um consenso quanto à potencialidade do campus da USP para a utilização da bicicleta como meio de transporte. Dentro do campus os trajetos são de curtas a médias distâncias e a geografia é favorável. Com algumas adaptações da regulamentação do tráfego e das vias, o campus teria plenas condições de receber maior quantidade de bicicletas para transporte.

Existem diversas manifestações favoráveis à implementação de um sistema de compartilhamento ou empréstimo de bicicletas na Universidade de São Paulo. A realização de um projeto piloto do sistema automático descrito neste relatório tem o apoio da Coordenadoria do campus da capital.

## **Resumo dos sistemas existentes**

Muitos sistemas de compartilhamento de bicicletas já existem pelo mundo. Na figura 2 pode-se observar um mapa com as cidades em que já existe ou está sendo estudada a implantação de um sistema desse tipo.



Fig. 2 Sistemas implementados e em estudo pelo mundo [4].

Para esboçar o estado da arte atual, foram estudados seis destes sistemas, que tinham particular relevância para o presente trabalho. Os sistemas Ciclocity [5] (da

francesa JCDecaux) e Smartbike [6] (da americana Clear Channel), líderes mundiais neste mercado, foram implantados em diversas cidades e estão baseados na idéia de estações com localidade fixa onde são armazenadas as bicicletas. Já o sistema CallABike [7] (da alemã Deutsche Bahn) tem a particularidade de ser um sistema automático que não necessita de estações; as bicicletas possuem um sistema embarcado de auto-travamento que permite que sejam estacionadas em qualquer lugar. O sistema brasileiro SAMBA [8] (Rio de Janeiro) também foi alvo de estudos, pelo fato de ser o único sistema automático atualmente presente em território nacional e é semelhante aos dois primeiros sistemas citados.

Finalmente, dois sistemas não automatizados foram estudados: BICIPUMA [9] (Cidade do México), que tem a particularidade de ter sido implantado em um campus universitário, e Usebike [10] implementado na cidade de São Paulo pela seguradora Porto Seguro em parceria com o Metrô.

## Cyclocity - JCDecaux

### A) Histórico

Foi o próprio fundador da sociedade JCDecaux SA, Jean-Claude Decaux, quem iniciou o projeto, lançado em 1999 na direção industrial da JCDecaux. O sistema, com diversas patentes, teve as primeiras experiências em Viena (Áustria), Gijón e Cordoue (Espanha), mas sua primeira implementação em larga escala foi em Lyon (França), sob o nome de Vélo'V (2005). Foi em seguida melhorado e adotado em outras cidades européias, inclusive Paris (em 05/2007), onde, chamado de Vélib', tornou-se o maior sistema de compartilhamento de bicicletas do mundo (20600 bicicletas em 1451 estações em 31/12/2007) [11].

O sistema é um dos mais bem-sucedidos do gênero, funcionando a partir da venda de espaço para publicidade nas estações e até nas bicicletas. Está sendo implementado inclusive fora do continente europeu, em Melbourne (Austrália). A figura 3 mostra algumas imagens do sistema ciclocity.



Fig. 3 Imagens do Vélo'V (esquerda) e Vélib' (direita)

## B) Funcionamento do Sistema

### Inscrição:

Pode ser feita na estação com cartão bancário (o sistema unificado francês chamado Carte Bleue), no caso de inscrição de curta duração (1 dia ou 1 semana).

Para inscrição anual, a pessoa deve enviar uma ficha de inscrição à administração de Vélib' com o cheque caução (150€) e a taxa anual (29€), e receberá por correio sua carteirinha de usuário. Se a pessoa já possui o passe Navigo de transportes de Paris (similar ao bilhete único da cidade de São Paulo), pode se inscrever para o passe anual na estação munido de um cartão bancário, o passe navigo torna-se a sua carteirinha do sistema Vélib'.

### Retirar uma bicicleta:

- Inscrição de curta duração: munida de seu número de usuário e senha, a pessoa deve ir até a IHM da estação para identificar-se e escolher a bicicleta a retirar.

- Inscrição anual: o usuário pode ir diretamente até a baia (onde está fixada a bicicleta), aproximar sua carteirinha do leitor, e retirar a mesma sem fazer fila.

#### Devolução:

- O usuário só precisa encaixar a bicicleta na baia, aguardar que um som agudo seja emitido e que a luz verde da baia se acenda.

#### C) Horários

Depende do pedido da cidade que contrata o serviço. Em Paris e Lyon, o serviço é 24h, em Toulouse das 5h30 às 2h para empréstimos e 24h para devoluções.

#### D) Dimensões do sistema

Paris – Vélib' (o maior dos projetos Ciclocity): 20600 bicicletas em 1451 estações (12/2007) e em expansão (poderá atingir a marca de 50000 bicicletas no futuro). Uma estação a cada 300m.

#### E) Fixação

Solidária ao quadro da bicicleta, a fixação é feita por um sistema eletromecânico presente na baia. A figura 4 permite observar o aspecto externo do sistema de fixação.



Fig. 4 Bicicleta do Vélib' fixada na estação

## F) Comunicação

Bicicleta – baia: a identidade da bicicleta é transmitida à baia, por meio de leitura de tag RFID presente na bicicleta. Há, provavelmente, uma transmissão redundante da informação por fio, para aumentar a confiabilidade.

Baia – Estação: fios ethernet subterrâneos ligam as baias à estação à qual estão associadas, informando assim dados da bicicleta e do usuário (dados do leitor RFID).

Estação – Centrais do sistema: a comunicação é feita por uma rede GPRS (tecnologia de celulares). Para evitar panes de falta de sinal de uma operadora específica, as estações vizinhas não utilizam a mesma operadora. Se uma estação usa a rede da empresa Bouygues, a outra usa a da empresa SFR, etc. Assim a comunicação é mais eficiente, pois, se há um problema com uma operadora, basta passar a informação pela estação vizinha para que ela chegue à central. Há duas centrais pelo menos, com informações redundantes, que permitem mais rapidez e confiabilidade ao sistema.

## G) IHM

A estação possui um computador com tela touchscreen, Pentium M 1,75GHz e 1 Gb de RAM. Além disso, possui um leitor de cartão bancário, uma impressora, e dois leitores de tags RFID. A figura 5 mostra o aspecto externo da IHM da estação do Vélib' (Paris).



Fig. 5 IHM do Vélib'

## H) Cobrança

A cobrança no sistema Vélib pode ser feita de três formas: por cartão bancário (quando a inscrição é feita na estação), por cheque ou autorização de débito (quando a inscrição é feita por correio).

## I) Outros pontos interessantes

Peso da bicicleta: 22,5kg (Vélib').

## J) Problemas

### Empresa

- Vandalismo, roubos e manutenção: a cada 10 dias, o número de intervenções de manutenção é igual ao número total de bicicletas do sistema. Em Paris houve muitos roubos também.
- Em Lyon: vândalos arrancam as bicicletas com as baias, deixando apenas os cabos ethernet no solo. Assim podem pedalar “grátis”.

Alguns exemplos de vandalismo podem ser vistos na figura 6.



Fig. 6 Exemplos de vandalismo Vélo'V (esquerda) e Vélib' (direita)

## Usuário

- Durante a semana e principalmente em período de greve de transportes, as estações ficam, freqüentemente, vazias.
- Alguns usuários bloqueiam bicicletas com um cadeado próprio.

- Os leitores de cartão de banco das estações lêem apenas cartões com chip. Isso é um problema para turistas que não têm esse tipo de cartão de banco.
- Freqüentemente, uma falta de sincronia é percebida entre os relógios de diferentes estações, levando o usuário a pagar a mais/menos pelo serviço.

## **K) Patentes**

Foram encontradas diversas patentes no nome da empresa JCDecaux, no tema de sistemas de compartilhamento de bicicletas. Algumas delas:

1. Sistema de fixação com atuador eletromecânico e troca de informações para identificação da bicicleta. (WO 01 /54080 A1)
2. Sistema de gerenciamento de uma frota de bicicletas que têm cada uma um número de identificação e que podem ser retiradas por usuário dispondendo de cartão de identificação em uma estação de armazenamento de bicicletas e devolvidas em outra estação qualquer. (WO 02/095698 A1)
3. Sistema de cobrança através de cartão de crédito para usuários do sistema de compartilhamento de bicicletas. (WO 2005/055161 A1)
4. Bicicleta com sistema de controle embarcado. Tal sistema tem capacidade de detecção de falhas de equipamentos da bicicleta. (WO 2005/077740 A1)
5. Sistema de estocagem e recarregamento de bicicletas elétricas. (WO 2006/095092)

## **SmartBike – Bicing (Clear Channel)**

### **A) Histórico**

O sistema de compartilhamento de bicicletas Bicing foi implementado em Barcelona em março de 2007, contando inicialmente com 200 bicicletas e 14 estações.

As estações foram construídas próximas às estações de metro e dos lugares públicos mais freqüentados, o que fez o Bicing se tornar um sistema alternativo de transporte integrado aos que já existiam. O número de pessoas cadastradas no sistema é de 150000 (01/05/2009) [12].

O sistema foi desenvolvido pela empresa de mobiliário urbano "Clear Channel" sob o nome de Smartbike.

### **B) Funcionamento do Sistema**

O usuário precisa ir ao site [www.bicing.com](http://www.bicing.com), se cadastrar e aguardar em sua residência o cartão do BICING. Para realizar o cadastro é necessário pagar 30€. Com esse cartão o usuário se dirige a uma estação e solicita o desbloqueio de uma bicicleta. Após a utilização, o usuário pode devolver a bicicleta em qualquer outra estação.

### **C) Horários**

De domingo à quinta: das 5h às 24h.

De sexta à domingo : 24h

### **D) Dimensões do Sistema**

Atualmente (01/05/2009): 100 estações, 1500 bicicletas

Projeção: 400 estações, 4000 bicicletas

### **E) Fixação**

A bicicleta possui dois pinos de engate e travamento e as estações possuem um dispositivo eletromecânico de travamento/liberação das bicicletas. A figura 7 mostra o sistema de travamento do Smartbike.



Fig. 7 Bicicleta do Bicing fixada na estação, vista superior.

## F) Comunicação

As estações estão conectadas a uma central.

## G) IHM

Na estação existe um local para que o usuário insira o seu cartão e tela/botões para escolher a bicicleta, como pode ser observado na figura 8. Além disso, os usuários podem verificar, em tempo real, no site (<http://www.bicing.com/localizaciones/localizaciones.php>) e na tela das estações quantas bicicletas e quantos espaços vazios há em cada estação.



Fig. 8 IHM e estação do Bicing

## H) Cobrança

O serviço é gratuito pela primeira meia hora. Depois, cada meia hora custa 0,50€ até completar duas horas. Após este tempo, o sistema custa 3€/hora. Caso o usuário não retorne a bicicleta em 24h, é debitado 150€ automaticamente em sua conta.

## I) Outros pontos interessantes

- O sistema conta com caminhões que remanejam a posição das bicicletas para não deixar estações vazias ou super lotadas.

- A bicicleta pesa 16 kg.
- Para evitar que os usuários devolvessem a bicicleta antes de meia hora e pegassem outra para não serem cobrados, após a devolução de uma bicicleta o sistema é bloqueado por 10 minutos para aquele usuário.
- A maioria dos usuários é de Barcelona, sendo 51% homens e 49% mulheres. 30% têm ensino superior, 22% ensino médio e 17% são estudantes. As bicicletas são utilizadas, em média, durante 15 minutos. Apenas 6,6% dos empréstimos passam de meia hora [12].
- As peças das bicicletas não são compatíveis com nenhuma outra bicicleta do mercado, para inibir roubos.
- A bicicleta tem um desenho e cores características para evitar roubos e conta com três marchas e luzes traseiras e dianteiras que se acendem automaticamente graças a um sensor fotoelétrico.

## J) Problemas

### Usuário

Os usuários reclamam que encontram muitas bicicletas com defeitos (sem freio suficiente, com banco solto, pneus murchos, etc.). A Clear Channel se defendeu dizendo que as pessoas esperam demais do sistema.

## CallABike

### A) Histórico

CallABike é um serviço de locação de bicicletas automático proposto pela Deutsche Bahn (DB), empresa que cuida dos trens alemães. O sistema foi inventado em 1998 pelo informático e empreendedor Christian Hogl e é proposto pela Deutsche Bahn principalmente como complemento ao transporte de trens e metrôs. O sistema já existe em Berlin, Frankfurt-sobre-Main, Cologne, Munich, Stuttgart e Karlsruhe. Arlington (Virginia, EUA) está preparando a instalação do sistema.

### B) Funcionamento do Sistema

Há dois tipos de sistema:

- Fix-system (Stuttgart e ICE - InterCityExpress) : sistema com estações fixas.
- Flex-system: não há estações, a bicicleta pode ser deixada em qualquer cruzamento, o usuário só precisa avisar onde a prendeu.

Tabela 2 Instruções do CallABike

Para alugar	O usuário liga para o número de telefone indicado sobre a bicicleta que inclui a identificação da mesma. Por voz, recebe o código de destravamento de quatro dígitos, que ele digita então no touchscreen da bicicleta para destravá-la.
Para devolver	O usuário deve prender a bicicleta a um objeto fixo, e selecionar "return bike" no touchscreen da bicicleta. Um código é gerado, e deve ser enviado por telefone ao centro de controle, como prova de que a bicicleta foi travada. O usuário deve ainda fornecer o nome exato das ruas do cruzamento onde deixou a bicicleta, que deve estar dentro do perímetro permitido.
Travamento temporário	Similar à devolução da bicicleta, exceto que não há geração de código de retorno da bicicleta.

### C) Horários

24h, todos os dias.

### D) Dimensão do sistema

O sistema opera em diversas cidades como: Berlin, Hamburgo, Colonia, etc.

Como exemplo, em Hamburgo há 1000 bicicletas e 70 estações.

### E) Fixação

#### Sistema flex:

As bicicletas não necessitam de estação. Seu travamento é feito por meio de um cabo metálico que permite prender a bicicleta em objetos fixos, e que ao mesmo tempo impede que a roda traseira gire.

#### Sistema Fix:

As estações possuem um cabo metálico com um pino igual ao do sistema flex. As bicicletas são, no entanto, iguais às outras.

A fixação do CallABike pode ser melhor compreendida por meio da figura 9.



Fig. 9 Fixação do CallABike

## F) Comunicação

O CallAbike, em sua versão flex, não necessita de estações. As bicicletas não se comunicam tampouco. O sistema embarcado nelas possui uma grande quantidade de senhas registrada e o usuário recebe da central a senha ‘da vez’ para aquela bicicleta, mediante fornecimento do número de identificação da mesma. Ao terminar o empréstimo, o usuário deve enviar à central um novo código fornecido pela própria bicicleta, que permite saber qual a próxima senha ‘da vez’, quando o usuário seguinte solicitar o empréstimo daquela bicicleta. Um grupo de 1024 códigos de travamento e

destravamento gerados previamente são únicos para cada bicicleta e estocado em uma memória embarcada.

### G) IHM

O usuário interage com o sistema flex de duas formas: por meio dos telefones da central de atendimento e por meio de um touchscreen embarcado na bicicleta, muito simples. Nesse touchscreen, que pode ser visto na figura 10, o usuário digita a senha dada pela central para possibilitar o uso da bicicleta e também recebe o código para término do empréstimo, a ser enviado à central.



Fig. 10 IHM integrada na bicicleta do CallABike

### H) Cobrança

A cobrança é feita pelo cartão de crédito, pois todo usuário do sistema deve ter se registrado anteriormente pela Internet.

### I) Outros pontos interessantes

A bicicleta tem 23,4kg.

### J) Problemas

#### Empresa

- Em Berlin, um grupo de Hackers introduziu em 1/10 das bicicletas uma senha extra que permitia o destravamento das bicicletas sem pagamento.

## **K) Patentes**

Foram encontradas patentes no nome do inventor do sistema, Christian Hogl. As abaixo relacionadas podem estar relacionadas ao sistema CallABike:

1. Sistema de travamento por meio de código numérico tal que o código não é sempre o mesmo. Apenas a parte eletrônica e de software. (WO/1997/005579)
2. Sistema de pagamento pela aquisição de um código, e fornecimento de recibo para a aquisição. (WO/2000/077754)
3. Protocolo de transmissão de informações. (WO/2001/076271)

## **SAMBA (Solução Alternativa para Mobilidade por Bicicleta de Aluguel)**

### **A) Histórico**

A iniciativa partiu do governo do estado do Rio de Janeiro. O então governador, Sérgio Cabral, anunciou em Paris, em maio de 2008, o lançamento de um programa de bicicletas públicas inspirado no sistema francês (Ciclocity, da JCDecaux).

O projeto, batizado de SAMBA - Solução Alternativa para Mobilidade por Bicicleta de Aluguel- foi desenvolvido por uma empresa 100% pernambucana - a Serttel, que venceu a licitação realizada pela Prefeitura do Rio de Janeiro.

A empresa contratada ficou responsável por : instalação das estações, fornecimento das bicicletas, operação, administração e manutenção do serviço.

### **B) Funcionamento do Sistema**

O princípio de funcionamento do sistema SAMBA é muito semelhante aos sistemas Ciclocity e Smartbike, e pode ser bem compreendido na figura 11.



Fig. 11 Explicativo de funcionamento do SAMBA

### C) Horários

Das 6h às 22h, todos os dias.

### D) Dimensões do sistema

Atualmente (05/06/2009): 8 estações, 80 bicicletas. Entre 12 e 14 vagas/estação

Projeção: 50 estações, 500 bicicletas.

### E) Fixação

A bicicleta possui um pino de engate e travamento e a estação possui um dispositivo eletromecânico de travamento/liberação da bicicleta, que podem ser observados na figura 12. A estação possui um leitor RFID para identificar a bicicleta.



Fig. 12 Fixação do SAMBA

#### **F) Comunicação**

As estações são conectadas à central de controle por um link de dados.

#### **G) IHM**

Há apenas luzes de sinalização na estação, e o usuário escolhe a bicicleta pelo celular após ter feito cadastro na Internet.

#### **H) Cobrança**

A cobrança é feita pelo cartão de crédito, tanto o preço dos passes quanto o preço a ser pago pelo uso, e a caução. Todo o contrato é feito pela Internet.

#### **I) Outros pontos interessantes**

- Existe a opção de colocação de câmeras nas estações.
- Na Internet há um site com a localização e status das estações [13].
- A bicicleta pesa aproximadamente 17 kgs.

#### **J) Problemas:**

Empresa

Segundo o presidente da Serttel, não há vendas de passes nas estações para evitar a ação de vândalos e dar maior segurança aos usuários.

### Usuário

O site do sistema [14] às vezes fica fora do ar por excesso de usuários.

## **BICIPUMA (“Universidad Nacional Autónoma do México”)**

### **A) Histórico**

O BICIPUMA é um sistema alternativo de transporte instalado na “Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)” desde março de 2005. Este sistema tem como objetivo proporcionar ao usuário uma maneira gratuita de locomoção dentro da Universidade e sua implantação foi fortalecida pela busca da melhoria da qualidade de vida dos alunos, docentes e funcionários. A foto da figura 13 mostra uma das estações do sistema.



Fig. 13 Sistema BICIPUMA da UNAM

### **B) Funcionamento do Sistema**

Qualquer pessoa que tiver a carteira da UNAM pode pegar uma bicicleta em uma das estações e devolver em qualquer outra estação após a sua utilização.

### C) Horários

Todos os dias das 6h30 às 16h

O usuário só pode utilizar a bicicleta por 20 min. consecutivos.

Em caso de chuva o sistema é paralisado.

### D) Dimensões do Sistema

Atualmente, mais de 2000 bicicletas (fonte: contato com os administradores do sistema)

### E) Fixação

Utilizam-se gaiolas com diversas bicicletas e atendentes, portanto não existe um sistema de fixação diretamente acoplado à bicicleta.

### F) Comunicação

Sistema integrado instalado em todas as estações, comunicação entre estações feita via internet utilizando Apache, MySQL e PHP.

Leitor de código de barras para identificação da bicicleta e do usuário.

### G) IHM

A interface entre o usuário e o sistema não é feita através de máquinas, mas sim de atendentes.

### H) Cobrança

O sistema é completamente gratuito. No entanto, se o usuário ultrapassar por 3 vezes o tempo de uso de 20 minutos, é suspenso do sistema.

### I) Outros pontos interessantes

- Em paralelo ao sistema, foram construídas 5,2 km de ciclovias dentro do campus.
- 90% dos empréstimos são feitos por estudantes.
- O sistema conta com aproximadamente 1.800 locações por dia.

- O BICIPUMA não fornece capacete, mas adverte que o uso do mesmo é obrigatório.

## **J) Problemas:**

### Usuário

O fato de o sistema ser exclusivo para os que possuem uma credencial da UNAM limita a quantidade de usuários. O tempo máximo de 20 minutos inibe as pessoas de utilizarem as bicicletas para recreação.

## **UseBike (Parada Vital/Metro/Porto Seguro)**

### **A) Histórico**

A instituição não governamental e sem fins lucrativos Parada Vital iniciou em 2007 os seus trabalhos na cidade de São Paulo. O seu principal objetivo é promover ações que ajudem no desenvolvimento de meios de transporte sustentáveis i.e., meios de transporte que contribuam com a redução da emissão de gases poluentes ao meio ambiente, que promovam a cidadania, inclusão social e que forneçam uma alternativa ao modo de vida sedentária levado pela maioria das pessoas nos dias de hoje.

Para tanto, a Parada Vital, em parceria com o Metrô de São Paulo e a Porto Seguro, disponibilizou ao público bicicletários e equipamentos de segurança que podem ser "alugados" gratuitamente por qualquer cidadão maior de 18 anos.

O sistema também possibilita o estacionamento gratuito de bicicletas

### **B) Funcionamento do Sistema**

O usuário, ao chegar a uma estação da UseBike, deve estar munido de um cartão de crédito VISA e de um documento com foto. Com isso ele pode realizar um cadastro e pegar uma bicicleta.

Após a utilização, o usuário pode devolver a bicicleta em qualquer uma das estações.

Caso não tenha cartão de crédito, o usuário pode comparecer à sede da Parada Vital (Rua Barra Funda, 827 sala 1. São Paulo - SP) e realizar um cadastro que

passará por uma avaliação. Ao ser aprovado, o usuário recebe um cartão de utilização.

### C) Horários

Diariamente das 6h às 22h, com exceção de 2 estações.

### D) Dimensões do Sistema

Atualmente (15/05/2009): 20 estações, 200 bicicletas

### E) Fixação

O sistema desenvolvido pela Parada Vital utiliza gaiolas com bicicletas (Bicicletários) onde um Monitor está sempre presente e realizando os empréstimos das bicicletas e equipamentos de segurança. Portanto, não existe um sistema de fixação acoplado às bicicletas visto que elas são vigiadas por monitores. A figura 14 mostra uma das gaiolas do UseBike.



Fig. 14 Estação do UseBike

### F) Comunicação

A comunicação entre as estações é feita através de um sistema integrado conectado por modem 3G.

Através desse sistema pode-se ver todas as bicicletas que estão alugadas no momento e ainda saber de onde elas foram retiradas e por quem. Ao devolver a bicicleta, o sistema é atualizado e sabemos, de qualquer estação, onde ela foi devolvida.

### G) IHM

A interface homem-máquina do sistema Parada Vital não é operada diretamente pelos usuários. São os monitores que utilizam a IHM para realizar o empréstimo das bicicletas e equipamentos de segurança aos usuários.

## H) Cobrança

O usuário deve estar munido de um cartão de crédito com limite de pelo menos R\$350,00. Esta quantia é bloqueada e só é liberada caso a bicicleta seja devolvida no mesmo estado em que foi retirada. Caso contrário, existe uma lista de preços a serem cobrados de acordo com as peças danificadas.

Os primeiros 60 minutos são gratuitos e, posteriormente, são cobrados R\$ 2,00 por hora adicional.

Caso o usuário opte pelo cartão UseBike, ele deverá pagar R\$50,00 no ato do cadastramento. Deste montante, R\$ 25,00 são transformados em crédito para a utilização no sistema. Quando esse crédito terminar o usuário solicita à Parada Vital a recarga do cartão, que só pode ser feita no valor de R\$ 50,00.

## I) Outros pontos interessantes

O sistema da Parada Vital conta com caminhões que fazem a redistribuição das bicicletas quando alguma estação fica vazia ou lotada. Além disso, cada bicicleta contém um número de identificação e a estação a qual ela pertence. Os caminhões tentam, na medida do possível, recolocar as bicicletas nas suas estações de origem.

Em uma primeira estimativa, temos que três bicicletas por estação por semana necessitam de algum reparo, somando um total de 30 reparos por semana (15%). Os sistemas que mais quebram são o câmbio traseiro e os pedais.

Durante a semana, os principais aluguéis são para o transporte de pessoas que vão ao trabalho e para a escola. As pessoas o utilizam por ser um sistema gratuito (na primeira hora). Já no final de semana, o principal motivo dos aluguéis é o lazer e o número de empréstimo dobra em relação a um dia de semana.

Na figura 15 tem-se a evolução dos aluguéis e dos estacionamentos do sistema UseBike.

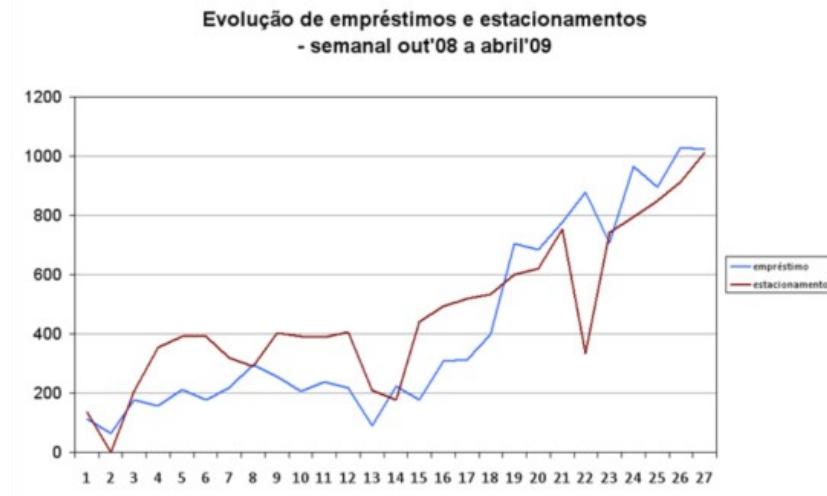


Fig. 15 Evolução dos empréstimos do UseBike [10].

## J) Problemas

### Usuário

- Burocracia exagerada para a retirada de uma bicicleta.
- Burocracia para efetuar o cadastro no sistema. É necessário o preenchimento de um cadastro mostrando documentos como RG, CPF e comprovante de residência. Isto, no entanto, não é anunciado no site do UseBike [10].
- Há estações funcionando sem terem o sistema de comunicação; ou seja: estão desconectadas das outras estações.

## SWOTS

SWOT é uma ferramenta para fazer análise de cenário (ou análise de ambiente), sendo usado como base para gestão e planejamento estratégico de uma corporação ou empresa, mas podendo, devido à sua simplicidade, ser utilizada para qualquer tipo de análise de cenário.

O termo SWOT é uma sigla oriunda do idioma inglês e é um acrônimo de Forças (Strengths), Fraquezas (Weaknesses), Oportunidades (Opportunities) e Ameaças (Threats). Seu significado é bem explicado pelo diagrama da figura 16.



Fig. 16 Explicativo da análise SWOT

Os sistemas, descritos anteriormente, foram analisados com a utilização dessa ferramenta. Os resultados estão dispostos em forma de tabela nas seções a seguir.

### Cyclocity – JCDecaux

	Ajuda	Atrapalha
<b>I</b> nterno	<p>S</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema evoluído, muitos testes;</li> <li>• Bicicleta robusta;</li> <li>• Sistema de reconhecimento de problemas;</li> <li>• Monitoramento de estado de estações;</li> <li>• Bicicleta diferenciada (inibe roubos);</li> <li>• Possibilita o cadastro na estação.</li> </ul>	<p>W</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bicicleta pesada (25 kg);</li> <li>• Limite de horário;</li> <li>• Só três marchas;</li> </ul>
<b>E</b> xterno	<p>O</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultura ciclística já enraizada na França;</li> </ul>	<p>T</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vandalismo intenso;</li> <li>• Não ha malha cicloviária em Paris;</li> </ul>

### SmartBike – Bicing (Clear Channel)

	Ajuda	Atrapalha
<b>I</b> <b>nter</b> <b>no</b>	S <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bicicleta leve (16,8kg), design atrativo;</li> <li>• Bicicleta diferenciada (inibe roubos);</li> <li>• Monitoramento de estado de estações;</li> <li>• Telefone para aviso de avarias.</li> </ul>	W <ul style="list-style-type: none"> <li>• Só com cadastro e cartão de crédito;</li> <li>• Restrição de horário;</li> <li>• Só três marchas.</li> </ul>
<b>E</b> <b>xter</b> <b>no</b>	O	T <ul style="list-style-type: none"> <li>• Em Barcelona, existe pouca aceitação da população motorizada pelo uso de bicicletas.</li> </ul>

#### 1.1.1. CallABike

	Ajuda	Atrapalha
<b>Inte</b> <b>rno</b>	S <ul style="list-style-type: none"> <li>• Não precisa de estação;</li> <li>• Sistema de fixação flexível (mesmo trava para estação ou poste);</li> <li>• Geração de senhas para liberar bicicleta (Não precisa de comunicação);</li> <li>• Bicicleta robusta, com amortecedores e design atrativo;</li> <li>• Sistema funciona 24h.</li> </ul>	W <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bicicleta pesada (23,4kg) – Muitos sistemas embarcados;</li> <li>• Sem estação, dificuldade para encontrar bicicletas;</li> <li>• Só com celular e cartão de crédito;</li> <li>• Bicicleta cara;</li> <li>• Só três marchas.</li> </ul>
<b>Ext</b> <b>ern</b> <b>o</b>	O <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultura ciclística já enraizada na Alemanha.</li> </ul>	T <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hackers.</li> </ul>

### 1.1.2. SAMBA (Solução Alternativa para Mobilidade por Bicicleta de Aluguel)

	Ajuda	Atrapalha
<b>Inte</b>	S	W
<b>rno</b>	<p>Bicicleta robusta e leve (17 kg);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologia desenvolvida e barata;</li> <li>• Sistema de fixação pequeno;</li> <li>• Opcional de câmeras de vigilância nas estações;</li> <li>• 15 marchas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Só pela internet/celular;</li> <li>• Só quem tem cartão de crédito;</li> <li>• Preços elevados;</li> <li>• Restrição de horário.</li> </ul>
<b>Exte</b>	O	T
<b>rno</b>	<p>Boa malha cicloviária no Rio de Janeiro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Violência urbana na cidade carioca;</li> <li>• No Rio de Janeiro, os ciclistas e os motoristas de carros são mal educados quanto às normas de trânsito.</li> </ul>

### 1.1.3. BICIPUMA (“Universidad Nacional Autónoma do México”)

	Ajuda	Atrapalha
<b>Inte</b>	S	W
<b>rno</b>	<p>Leitor de código de barras (identificação do usuário e da bicicleta);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funcionários que vigiam as bicicletas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Só quem tem cartão da UNAM;</li> <li>• 20 minutos máximos;</li> <li>• Paralisação durante chuvas;</li> <li>• Custo dos funcionários;</li> <li>• Restrição de horário;</li> </ul>
<b>Exte</b>	O	T
<b>rno</b>	<p>Apoio da universidade;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Construção de cicloviás (5,2km);</li> </ul>	

### UseBike (Parada Vital/Metro/Porto Seguro)

	Ajudas	Atrapalhas
<b>Int</b>	S  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bicicleta leve (14,2kg) e de boa dirigibilidade, com amortecedores;</li> <li>• Atendentes vigiando;</li> <li>• Comunicação (banco de dados) bem estruturada;</li> <li>• 21 marchas.</li> </ul>	W  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bicicleta pouco robusta;</li> <li>• Burocacia para retirar bicicleta;</li> <li>• Custo com atendentes;</li> <li>• Dificuldade para se cadastrar sem cartão de crédito;</li> <li>• Falta de organização;</li> <li>• Restrição de horário.</li> </ul>
<b>Ex</b>	O  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trânsito de São Paulo.</li> </ul>	T  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Em São Paulo, os ciclistas e os motoristas de carros são mal educados quanto às normas de trânsito.</li> </ul>

## ARQUITETURA DO SISTEMA

### Sistemas de compartilhamento de bicicletas

Primeiramente, para definir a arquitetura geral do sistema, foram analisadas duas possibilidades: um sistema com estações em locais pré-determinados onde as bicicletas são fixadas, ou um sistema sem estações (como o CallABike alemão) onde as bicicletas podem ser deixadas em qualquer local de uma zona pré-determinada, devidamente bloqueadas por meio de uma trava embarcada.

Na tabela 3 as principais vantagens e desvantagens de cada sistema.

Tabela 3 Sistema com estação x Sistema sem estação

	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Sistema com estações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usuário sabe onde encontrar/devolver bicicletas;</li> <li>• Fixação mais robusta;</li> <li>• Facilita estudo da mobilidade das pessoas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construção e manutenção de estações;</li> <li>• Usuário pode encontrar estações em seu destino lotadas e ter de ficar com a bicicleta por mais tempo do que gostaria.</li> </ul>
<b>Sistema sem estações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilita para devolução;</li> <li>• Sem necessidade de gastos com construção e manutenção de estações.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bicicleta mais pesada (sistema de fixação embarcado);</li> <li>• O usuário nunca sabe onde poderá de fato encontrar uma bicicleta;</li> <li>• Fixação menos robusta;</li> <li>• Menos controle das bicicletas.</li> </ul>

Chegou-se à conclusão de que um sistema com estações de armazenamento de bicicletas seria mais interessante, devido à dificuldade em contornar as desvantagens inerentes ao sistema sem estações.

Na figura 17 pode-se entender como está organizada uma estação de armazenamento de bicicletas.

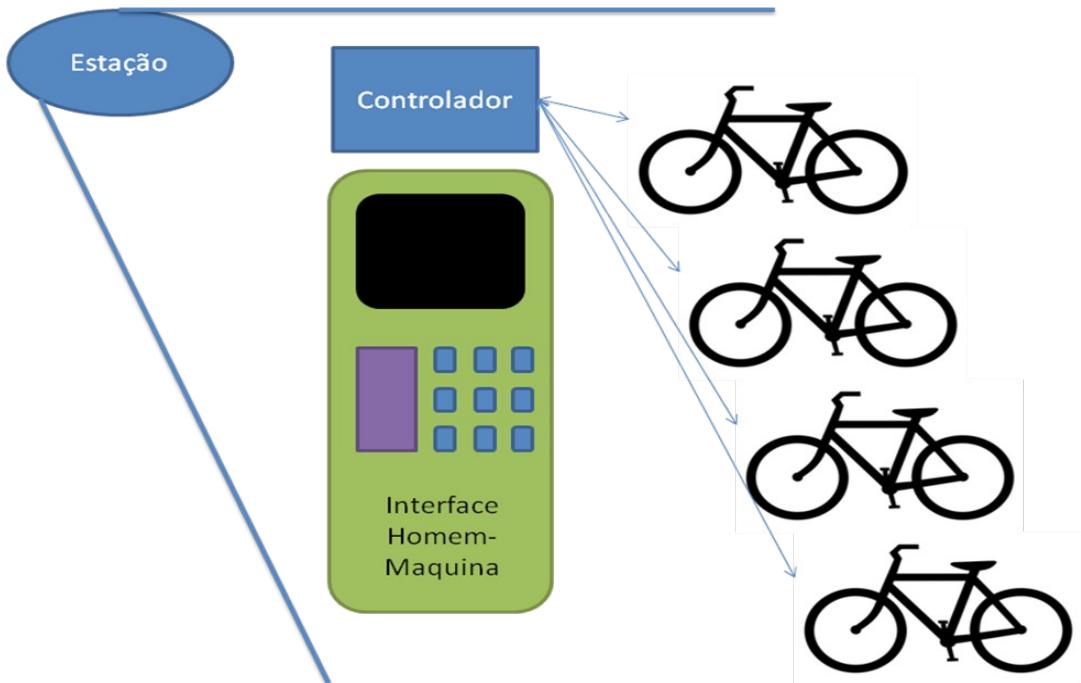


Fig. 17 Esquema da estação de armazenamento de bicicletas

Definiu-se então o princípio de funcionamento do sistema a ser desenvolvido, muito semelhante a outros já existentes. O compartilhamento de bicicletas deve proporcionar ao usuário uma alternativa de transporte integrada aos meios de locomoção já existentes. Para isso, o usuário deve poder devolver a bicicleta em um lugar distinto daquele de onde ele a retirou. Num exemplo simples, o usuário pegaria uma bicicleta perto de sua casa, iria até um metrô, onde a deixaria. Depois, utilizaria o metrô até a estação desejada e pegaria outra bicicleta para continuar o seu deslocamento. Ao chegar ao destino final, ele deixaria a bicicleta. A figura 18 ilustra o funcionamento do compartilhamento de bicicletas do ponto de vista do usuário.



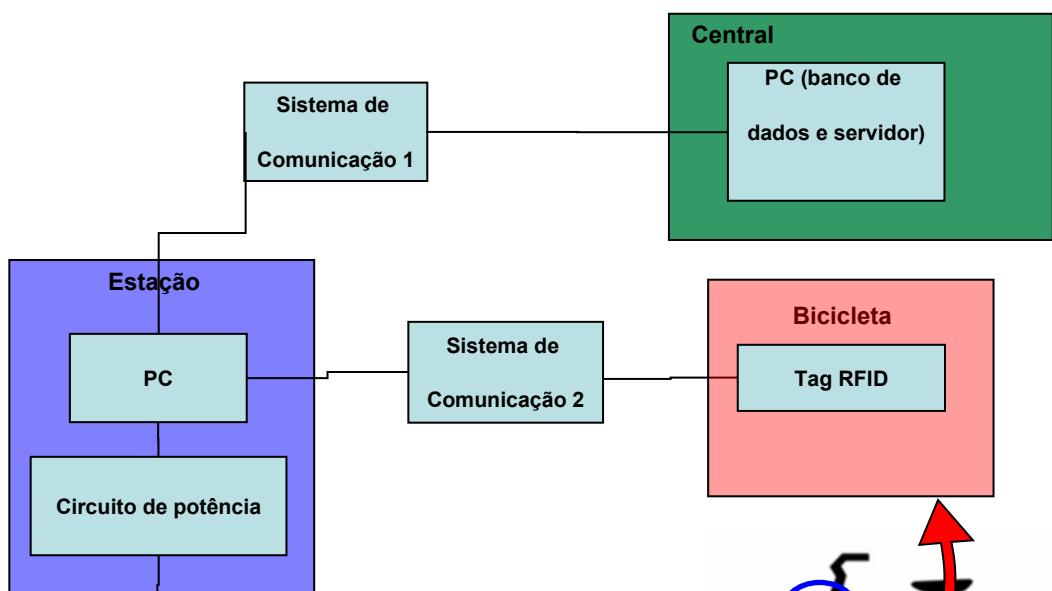
Fig. 18 Diagrama explicativo do sistema a ser desenvolvido

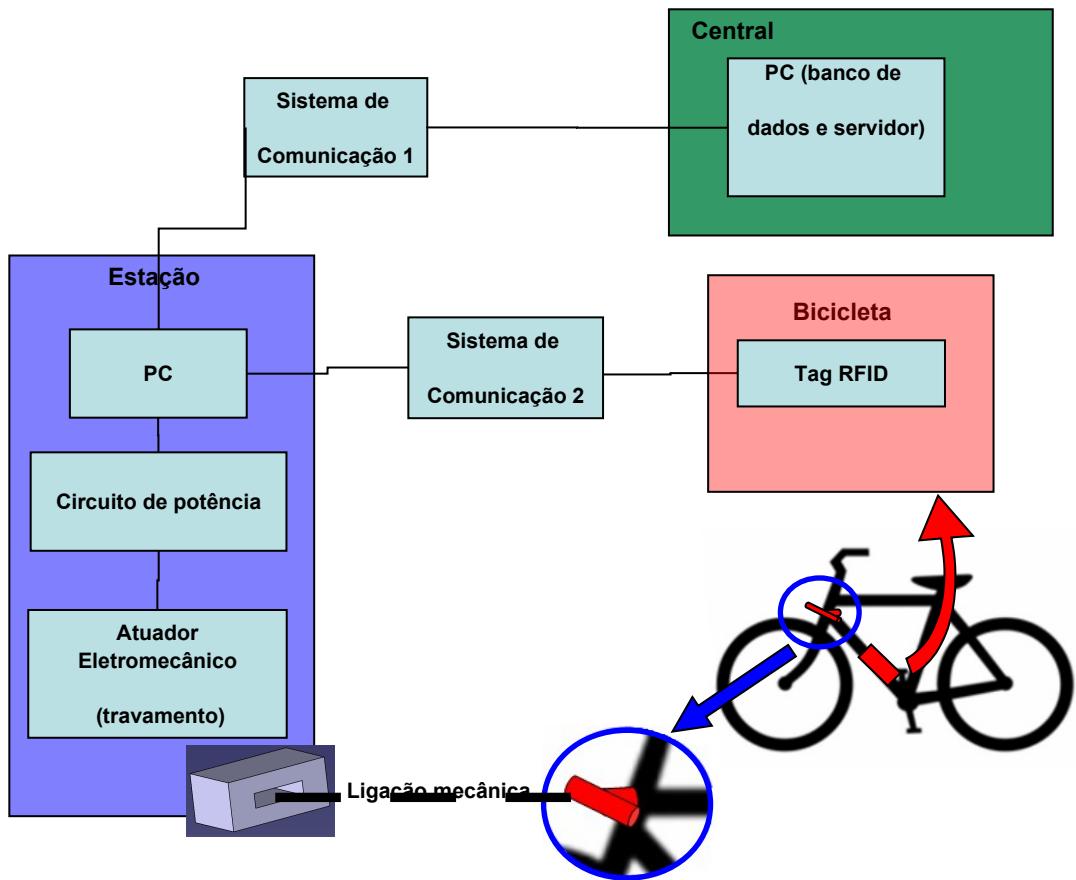
### Diagrama de blocos geral do sistema

O sistema é constituído de estações que se comunicam com uma central, onde está o banco de dados com as informações sobre os usuários, empréstimos, etc. Em cada estação, há um computador que faz o interfaceamento com diversas travas eletromecânicas para bicicletas, por intermédio de um circuito de acionamento e sensoriamento. O computador deve também receber a informação do número de identificação da bicicleta no momento em que ela é travada. Decidiu-se pela utilização da tecnologia RFID (Radio Frequency Identification) para isto, as razões desta escolha sendo esclarecidas mais adiante. Além disso, o computador deve fazer o interfaceamento com o usuário, para que este possa escolher a bicicleta a retirar, monitorar sua conta, etc.

O diagrama de blocos da figura 19 ilustra o que foi explicado.

Fig. 19 Diagrama de blocos geral do sistema





## SWOT

O mesmo tipo de análise SWOT feito para alguns sistemas existentes foi utilizado para estudar o sistema projetado neste trabalho. Foram levados em consideração os princípios de funcionamento detalhados acima, em um contexto onde o projeto seria implantado no campus USP-Butantã:

	Ajuda	Atrapalha
Interno	S <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cadastro na estação na hora;</li> <li>• Retirada/devolução de bicicletas rápida;</li> <li>• Fixação robusta.</li> </ul>	W <ul style="list-style-type: none"> <li>• Os problemas conhecidos nos outros sistemas serão evitados. Constatar-se-ão a posteriori as fraquezas do sistema desenvolvido.</li> </ul>
Externo	O <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoio da universidade;</li> <li>• Problemas de locomoção dentro da USP (Falta de circular, trânsito intenso em horário de pico);</li> <li>• Ambiente jovem (boa aceitação da bicicleta);</li> <li>• Espaço para publicidade;</li> <li>• Espaço propício para bicicletas;</li> <li>• Existência de câmeras de vigilância no campus da USP.</li> </ul>	T <ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas com ciclistas esportistas;</li> <li>• Falta de ciclovias;</li> <li>• USP não tem dinheiro para o projeto;</li> <li>• Vandalismo;</li> <li>• Falta de cultura de compartilhamento e de uso de bicicletas;</li> <li>• Deslocamentos concentrados (hora da chegada, almoço e saída).</li> </ul>

## Requisitos para a tecnologia

### Travamento das bicicletas na estação

- A bicicleta não pode destravar por falta de energia e deve ser possível o travamento mesmo com falta de energia.
- Ser resistente a intempéries

### Comunicação

- Comunicação entre as estações para poder devolver a bicicleta em outra estação.
- Sincronia do tempo, de forma a permitir que, em qualquer instante, todos os relógios das estações estejam sincronizados dentro de um intervalo de 1 min.
- Velocidade de comunicação suficiente para permitir que muitos usuários utilizem o sistema ao mesmo tempo

#### Interface Homem-Máquina

- Flexibilidade de utilização da interface em diferentes plataformas como browser nas estações ou até mesmo telefone celular.
- Deve permitir cadastro na estação.
- Rápida, permitindo retirada de bicicleta em tempo menor que 30s para usuário já cadastrado.
- Permitir monitoramento de situação das estações

## PROJETO DO SISTEMA DE FIXAÇÃO ELETROMECÂNICO

Este capítulo descreve o desenvolvimento do sistema de fixação das bicicletas nas estações. Trata-se de um sistema eletro-mecânico composto por uma trava mecânica e um solenóide utilizado como atuador.

### Mecânica

Para o desenvolvimento da parte mecânica da fixação foram levantadas quatro possíveis soluções que estão brevemente descritas abaixo:

#### Solução 1

Solução contendo dois pinos solidários ao quadro da bicicleta e dois encaixes na estação. Os pinos são os "machos" da fixação, enquanto que os encaixes são as "fêmeas".

Nesta solução, existem partes móveis apenas nas fêmeas.

Os machos contêm um rebaixo radial e a fêmea possui quatro peças móveis que pivotam ao sofrerem uma força (deixando assim o macho entrar) e retornam à sua posição inicial repousando no rebaixo do macho.

As figuras 20, 21 e 22 ilustram as partes acima descritas, e a forma como o travamento e destravamento são feitos.

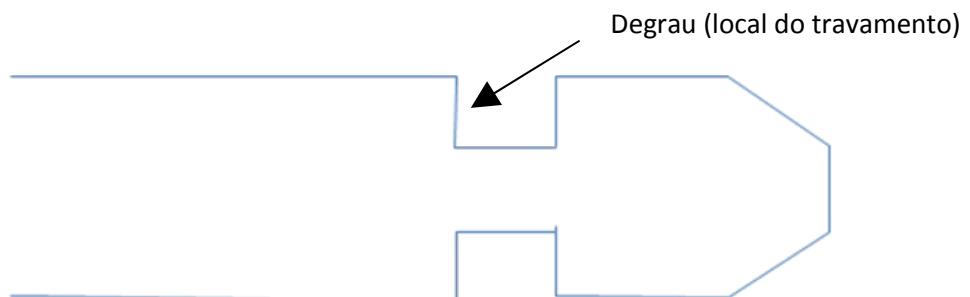


Fig. 20 Pino Macho

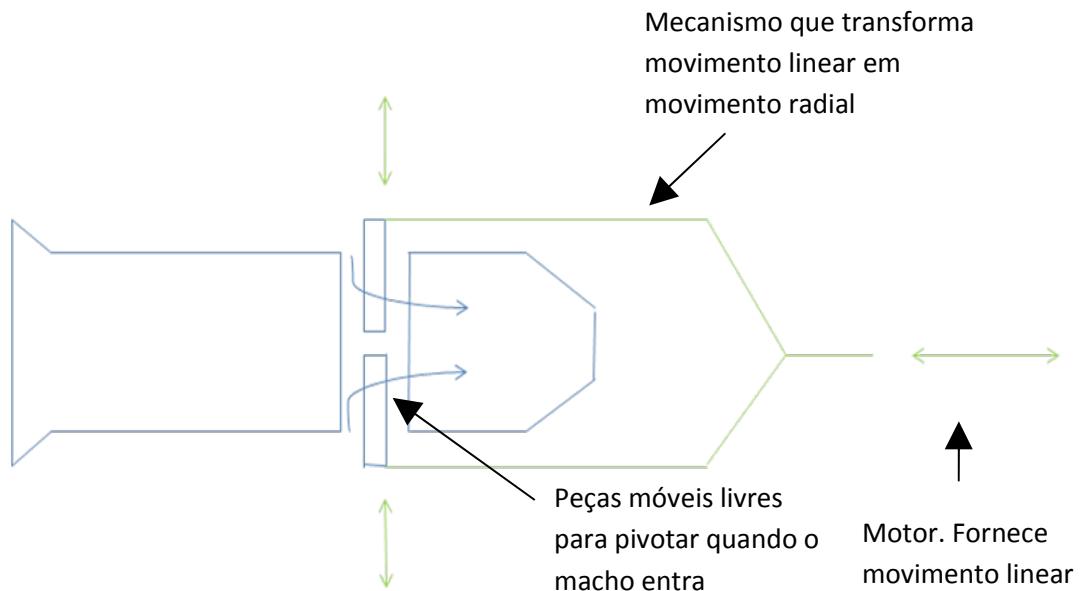


Fig. 21 Fêmea

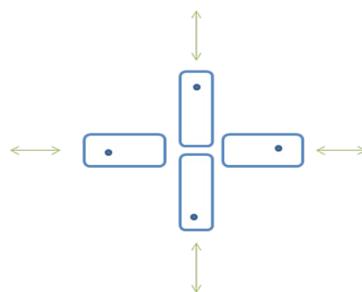


Fig. 22 Peças móveis da fêmea

Seqüência para travamento:

- 1) Pino macho empurra peças móveis ao entrar na fêmea
- 2) Peças móveis pivotam para dentro
- 3) Peças móveis encaixam no degrau do pino macho
- 4) Pino está travado
- 5) Para liberar o trava, um motor é acionado e o mecanismo transforma movimento linear em movimento radial
- 6) As peças móveis liberam o degrau do pino macho ao se moverem radialmente
- 7) O pino macho está livre para ser liberado

Usam-se dois pinos por dois motivos:

- 1) O travamento é mais rígido
- 2) Se um pino macho / encaixe fêmea falhar, o outro ainda trava

## Solução 2

Esta solução possui dois travamentos sendo: um responsável pelo travamento do quadro da bicicleta e o outro pelo travamento da roda dianteira. O travamento do quadro se dá por uma peça móvel contida na estação que engloba perfeitamente o cano frontal da bicicleta.

Já o travamento da roda dianteira é feito através de peças móveis, em formato de "garfo", que se fecham.

Nas figuras 23 a 26 pode-se compreender como isto seria feito.



Fig. 23 Solução 2 de fixação

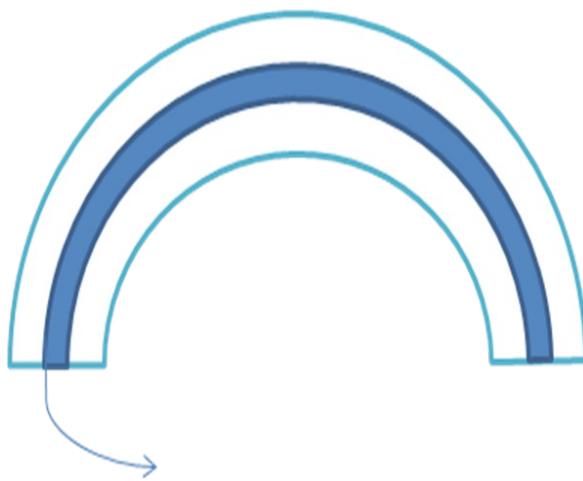


Fig. 24 Fixação do quadro da bicicleta aberto – vista superior

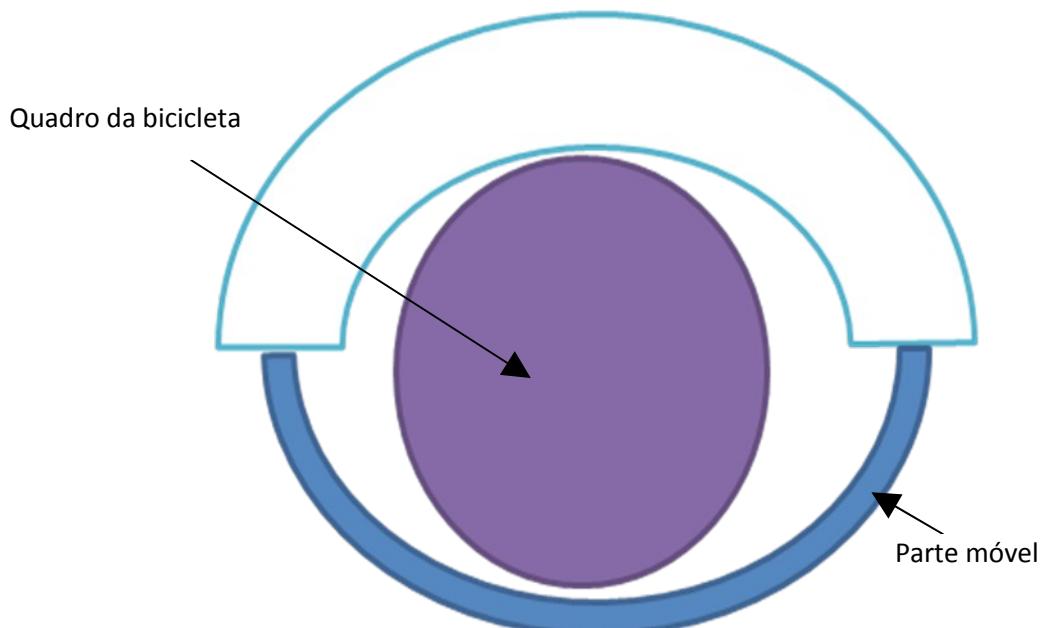


Fig. 25 Sistema de fixação do quadro fechado – vista superior

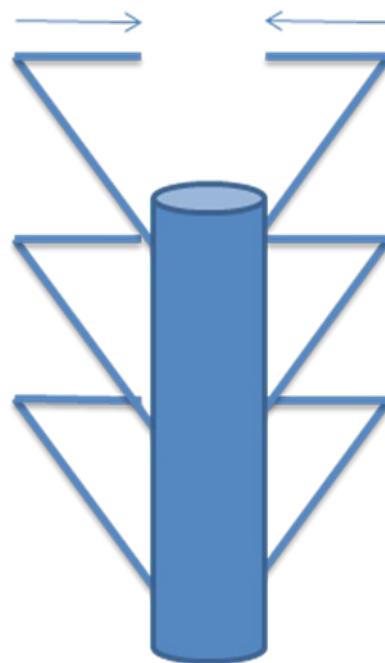


Fig. 26 Sistema de fixação das rodas

Para esta solução existe a necessidade de utilização de energia no momento do travamento. Portanto, as estações precisam ter uma fonte de energia suplementar caso haja queda do fornecimento principal.

Existem dois sistemas de fixação, pois com isso:

- O travamento é mais rígido

- Se um sistema falhar o outro trava a bicicleta

### Solução 3

Esta solução de fixação é solidária ao quadro da bicicleta e visa a praticidade do empréstimo e devolução da mesma. Por isso, o pino de travamento encontra-se na parte frontal da bicicleta, como mostrado na figura 27. Assim, o usuário poderá devolver a bicicleta sem desmontar. O sistema de travamento é inspirado nos sistemas de travamento de porta de carro, confiáveis e que não necessitam de energia elétrica para travar, cujo mecanismo é explicado pela figura 28. Duas possibilidades para o pino de travamento da bicicleta foram elaboradas, muito semelhantes, e podem ser visualizadas nas figuras 29 e 30.

1)Aproximando

Fig.: 0



Fig. 27 Travamento da solução 3

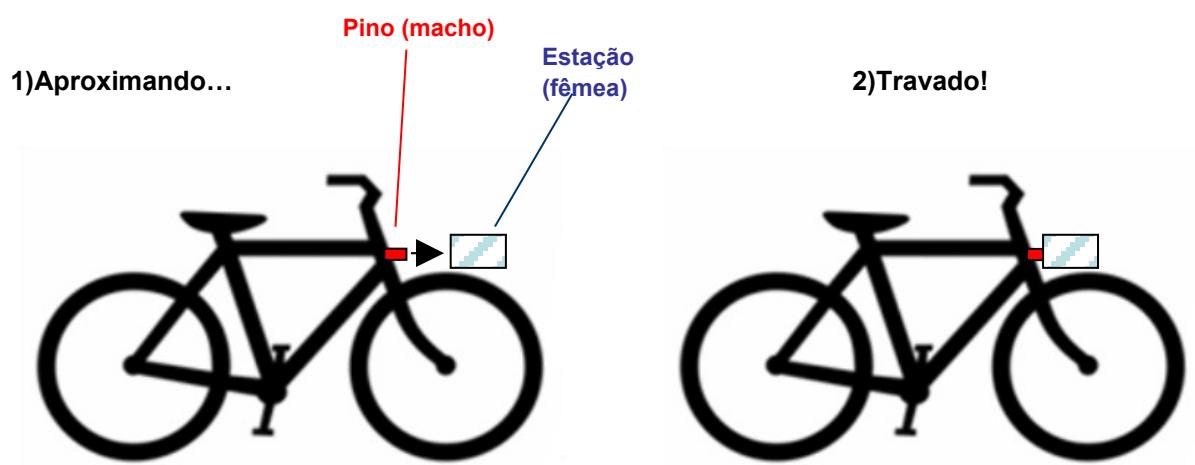




Fig. 28 Esquema de travamento da solução 3, inspirado de travas de porta de carro

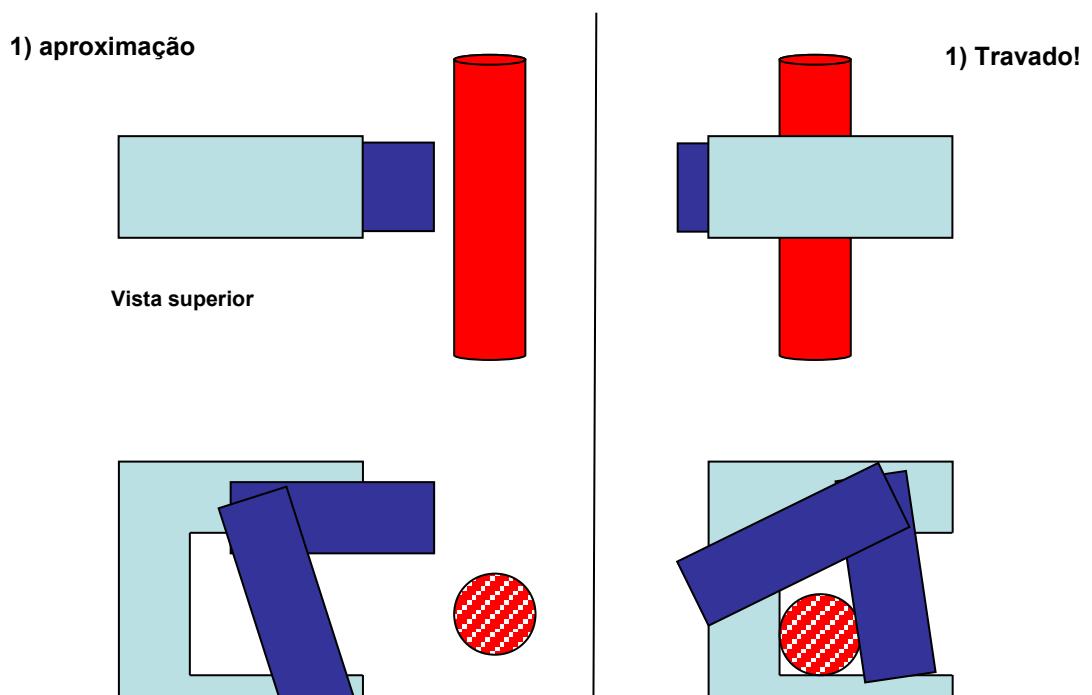


Fig.: 0

§

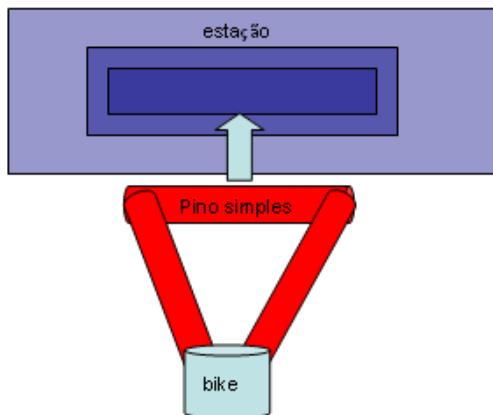
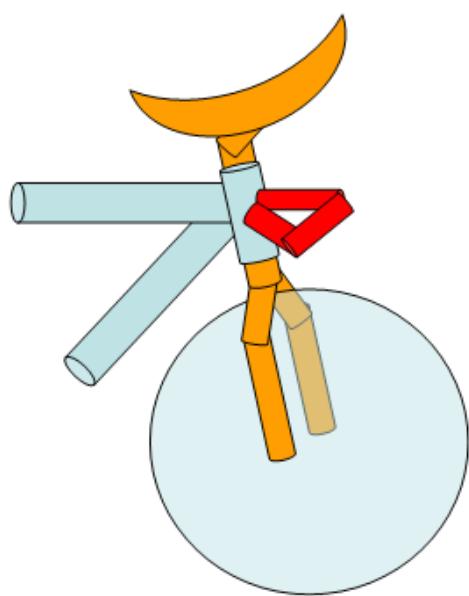


Fig. 29 Solução 3 com pino simples

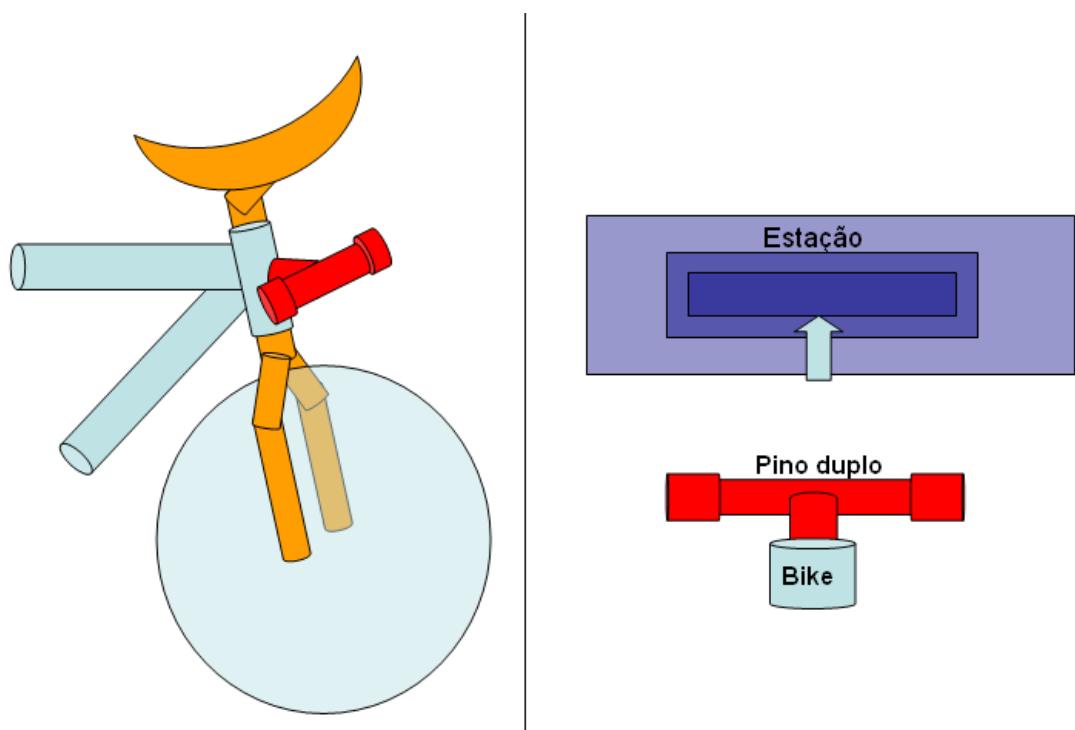


Fig. 30 Solução 3 com pino duplo

#### Solução 4

Esta solução explora a ideia de uma fixação flexível, o que daria possibilidade de desenhar tipos muito diferentes de estações. Isso daria maior liberdade tanto para o design das estações quanto para adaptação em locais em que a instalação de estações ‘convencionais’ (como as do ciclocity e smartbike) demandariam obras custosas.

Esta solução explora a idéia de uma fixação flexível, o que daria possibilidade de desenhar tipos muito diferentes de estações. Isso daria maior liberdade tanto para o design das estações quanto para adaptação a locais em que a instalação de estações ‘convencionais’ (como as do ciclocity e smartbike) necessitaria obras custosas. Seu princípio de funcionamento é mostrado na figura 31.

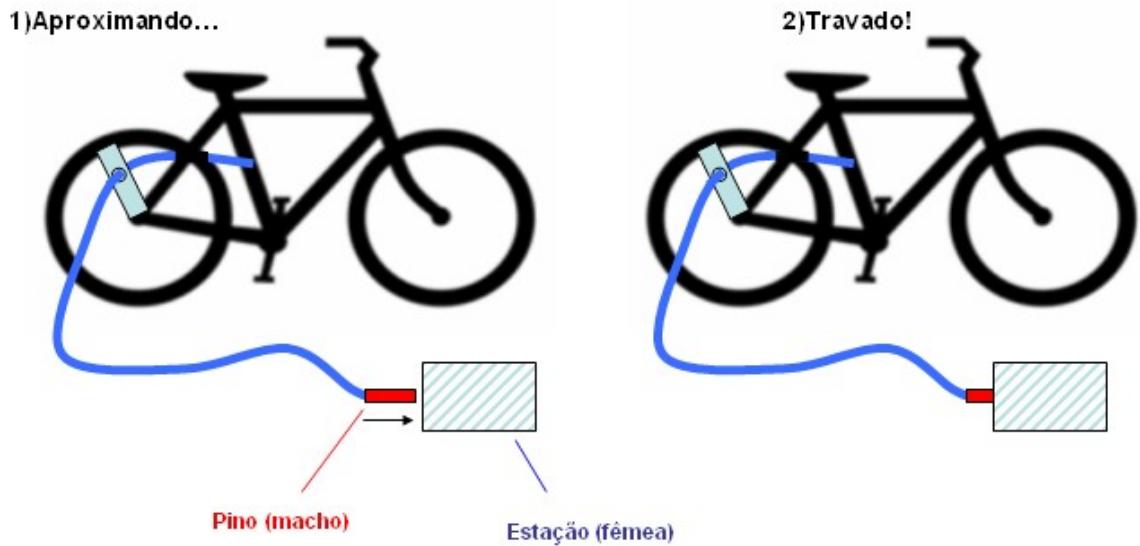


Fig. 31 Travamento da solução 4

Para evitar o roubo da roda traseira da bicicleta, o usuário ao estacionar na estação é obrigado a fazer o cabo flexível passar pela roda traseira. Para garantir que isso é feito, o cabo ao ser travado recebe uma corrente elétrica conhecida da estação (por exemplo carregando um capacitor da bicicleta). Esta corrente é detectada por um circuito na roda da bicicleta com funcionamento semelhante ao do alicate amperímetro (medição de variação do campo magnético induzido). A informação de que a corrente foi detectada é transmitida à estação pelo mesmo cabo, e a estação só então aceita a devolução da bicicleta, emitindo um sinal sonoro e luminoso ao usuário.

Para passagem de informação e de corrente elétrica para detecção, o cabo tem em seu interior um fio elétrico.

As desvantagens desse sistema são:

- A bicicleta fica pouco travada, dando margem a vandalismo;
- O cabo para fixação pode ser mais facilmente cortado do que um pino maciço de metal.

No entanto o sistema também tem grandes vantagens:

- A facilidade de construção de estações, as fêmeas podendo ser instaladas em posições bem diferentes (chão, parede, poste, etc)

- O mesmo cabo de fixação também serve para que o usuário estacione a bicicleta quando ainda não quiser devolvê-la, nos moldes de uma trava convencional para bicicleta, o que é ilustrado na figura 32.

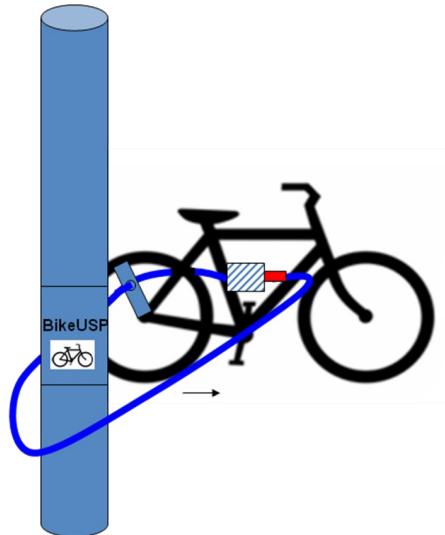
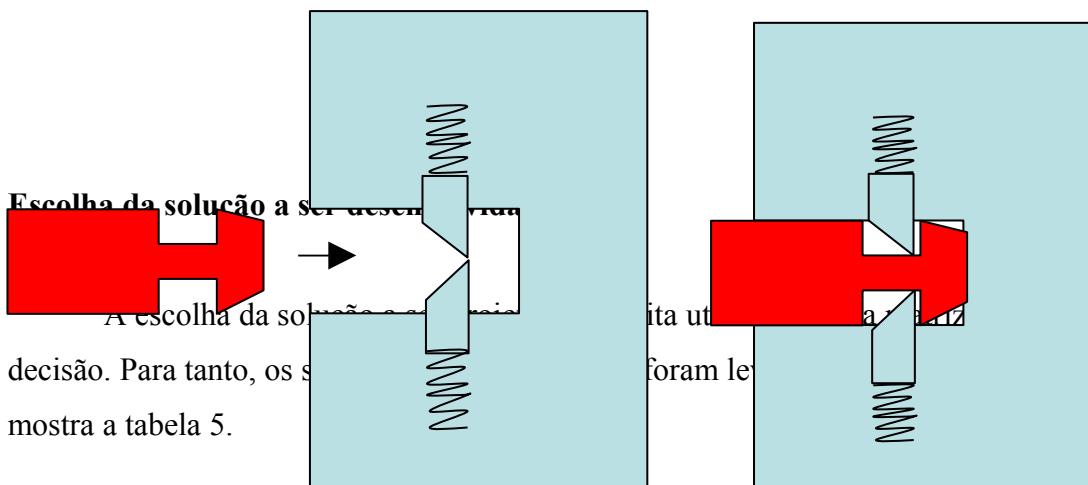


Fig. 32 Travamento fora da estação - Para usuário

Internamente, a fixação pode travar o pino tanto pelo método exposto na solução 1 quanto pelo método exposto na solução 3. Pode-se, ainda, adotar uma solução semelhante ao travamento de cadeados, o que é ilustrado na figura 33. Para destravamento, seria necessário uso de energia elétrica, com um atuador eletromecânico que afasta as travas permitindo a saída do pino.



Quesitos	Pesos
----------	-------

Facilidade de fabricação;	3
Praticidade para o usuário;	3
Resistência a roubos/vandalismos.	4

A matriz de decisão pode ser observada na tabela 6.

Tabela 5 Matriz de decisão do sistema de travamento

	Facilidade de fabricação (3)	Praticidade para o usuário (3)	Resistência a roubos/vandalismos (4)	TOTAL
Solução 1)	1	3	2	20
Solução 2)	1	1	2	14
Solução 3)	2	3	3	27
Solução 4)	3	2	1	19

Onde: 1 - baixa , 2 - média e 3 - alta

### Detalhamento da solução escolhida

Seguindo a matriz decisão, a solução escolhida foi a número 3. Duas alternativas foram descritas para esta solução: a primeira com um pino simples e uma base triangular e a segunda com um pino duplo. A solução utilizando o pino duplo foi priorizada, tendo em mente a facilidade de integração de um sistema de identificação (colocação de TAGS de identificação).

Para travar a bicicleta, o ciclista deve encaixar o pino duplo na fresta localizada na baia de travamento da estação. Com isso, a trava rotacionará de 90° e assim um pino de travamento manterá a bicicleta no local. Para o destravamento, um atuador linear irá deslocar o pino de travamento fazendo com que a trava rotacione 90° no sentido contrário, liberando assim a bicicleta.

### Desenho de conjunto

Para iniciar o projeto mecânico do sistema de fixação, um desenho de conjunto foi desenvolvido. Com esse desenho e seguindo uma metodologia iterativa, o projeto ganhou forma após a resolução de alguns problemas.

O desenho de conjunto final pode ser visto nas figuras 34 e 35, a tabela 7 servindo de legenda.

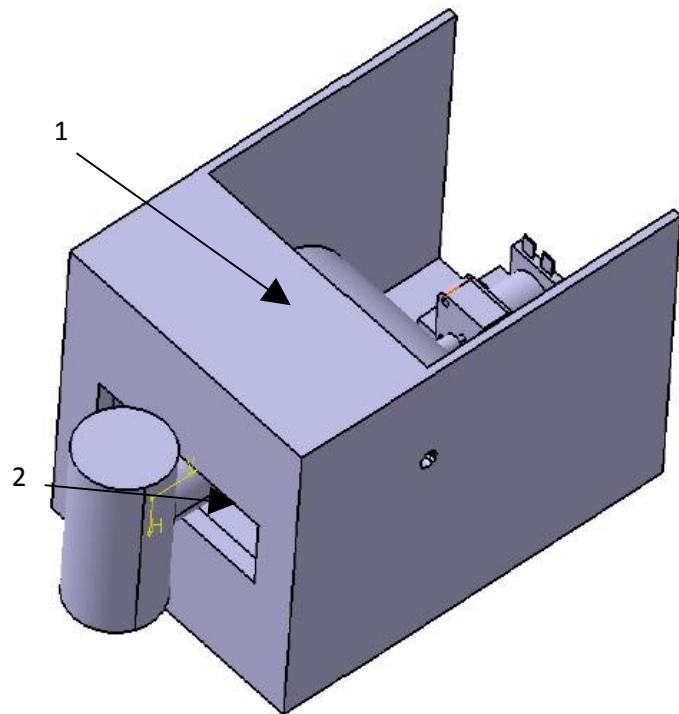


Fig. 34 Vistas gerais do desenho de conjunto 1

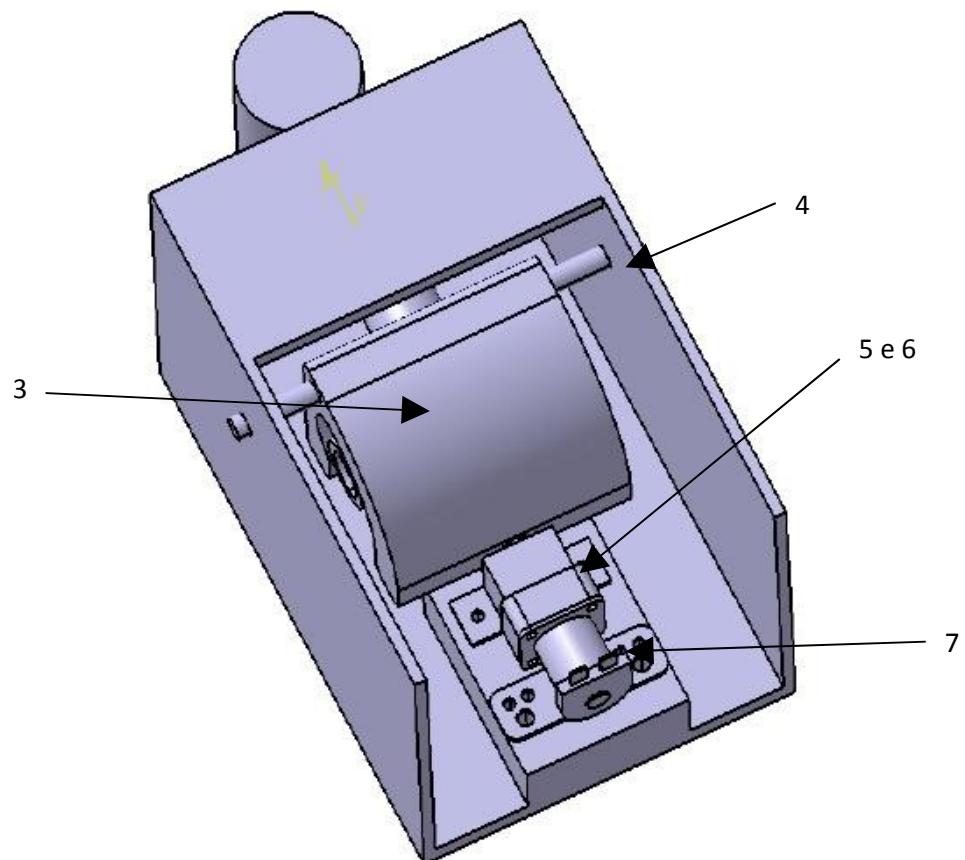


Fig. 35 Vistas gerais do desenho de conjunto 2

Tabela 6 Identificação dos componentes do sistema de fixação

Identificação	Componente
1	Carcaça
2	Pino duplo na bicicleta
3	Trava fêmea
4	Eixo da trava fêmea
5	Pino de travamento
6	Estrutura do pino
7	Solenóide atuador

Posição de encaixe  
do eixo da trava  
fêmea

**Detalhamento de peças**

**Carcaça**

Batente superior  
para a trava fêmea

Encaixe para o  
solenóide atuador  
e para a estrutura  
do pino

Buraco receptor  
do pino duplo

A carcaça serve para proteger e posicionar os outros elementos do sistema de fixação, e deve ser resistente a intempéries. Seu desenho pode ser observado na figura 36.

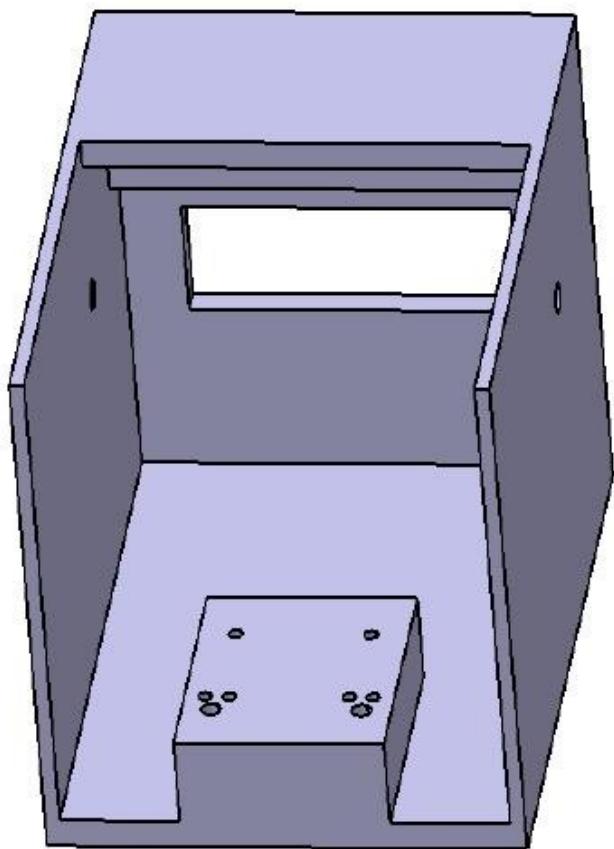


Fig. 36 Carcaça do sistema de fixação

### Pino duplo na bicicleta

O pino duplo está soldado no cano dianteiro da bicicleta. Ele será feito do mesmo material da bicicleta e deverá ser resistente a intempéries, com uma forma como a mostrada na figura 37.

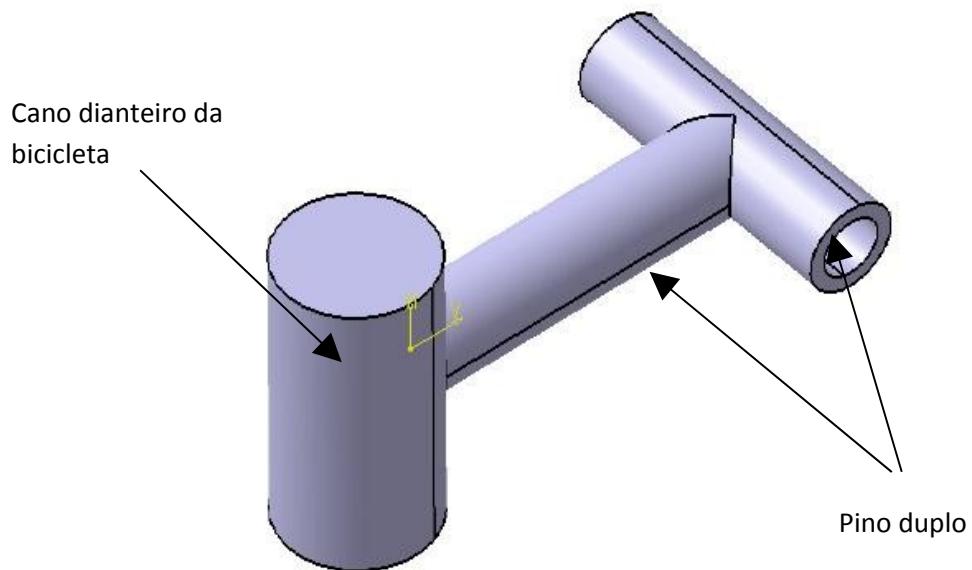


Fig. 37 Pino duplo do sistema de fixação preso no cano dianteiro da bicicleta

### Trava fêmea

A trava fêmea é uma peça com um formato semelhante a um “U”, como pode ser visto na figura 38. Ela recebe e é rotacionada pelo pino duplo.

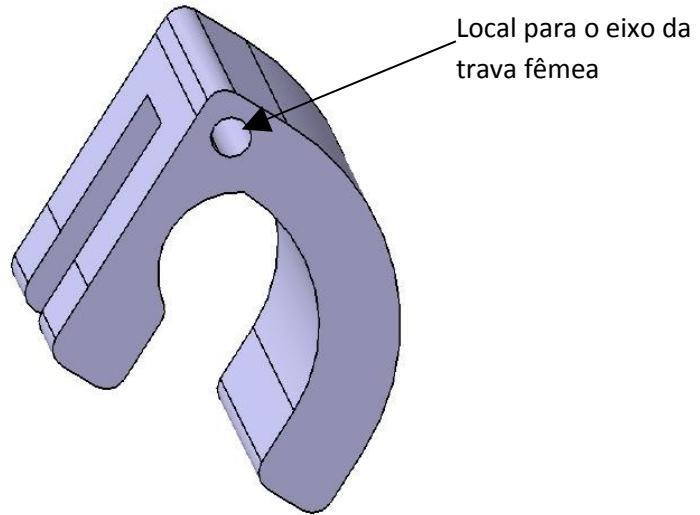


Fig. 38 Trava fêmea do sistema de fixação

### Solenóide atuador

O mecanismo utilizado para a atuação, com objetivo de realizar o

travamento/destravamento da bicicleta, é um solenóide linear encontrado no mercado. O modelo encontrado é utilizado em máquinas de lavar roupa para acionar uma válvula de passagem d'água. A indústria nacional Emicol fabrica esse tipo de solenóide e o comercializa por aproximadamente R\$10,00. Um modelo tridimensional do solenóide escolhido pode ser observado na figura 39.

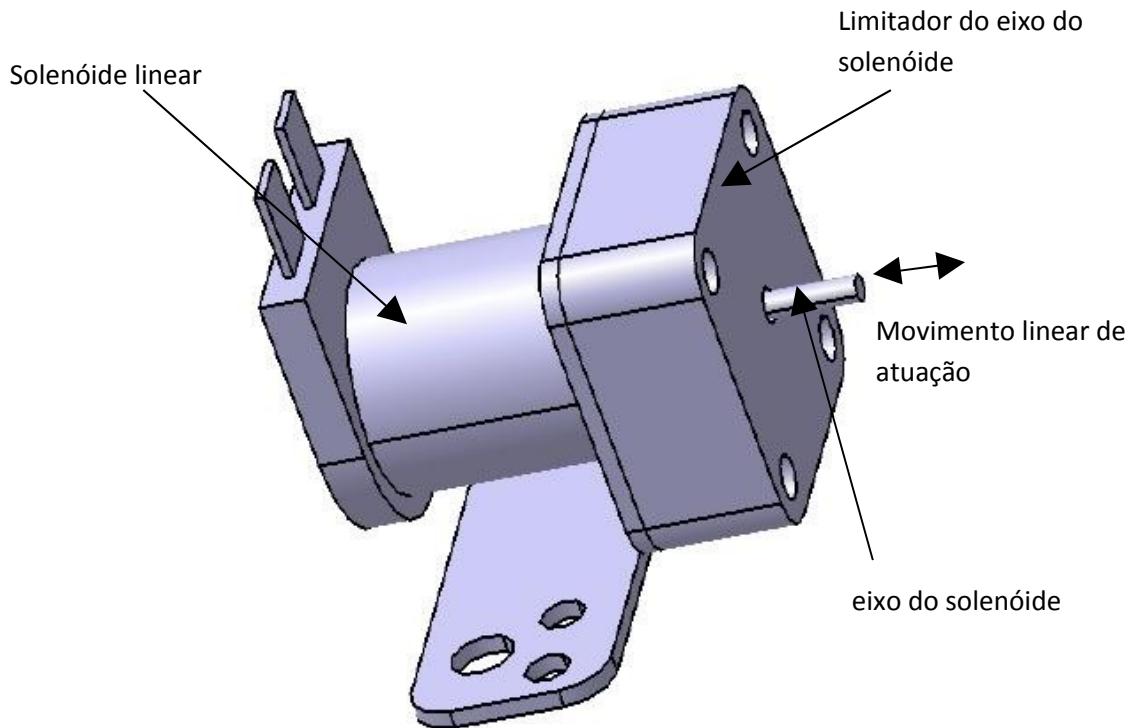


Fig. 39 Solenóide atuador do sistema de fixação

Um simples mecanismo limitador do eixo do solenóide foi projetado para que este tenha um curso determinado e não saia de dentro do atuador por acidente. O eixo do solenóide tem, na seção menor, um trecho rosqueado que servirá para o encaixe deste com o pino de travamento, como pode ser visto na figura 40.

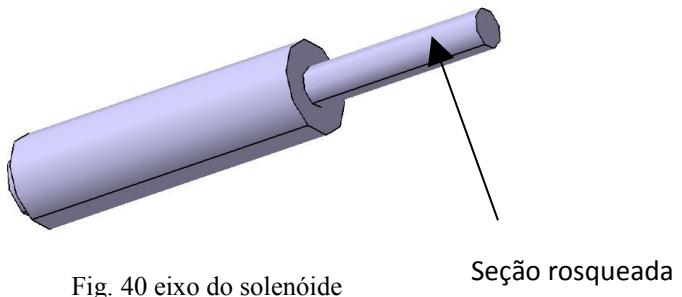


Fig. 40 eixo do solenóide

## Pino de travamento

O pino de travamento é responsável por manter a trava fêmea numa posição que impossibilita a retirada da bicicleta.

Este pino tem um furo rosqueado na parte inferior onde o eixo do solenóide é encaixado, como pode ser observado na figura 41.

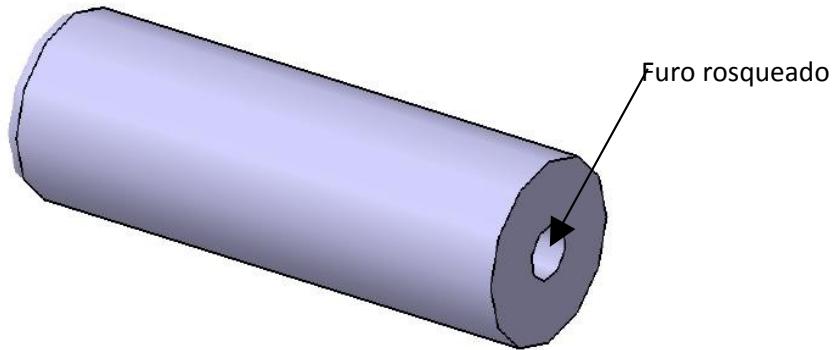


Fig. 41 pino de travamento

## Estrutura do pino

Esta peça serve para receber os esforços aplicados no pino de travamento, sua forma pode ser observada na figura 42.

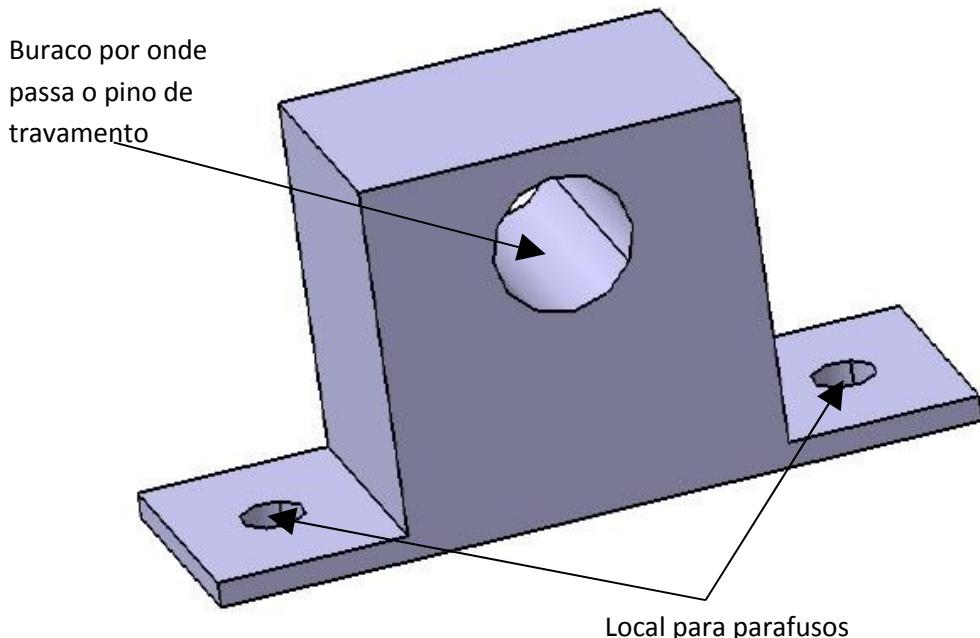


Fig. 42 Estrutura para o pino de travamento

## Posições da trava

O sistema mecânico de fixação possui 4 posições da trava.

### Trava aberta

Nesta posição, a trava fêmea está pronta para receber o pino duplo. O pino de travamento não está sendo comprimido, e o solenóide linear não está energizado, como pode ser visto na figura 43.

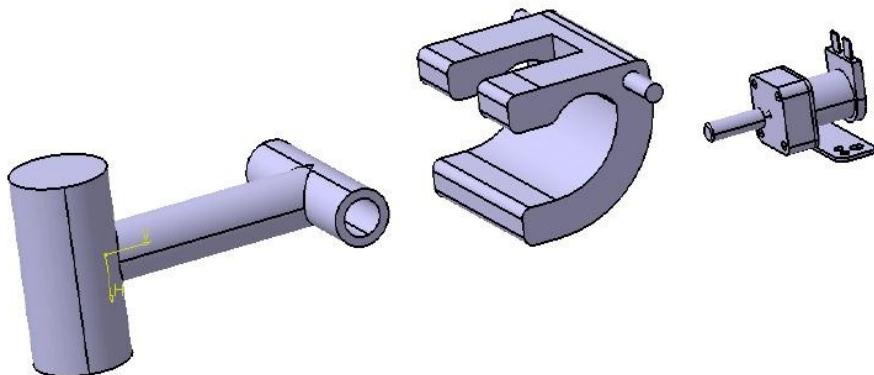


Fig. 43 Posição "Trava aberta"

### Trava fechando

Na posição “trava fechando” – figura 44 - a trava fêmea está sendo rotacionada pelo pino duplo. A partir de um determinado momento, o pino de travamento começa a ser empurrado. O solenóide linear não esta energizado.

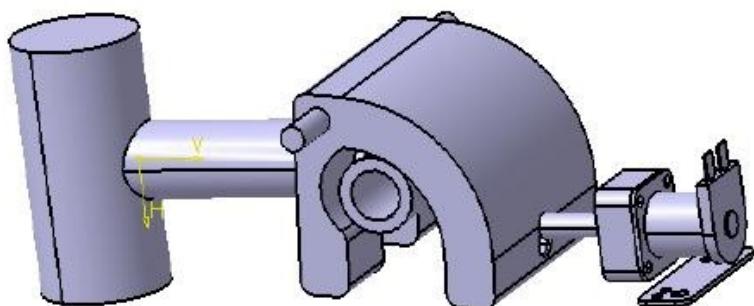


Fig. 44 Posição "Trava fechando"

### Trava fechada

Na “Trava fechada” – figura 45 -a trava fêmea alcançou a ultima posição. O pino de travamento já foi comprimido e agora entrou no buraco feito na trava. O pino duplo está confinado dentro da trava e o solenóide linear não é energizado.

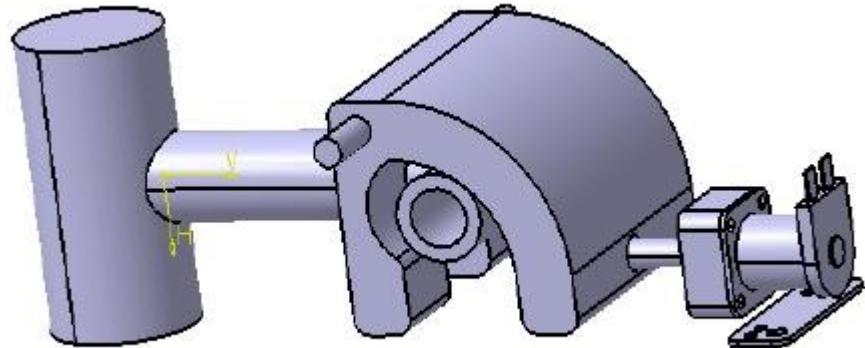


Fig. 45 Posição "Trava fechada"

### Trava abrindo

Nesta posição – figura 46 - o solenóide linear foi energizado fazendo com que o pino de travamento seja comprimido. Ao ser comprimido, ele deixa o buraco da trava livre e libera a sua rotação. Quando o usuário puxa a bicicleta, o pino duplo faz a trava fêmea rotacionar abrindo, assim, a trava. Molas prendem a carcaça e a trava fêmea para que esta última possa retornar à posição inicial “trava aberta”.

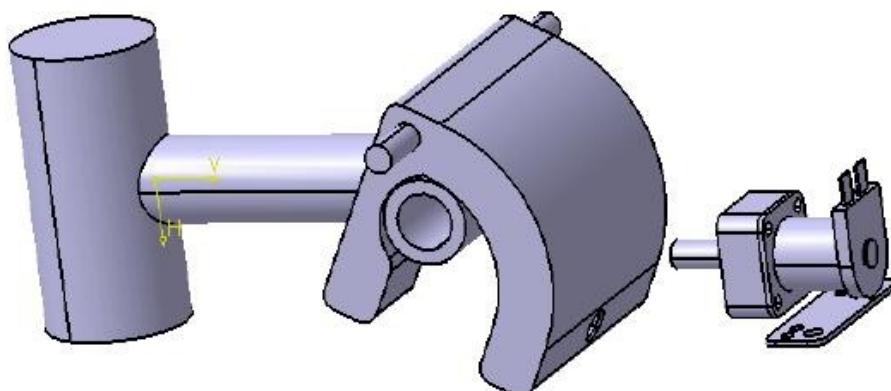


Fig. 46 Posição "Trava abrindo"

## Estudos de esforços

Como foi descrito anteriormente, molas conectarão a carcaça com a trava fêmea para auxiliar no posicionamento correto desta ultima na posição inicial de trava aberta.

Os estudos de forças são úteis para determinar quais molas serão utilizadas. Além disso, esses estudos auxiliarão no projeto do pino de travamento mostrando quais são os esforços que este deverá suportar.

Primeiramente, um diagrama de forças da posição “trava aberta” foi estudado para que o estudo das molas fosse realizado, como pode ser visto na figura 47.

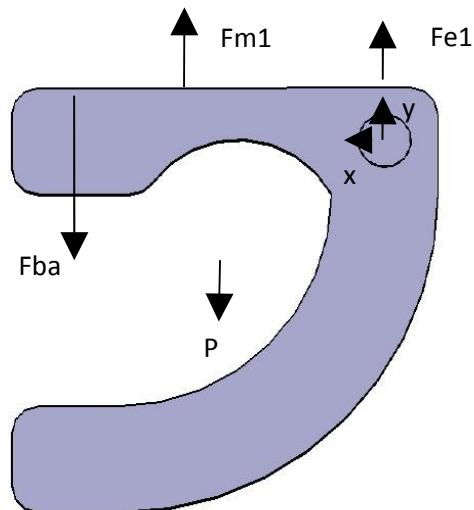


Fig. 47 Diagrama de forças com a trava aberta

Onde :

Tabela 7 Forças e distâncias do diagrama de forças com a trava aberta

Fba	Força do batente
Fm1	Força das molas na posição trava aberta
P	Peso
Fe1	Feixo na posição trava aberta
Xba	Distância, no eixo x, do batente ao eixo
Xm1	Distância, no eixo x, da mola ao eixo na posição trava aberta
Xg1	Distância, no eixo x, do centro de massa ao eixo na posição trava aberta

O equilíbrio de força fornece a seguinte equação:

$$Fe1 + P + Fba = Fm$$

O equilíbrio dos momentos fornece a equação abaixo:

$$P \cdot Xg1 - Fm1 \cdot Xm1 + Fba \cdot Xba = 0$$

Trabalhando essas duas equações, tendo a massa e as distâncias requeridas, encontram-se informações para as molas a serem utilizadas.

Um estudo da posição “trava fechada” é realizado para ter-se informações dos esforços realizados no pino de travamento. A figura 48 mostra o diagrama de forças nesta posição, a tabela 9 servindo de legenda.

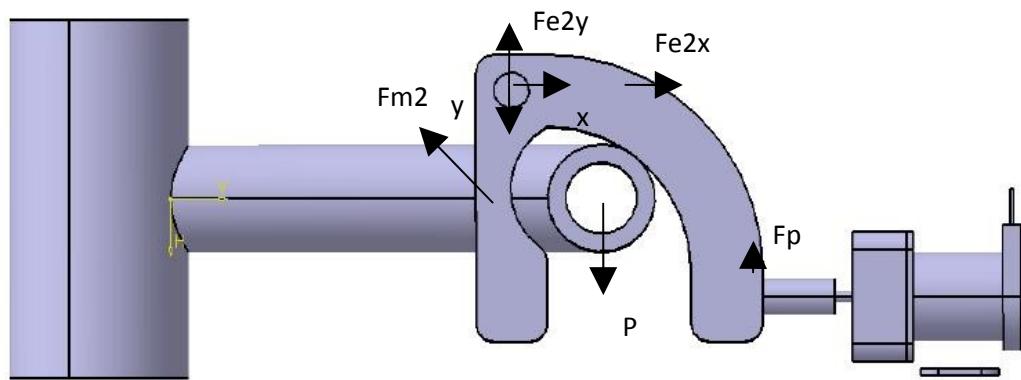


Fig. 48 Diagrama de forças com a trava fechada

Tabela 8 Forças e distâncias do diagrama de forças com a trava fechada

Fm2	Força da mola na posição “trava fechada”
P	Peso
Fp	Força do pino de travamento
Fe2y	Força na direção y do eixo na posição “trava fechada”
Fe2x	Força na direção x do eixo na posição “trava fechada”
$\alpha_2$	Ângulo da mola com o eixo x na posição “trava fechada”
Xg2	Distância, no eixo x, do centro de massa ao eixo na posição “trava fechada”
Xp	Distância, no eixo x, do pinhão ao eixo
Xm2	Distância, do eixo x, da mola com o eixo na posição “trava fechada”
Ym2	Distância, do eixo y, da mola com o eixo na posição “trava fechada”

O equilíbrio de força fornece as seguintes equações:

$$P = Fe2y + Fp + Fm2 * \sin(\alpha_2)$$

e

$$Fm2 * \cos(\alpha_2) = Fe2x$$

O equilíbrio dos momentos fornece a equação abaixo:

$$-P * Xg2 + Fp * Xp + Fm2 * \sin(\alpha_2) * Xm2 - Fm2 * \sin(\alpha_2) * Ym2 = 0$$

Com essas equações, tendo informações sobre o peso, a mola e as distâncias requeridas, encontram-se as forças aplicadas no pino de travamento.

Para finalizar os estudos de forças, tem-se a análise da posição “trava fechando”. Neste estudo analisa-se a força que o usuário deve aplicar para travar a bicicleta. A figura 49 mostra o diagrama de forças nesta posição, a tabela 10 servindo de legenda

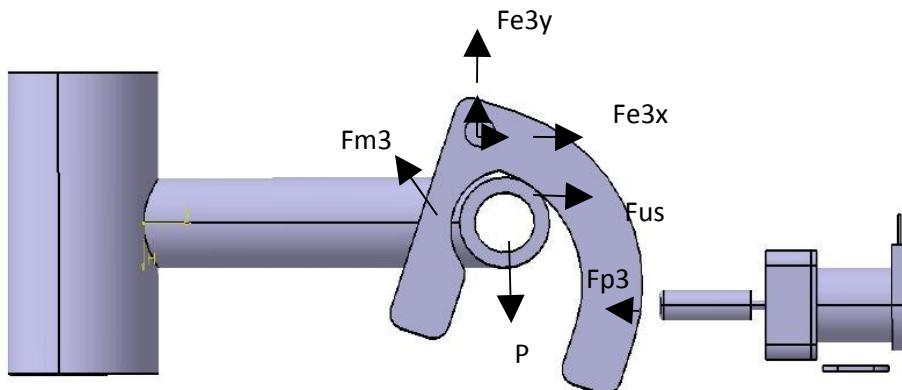


Fig. 49 Diagrama de forças com a trava abrindo

Tabela 9 Forças e distâncias do diagrama de forças com a trava abrindo

Fm3	Força da mola na posição “trava fechando”
Fe3y	Força do eixo, na direção y, na posição “trava fechando”
Fe3x	Força do eixo, na direção x, na posição “trava fechando”
Fus	Força aplicada pelo usuário
P	Peso
Fp3	Força do pino de travamento na posição “trava fechando”
Xg3	Distância, no eixo x, do centro de massa ao eixo na posição “trava fechando”
Yp3	Distância, no eixo y, do pino de travamento ao eixo na posição “trava fechando”
Yus	Distância, no eixo y, do pino duplo ao eixo na posição “trava fechando”
Ym3	Distância, no eixo y, da mola ao eixo na posição “trava fechando”

Xm3	Distância, no eixo x, da mola ao eixo na posição “trava fechando”
$\alpha_3$	Ângulo da mola com o eixo x na posição “trava fechando”

O equilíbrio de força fornece as seguintes equações:

$$F_{us} - F_{m3} \cdot \sin(\alpha_3) - F_{p3} + F_{e3x} = 0$$

e

$$F_{m3} \cdot \cos(\alpha_3) + F_{e2y} = P$$

O equilíbrio dos momentos fornece a equação abaixo:

$$-P \cdot X_{g3} - F_{p3} \cdot Y_{p3} + F_{us} \cdot Y_{us} - F_{m3} \cdot \sin(\alpha_3) \cdot Y_{m3} = 0$$

### Fabricação da trava

Duas travas foram fabricadas neste projeto visando à construção de um protótipo, formado por duas estações, que pode simular o funcionamento do sistema de compartilhamento.

Para tanto, os alunos estabeleceram contato com o técnico de confiança para a fabricação das peças do sistema mecânico. Desta reunião, aperfeiçoamentos foram realizados para a construção da primeira trava, levando em conta os materiais e ferramentas disponíveis na oficina do prédio da mecânica da Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo.

A peça que sofreu a maior modificação foi a trava fêmea, pois um centro de usinagem CNC teria de ser utilizado para a fabricação da mesma, seguindo o projeto inicial. Seu novo desenho pode ser observado na figura 50.

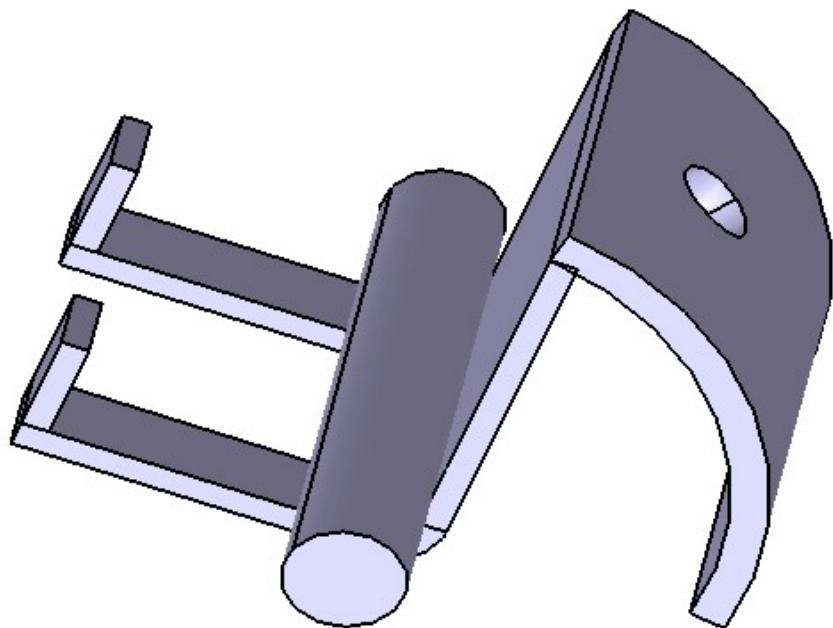


Fig. 50 Trava fêmea construída

Para a fabricação da segunda trava, outras melhorias foram levadas em conta e o projeto voltou a sofrer uma evolução. Detalhes como o modo de fixação do eixo da trava na trava fêmea e na carcaça foram definidos com o auxílio do técnico.

Nas figuras 51 e 52 pode-se ver o aspecto geral das peças principais do sistema após os ajustes feitos para a segunda trava eletro-mecânica.

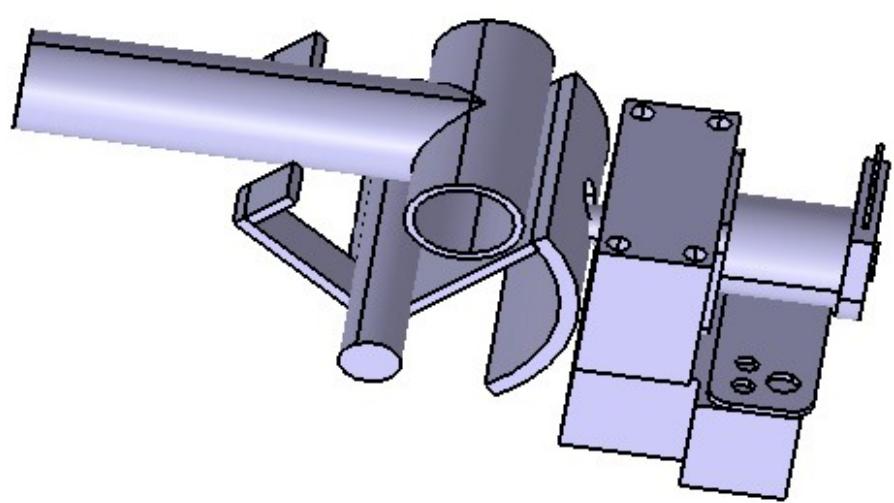


Fig. 51 Sistema de travamento construído

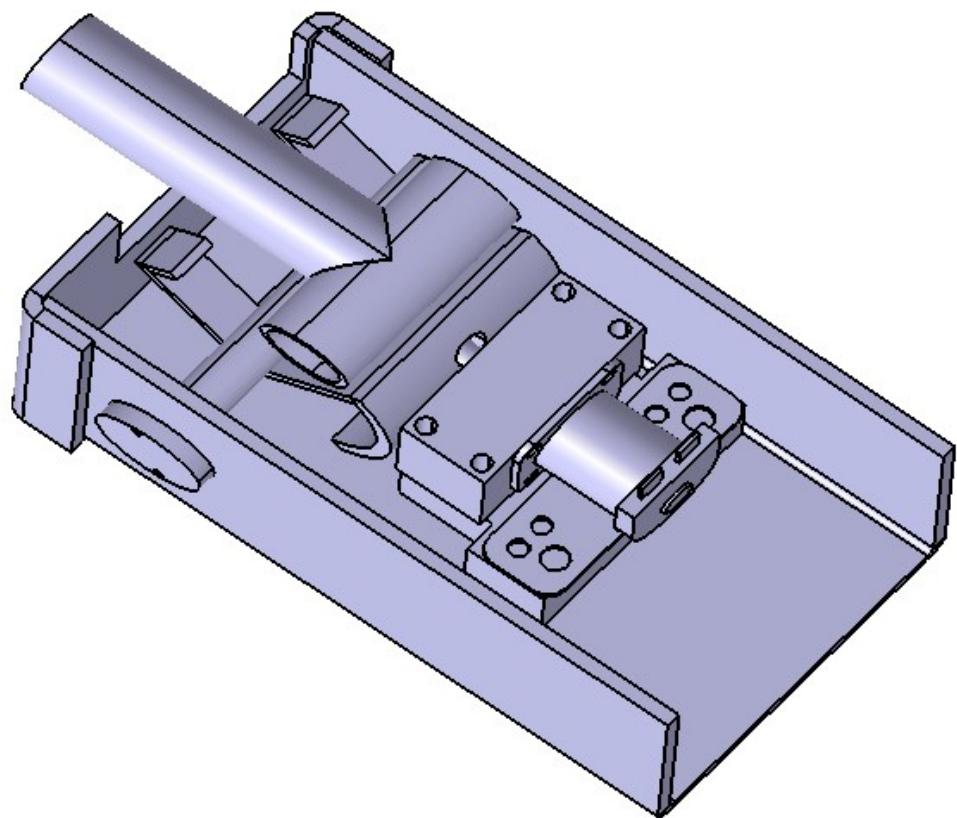


Fig. 52 Sistema de travamento com carcaça

Fotos

As travas construídas podem ser observadas nas figuras 53 e 54.

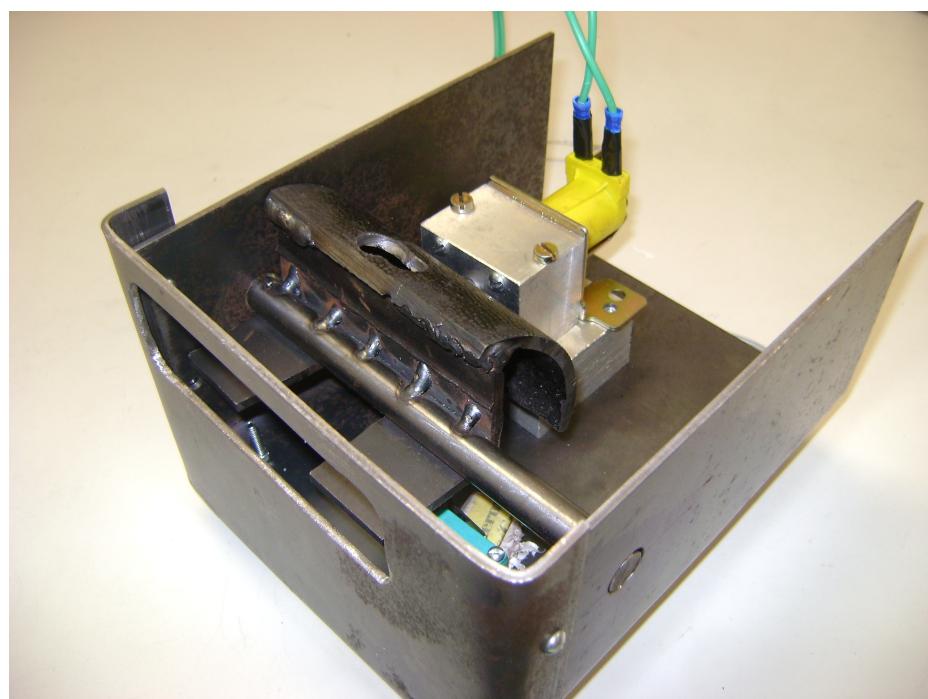


Fig. 53 Foto do primeiro protótipo de trava construído.

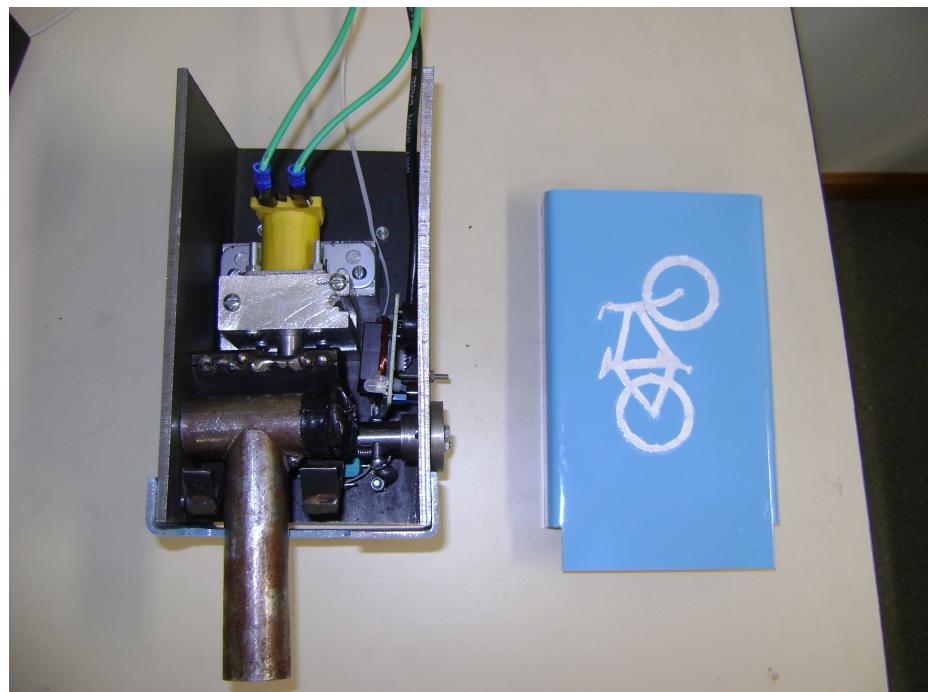


Fig. 54 Vista superior do protótipo de trava construído pelos alunos, aberto (esquerda) e de sua tampa (direita). O protótipo está, na figura, travando um pino para bicicleta munido de tag RFID.

## CIRCUITO DE ACIONAMENTO E SENSORIAMENTO

### Projeto do hardware

Projetou-se um hardware de acionamento, responsável pela liberação das travas eletromecânicas e de sensoriamento que verifica quando uma bicicleta foi devolvida. A comunicação entre o computador da estação e este hardware é feita através da porta paralela. De forma esquemática isto é representado na figura 55.

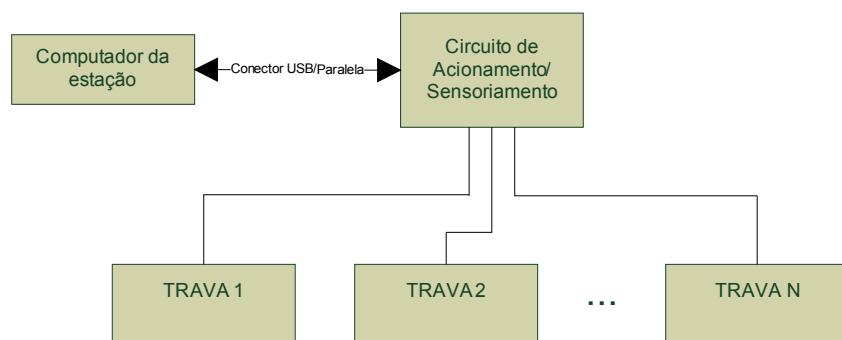


Fig. 55 Diagrama de bloco geral do acionamento/sensoriamento

O circuito completo contém quatro placas eletrônicas distintas:

- Placa seletora de trava – uma por estação;
- Placa de acionamento e sensoriamento – uma por trava;

- Placa de fornecimento de 5V e 12V – uma por estação;
- Placa de fornecimento de 110V retificado – uma por estação.

A placa seletora de trava é composta por um Multiplexador, um Demultiplexador, um Buffer e um CI inversor. Para o acionamento, ela recebe do computador, via porta paralela, o endereço da trava a ser liberada e envia o sinal de acionamento para a placa correspondente.

Para o sensoriamento, ela envia ao computador o sinal de travamento de uma bicicleta juntamente com o endereço da trava. O esquema elétrico desta placa está na figura 56.

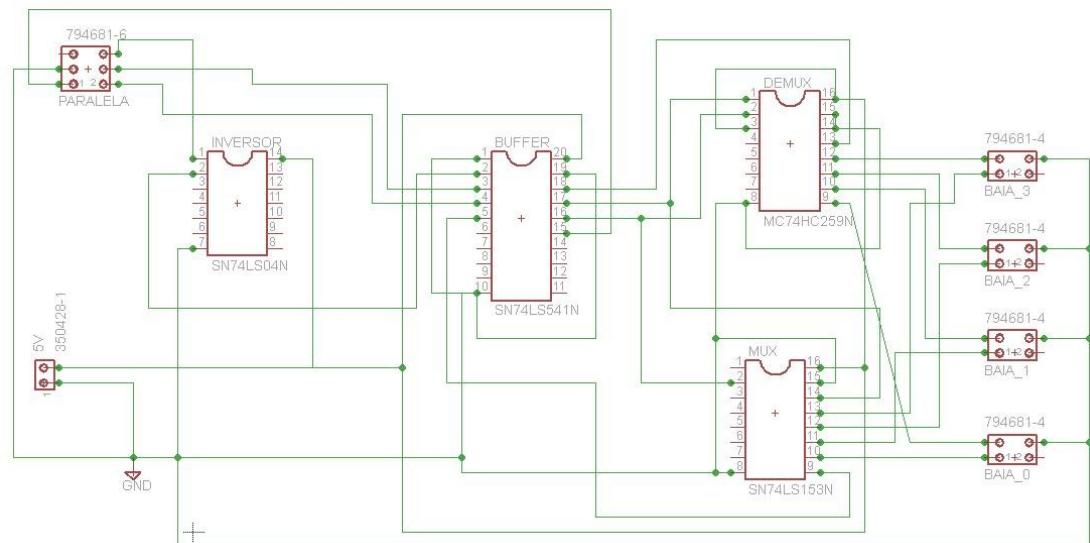


Fig. 56 Esquema elétrico da placa seletora

A placa de acionamento e sensoriamento recebe o sinal de acionamento da placa seletora e espera o usuário apertar um botão que confirma o pedido de liberação da bicicleta. Um led informa o ciclista que a bicicleta pode ser retirada.

Quando uma bicicleta é devolvida, um sensor altera o seu sinal e o envia para a placa seletora. O esquema elétrico desta placa está na figura 57.

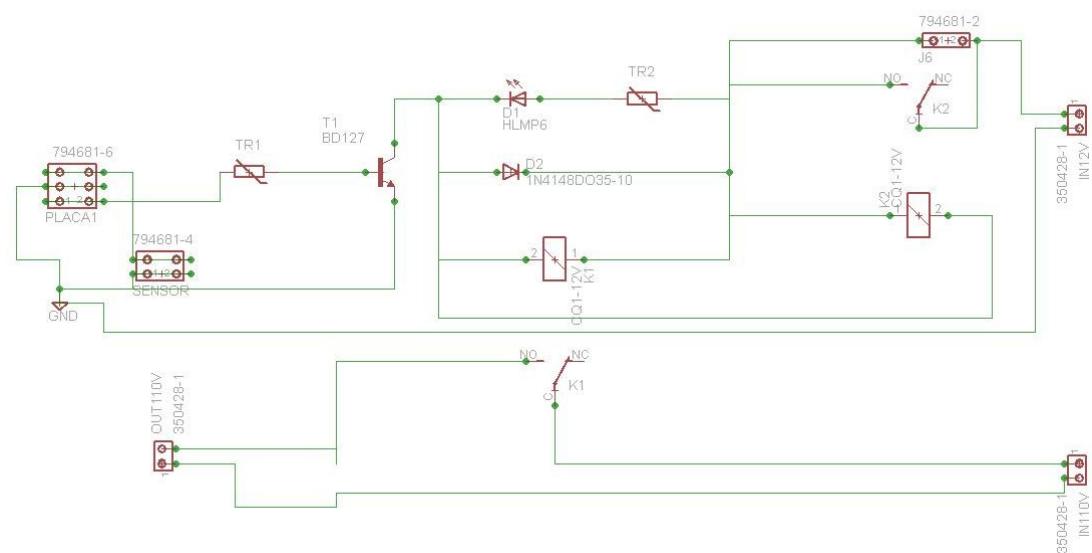


Fig. 57 Esquema elétrico da placa de acionamento e sensoriamento

A placa de fornecimento de 5V e 12V recebe 12V de uma fonte e transforma em 5V utilizando um regulador de tensão. Os 12V são encaminhados para as placas de acionamento e sensoriamento e o 5V para a placa seletora de trava. O esquema elétrico desta placa está na figura 58.

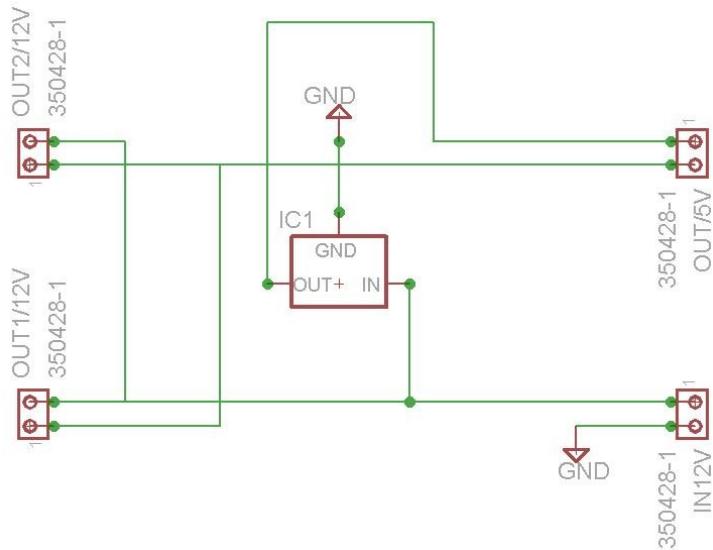


Fig. 58 Esquema elétrico da placa de alimentação de 5 e 12V

A placa responsável pelo fornecimento de 110V retificado recebe 110V da rede elétrica e retifica o sinal usando uma ponte de diodos. Esta voltagem é enviada para a placa de acionamento e sensoriamento. . A retificação se faz necessária para evitar vibração excessiva do pino do solenóide durante a atuação. O esquema elétrico desta placa está na figura 59.

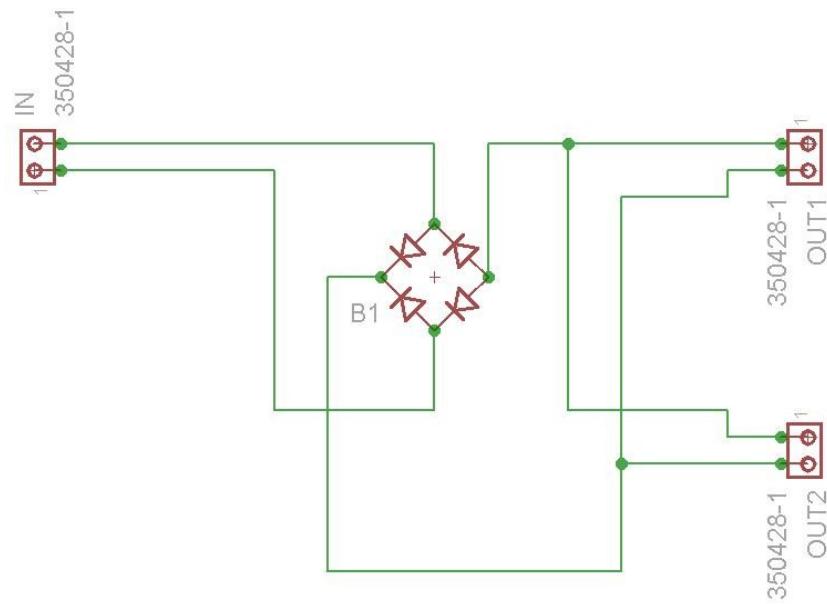


Fig. 59 Esquema elétrico da placa de alimentação de 110V

### Fabricação dos Circuitos

Os circuitos eletrônicos que compõem o hardware de acionamento e sensoriamento foram projetados no software Eagle Layout Editor 5.6.0. Com o auxílio deste programa se determinou o layout de cada placa. Em seguida, esses layouts foram impressos e utilizados para a corrosão em placas de fenolite. Este processo foi feito pelos alunos de forma artesanal.

A figura 60 mostra o circuito da placa seletora para impressão. Foram feitos os circuitos impressos das outras placas, também.

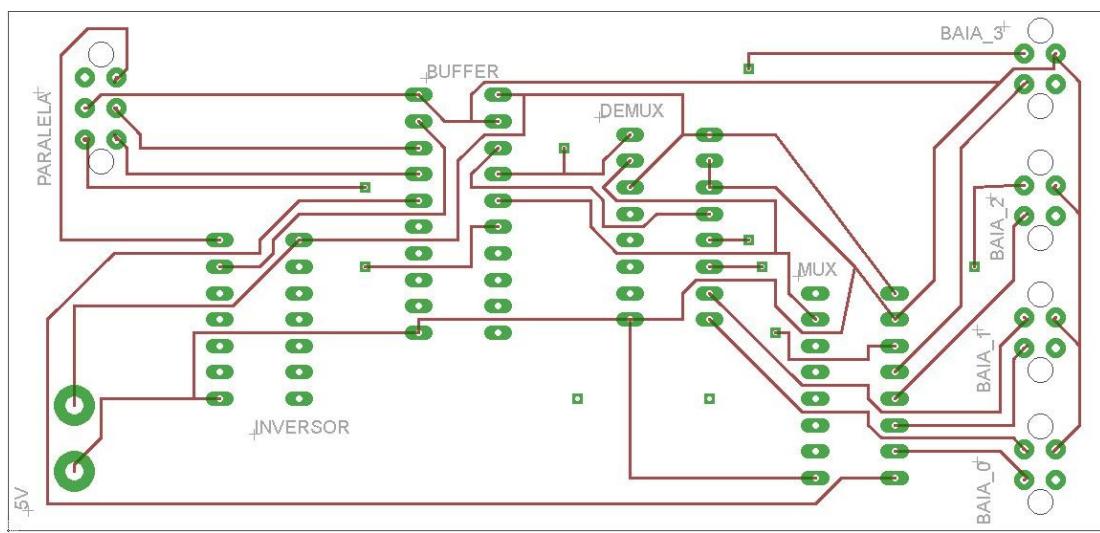


Fig. 60 Circuito para impressao da placa seletora.

## SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DA BICICLETA – RFID

No momento da devolução da bicicleta pelo usuário do sistema, é necessário que a estação possa identificar a bicicleta que está sendo devolvida, para que então possa ser contabilizado corretamente o tempo de duração do empréstimo. Para isso, a idéia é que a bicicleta carregue consigo, de alguma forma, um código de identificação único, que é então transmitido à estação no momento em que a bicicleta é travada. Foram estudadas diversas formas de realizar essa idéia, que podem ser basicamente divididas em:

- Soluções por contato: a transmissão do código de identificação é feita por contato elétrico. Tem como inconveniente a necessidade de projetar a trava da bicicleta de forma a garantir o contato elétrico e o fato de os contatos da bicicleta estarem expostos a intempéries durante os empréstimos, o que poderia prejudicar o contato. Exemplos: tecnologia I-button; circuito com memória utilizando conectores automotivos para transmissão de dados.
- Soluções sem contato: o código é transmitido à distância. Em muitos casos têm o inconveniente de necessitar uma fonte de energia embarcada na bicicleta, com exceção do RFID (que tem, no entanto, um preço mais elevado). Exemplos: RFID; circuito com memória e modulo RF; circuito com memória e módulo de transmissão de dados por infravermelho.

Decidiu-se, por razões de praticidade e confiabilidade, utilizar tecnologias de identificação já prontas, disponíveis no mercado. Isso limitou a escolha às tecnologias I-button e RFID. Em ambas, na bicicleta, seria instalado um dispositivo que contem o código de identificação e não necessita de bateria (button para o I-button, tag para o RFID) e, nos pontos de fixação das bicicletas, seriam instalados dispositivos leitores. Na tabela 11 pode-se ver um quadro comparativo entre as duas tecnologias:

Tabela 10 RFID x Ibutton

Tecnologia	Preço/bicicleta (1 leitor + 1 tag ou button)	Velocidade de leitura	Facilidade de integração física no projeto
RFID 125 kHz	~R\$80,00	~200ms	Fácil, necessário apenas evitar que o tag seja envolvido por metais, e garantir uma distância máxima de 10 cm até o leitor
Ibutton	~R\$100,00	~5ms	Média, necessário controle de folgas para garantir contato elétrico.

Observação: a freqüência de operação de 125 kHz para o RFID é a mais difundida e barata no mercado.

Optamos então pela tecnologia RFID, que oferecia maior facilidade para o projeto, a um custo menor.

### **Descrição da tecnologia RFID**

RFID é uma tecnologia de captura automática de dados que pode ser usada para, eletronicamente, identificar, rastrear e armazenar informações sobre grupos de produtos, itens, ou componentes de produtos. Consiste de três partes principais: etiquetas RFID, leitores RFID e um sistema de coleta, distribuição e gerenciamento de dados.

As etiquetas RFID, ou tags, são pequenos chips de computadores programados com informações sobre um produto ou com um número que corresponde a uma informação armazenada em uma base de dados.

Leitores de RFID, ou readers, são sistemas de averiguação que enviam sinais às tags e recebem, de volta, informações que podem ser armazenadas dentro do leitor, para posterior transferência para um sistema de coleta de dados ou transferidas instantaneamente para o próprio sistema.

Uma implementação RFID funciona como um sistema poderoso de aquisição de dados em tempo real, dinamizando, assim, o tempo de transições e assegurando eficiência e eficácia. A figura 61 ilustra o funcionamento da tecnologia.

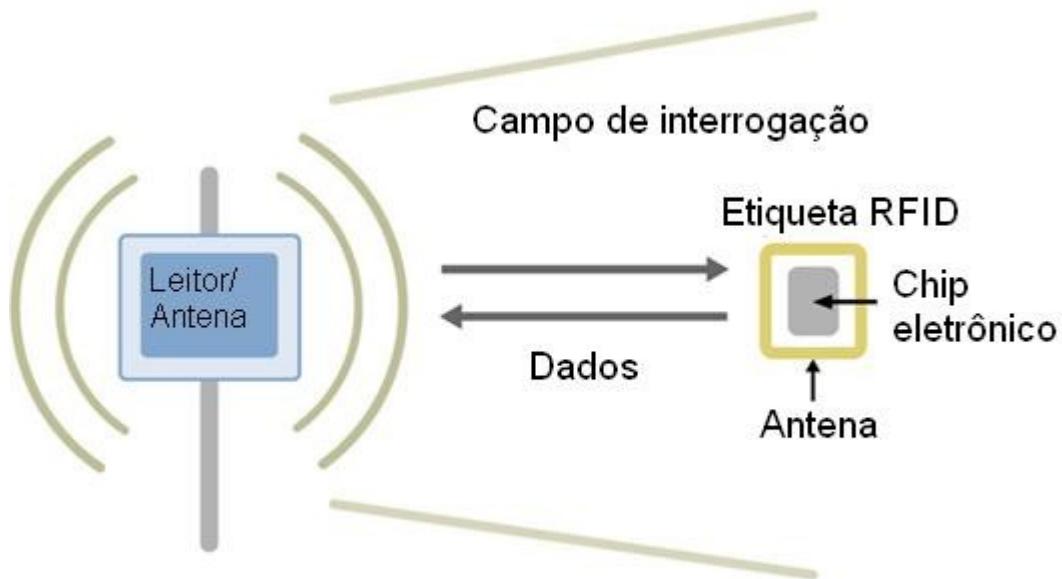


Fig. 61 Esquema de funcionamento do RFID

Alguns sistemas podem ler apenas um Tag por vez, enquanto outros podem ler até 50 Tags de uma só vez.

#### Tipos de Tags:

Existem diversos tipos de Tags; vale remarcar aqui os Tags de leitura ou escrita-leitura.

Como o próprio nome diz, tags de leitura são aqueles onde o sistema consegue unicamente ler as informações contidas nos chip, enquanto que o tag de escrita-leitura permite que o sistema leia as informações e as altere quando achar necessário.

Outra classificação dos Tags é se eles são ativos ou passivos.

Os Tags ativos possuem uma bateria e utilizam esta energia para responder a comunicação dos leitores. Esses Tags podem ter a comunicação estabelecida em até um raio de 100 metros de distância. São Tags mais caros ( $\approx$  20 cents de dólares) que os passivos ( $\approx$  5 cents de dólares).

Os Tags passivos não possuem energia própria. Estes Tags utilizam a energia do campo magnético proveniente dos leitores através de capacitores. Com esses chips temos um alcance na média de 2 metros de raio.

## Implementação da tecnologia no projeto

A tecnologia RFID foi então instalada como indicado na figura 62.

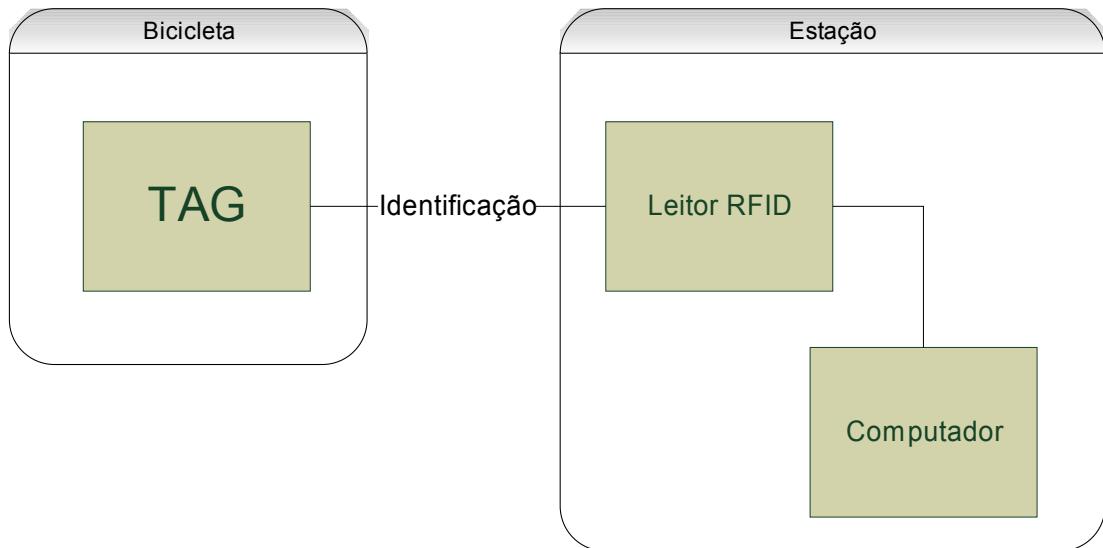


Fig. 62 Diagrama de blocos do sistema de identificação

## Integração física na estação e na bicicleta

O Tag foi instalado na lateral do pino da bicicleta, de modo que não haja interposição de objeto metálico entre este e o leitor RFID. Esta instalação é fácil e praticamente não interfere no projeto mecânico da trava; a única preocupação necessária é em ter espaço físico para o leitor lateralmente à trava. A figura 63 ilustra a montagem do Tag no pino da bicicleta.

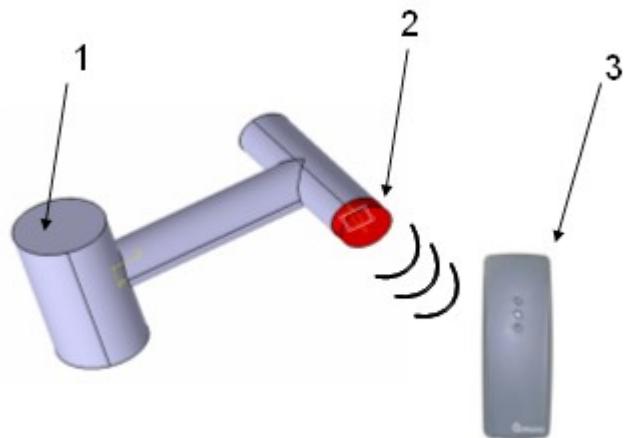


Fig. 63 Ilustração da integração física do RFID na trava mecânica. 1: quadro da bicicleta ; 2 : tag RFID ; 3 : leitor RFID.

O leitor RFID e os tags utilizados neste projeto foram gentilmente cedidos pela IdeiaTech, empresa especializada no desenvolvimento de software para a tecnologia RFID.

## SISTEMA DE COMUNICAÇÃO ESTAÇÃO - CENTRAL

Para fazer a comunicação entre as estações e o computador central, decidiu-se utilizar TCP/IP devido à flexibilidade que este grupo de protocolos permite em relação à tecnologia a ser utilizada para o estabelecimento físico da comunicação entre os computadores. Isso significa que, se o software é desenvolvido para efetuar a comunicação entre os computadores via TCP/IP, pouco importa se a rede é feita usando o padrão IEEE 802.3 (cabos Ethernet), o padrão IEEE 802.11 (Wi-Fi), Serviço de Rádio de Pacote Geral (GPRS) ou outra tecnologia. Dentre estas opções, foi escolhido implementar a rede física com tecnologia Wi-Fi. O GPRS, no entanto, seria uma opção bastante interessante para implementação do sistema em comunidades dispondendo de rede de telefonia celular GSM.

A seguir algumas explicações adicionais sobre o funcionamento dessas duas tecnologias de maior interesse para este trabalho.

### GPRS (justificativa versatilidade)

O GPRS - Serviço de Rádio de Pacote Geral é uma tecnologia que aumenta as taxas de transferência de dados nas redes GSM existentes. Esta permite o transporte de dados por pacotes (comutação por pacotes). Sendo assim, o GPRS oferece uma taxa de transferência de dados muito mais elevada que as taxas de transferência das tecnologias anteriores, que usavam comutação por circuito, que eram em torno de 12kbps. Já o GPRS, em situações ideais, pode ultrapassar a marca dos 170kbps.

No GPRS o serviço é "sempre ativo"; ou seja, ele é um modo no qual os recursos somente são atribuídos a um usuário quando for necessário enviar ou receber dados. Esta técnica permite que vários usuários compartilhem os mesmos recursos, aumentando assim a capacidade da rede e permitindo uma gerência razoavelmente eficiente dos recursos. Isto permite às operadoras GPRS disponibilizar acesso à Internet móvel em alta velocidade e a um custo razoável, pois a cobrança é feita pela quantidade de pacotes de dados transmitidos e não pelo tempo de conexão à rede.

A implementação da comunicação por GPRS é aqui abordada pensando na versatilidade que essa tecnologia oferece. Para poder utilizar essa solução, basta que exista uma rede de telefonia celular, o que hoje em dia se pode encontrar na grande maioria dos centros urbanos. Com isso o sistema de compartilhamento de bicicletas aqui descrito poderia ser implementado em locais os mais diversos possíveis.

#### Vantagens

- Possibilidade de utilização de várias operadoras de telefonia e modelos diferentes de celular-modem, havendo assim uma maior flexibilidade e independência em relação ao mercado.
- Acesso imediato e permanente de dados. Para se conectar a rede, utilizando GSM, são necessários de 15 a 30 segundos, sendo que esse tempo é consumido a cada reconexão. Com o GPRS, uma vez estabelecida a conexão, a mesma estará permanentemente ativa.
- Utilização de protocolos X.25 e IP amplamente divulgados.

#### **WiFi (justificativa USP)**

WiFi foi uma marca licenciada originalmente pela Wi-Fi Alliance [15] para descrever a tecnologia de redes sem fios embarcadas (WLAN, wireless local área network) baseadas no padrão IEEE 802.11. Existem 3 principais padrões na família IEEE 802.11: a, b e g. Eles diferem basicamente pela faixa de freqüência utilizada e pela velocidade de transmissão de dados (54Mbps para os padrões a e g, e 11Mbps para o padrão b). Hoje a tecnologia Wifi está bastante difundida e equipamentos para implementação de uma rede sem fio com essa tecnologia têm preço bastante acessível.

Escolheu-se fazer a comunicação entre as estações e a central do protótipo desenvolvido neste trabalho via Wi-Fi, pois isso pode ser bastante útil em uma localidade onde uma rede desse tipo já está instalada. Como exemplo, podemos citar o CUASO (campus USP Butantã), em que pelo menos duas redes Wifi já estão instaladas: a USPnet, rede instalada pelo centro de computação eletrônica (CCE) da USP, e a Connect USP, rede instalada pela empresa Nokia como doação à USP. Como a perspectiva, após a conclusão deste trabalho, é trabalhar pela implementação

do sistema de compartilhamento de bicicletas no CUASO, torna-se uma possibilidade viável utilizar alguma dessas redes Wifi já existentes para fazer a rede entre os computadores das estações e o computador central.

Uma grande vantagem que a utilização da rede Wifi tem sobre a tecnologia GPRS é a independência em relação a uma empresa prestadora de serviços (empresa de telefonia celular para o GPRS). No GPRS a qualidade da conexão de rede depende do serviço prestado, que pode ter falhas por motivos sobre os quais não se tem controle. Já uma rede Wifi poderia ser administrada pelos mesmos que operam o sistema de compartilhamento de bicicletas.

Para os fins acadêmicos deste trabalho de formatura, optou-se pelo estabelecimento de uma rede Wifi Ad-Hoc entre os computadores. Isso significa estabelecer uma rede apenas utilizando placas de rede Wifi nos computadores envolvidos, sem necessidade de equipamentos adicionais, como roteadores.

## Projeto do Software

### Escolha das linguagens e ambientes de trabalho

Para o funcionamento do sistema, é necessário um software em linguagem estruturada que realize diversas tarefas. De maneira resumida, o software deve:

- Controlar os dispositivos presentes na estação (trava e dispositivo de identificação da bicicleta por RFID);
- Garantir que as operações de empréstimo de bicicletas e cobrança se façam corretamente;
- Gerenciar o conteúdo do banco de dados que contém as informações do sistema (contas de usuários, dados sobre empréstimos, etc);
- Fazer o interfaceamento com o usuário de forma amigável.

Devido à arquitetura do sistema, com a presença de um computador central em que está armazenado o banco de dados, e diversas estações que necessitam das informações nele contidas, o software deve operar em uma estrutura servidor-clientes.

Para a realização da interface com o usuário e o banco de dados, e também das operações de negócio do software, decidiu-se pela utilização de uma estrutura de tipo Web Application, com a qual os alunos já estavam familiarizados. Esta permite muita flexibilidade de plataformas de operação e de modalidades de comunicação entre cliente e servidor. Uma Web Application pode ser acessada remotamente por qualquer máquina equipada de um browser (inclusive de um aparelho celular), e a comunicação servidor-cliente pode se dar tanto por uma rede local quanto pela internet. Isso garante uma maior adaptabilidade do software a diferentes formas de implementação que o sistema de compartilhamento de bicicletas possa ter no futuro.

A estrutura Web Application, no entanto, não permite o controle dos dispositivos presentes na estação (leitor de RFID, trava eletro-mecânica), pois o browser não tem acesso às portas de entrada e saída do computador. É necessário ter programas operando no computador da estação para realizar esta tarefa.

Foi escolhida então a opção de desenvolver dois outros pequenos aplicativos, para rodar na máquina presente na estação, estes sim com acesso às portas de entrada e saída do computador, para controlar os dispositivos presentes na estação. Um é um aplicativo de monitoramento das travas da estação, para a realização de devoluções de bicicletas; o outro é um Web Service que realiza o destravamento de uma bicicleta de uma baia específica.

Além disso, mais um Web Service se fez necessário, desta vez rodando no computador da central, para permitir a atualização remota do banco de dados pelo aplicativo de monitoramento da estação quando uma bicicleta é devolvida.

Informações mais detalhadas sobre os Web Services podem ser encontradas mais adiante.

Sob forma de diagrama, temos a arquitetura do software na figura 64.

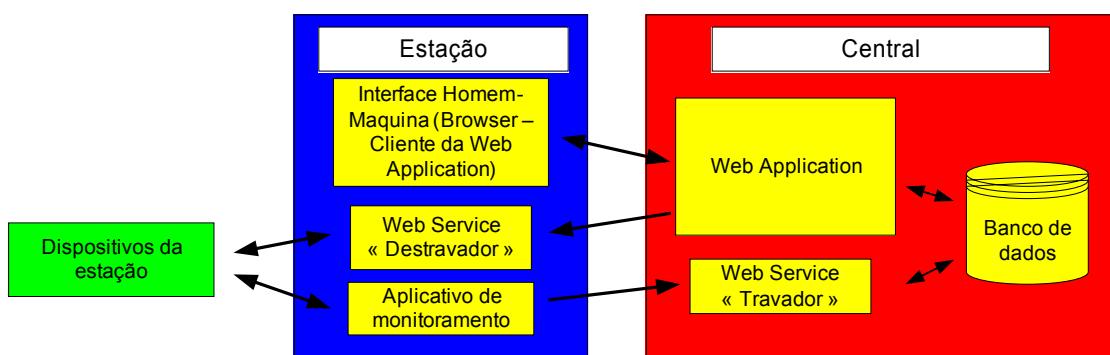


Fig. 64 Arquitetura do Software

Devido à praticidade do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) Visual Studio 2008, foi escolhida a linguagem de programação estruturada orientada a objetos C# para a codificação dos aplicativos, utilizando ASP .NET para gerar as páginas da Web Application.

Para o banco de dados, escolheu-se o servidor MySQL Server 5.0, que já foi utilizado pelos alunos em outra disciplina e que tem a vantagem de ser gratuito.

Nas seções seguintes, temos os itens principais da modelagem do software.

## Casos de Uso do software

Os casos de uso programados no software estão designados na figura 65, na convenção UML.

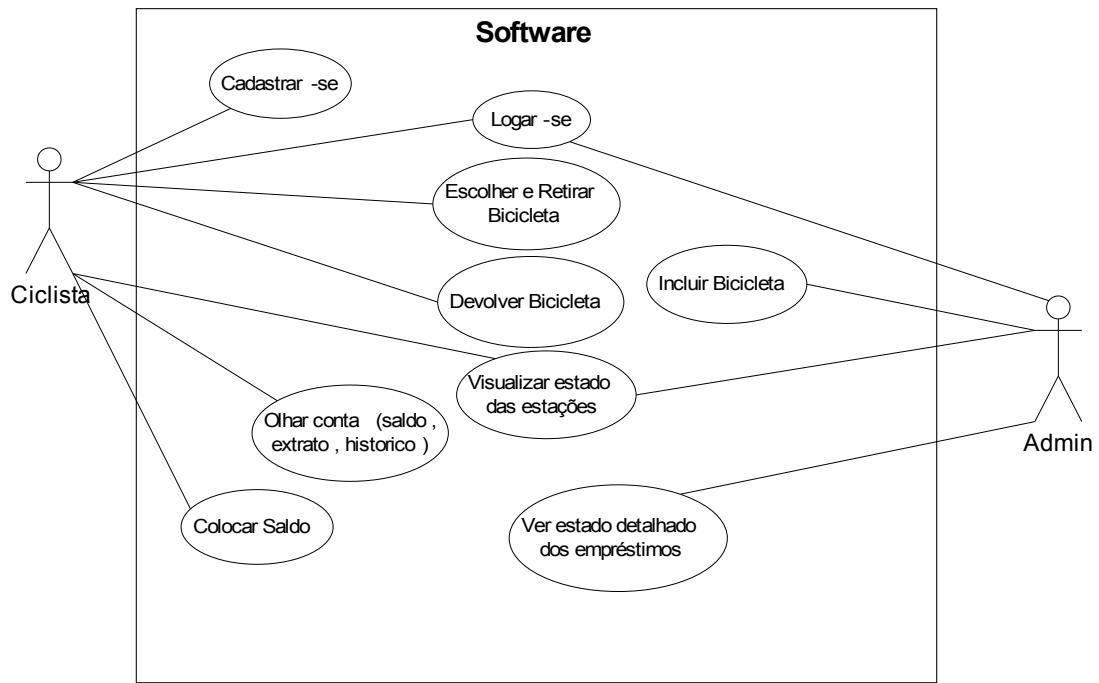


Fig. 65 Esquema dos Casos de Uso

## Modelagem do banco de dados (diagrama lógico E-R)

A figura 66 ilustra o diagrama lógico do banco de dados do sistema.

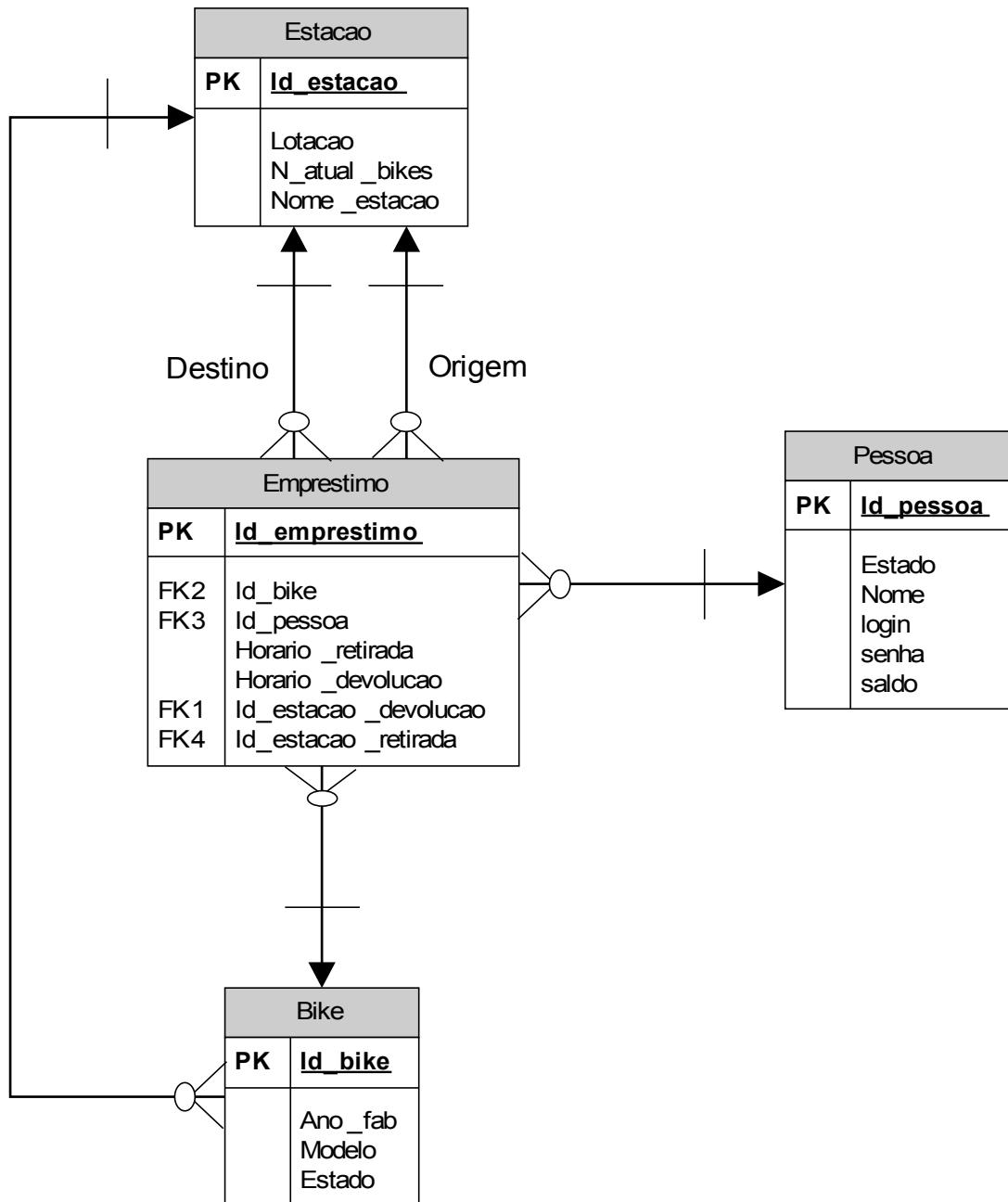


Fig. 66 Diagrama lógico E-R

## WebApplication

### Diagrama de classes com estrutura de camadas

Na figura 67 um diagrama mostrando a modelagem das classes da Web Application, com uma estrutura em 3 camadas: interface, negócio e dados.

A idéia dessa estrutura é encapsular de forma organizada as classes da Web Application, de forma que elas tenham uma função bem definida, o que facilita o desenvolvimento, a compreensão e manutenção do código. Isso é bastante interessante para o desenvolvimento de software em equipe, em que é muito útil delimitar bem as fronteiras entre as diferentes partes do trabalho, para repartir tarefas.

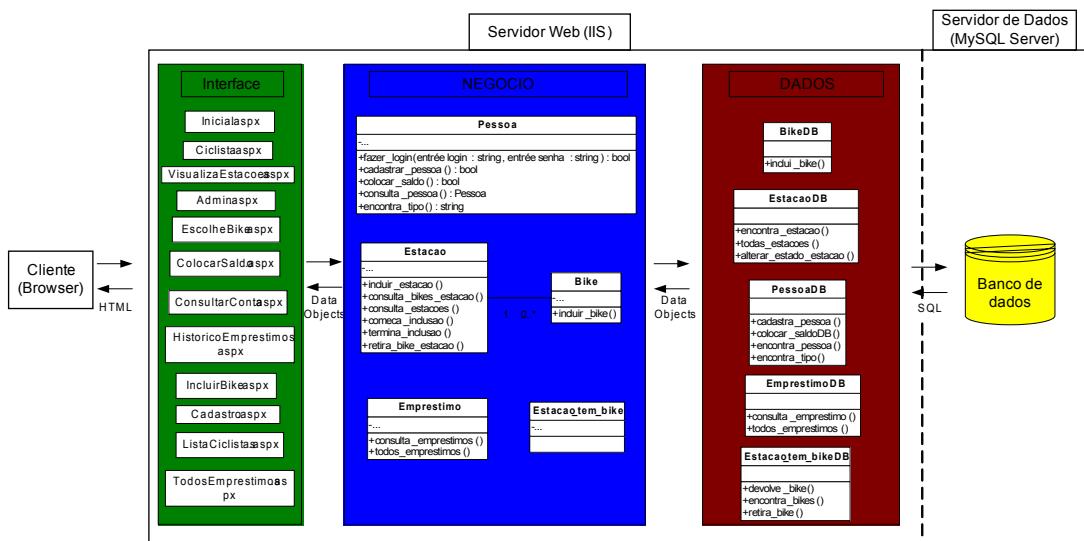
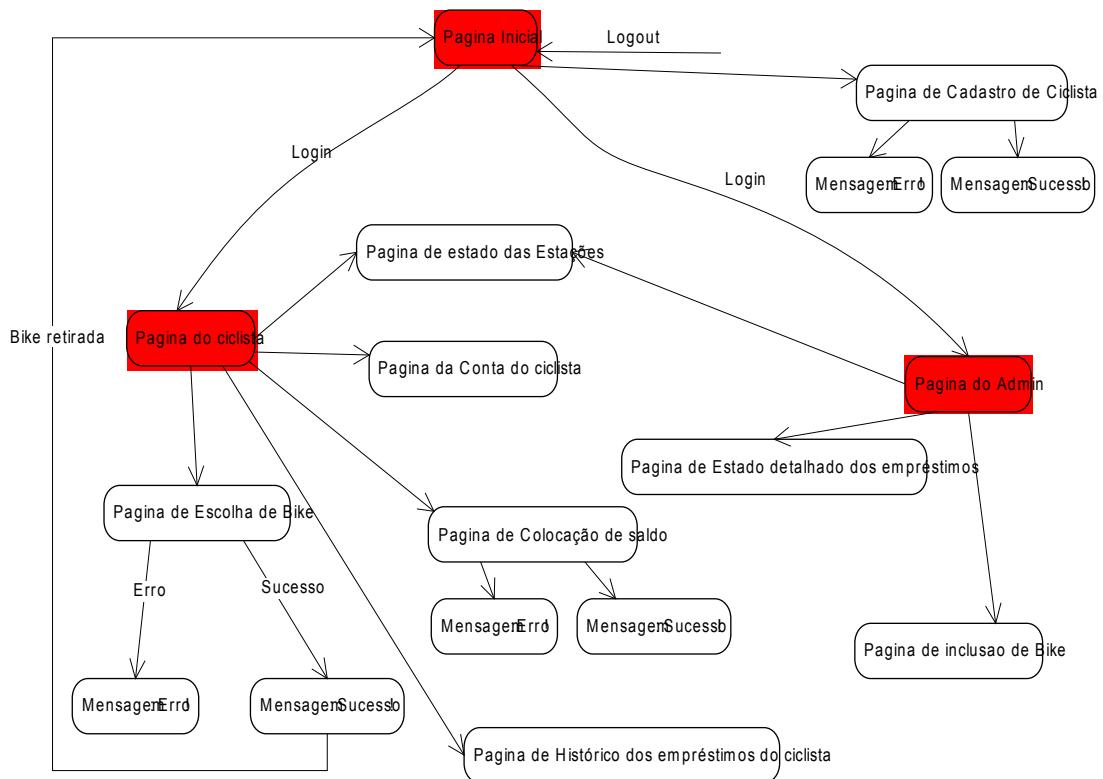


Fig. 67 Diagrama com modelagem das classes em camadas

### Diagrama de navegação da IHM (diagrama estado-transição)

O diagrama da figura 68 ilustra a navegação entre as páginas da IHM.



Observações: foram aqui descritas apenas as principais transições de navegação, outras existindo porém com menor importância do tipo 'voltar'

Fig. 68 Diagrama Estado-Transição do software

## Web Services

Existe uma grande praticidade na tecnologia Web Service pois possibilita que diferentes aplicativos comuniquem entre si à distância, mesmo utilizando plataformas e linguagens diferentes.

A função do Web Service é fornecer uma interface de Chamada de Procedimento Remoto (RPC – Remote Procedure Call) para que aplicativos clientes possam invocar métodos que estão no servidor. Na prática, o que deve ser codificado em um Web Service são esses métodos a serem acessados remotamente.

## Web Services deste software

No caso deste trabalho de formatura, dois web services devem ser disponibilizados para garantir o bom funcionamento do sistema:

“Travador”: este Web Service, cujo servidor é a máquina da central, é invocado pelo aplicativo de monitoramento de uma estação quando uma bicicleta é devolvida (ou incluída) na mesma. Realiza as operações de contabilização de tempo de empréstimo, cobrança, e consequentes alterações nos registros do banco de dados.

“Destravador”: neste Web Service há uma inversão de papéis, pois seu servidor é o computador da estação. Isso significa que há tantos “Destravadores” quanto houver estações no sistema. É invocado pela Web Application que estará rodando no computador da central no momento em que um usuário faz um pedido de destravamento de bicicleta. Por estar rodando no computador da estação, este método tem acesso à porta paralela do computador, por onde é feito o controle dos eletromecanismos das travas das bicicletas.

Os diagramas de classes dos Web Services podem ser observados na figura 69.

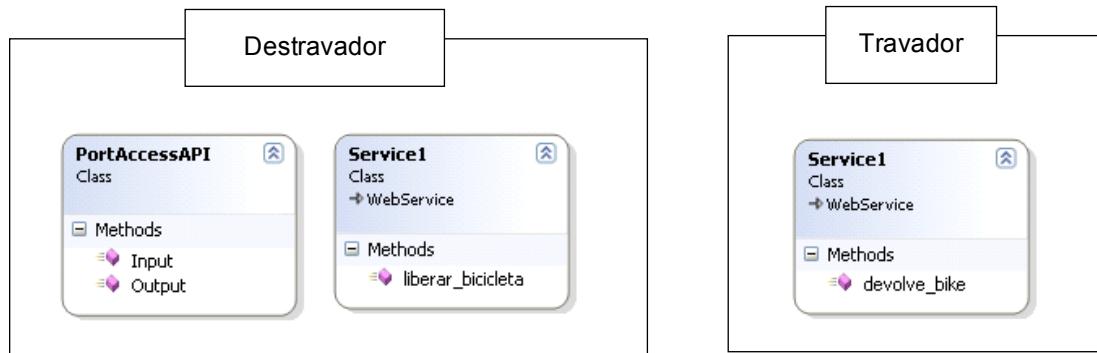


Fig. 69 Diagrama de classes dos Web Services . A classe PortAccessAPI do Destravador permite o acesso à porta paralela do computador, para comunicação com o circuito de acionamento/sensoriamento da estação.

## Aplicativo de Monitoramento

O aplicativo de monitoramento serve, basicamente, para observar continuamente o estado das travas de uma estação, incluindo os sensores de travamento e os leitores RFID. Ao detectar que uma bicicleta foi travada, o aplicativo

deve interpretar os dados do leitor RFID correspondente, e invocar o Web Service “Travador” (ver acima) para registrar devidamente a devolução da bicicleta.

O fluxograma do monitoramento realizado pelo aplicativo na estação está na figura 70, e o diagrama de classes dos aplicativos podem ser observados na figura 71.

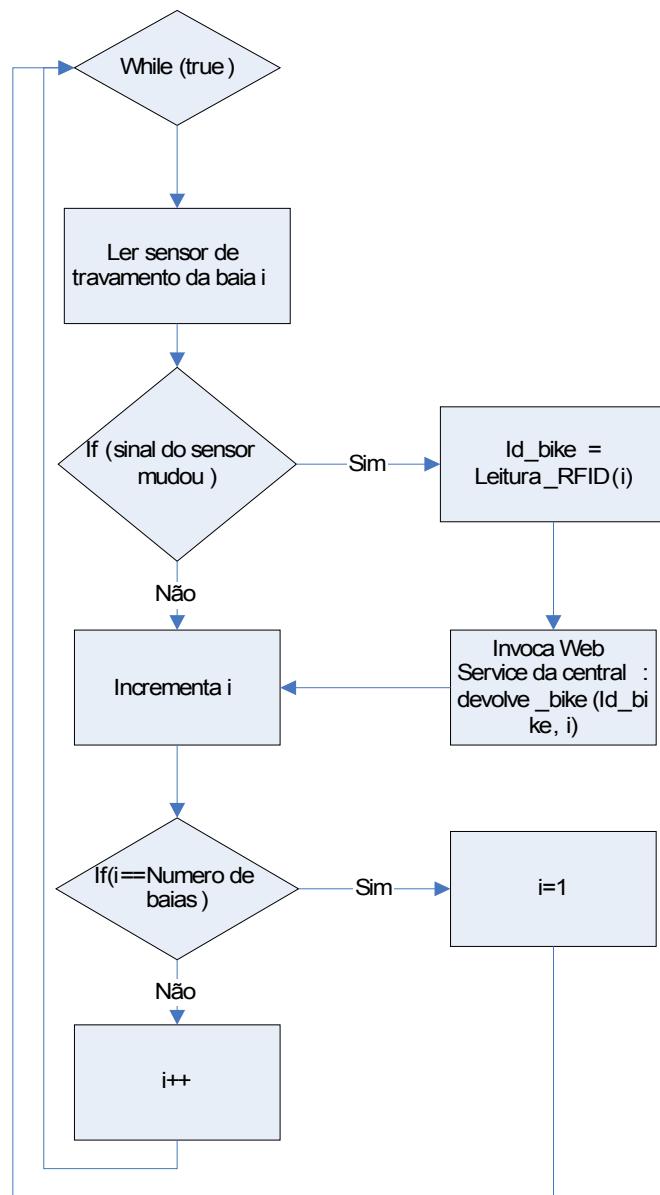


Fig. 70 Fluxograma de monitoramento do aplicativo

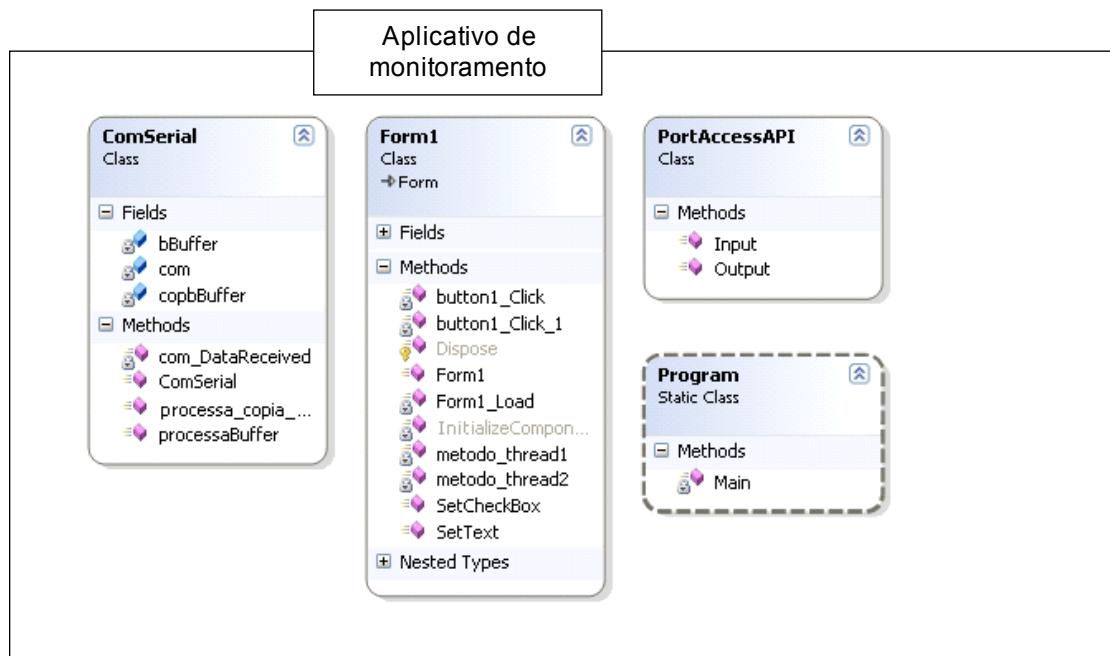


Fig. 71 Diagrama de classes do Aplicativo de monitoramento

A classe PortAccessAPI permite acesso à porta paralela do computador, e a classe ComSerial permite a comunicação com a porta serial do computador, para recebimento e processamento dos dados enviados pelo leitor RFID presente na trava.

## INTEGRAÇÃO DOS SUBSISTEMAS E RESULTADOS

Um protótipo foi construído neste trabalho integrando os subsistemas anteriormente planejados, para provar que a arquitetura do sistema de compartilhamento automático de bicicletas aqui proposto é válida. Para tanto, duas estações, com duas baias para bicicletas em cada, foram construídas. Cada estação foi munida de uma trava eletromecânica e uma lâmpada que simulava o acionamento da outra trava. Uma bicicleta equipada de um pino foi utilizada para demonstração do funcionamento.

O diagrama esquemático do protótipo é observado na figura 72.

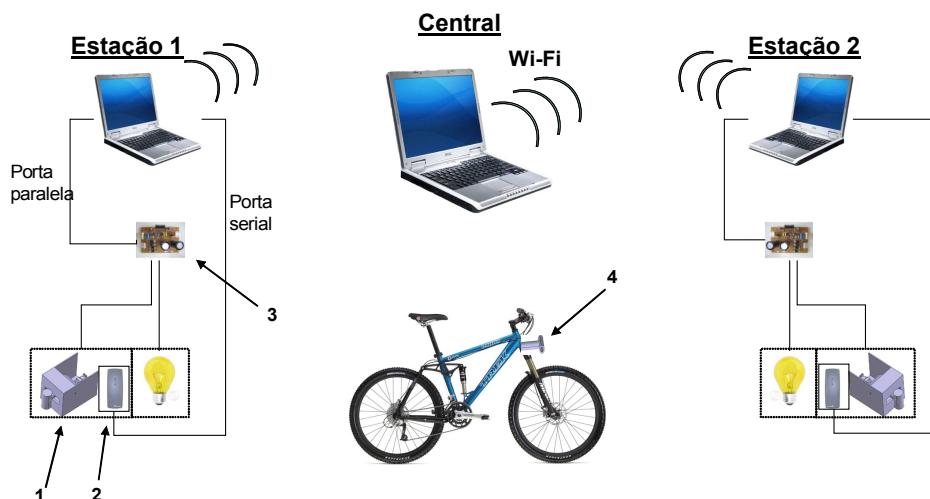


Fig. 72 1 – Trava Eletromecânica ; 2- Leitor RFID ; 3- circuito de acionamento/sensoriamento ;  
4 – Pino da bicicleta.

O protótipo obteve êxito nas demonstrações de funcionamento, provando o conceito proposto.

Fotos do sistema completo:

As figuras 73 e 74 são fotos do protótipo montado, para ilustração.

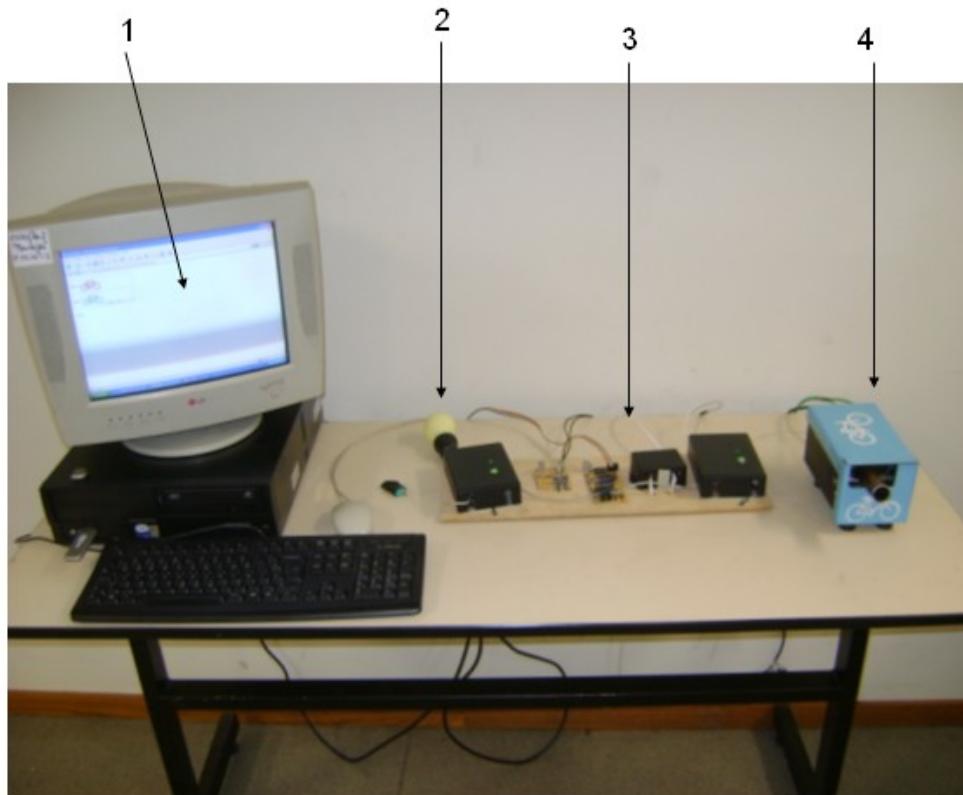


Fig. 73 Protótipo de estação montado. 1: Computador para controle dos dispositivos da estação e interfaceamento com o usuário; 2: lâmpada para simular uma trava eletromecânica; 3: Hardware; 4: trava eletromecânica construída pelos alunos.

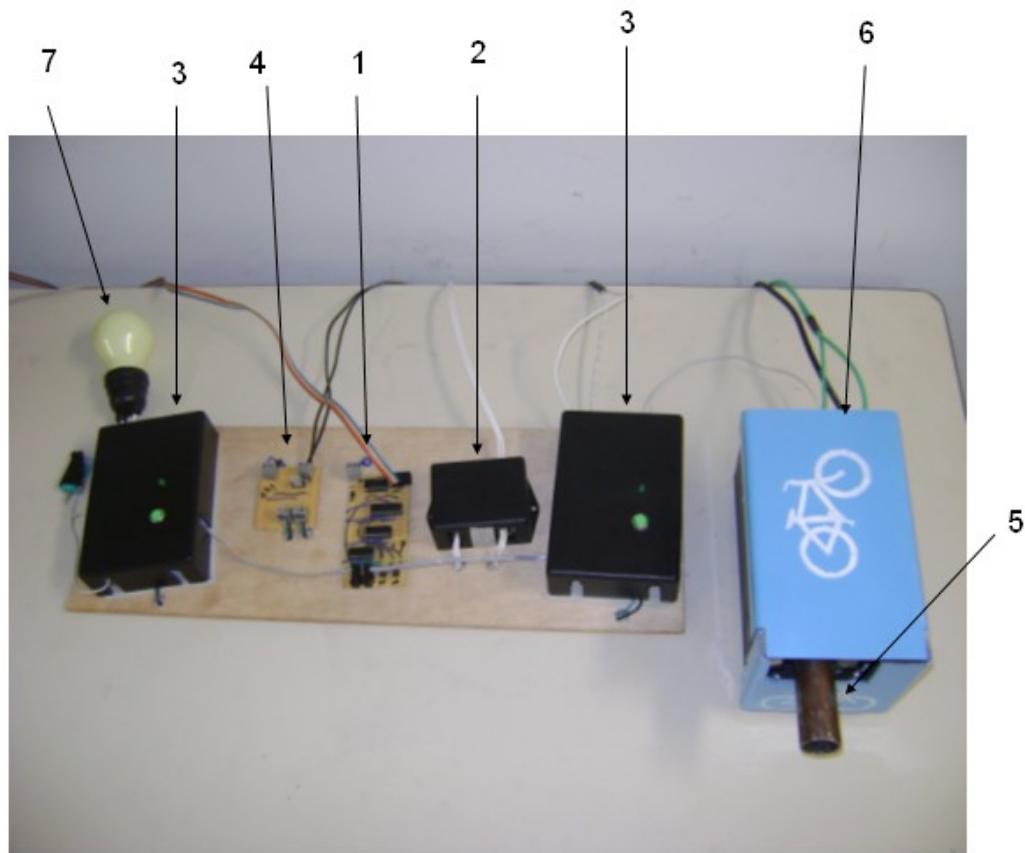


Fig. 74 placa seletora; 2: placa de alimentação 110V retificado; 3: placa de acionamento e sensoriamento; 4: placa de alimentação 5V/12V; 5: pino da bicicleta travado; 6: Trava eletromecânica construída pelos alunos ; 7 : lâmpada para representar uma segunda

## CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Este projeto de formatura permitiu desenvolver e demonstrar o funcionamento de um sistema automático de compartilhamento de bicicletas. Dispõe-se agora de um protótipo para prova de conceito, que necessita ser aprimorado para utilização em um sistema de escala real, que conteria centenas ou milhares de bicicletas.

O sistema possui uma trava eletromecânica bastante robusta, concebida para necessitar de energização apenas no momento do destravamento, garantindo assim a segurança das bicicletas. Pode-se otimizar o mecanismo, tendo inclusive uma iteração já sido efetuada no presente trabalho entre o primeiro protótipo de trava e o segundo. Obtiveram-se assim ganhos consideráveis no volume da trava e no tempo de trabalho necessário para sua fabricação.

O software foi codificado para os casos de uso aqui propostos, em uma arquitetura que permite bastante flexibilidade para adaptação a diferentes plataformas. Para uso em um sistema real, seria necessário codificar outros casos de uso, fazer melhorias estéticas na interface homem-máquina e incluir proteções contra ataques de hackers.

Por outro lado, do ponto de vista acadêmico, este trabalho foi bastante enriquecedor, pois foi possível reunir em um único projeto prático diversos conhecimentos adquiridos de forma teórica durante a graduação. Os alunos tiveram a oportunidade de participar de todas as etapas de um projeto de engenharia, desde a concepção da solução até a fabricação e montagem das peças mecânicas e circuitos.

Sendo o problema abordado bastante aberto e genuinamente mecatrônico por sua multidisciplinaridade, grande parte da complexidade esteve nas decisões sobre as tecnologias a serem utilizadas e a forma de realizar sua integração. Muito se aprendeu ao longo deste trabalho sobre a passagem do projeto à prática, em que é constante a necessidade de se fazer alterações e concessões devido a limitações de tempo e recursos.

As perspectivas futuras deste projeto de formatura, que foram sua motivação inicial, são de dar continuidade ao trabalho após o término das obrigações acadêmicas, buscando a implementação de um sistema de compartilhamento de

bicicletas no campus USP-Butantã (CUASO). Já foi, para tanto, feito contato com a Coordenadoria do CUASO, que manifestou interesse e apoio para que um projeto piloto seja realizado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] [www.gmfus.org/doc/Call%20a%20Bike\\_Presentation\\_2008-05-29.pdf](http://www.gmfus.org/doc/Call%20a%20Bike_Presentation_2008-05-29.pdf)

Acesso em: 4 março 2009

[2] Coleção Bicicleta Brasil – Ministério das Cidades:

[www.ta.org.br/site/Banco/7manuais/cadernosite2007xz.pdf](http://www.ta.org.br/site/Banco/7manuais/cadernosite2007xz.pdf)

Acesso em: 17 abril 2009

[3] Coordenadoria do Campus da Capital:

<http://www.usp.br/pco/>

Acesso em: 26 março 2009

[4] The Bike Sharing Blog:

<http://bike-sharing.blogspot.com/>

Acesso em: 3 abril 2009

[5] Site do sistema Vélo'V :

<http://www.velov.grandlyon.com>

[6] Website do sistema SmartBike (Clear Channel):

<http://www.smartbike.com/>

Acesso em: 3 abril 2009

[7] Web site do sistema Call a Bike:

<http://www.callabike-interaktiv.de>

Acesso em: 3 abril 2009

[8] Web site Mobilicidade (SAMBA):

<http://www.zae.com.br/zaerio/home.asp>

Acesso em: 3 abril 2009

[9] Website Bicipuma:

<http://www.tucomunidad.unam.mx/Bicipuma/index.htm>

Acesso em: 3 abril 2009

[10] Web site UseBike:

[http://www.portoseguro.com.br/navitacontent/\\_userFiles/File/hotsite\\_usebike/index.html](http://www.portoseguro.com.br/navitacontent/_userFiles/File/hotsite_usebike/index.html)

Acesso em: 3 abril 2009

[11] Vélib'

<http://www.velib.paris.fr/>

Acesso em: 25 maio 2009

[12] Bicing

<http://www.bicing.com/>

Acesso em: 20 maio 2009

[13] Localização das estações - SAMBA

<http://www.zae.com.br/zaerio/mapaestacao.asp>

Acesso em: 5 julho 2009

[14] Site do sistema SAMBA

[www.mobilicidade.com.br](http://www.mobilicidade.com.br)

Acesso em: 5 julho 2009

[15] Wi-Fi Alliance

<http://www.wi-fi.org/>

Acesso em: 10 junho 2009