

THYAGO MILLER ORSI CASTELLUCCI

## **Seleção de materiais para skate**

**São Paulo  
2015**

Departamento de Engenharia  
Metalúrgica e de Materiais da  
Escola Politécnica da USP

THYAGO MILLER ORSI CASTELLUCCI

## **Seleção de materiais para skate**

Trabalho de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo.

Departamento de Engenharia Metalúrgica  
e de Materiais

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

**São Paulo**

**2015**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos engenheiros apaixonados pela profissão que procuram ver o mundo sobre a ótica da física e da matemática, sem se prender somente às pranchetas, mas sim observando como essas leis se aplicam no cotidiano.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à instituição Escola Politécnica da USP pela grande oportunidade de crescimento intelectual e pessoal proporcionada durante os anos em que a frequentei, bem como pelos laços sociais que me possibilitou firmar com mentes brilhantes, entre seus docentes, alunos e funcionários.

Agradeço especialmente ao prof. Dr. Cesar R. F. Azevedo, o qual tenho o prazer de chamar de amigo, pela confiança e orientação dada durante esse trabalho e durante diversas disciplinas as quais tive o privilégio de assistir durante minha graduação, sempre mostrando o lado prático da engenharia por meio da aplicação dos conhecimentos adquiridos em sala de aula nas diversas ocasiões do cotidiano, sem negligenciar os aspectos socioeconômicos envolvidos na tomada de decisão dos profissionais da engenharia.

"I would never, never do anything unless I believed in it."  
(River Phoenix)

## RESUMO

Esse trabalho consiste em um estudo de caso de seleção de materiais para *decks* e *trucks* através da metodologia proposta por Ashby e auxílio do *software* CES EduPack, desenvolvido por Granta Material Inspiration.

Através de restrições numéricas que se basearam nos materiais atualmente utilizados e de índices de desempenho calculados conforme as características da peça, buscou-se minimizar a massa dos componentes e melhorar as propriedades alvo.

Como resultado, foi obtido que o melhor material para *decks* é a fibra de carbono em matriz epoxy, enquanto para *trucks* o melhor material selecionado foi ligas de alumínio forjado com endurecimento por envelhecimento.

Palavras-chave: Skate, Seleção de Materiais, Esporte, Engenharia no Esporte.

## **ABSTRACT**

This project consists in a material selection study for the skateboard parts: deck and truck. It was possible to determine the best material choice for these applications by using the methodology proposed by Ashby and the software CES EduPack 2015, developed by Granta Material Inspiration.

Through numeric restrictions based on mechanical properties of the currently most used material, and performance indexes calculated according to the part characteristics, it was pursued the mass reduction and the target properties improvement in both components.

As a result, it was obtained that the best material for decks is carbon fiber reinforce composite (epoxy matrix) and, for trucks, the best material choice is age-hardening wrought Al-alloys.

Key-words: Skate, Material Design, Skate, Sport, Sports Engineering.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 PORCENTAGEM DE ALUNOS PRATICANTES DE SKATE E FREQUÊNCIA COM QUE PRATICAM .....                                                                                                                                                                                     | 27 |
| FIGURA 2 ESPORTES PRATICADOS PELOS ALUNOS PARTICIPANTES DA PESQUISA .....                                                                                                                                                                                                   | 28 |
| FIGURA 3 MANOBRA <i>FLIP</i> , EVIDENCIA A NECESSIDADE DE O SKATE SER LEVE PARA SER CONDUZIDO DURANTE O VOO <sup>[12]</sup> .....                                                                                                                                           | 30 |
| FIGURA 4 MANOBRA <i>OLLIE</i> , COM FINALIDADE DE ATINGIR GRANDES ALTURAS, REQUER QUE O SKATISTA APLIQUE UMA GRANDE FORÇA NA RABETA ( <i>KICKTAIL</i> ) DO SKATE PARA QUE SEJA IMPULSIONADO, EVIDENCIANDO A NECESSIDADE DE BOA RESISTÊNCIA À FLEXÃO <sup>[12]</sup> .....   | 31 |
| FIGURA 5 MANOBRA <i>GRINDS</i> , EVIDENCIA A NECESSIDADE DE DUREZA SUPERFICIAL DOS EIXOS JÁ QUE ESSES SÃO ATRITADOS CONTRA UM CORRIMÃO OU SUPERFÍCIE <sup>[12]</sup> .....                                                                                                  | 31 |
| FIGURA 6 MANOBRA <i>BOARD SLIDE</i> , EVIDENCIA A NECESSIDADE DE DUREZA E RESISTÊNCIA À FLEXÃO DA PRANCHA DO SKATE JÁ QUE ESTA SERÁ ATRITADA CONTRA A BORDA DE UMA SUPERFÍCIE OU CORRIMÃO COM APLICAÇÃO DE MOMENTO FLETOR MÁXIMO NO CENTRO DA PRANCHA <sup>[12]</sup> ..... | 32 |
| FIGURA 7 MANOBRA <i>SMITH GRIND</i> , EVIDENCIA A NECESSIDADE DE DUREZA SUPERFICIAL DOS EIXOS JÁ QUE ESSES SÃO ATRITADOS CONTRA UM CORRIMÃO OU SUPERFÍCIE, NESSE CASO POR SE USAR APENAS UM DOS <i>TRUCKS</i> , O ESFORÇO SE TORNA MUITO MAIS CONCENTRADO .....             | 32 |
| FIGURA 8 PARTES DE UM SKATE <sup>[13]</sup> .....                                                                                                                                                                                                                           | 33 |
| FIGURA 9 MODELO TÍPICO DO <i>DECK</i> , COM <i>KICKTAIL</i> E <i>NOSE</i> SIMÉTRICOS <sup>[14]</sup> .....                                                                                                                                                                  | 34 |
| FIGURA 10 REPRESENTAÇÃO DA VISTA LATERAL DO <i>DECK</i> , COM PONTOS DE FALHA ASSINALADOS <sup>[14]</sup> .....                                                                                                                                                             | 34 |
| FIGURA 11 AS PEÇAS QUE COMPÕEM O <i>TRUCK</i> <sup>[15]</sup> .....                                                                                                                                                                                                         | 35 |
| FIGURA 12 <i>TRUCK</i> , SIMULAÇÃO POR ELEMENTOS FINITOS, SKATISTA DE 113KG IMPACTO APÓS QUEDA LIVRE DE 3 METROS (VISTA ISOMÉTRICA) <sup>[17]</sup> .....                                                                                                                   | 37 |
| FIGURA 13 <i>TRUCK</i> , SIMULAÇÃO POR ELEMENTOS FINITOS, SKATISTA DE 113KG IMPACTO APÓS QUEDA LIVRE DE 3 METROS (VISTA SUPERIOR) <sup>[17]</sup> .....                                                                                                                     | 37 |
| FIGURA 14 <i>TRUCK</i> , SIMULAÇÃO POR ELEMENTOS FINITOS, SKATISTA DE 113KG ANDANDO NORMALMENTE (VISTA ISOMÉTRICA) <sup>[17]</sup> .....                                                                                                                                    | 38 |
| FIGURA 15 <i>TRUCK</i> , SIMULAÇÃO POR ELEMENTOS FINITOS, SKATISTA DE 113KG ANDANDO NORMALMENTE (VISTA SUPERIOR) .....                                                                                                                                                      | 38 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 16 <i>TRUCK</i> , SIMULAÇÃO POR ELEMENTOS FINITOS, SKATISTA DE 113KG ANDANDO SOBRE UM DOS <i>TRUCKS</i> (VISTA ISOMÉTRICA) <sup>[17]</sup> .....                                                                                                                                            | 39 |
| FIGURA 17 <i>TRUCK</i> , SIMULAÇÃO POR ELEMENTOS FINITOS, SKATISTA DE 113KG ANDANDO SOBRE UM DOS <i>TRUCKS</i> (VISTA SUPERIOR) <sup>[17]</sup> .....                                                                                                                                              | 39 |
| FIGURA 18 CONJUNTO DE UMA RODA, OS ROLAMENTOS ( <i>BEARINGS</i> ) SÃO POSICIONADOS NO CENTRO DA RODA EM ALOJAMENTO APROPRIADO PARA RECEBÊ-LOS E O CONJUNTO É AFIXADO AO EIXO DO <i>HANGER</i> POR MEIO DE PORCAS ( <i>NUTS</i> ) DISTANCIADAS POR ARRUELAS ( <i>WASHER</i> ) <sup>[15]</sup> ..... | 40 |
| FIGURA 19 QUATRO PASSOS PARA O PROCESSO DE SELEÇÃO DE MATERIAIS <sup>[30]</sup> .....                                                                                                                                                                                                              | 47 |
| FIGURA 20 MATERIAIS CANDIDATOS PARA <i>DECKS</i> . ....                                                                                                                                                                                                                                            | 53 |
| FIGURA 21 MATERIAIS CANDIDATOS PARA <i>TRUCKS</i> . ....                                                                                                                                                                                                                                           | 58 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 1 ANÁLISE DE FUNCIONALIDADE PARA <i>DECKS</i> DE SKATES <sup>[15]</sup> .                                                                                                                             | 42 |
| TABELA 2 PRINCIPAIS MATERIAIS UTILIZADOS EM <i>DECKS</i> E SUAS<br>VANTAGENS/DESVANTAGENS <sup>[15]</sup> .                                                                                                  | 43 |
| TABELA 3 CARACTERÍSTICAS DE ATRITO E CONTATO PARA RODAS DE DIFERENTES TAMANHOS<br>SOB CARGA DE 36KG, RESULTADOS PARA RODAS 2" POR 2" (VALORES ENTRE<br>PARÊNTESES INDICAM RODAS 5" POR 3") <sup>[15]</sup> . | 45 |
| TABELA 4 ESQUEMA GRÁFICO DO PROCESSO DE DETERMINAÇÃO DAS MÉTRICAS DE<br>DESEMPENHO                                                                                                                           | 48 |
| TABELA 5 TRADUÇÃO DOS REQUISITOS DO PROJETO                                                                                                                                                                  | 50 |
| TABELA 6 PROPRIEDADES DE MADEIRAS DE FIBRA CURTA ( <i>HARDWOOD</i> ), DESTAQUE PARA AS<br>RESTRIÇÕES NUMÉRICAS                                                                                               | 53 |
| TABELA 7 MATERIAIS SELECIONADOS PARA <i>DECKS</i> .                                                                                                                                                          | 54 |
| TABELA 8 PROPRIEDADES DAS LIGAS DE ALUMÍNIO, DESTAQUE PARA AS RESTRIÇÕES<br>NUMÉRICAS.                                                                                                                       | 57 |
| TABELA 9 DESEMPENHO DOS MATERIAIS CANDIDATOS PARA <i>TRUCKS</i>                                                                                                                                              | 58 |

## SUMÁRIO

|              |                                                    |           |
|--------------|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                            | <b>21</b> |
| <b>2</b>     | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                 | <b>23</b> |
| <b>2.1</b>   | <b>A ORIGEM DO SKATE .....</b>                     | <b>23</b> |
| <b>2.1.1</b> | <b>O SKATE NO BRASIL .....</b>                     | <b>24</b> |
| <b>2.1.2</b> | <b>SKATISTAS BRASILEIROS CONHECIDOS .....</b>      | <b>25</b> |
| <b>2.2</b>   | <b>O SKATE EM NÚMEROS .....</b>                    | <b>26</b> |
| <b>2.3</b>   | <b>AS MODALIDADES DO SKATE .....</b>               | <b>28</b> |
| <b>2.3.1</b> | <b>PRINCIPAIS MANOBRAS .....</b>                   | <b>30</b> |
| <b>2.4</b>   | <b>AS PARTES DE UM SKATE .....</b>                 | <b>33</b> |
| <b>2.4.1</b> | <b>O <i>DECK</i> .....</b>                         | <b>33</b> |
| <b>2.4.2</b> | <b>O <i>TRUCK</i> .....</b>                        | <b>35</b> |
| <b>2.4.3</b> | <b>As RODAS .....</b>                              | <b>40</b> |
| <b>2.5</b>   | <b>MATERIAIS ATUALMENTE UTILIZADOS .....</b>       | <b>41</b> |
| <b>2.5.1</b> | <b><i>DECK</i> .....</b>                           | <b>41</b> |
| <b>2.5.2</b> | <b><i>TRUCKS</i> .....</b>                         | <b>43</b> |
| <b>2.5.3</b> | <b>RODAS .....</b>                                 | <b>44</b> |
| <b>3</b>     | <b>OBJETIVO .....</b>                              | <b>46</b> |
| <b>4</b>     | <b>METOLOGIA .....</b>                             | <b>47</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>TRADUÇÃO DOS REQUISITOS DO PROJETO .....</b>    | <b>47</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>TRIAGEM .....</b>                               | <b>48</b> |
| <b>4.3</b>   | <b>CLASSIFICAÇÃO EM FUNÇÃO DOS OBJETIVOS .....</b> | <b>49</b> |
| <b>4.4</b>   | <b>INFORMAÇÕES ADICIONAIS .....</b>                | <b>49</b> |
| <b>5</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                | <b>50</b> |
| <b>5.1</b>   | <b>DECK .....</b>                                  | <b>50</b> |
| <b>5.2</b>   | <b>TRUCK .....</b>                                 | <b>54</b> |
| <b>6</b>     | <b>CONCLUSÕES .....</b>                            | <b>60</b> |
| <b>7</b>     | <b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>      | <b>61</b> |
|              | <b>APÊNDICE .....</b>                              | <b>62</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                           | <b>63</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

O avanço da sociedade, bem como a sua forma de organização em civilizações, permitiu que o homem desenvolvesse atividades outras que apenas a busca por abrigo e alimentação. Entre tais atividades está a prática esportiva que tem como finalidade maior o desenvolvimento da inteligência motora, o entretenimento e a manutenção da estética corporal.

A prática esportiva está cada vez mais presente numa sociedade que não se preocupa apenas em sobreviver, mas sim em viver mais e com melhor qualidade de vida. O estresse e o sedentarismo causados pela rotina maçante das grandes cidades encontra alívio em momentos de lazer. Nos últimos anos, tais momentos vêm sendo direcionados para aprimoramento da saúde e do equilíbrio mental, e não mais apenas para o entretenimento de forma passiva.

Dessa forma, vimos o *boom* das academias e a expansão do mercado de suplementos alimentícios. Segundo levantamento da IHRSA (*International Health, Racquet & Sportsclub Association*), o número de academias no Brasil passou de 7 mil em 2006<sup>[1]</sup> para 32 mil em 2015<sup>[2]</sup>, aumento de 357% em nove anos.

Já o mercado de nutrição esportiva cresceu 148% de 2009 a 2014 e estima-se que deva ultrapassar R\$ 1 bilhão em faturamento até 2019. Além disso, o consumo de vitaminas e suplementos alimentares atingiu R\$ 3,5 bilhões de receita em 2014, aumento de 69% desde 2009<sup>[3]</sup>.

Além do aumento do número de academias, a procura por novas formas de entretenimento voltado à melhoria da saúde e do bem estar levou ao surgimento de novos esportes como o *cross-fit* e *le parkour*; esse movimento também ocasionou o aumento da procura por materiais de ponta que facilitem ou aprimorem a prática esportiva.

O exemplo mais emblemático da tecnologia aplicada ao esporte é o surgimento da roupa "pele de tubarão" criada pela SPEEDO para melhorar o desempenho de nadadores. Em 2000, a empresa lançou o primeiro modelo do traje chamado FAST SKIN, o qual possui a mesma aspereza da pele de tubarão, em que os dentículos dérmicos do ser aquático ajudam a reduzir a fricção da pele com a água. Além desse efeito, a compressão que o tecido aplica aos músculos aumenta a rigidez da pele, reduzindo sua trepidação e, assim, o atrito adicional causado por ela<sup>[4]</sup>.

Esse traje foi uma evolução tão grande que, entre 2007 e 2008, 21 recordes mundiais foram quebrados com a utilização do traje, então aprimorado e com novo nome: LZR Racer.

Dessa maneira, a implementação de tecnologia no esporte ainda é um campo a ser explorado dado (i) o crescente desenvolvimento de novos materiais, abrindo possibilidades de aplicações de aprimoramento; (ii) o baixo nível tecnológico em que alguns esportes se encontram; e (iii) a janela de mercado que a atual geração representa.

A escolha do skate como esporte para o estudo de seleção de materiais se dá tanto pela exigência mecânica imposta no aparato durante a prática do esporte quanto pelo estágio atual da utilização tecnológica, que se buscará avaliar nesse trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção é descrito o contexto no qual o esporte skate se encaixa na História Contemporânea, as diferentes modalidades em que é praticado, as manobras, as partes que o compõe e os principais materiais atualmente utilizados.

### 2.1 A ORIGEM DO SKATE

O skate surgiu nos Estados Unidos, em um longo processo na primeira metade do século 20. Não se sabe ao certo como e quando este esporte começou a ser praticado, mas estima-se que a história do *skateboard* iniciou-se no fim da década de 50, na Califórnia, quando em dias sem ondas no mar, surfistas tentavam imitar as manobras do surf sobre rodas montadas em pranchas de madeira. Esta nova modalidade de "surf" era chamado de *sidewalk surf* ou surf de rua<sup>[5][6]</sup>.

"O primeiro skate fabricado e comercializado em série foi o Roller Derby em 1959"<sup>[6]</sup>. Na década de 60 o novo esporte se consolidou, conseguindo cada vez mais adeptos, criando sua identidade e manobras próprias. Desta forma, em 1963, recebeu o seu nome definitivo, que perduraria até os dias atuais: *skateboard*<sup>[6]</sup>. Em uma grande seca na Califórnia, na década de 60, muitas piscinas foram esvaziadas e os praticantes do esporte (surfistas/skatistas) descobriram que o skate nas paredes das piscinas lembravam a transição das ondas no mar e, desta forma, surgiu a prática do skate *vertical*.

As primeiras rodas utilizadas foram as de ferro e logo em seguida as de baquelite, mas por serem muito escorregadias, causaram muitos acidentes graves e tornavam o esporte inseguro. Em 1971, o engenheiro químico e surfista norte americano, Frank Nashworthy, cria a roda de poliuretano, proporcionando maior aderência e segurança. Esta modificação de material foi um marco na história do skate, pois através dela o esporte se consolidou definitivamente como um esporte popular<sup>[5]</sup>.

A partir de 1972, novas modalidades surgiram, como: *Downhill*, *Barrel Jumping*, *High Jumping*, *Slalom* e *Freestyle*. Neste mesmo período surgiram os primeiros *skateparks* (locais específicos para a prática do esporte), porém, devido aos inúmeros acidentes ocorridos nos *skateparks* e aos altos valores pagos de indenização, muitos destes lugares fecharam, diminuindo drasticamente a procura

pelo esporte. No final da década de 70, o mercado do skate entrou em colapso, muitos fabricantes faliram e patrocínios deixaram de existir. O skate então criou uma identidade em conjunto com novas culturas da época, a *New Wave* e o *Punk*, fato este que deixou sua imagem vinculada a um esporte rebelde<sup>[6]</sup>.

A década de 80 foi caracterizada por uma explosão de rampas de madeira feitas pelos próprios skatistas em ruas, praças, etc, houve a criação de um novo estilo muito importante, o *Street*, que tomou conta das ruas com a queda do estilo *Vertical*. Esta década também foi marcada pelo incentivo à tecnologia para melhoria dos equipamentos.

A partir da década de 90 o skate se consolidou como prática esportiva, o desenvolvimento da tecnologia relacionada aos equipamentos o deixou melhores e mais leves, dando mais suporte e facilitando as manobras com o skate. “Em 1995, a ESPN criou os *X-Games* e começou a limpar a imagem do skate como esporte rebelde”<sup>[6]</sup>. Ao passar dos anos, o *skateboard* fica mais forte e profissional, com adeptos ao redor do mundo, grandes competições de skate nos Estados Unidos, ascensão e reconhecimento de profissionais do skate, como: Michael Brook, Sean Mortimer, Jim Phillips, Rodney Mullen, Tony Hawk, Sean Cliver, entre outros. No fim dos anos 2000 o *longboard* deslança, popularizando ainda mais a prática do skate.

### 2.1.1 O SKATE NO BRASIL

Foi na década de 60 que o skate começou a surgir no Brasil, provavelmente trazido por norte americanos ou brasileiros que viajavam aos Estados Unidos. Algumas revistas importadas americanas, sobre surf, podem também ter divulgado o esporte. Os primeiros skates fabricados no Brasil eram bastante artesanais, feitos de eixos de patins com rodas de ferro pregados em uma madeira<sup>[5][6]</sup>.

“O primeiro campeonato realizado no país foi em 1974, no Clube Federal do Rio de Janeiro”<sup>[5]</sup>. A partir da década de 70, o skate teve grande penetração no mercado brasileiro, muitas pistas para a prática do esporte foram construídas, campeonatos foram realizados e divulgação em revistas nacionais. Porém, no final da década de 70, a prática do skate caiu em nível nacional, pois diversos fabricantes migraram para a fabricação de patins e outros equipamentos, não havendo mais skates e peças para comercialização ou investimentos em campeonatos<sup>[6]</sup>.

Em 1984, houve um ressurgimento da indústria nacional, fato este devido quase que exclusivamente aos praticantes do esporte que mantiveram a cultura do skate e construíram pistas particulares. Um dado importante que demonstra o crescimento da modalidade durante a década de 80 é a disputa do Campeonato Brasileiro de Skate do *Bowl* no Itaguará Country Club, que em 1962 tinha 60 competidores cadastrados e em 1987, 380 competidores.

Em 1999, foi fundada a Confederação Brasileira de Skate (CBSK), em Curitiba, Paraná, hoje em dia ela tem sua sede em São Paulo. "A Confederação Brasileira de Skate é a entidade que regulamenta as normas e políticas voltadas ao desenvolvimento do Skate (*skateboard*) no território brasileiro."<sup>[6]</sup>

A partir dos anos 2000, o Circuito Brasileiro de skate é organizado pela Organização Brasileira de Skate, com etapas em diversos estados do país. Há também o aparecimento de eventos com formato alternativo, como: o Desafio de Rua em São Paulo, o Desafio de Rua em Uberlândia, o *Red Beach Sk8 Challenge* em São Paulo, entre muitos outros espalhados por todo o território. Atualmente, diversos skatistas brasileiros vivem no exterior e são patrocinados por empresas internacionais.

### 2.1.2 SKATISTAS BRASILEIROS CONHECIDOS

Com o *skateboard* cada vez mais difundido em território nacional brasileiro, muitos praticantes do esporte vem se destacando em competições mundiais e obtendo ótimos resultados. A seguir se encontra o *ranking* dos brasileiros que já foram campeões mundiais nos últimos anos, dado obtido através da Confederação Brasileira de Skate<sup>[7]</sup>:

- Bob Burnquist é bicampeão mundial no *Vertical* em 2000 e 2008 e tetra campeão mundial na Mega Rampa em 2011, 2012, 2013 e 2014;
- Carlos de Andrade é bicampeão mundial no *Street* em 2000 e 2009;
- Rodil Ferrugem é bicampeão mundial no *Street* em 2002 e 2004;
- Sandro Dias é hexacampeão mundial no *Vertical* em 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 e 2011;
- Sérgio Yuppie é pentacampeão mundial no *Downhill Slide* em 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009;

- Karen Jones é tetracampeã mundial no *Vertical* feminino em 2006, 2008, 2012 e 2014;
- Rodolfo Ramos é bicampeão mundial no *Street* em 2008 e 2010;
- Reine Oliveira é campeã mundial de *Downhill Slide* feminino em 2009;
- Marcelo Bastos é campeão mundial no *Vertical* em 2010;
- Pedro Barros é pentacampeão mundial no *Bowl* em 2010, 2011, 2012, 2013 e 2014;
- Letícia Bufoni é tetracampeã mundial no *Street* feminino em 2010, 2011, 2012 e 2013;
- Kelvin Hoefler é tetracampeão mundial no *Street* em 2011, 2012, 2013 e 2014;
- Douglas Dalua é bicampeão mundial no *Downhill Speed* em 2012 e 2013;
- Rony Gomes é campeão mundial no *Vertical* em 2013;
- Pamela Rosa é bicampeã mundial no *Street* feminino em 2013 e 2014.

## 2.2 O SKATE EM NÚMEROS

O número de praticantes de skate no Brasil, hoje, gira em torno de 3.863.981<sup>[8]</sup>. Este é um valor muito expressivo e demonstra a abrangência do esporte em âmbito nacional, podendo ser comparado a populações de países inteiros, como por exemplo o Uruguai com 3.419.516 de habitantes<sup>[9]</sup>.

Baseado em dados do Instituto de Pesquisa Datafolha (2009)<sup>[10]</sup>, foram levantadas algumas conclusões relevantes com relação à utilização do skate e a penetração nos lares brasileiros, em seguida serão evidenciadas algumas dessas conclusões:

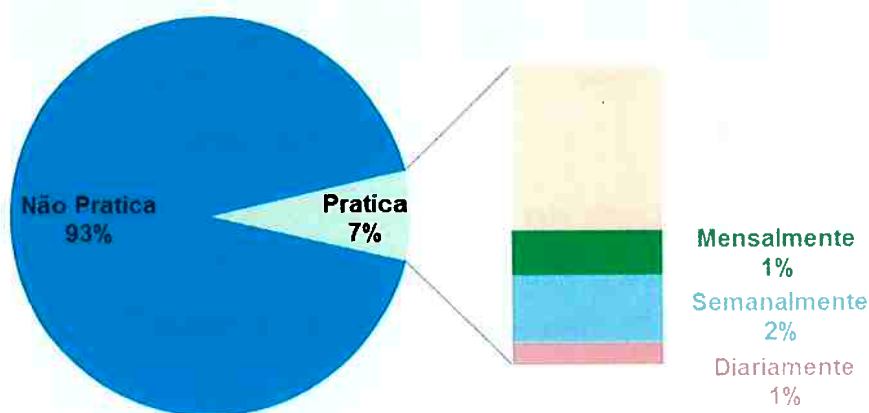
- 5% dos domicílios brasileiros possuem algum praticante de skate;
- A prática de skate é mais difundida nas regiões metropolitanas, onde atinge 7% dos lares;
- Entre os praticantes de skate há larga predominância do sexo masculino, cerca de 90%;
- O skate é um esporte mais difundido nas classes mais favorecidas (A e B);

- Entre os praticantes de skate, a idade em que eles se situam está entre 11 e 20 anos;
- Dos lares que possuem praticantes de skate, a maioria se encontra nas regiões metropolitanas, assim como nas regiões Sul e Sudeste;
- Dos lares que possuem praticantes de skate, 60% são pardos e negros.

Por meio dos dados citados acima, é possível avaliar a abrangência do skate como um esporte no Brasil e detectar possíveis pontos de melhoria, como a inclusão de mulheres, divulgação mais eficiente do esporte em outras regiões do Brasil como Norte e Nordeste, etc.

Com a intenção de avaliar a utilização do skate como esporte nas imediações da Universidade de São Paulo, foi realizada uma pesquisa entre alunos da Escola Politécnica da USP (vide Apêndice) em que foram obtidos os seguintes resultados:

Figura 1 Porcentagem de alunos praticantes de skate e frequência com que praticam

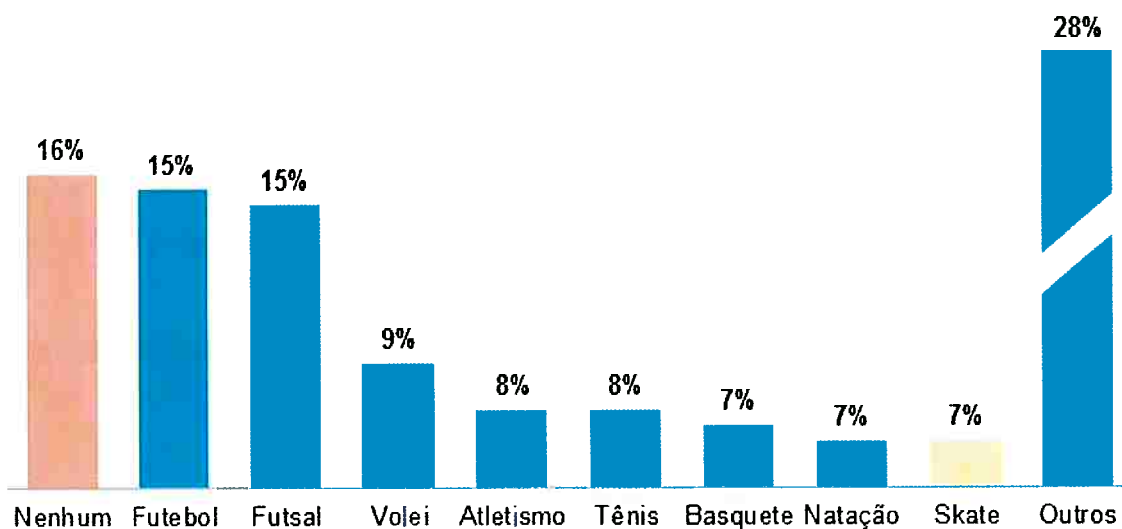


Fonte: Próprio Autor, 2015

A pesquisa realizada com os alunos da Escola Politécnica da USP contou com a participação de 183 alunos, dentre os quais 73% eram do sexo masculino e 27% do sexo feminino. A partir dos dados obtidos pela pesquisa através do preenchimento de um questionário online divulgado nas comunidades do *Facebook* populares entre os alunos da Instituição, observa-se que o skate ainda é um esporte com muita oportunidade de crescimento e ganho de mercado, visto que uma pequena parcela dos participantes o pratica.

Na Figura 2, pode ser visto as principais modalidades praticadas por estudantes da Escola Politécnica. Embora, 10% dos alunos participantes da pesquisa pratiquem mais de um esporte, 16% não praticam nenhum. O skate aparece empatado com natação, com 7% dos alunos participantes. Outra observação interessante é a grande porcentagem de alunos que pratica esportes não considerados populares (classificados como outros), como é o caso de rugby, baseball, ciclismo, remo, entre outros.

Figura 2 Esportes praticados pelos alunos participantes da pesquisa



Fonte: Próprio Autor, 2015

### 2.3 AS MODALIDADES DO SKATE

Segundo a Confederação Brasileira de Skate<sup>[11]</sup>, atualmente a prática se divide em dez categorias:

- **Banks:** trata-se de uma variação da modalidade *bowls* (descrita em seguida), com altura em média até 2,50 m. É considerada uma das modalidades mais democráticas do skate, pois é praticada por adeptos de outras modalidades como *Street*, *Vertical*, *Mini-ramp*, *Longboard* e *Downhill*. No Brasil foi bastante popular durante os anos 80 e recentemente voltou ao auge com a construção de dezenas destas pistas.
- **Bowls:** modalidade praticada em pistas de concreto ou madeira, em formato de *half-pipes* (meio tubo e com formato parecendo um gigantesco U) ou *bowls* (bacia), com no mínimo 3,50 m de altura. Sua prática iniciou-se em piscinas nos Estados Unidos que, diferentemente das brasileiras, possuem transições

arredondas entre o fundo e as paredes. A modalidade possui menos adeptos devido à necessidade de nível técnico elevado, havendo no Brasil cerca de 40 competidores profissionais e 100 competidores amadores.

- **Downhill-slide:** modalidade praticada em ladeiras, com a intenção de se dar derrapadas e “cavalos de pau” com o skate, de diversas formas buscando estender a distância percorrida em cada manobra o máximo possível, sem que se perca muita velocidade. Atualmente, o melhor skatista do mundo na modalidade é o brasileiro Sérgio "Yuppie" Marcelino.
- **Downhill-speed:** modalidade também praticada em ladeiras de diferentes comprimentos, porém o objetivo é descê-las o mais rápido possível. Assemelha-se aos modernos “carrinhos de rolimã”. É uma das modalidades que mais cresce no mundo, com muitos competidores profissionais brasileiros disputando o Circuito Mundial da IGSA (International Gravity Sports Association). O *Downhill-Speed* requer atenção especial à segurança, dado as altas velocidades atingidas (recorde mundial de 130km/h).
- **Freestyle:** a modalidade consiste manobras consecutivas de estilo livre sem se colocar o pé no chão, como se fosse uma coreografia acompanhada por música praticada em lugares planos como cerca 300 m<sup>2</sup>. Atualmente no Brasil conta com cerca de 20 competidores profissionais e 60 competidores amadores.
- **Megarampa:** a modalidade consiste em descer uma rampa de em média 27 metros de altura, onde o skatista pode atingir 80 km/h e, em seguida, usando outra rampa, saltar sobre um vão livre de 20m de comprimento, aterrissando em mais uma rampa de descida que o impulsiona para um *quarter-pipe* (metade de um "half-pipe") com aproximadamente 9 metros de altura, fazendo com que o skatista possa atingir uma altura de até 16 metros do solo. As manobras se dão durante o tempo de voo, a modalidade é considerada uma das mais radicais.
- **Mini-ramp:** a modalidade em que o skatista pode realizar manobras em um *half-pipe* (curva em U) de no máximo 2,50 m de altura. Há quase duas décadas é o segundo tipo de rampa mais construído no Brasil, perdendo apenas para as de *Street* (descrito a frente). Devido à facilidade de construí-

las e ao relativo baixo custo, existem muitas *mini-ramps* particulares tanto em residências quanto em condomínios e clubes.

- **Slalom:** a modalidade utiliza skates mais estreitos que os tradicionais, objetivando passar, em zigue-zague, por uma bateria de cones da forma mais rápida possível, sem que se toque em nenhum dos obstáculos.
- **Street:** é a modalidade com a maior quantidade de adeptos, contando com aproximadamente 95% dos praticantes. Consiste em transpor obstáculos que são encontrados nas ruas das cidades como: monumentos, praças, bancos, corrimãos, muretas, escadas, rampas de entrada de garagens, palcos, buracos, barrancos, *guard-rails*, paredes com inclinação entre 30° e 80°, entre outros. Existem diversos *Skateparks* (pistas de skate) onde a arquitetura urbana é simulada de um modo adaptado para skate.

### 2.3.1 PRINCIPAIS MANOBRAS

Nesta seção, serão apresentadas algumas manobras de skate em que poderá ser observada de forma qualitativa a necessidade de boas propriedades mecânicas do aparato esportivo:

- **Flip:** a manobra consiste em fazer com os pés com que o skate saia do chão rodando em parafuso e permita que o skatista pouse sobre o aparato, com as rodas voltadas ao chão.

Figura 3 Manobra *Flip*, evidencia a necessidade de o skate ser leve para ser conduzido durante o voo<sup>[12]</sup>.



- **Ollie:** a manobra consiste em um salto, usando a rabeta do skate como alavanca para impulsionar o conjunto skate e skatista para o alto.

Figura 4 Manobra *Ollie*, com finalidade de atingir grandes alturas, requer que o skatista aplique uma grande força na rabeta (*kicktail*) do skate para que seja impulsionado, evidenciando a necessidade de boa resistência à flexão<sup>[12]</sup>.



- **Grinds:** a manobra consiste em deslizar com os eixos sobre a borda de uma superfície ou corrimão.

Figura 5 Manobra *Grinds*, evidencia a necessidade de dureza superficial dos eixos já que esses são atritados contra um corrimão ou superfície<sup>[12]</sup>.



- **Board Slide:** a manobra consiste em deslizar sobre uma superfície ou corrimão com a prancha do skate.

Figura 6 Manobra *Board Slide*, evidencia a necessidade de dureza e resistência à flexão da prancha do skate já que esta será atritada contra a borda de uma superfície ou corrimão com aplicação de momento fletor máximo no centro da prancha<sup>[12]</sup>.



- **Smith Grind:** a manobra consiste em deslizar com os eixos sobre a borda de uma superfície ou corrimão, dessa vez equilibrando-se apenas em um dos *trucks* do skate.

Figura 7 Manobra *Smith Grind*, evidencia a necessidade de dureza superficial dos eixos já que esses são atritados contra um corrimão ou superfície, nesse caso por se usar apenas um dos *trucks*, o esforço se torna muito mais concentrado



Dessa maneira, pode-se afirmar que as propriedades mais esperadas de um skate são resistência à flexão, resistência ao desgaste por atrito, além de leveza e tenacidade, de forma que não quebre de maneira súbita durante a prática do esporte, já que todas as manobras terminam com um pouso forçado sobre o skate

ou com um arremesso violento do aparato contra outros obstáculos, quando a manobra não termina conforme o esperado e, então, o skate é ejetado.

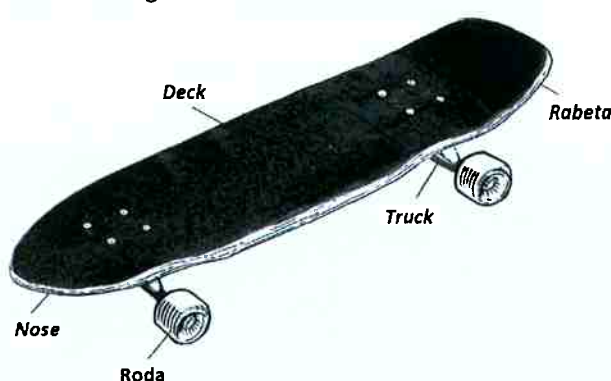
Tabela 1 Manobras e características desejadas

| Manobra            | Característica desejada                      |
|--------------------|----------------------------------------------|
| <i>Flip</i>        | Leveza                                       |
| <i>Ollie</i>       | Resistência à flexão                         |
| <i>Grinds</i>      | Dureza do <i>truck</i>                       |
| <i>Board slide</i> | Dureza do <i>deck</i> e resistência à flexão |
| <i>Smith grind</i> | Dureza e resistência do <i>truck</i>         |

## 2.4 AS PARTES DE UM SKATE

O skate é composto, basicamente, por um *deck*, dois *trucks* e quatro rodas. A parte da frente do *deck* (ou *shape*) é denominada *nose* e a parte traseira, rabeta (ou, mais comumente chamada, *kicktail*) (vide Figura 8).

Figura 8 Partes de um skate<sup>[13]</sup>.



### 2.4.1 O DECK

O *deck*, também conhecido por *shape*, é a prancha na qual o skatista de fato anda e conduz o skate. Nele são aparafusados os dois *trucks* que suportam as rodas. A Figura 9 mostra um modelo típico de *deck*.

Figura 9 Modelo típico do *deck*, com *kicktail* e *nose* simétricos<sup>[14]</sup>.



Uma análise simples das tensões pode ser feita considerando que toda a carga imposta ao aparato é distribuída entre dois apoios simples (*trucks*) no caso de carregamento durante o uso normal. Porém, durante a execução de certas manobras que exigem a utilização do *kicktail*, por exemplo o *ollie* (Figura 4), o carregamento é redistribuído e o momento fletor máximo se dará, em vez de no centro do *deck*, na transição entre o *kicktail* e o resto do *deck*<sup>[14]</sup>.

Além do momento fletor, é observado momento torçor quando o skatista realiza curvas, por meio da inclinação do *deck* para um dos lados do skate em direção ao chão o que faz com que as partes móveis dos *trucks* girem tornando possível a realização de curvas<sup>[15]</sup>, porém tal exigência é muito menor e pode ser desconsiderada durante o desenvolvimento de novos *decks*<sup>[14]</sup>.

Dessa forma, os possíveis pontos de falha estão localizados no centro do *deck* e na transição entre os *kicktails* e o *deck*, Figura 10.

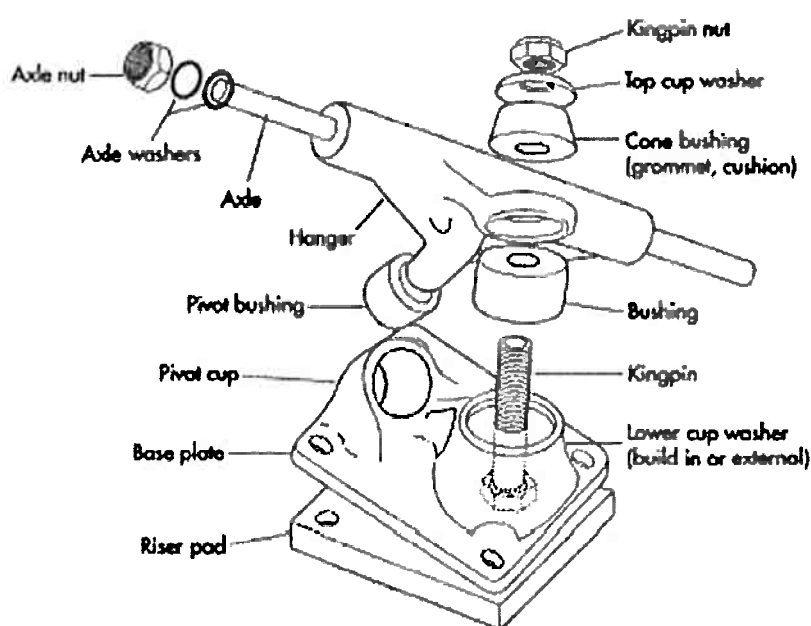
Figura 10 Representação da vista lateral do *deck*, com pontos de falha assinalados<sup>[14]</sup>.



## 2.4.2 O TRUCK

O *truck* conecta as rodas do skate ao *deck* e é composto por duas grandes partes, sendo uma móvel denominada *hanger* que comporta o eixo e as rodas, com presença de rolamentos; e outra parte fixada ao *deck* por meio de parafusos, chamada de base (*base plate*), vide Figura 11 (os termos da figura não foram traduzidos propositalmente pois o mercado utiliza a terminologia americana para se referir a essas partes, quando citado no texto haverá uma tradução livre dos termos).

Figura 11 As peças que compõem o *truck*<sup>[15]</sup>.



O *hanger* comporta o eixo em que as rodas do skate são conectadas. A montagem das rodas no *hanger* prevê utilização de duas arruelas (*washer*) para que o *hanger* fique distanciado dos rolamentos das rodas.

O *hanger* é montado sobre a base do *truck* apoiado em dois pontos, o *pivot* e um furo central em que é aparafusado o pino mestre (*kingpin*). Entre o *pivot* e a base do *truck* é posicionada uma borracha (*pivot bushing*) que tem a função de reduzir o atrito e distribuir as forças concentradas no *pivot*, já que o movimento dessa parte tem a função de dar mobilidade ao *hanger*, tornando possível que o skatista realize curvas.

O pino mestre (*kingpin*) une o *hanger* à base do *truck* por meio de um furo no centro do *hanger*, em que é aparafusado. O rompimento e/ou empenamento do pino mestre comprometem drasticamente o controle que o skatista tem da direção

em que está andando. Tal qual no *pivot*, entre o pino mestre e o furo central do *hanger* é posicionado um amortecedor de borracha (*bushing*).

O amortecedor do pino mestre é montado em duas peças, sendo uma entre o *hanger* e a base do *truck* e, outro, entre a porca do pino mestre (*kingpin nut*) e o lado oposto do furo central do *hanger*. Para que a força de aperto do parafuso seja distribuída uniformemente pela borracha do amortecedor, estendendo sua vida útil, são utilizadas arruelas (*washer*).

É muito importante observar o aperto do pino mestre, uma montagem de *truck* com pino mestre demasiadamente apertado reduz o movimento do *hanger* e, com isso, aumenta o raio de curvatura que o skatista pode executar com o skate (curvas abertas). Por outro lado, um pino mestre demasiadamente frouxo reduz a estabilidade do conjunto do skate durante o passeio, já que o *hanger* estará livre para “balançar” conforme as rodas transmitam as imperfeições do piso ao *hanger*, porém permite que o skatista realize curvas mais fechadas.

Dessa forma, os amortecedores do *hanger* desempenham o papel importante de permitir a mobilidade do *hanger* sem que seja comprometida a estabilidade do aparato. Existem borrachas de diversas durezas utilizadas para a montagem do *truck* que variam conforme a necessidade de estabilidade/mobilidade do skatista. Por exemplo, praticantes de *downhill speed* vão preferir *trucks* mais apertados, com borrachas duras, enquanto praticantes de *downhill slide* vão preferir *trucks* menos apertados, com borrachas mais macias<sup>[16]</sup>.

A base do *truck* é aparafusada no *deck* através de quatro parafusos. Entre a base do *truck* e o *deck* é posicionado um coxim elevador (*riser pad*) que possui a função dupla de amortecer os impactos transmitidos pelo *hanger* à base do *truck* e elevar a altura entre o centro das rodas à prancha, tornando possível que o skatista incline a prancha do skate para realizar curvas fechadas, sem que as rodas toquem o *deck*.

Um estudo realizado pelo Instituto Politécnico Rensselaer dos Estados Unidos chegou aos seguintes resultados de tensão de *von Mises* aplicada à base do *truck* através de simulação por elementos finitos por meio do *software* ABAQUS em diversas situações de carregamento.

Em todas as análises, foi considerado 113kg de massa para o skatista; máxima deflexão na aterrissagem de 25,4mm; contato cônico entre o *hanger* e a

base do *truck* de um terço da área do cone interno e massa do skate desconsiderada. Os resultados seguem nas Figuras 12 a 17

Figura 12 *Truck*, simulação por elementos finitos, skatista de 113kg impacto após queda livre de 3 metros (vista isométrica), valores em Pa<sup>[17]</sup>.

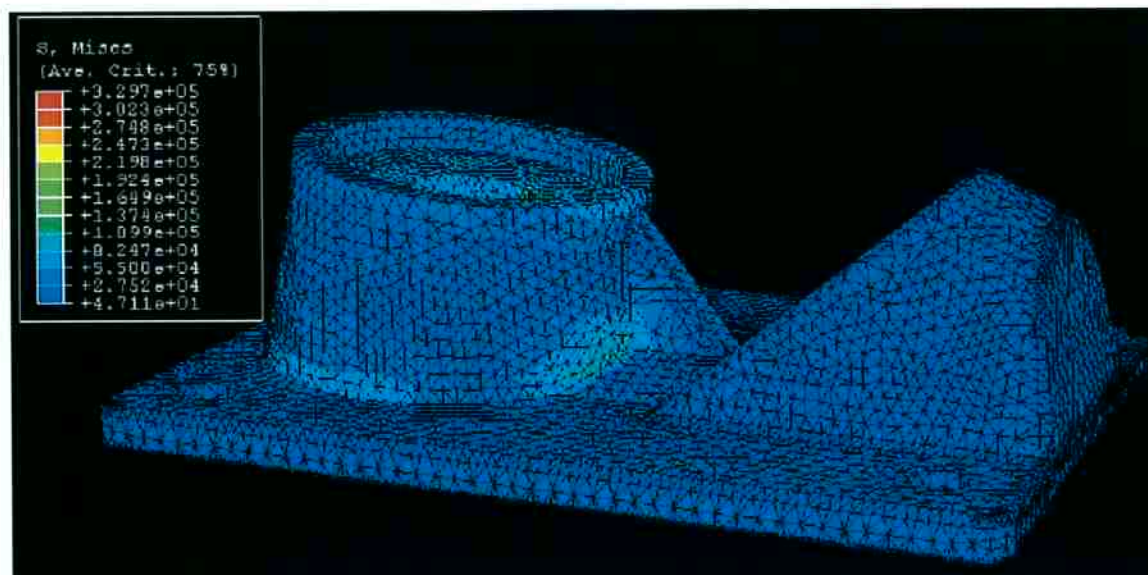
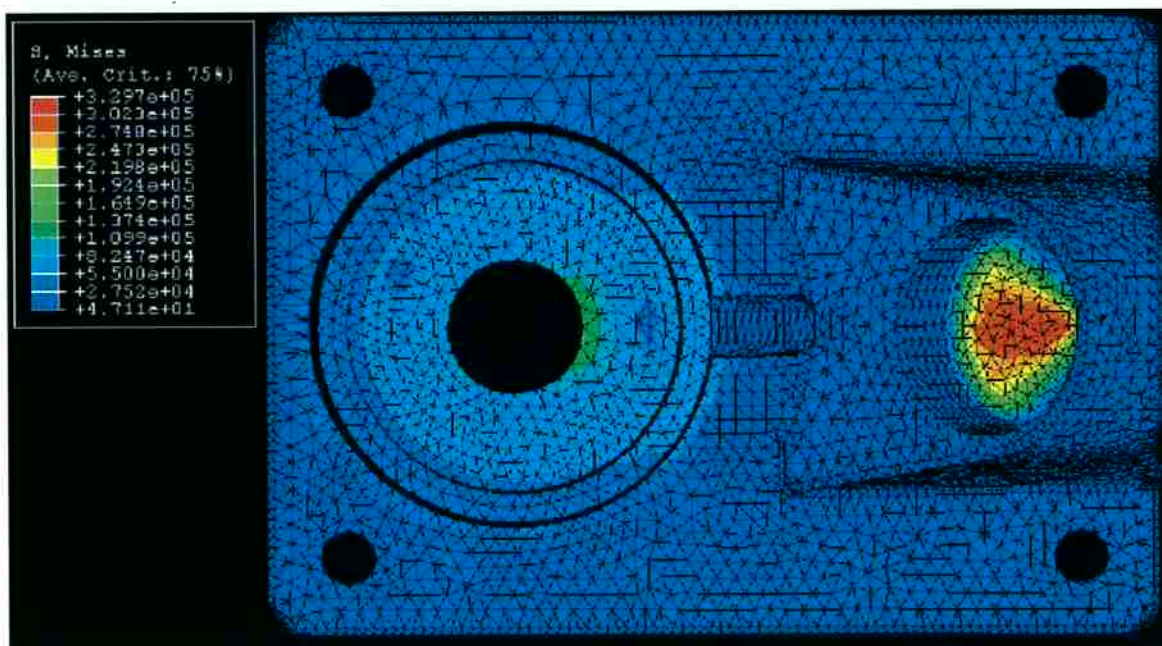


Figura 13 *Truck*, Simulação por elementos finitos, skatista de 113kg impacto após queda livre de 3 metros (vista superior), valores em Pa<sup>[17]</sup>.



A simulação por elementos finitos dos esforços na base do *truck* durante o impacto após queda de 3 metros mostra como as solicitações mecânicas se concentram principalmente no *pivot* e no furo que aloja o pino mestre. A tensão máxima nesses pontos possui a mesma ordem de grandeza.

Figura 14 *Truck*, Simulação por elementos finitos, skatista de 113kg andando normalmente (vista isométrica) , valores em Pa <sup>[17]</sup>.

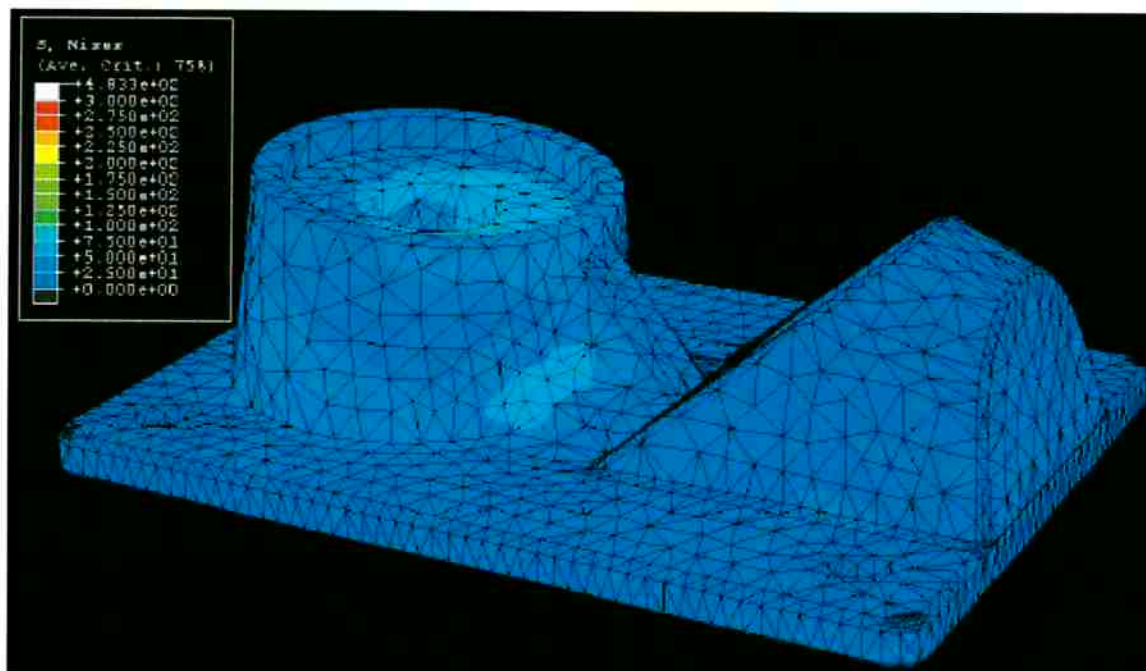
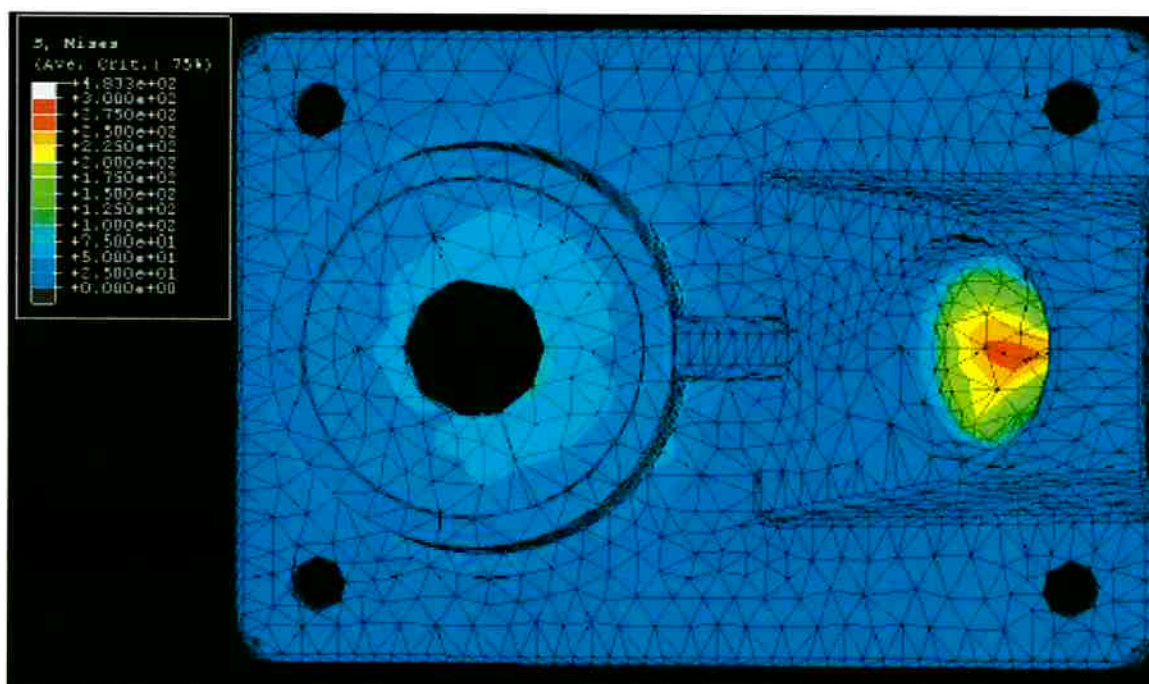


Figura 15 *Truck*, simulação por elementos finitos, skatista de 113kg andando normalmente (vista superior) , valores em Pa.



A simulação de carregamento com skatista andando normalmente com o skate mostra que além das tensões concentradas no *pivot*, o furo que aloja o pino mestre também é solicitado com a mesma ordem de grandeza, no ponto de tensão máxima. Porém, nesse caso, as tensões são três ordens de grandeza inferiores às observadas durante o impacto após queda livre de 3 metros.

Outro cenário observado nas simulações do Instituto Politécnico Rensselaer<sup>[17]</sup>, é quando o skatista se equilibra em apenas um dos *trucks*, como é o caso ressaltado na manobra *Smith Grind* (Figura 7).

Neste caso, toda a força é suportada pelo contato cônico entre o *hanger* e a região de alojamento do pino mestre (*kingpin*).

Figura 16 *Truck*, Simulação por elementos finitos, skatista de 113kg andando sobre um dos *trucks* (vista isométrica), valores em Pa<sup>[17]</sup>.

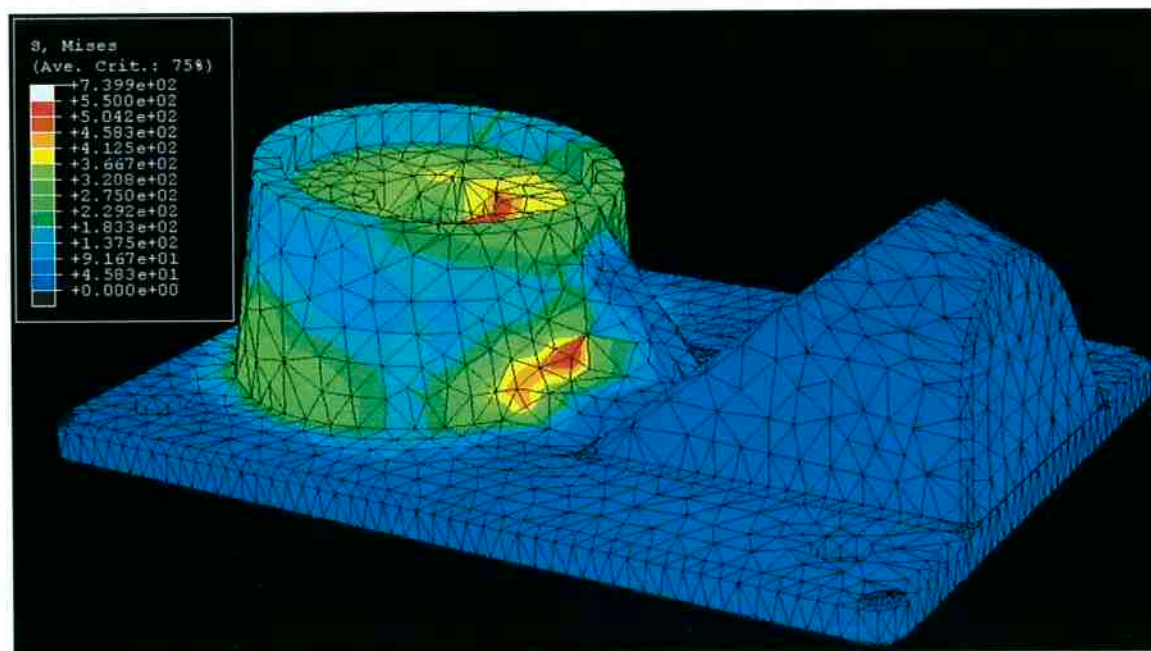
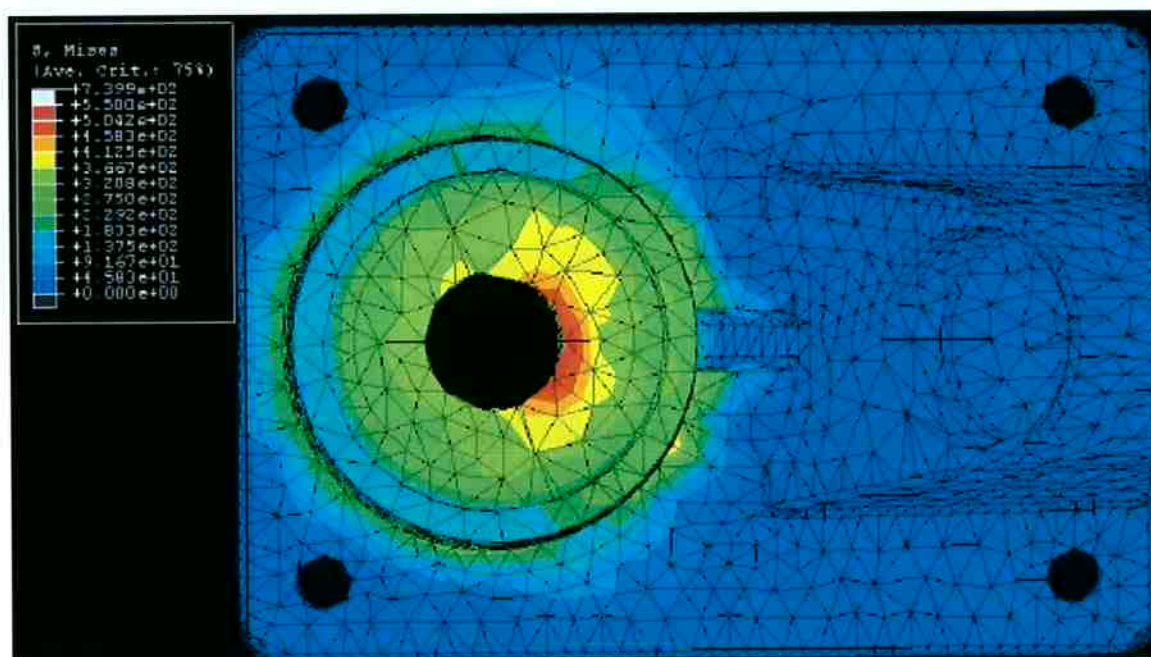


Figura 17 *Truck*, Simulação por elementos finitos, skatista de 113kg andando sobre um dos *trucks* (vista superior), valores em Pa<sup>[17]</sup>.



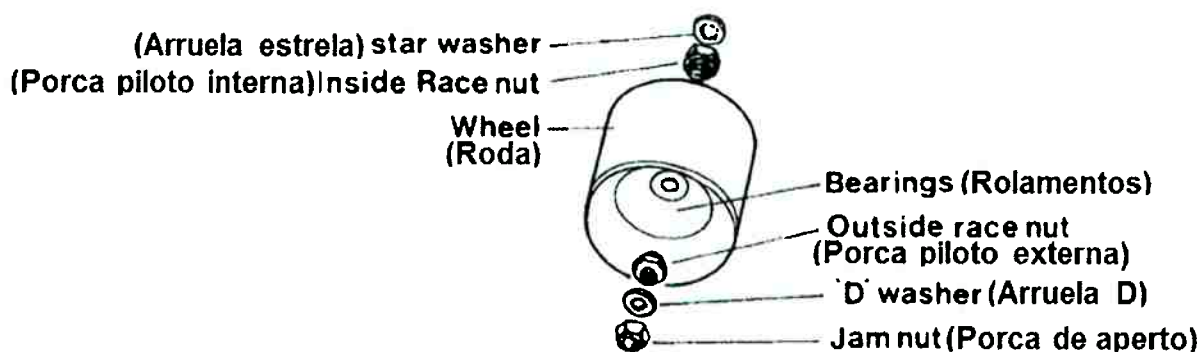
Nessa simulação (Figura 16 e Figura 17), pode-se observar que o *pivot* deixa de ser a parte mais solicitada e a maior parte da carga é suportada pelo furo

que aloja o pino mestre. Neste caso, os esforços tem a mesma ordem de grandeza observada durante a utilização normal do skate.

### 2.4.3 As RODAS

O conjunto que compõe as rodas, Figura 18, é composto por dois rolamentos (*bearings*), um interno e outro externo devidamente espaçado por um espaçador. Para afixá-las ao eixo com rosca presente no *hanger*, são utilizadas porcas (*nuts*) e arruelas (*washers*).

Figura 18 Conjunto de uma roda, os rolamentos (*bearings*) são posicionados no centro da roda em alojamento apropriado para recebê-los e o conjunto é afixado ao eixo do *hanger* por meio de porcas (*nuts*) distanciadas por arruelas (*washer*)<sup>[15]</sup>.



O aperto das rodas deve ser observado, segundo o canal de *youtube* Sobreskate<sup>[18]</sup> (canal que conta com mais de meio milhão de seguidores e tem mais de 56 milhões de visualizações de seus vídeos), se for demasiadamente frouxo, fará com que haja uma folga que permitirá que o conjunto sofra impactos axiais, prejudicando os rolamentos. Se for demasiadamente apertado, as arruelas poderão interferir na livre rolagem das rodas, atribuindo atrito e desgaste adicional ao conjunto<sup>[19]</sup>.

As rodas variam quanto às dimensões e materiais de acordo com a utilização. Rodas pequenas são utilizadas em baixa velocidade, enquanto rodas maiores são necessárias em aplicações em que grandes velocidades são almejadas<sup>[20]</sup>.

As larguras das rodas também estão relacionadas à aplicação, enquanto rodas largas permitem maior controle do skate em curvas e durante derrapagens, rodas finas reduzem o atrito e permitem que o skatista aproveite melhor a energia durante o impulso e descidas<sup>[20]</sup>.

## 2.5 MATERIAIS ATUALMENTE UTILIZADOS

A variedade de desempenho desejada, dependendo da modalidade em que será aplicado, influenciará diretamente a seleção de materiais das partes do skate. A manutenção do apelo visual, por sua vez, pode, juntamente com as necessidades de desempenho, requerer materiais mais custosos, no entanto, tais materiais podem se tornar a base da campanha de *marketing* da marca, tornando o modelo mais vendável<sup>[15]</sup>.

Além disso, outros aspectos de venda devem ser levados em conta na análise de viabilidade da aplicação de novos materiais como, por exemplo, o oferecimento de garantia de três anos, dada a maior confiabilidade do produto.

A flexibilidade do *deck*, montagem dos *trucks* e das rodas são selecionadas para se encaixar no uso final do skate. Rígidos e, portanto, mais estáveis são usados para velocidade, enquanto os mais flexíveis, para *slalom*. Velocidade, estabilidade, manobrabilidade e a manutenção dessas propriedades dependem criticamente dos materiais usados nos componentes dos skates<sup>[15]</sup>.

Dentre marcas nacionais de skates estão a FLH *skateboard*, criada em 1991 pelo skatista profissional de *freestyle* Paulo Folha Citrângulo; a HAGIL, criada em 2014; e a *Future skateboards*, fundada por skatistas influentes da capital paulista como Fabio Brandão, Átilla Chopa e Thiago Garcia<sup>[21]</sup>.

O preço de um skate completo, segundo pesquisa realizada em 10 de novembro de 2015 às lojas virtuais *Casa do Skatista* e *Monster Sports*, pronto para o uso varia de R\$89,90 até R\$549,90<sup>[22][23]</sup>, enquanto um *longboard* skate completo varia de R\$319,90 a R\$1079,10<sup>[24][25]</sup>.

### 2.5.1 DECK

Os *decks* são fabricados em uma grande variedade de materiais, desde plástico injetado até metais e madeira. Uma rigidez mínima é esperada para que a força imposta pelos pés do skatista seja transmitida aos *trucks*, algo desejável em todas as modalidades de skate. E, como dito anteriormente, rigidez máxima é vantajosa para aplicações em altas velocidades e para a maioria das manobras, enquanto flexibilidade é necessária para *slalom*.

Madeiras de fibra curta, como carvalho, faia e freixo, além de laminados de madeira são materiais muito populares entre skatistas habilidosos, especialmente em modalidades de alta velocidade como o *downhill speed* e modalidades em que manobras aéreas são executadas como no *bowl*, pois materiais rígidos aumentam a estabilidade proporcionada ao conjunto<sup>[13]</sup>.

Já combinações de compensados de madeira e GRP - *glass fibre reinforced plastic* (plásticos com reforços de fibra de vidro), dispostos longitudinalmente e/ou cruzados são os preferidos dos praticantes de *slalom*<sup>[13]</sup>.

O *deck* deve ter boa memória elástica, isto é, não se deformar permanentemente quando flexionado. Projetar um *deck* para absorver o choque proveniente das rodas pelos *trucks* pode comprometer a memória elástica, por isso, uma maneira alternativa de se minimizar os choques é por meio de coxins elevadores entre o *deck* e os *trucks*<sup>[15]</sup>. A Tabela 2 mostra uma análise de funcionalidade para o *deck*.

Tabela 2 Análise de funcionalidade para *decks* de skates<sup>[15]</sup>.

| Funções Principais     | Funções Qualificantes                                                             | Propriedades Requisitadas                                                                                                  | Requisitos Dimensionais                    |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Evitar ruptura abrupta | -                                                                                 | Tenacidade, resistência à fadiga e ao impacto                                                                              | -                                          |
| Manobrabilidade        | Transmitir forças aos <i>trucks</i> e aloca-los, acomodar os pés e reduzir o peso | Rigidez e flexibilidade combinadas (memória elástica), resistência à fadiga e ao impacto, resistência específica e rigidez | Largura e permitir união com outras partes |
| Estabilidade           | Absorver choques, transmitir firmeza aos pés e separar os <i>trucks</i>           | Flexibilidade e fricção                                                                                                    | Comprimento                                |
| Velocidade             | -                                                                                 | Rigidez                                                                                                                    | -                                          |
| Durabilidade           | -                                                                                 | Dureza superficial, resistência ao impacto e estabilidade ambiental                                                        |                                            |
| Ampla mercado          | -                                                                                 | Rigidez otimizada                                                                                                          |                                            |
| Apelo visual           | -                                                                                 | Acabamento artístico                                                                                                       | Formato                                    |

Existem muitas combinações de materiais utilizados em *decks*, como materiais termoplásticos com reforço metálico, laminados de madeira e GRP, vide Tabela 3.

Tabela 3 Principais materiais utilizados em *decks* e suas vantagens/desvantagens<sup>[15]</sup>.

| Material                                                | Vantagens                                                                                                                                                                                        | Limitações                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Madeira de fibra curta (carvalho, faia, freixo)         | Rigidez, durabilidade, aceita facilmente as fixações dos <i>trucks</i> e da lixa                                                                                                                 | Susceptível à deformação plástica (empenamento) e ao lasqueamento, deve ser utilizadas apenas as partes lisas da madeira e não é adequado para <i>slalom</i> |
| Laminados de madeira                                    | Pode ser moldada para atender requisitos específicos de rigidez e formato                                                                                                                        | Delaminação pode destruir o <i>deck</i> (especialmente quando iniciada por impacto agudo no <i>nose</i> )                                                    |
| Polyester reforçado com fibras de vidro (ou de carbono) | Pode ser moldado para atender requisitos específicos de rigidez e forma, fácil de moldar, enchimentos podem reduzir o custo mas também impactar algumas propriedades como resistência ao impacto | As fixações dos <i>trucks</i> podem enfraquecer seriamente os <i>decks</i> , dificultando o controle de qualidade                                            |
| Termoplástico injetado                                  | Barato se produzido em larga escala, durável e resistente ao impacto                                                                                                                             | Desempenho limitado (memória elástica)                                                                                                                       |
| Colmeia de alumínio preenchida com resina               | Leveza, rigidez e resistência                                                                                                                                                                    | Caro e de difícil conformação                                                                                                                                |
| Metal (alumínio)                                        | Design limpo e acabamento atrativo                                                                                                                                                               | Pode ocorrer formação de cantos vivos                                                                                                                        |

## 2.5.2 TRUCKS

Os *trucks* demandam que os materiais usados na sua fabricação, tal qual para o *deck*, possuam alta resistência e rigidez específicas, além de resistência ao impacto e possibilidade de conformação em geometrias complexas. Dureza superficial também é desejada, uma vez que se trata de uma peça particularmente exposta a colisões contra outras superfícies, por se localizar embaixo do skate.

Os materiais mais comuns na fabricação dos *trucks* são ligas de alumínio LM25-TF, o equivalente a liga A356-T6 composta por Al-(6,5%-7,5%)Si-(0,20-0,45%)Mg<sup>[26]</sup>, fundidos tanto em cera perdida como em moldes de areia. Outros materiais como ligas de zinco (não adequado para temperaturas muito baixas devido sua temperatura de transição dúctil-frágil), bronze e aço são utilizadas, porém possuem a desvantagem de resultarem em peças mais pesadas<sup>[15]</sup>.

As borrachas amortecedoras localizadas tanto no *pivot* quanto no pino mestre são vitais para o funcionamento do mecanismo de direção. Baixo coeficiente de rigidez, baixa perda por histerese (para que a energia usada na compressão da borracha seja reaproveitada para fazer o conjunto voltar à posição original), baixo

desgaste, resistência ao esmagamento e resistência à fadiga são as propriedades mais desejadas para esse material<sup>[15]</sup>.

Tais borrachas são usualmente feitas em poliuretano e estão disponíveis em diferentes formatos e durezas. A escala de dureza mais utilizada, chamada Escala A (norma ASTM D2240), vai de 0 a 100 pontos, sendo que quanto mais alto o número, mais dura a borracha. Também é utilizada a Escala B de dureza (de mesma norma técnica), que difere da Escala A por apresentar seus valores 20 pontos abaixo dessa escala, uma borracha 100a é equivalente a uma 80b, o que torna possível, escolhas mais granulares e precisas<sup>[27]</sup>.

### 2.5.3 RODAS

As rodas para *skateboard* são tipicamente feitas em poliuretano e variam em tamanho, forma e dureza. A mesma escala A utilizada para os amortecedores do *truck* também é usada para classificar as rodas.

O diâmetro das rodas varia de 48mm a 107mm, sendo que quanto menores, mais lentas e mais apropriadas para manobras pois a mudança de velocidade do conjunto é mais ágil (menor momento de inércia). Rodas maiores são mais estáveis e permitem andar em superfícies mais grosseiras<sup>[28]</sup>.

Anteriormente ao poliuretano, as rodas eram feitas de aço e compósitos borracha/argila ou baquelita, o que tornava o skate barulhento e instável. Materiais duros e diâmetros maiores reduzem o atrito de rolagem, porém diminuem o contato da roda com o solo. O material ideal para rodas deve ter ao mesmo tempo alto coeficiente de rigidez e elevada deformação elástica para se adaptar à rugosidade do piso, o que explica a utilização de elastômeros e a escolha pelo poliuretano, que é o mais rígido dos elastômeros.

Para se obter o melhor poliuretano para rodas, deve-se buscar o material mais rígido que não comprometa a deformação elástica máxima, o que pode limitar a utilização de carga de enchimento para aumentar o módulo de elasticidade. Enchimentos fibrosos, em vez de formas compactas, podem reduzir o efeito da perda de deformação elástica observada em polímeros com carga, embora a utilização de enchimento não seja recomendada, pois pode prejudicar outras propriedades como a resistência ao rasgamento<sup>[15]</sup>.

A Tabela 4 mostra uma comparação de materiais possíveis para rodas, poliamida reforçada com fibra de vidro e dois poliuretanos de durezas diferentes (poliéster-poliuretano e poliéter-poliuretano). Os resultados são mostrados para dois tamanhos de rodas (2 polegadas de diâmetro por 2 polegadas de largura e, entre parênteses, 5 polegadas de diâmetro e 3 polegadas de largura) com o intuito de mostrar o efeito do tamanho das rodas nas propriedades.

A partir dos dados da Tabela 4, pode-se notar que o coeficiente de atrito é consideravelmente menor para materiais rígidos (com maior coeficiente de rigidez), apesar de menores coeficientes de restituição (representa a razão entre as velocidades de distanciamento e de aproximação durante um impacto, ou seja, quanto da energia do impacto é revertida para o objeto), que guardam uma relação inversa com o atrito de rolagem.

A largura de contato, região da roda que efetivamente toca o solo, possui uma relação inversa com o atrito de rolagem pois está relacionada com uma melhor distribuição das forças de contato, reduzindo a região de deformação da roda e, com isso, reduzindo a energia consumida por esse efeito<sup>[15]</sup>.

Tabela 4 Características de atrito e contato para rodas de diferentes tamanhos sob carga de 36kg, resultados para rodas 2" por 2" (valores entre parênteses indicam rodas 5" por 3")<sup>[15]</sup>.

|                                           | Poliuretano<br>(poliéster) | Poliuretano<br>(poliéter) | Poliamida reforçada com<br>fibra de vidro |
|-------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|
| Dureza                                    | 83 Shore A                 | 68-75 Shore D             | 114 Rockwell E                            |
| Módulo de rigidez (MPa)                   | 6                          | 25                        | 31,018                                    |
| Limite de elasticidade à compressão (MPa) | 19                         | 26                        | 55                                        |
| Coeficiente de restituição                | 0,6                        | 0,47                      | 0,1                                       |
| Módulo de rigidez efetivo, $E'$ (MPa)     | 8                          | 30                        | 14,061                                    |
| Máxima tensão de contato                  | 119 (62)                   | 237 (123)                 | 5110 (2640)                               |
| Largura de contato (mm.)                  | 11 (14)                    | 6 (7)                     | 0,3 (0,3)                                 |
| Coeficiente de atrito efetivo, $\mu_R$    | 0,043 (0,022)              | 0,029 (0,015)             | 0,0023 (0,0012)                           |

### 3 OBJETIVO

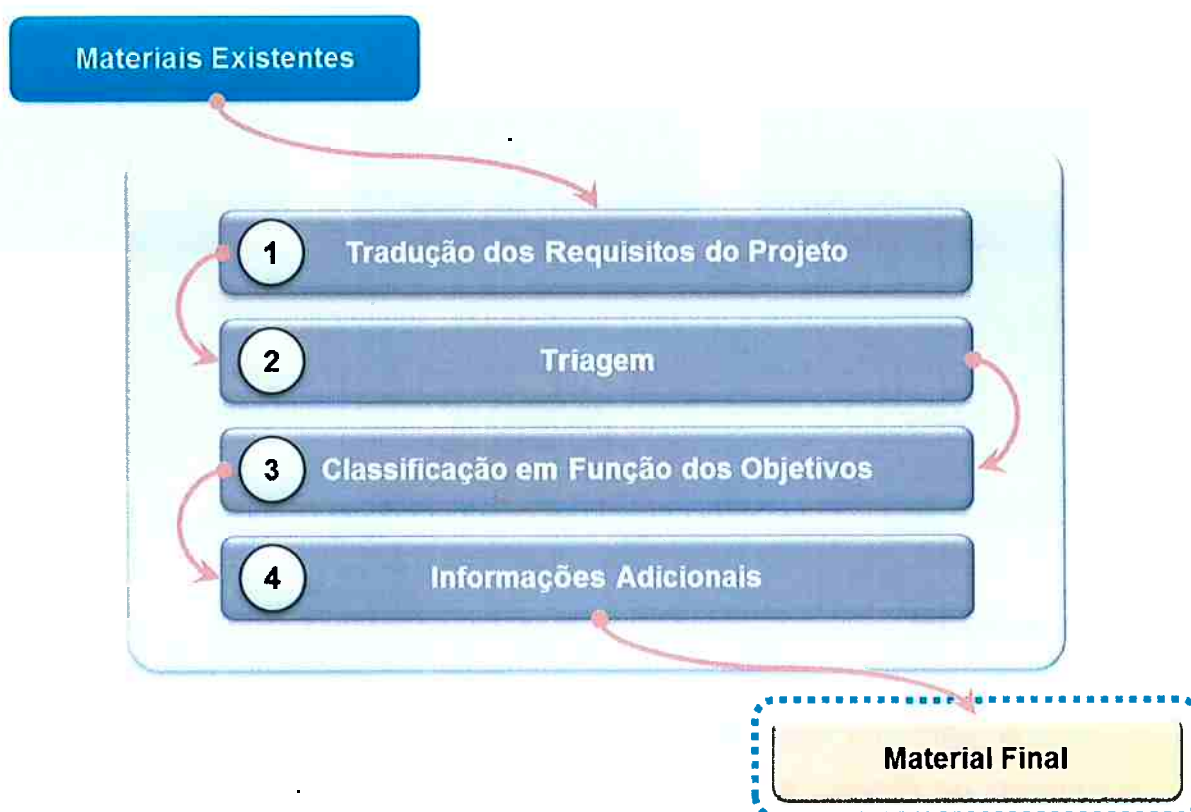
Por meio da metodologia proposta por Ashby<sup>[30]</sup> (descrita a frente) e com auxílio do *software* de materiais CES EduPack 2015, desenvolvimento por *Granta Material Inspiration*, será desenvolvido um estudo de caso para seleção de materiais das partes do skate *deck* e *truck*.

A ideia por trás desse estudo é identificar materiais não utilizados atualmente ou confirmar os utilizados como a melhor escolha, avaliando questões de desempenho e de processamento.

## 4 METOLOGIA

A metodologia a ser aplicada consiste no procedimento de seleção de materiais proposto por Ashby<sup>[29]</sup>, da Universidade de Cambridge. Ashby afirma que um processo de seleção de materiais idôneo deve se dar em quatro etapas, sempre partindo do conjunto de todos os materiais existentes para, então, chegar em uma escolha de material final<sup>[30]</sup>, conforme esquema da Figura 19.

Figura 19 Quatro passos para o processo de seleção de materiais<sup>[30]</sup>.



### 4.1 TRADUÇÃO DOS REQUISITOS DO PROJETO

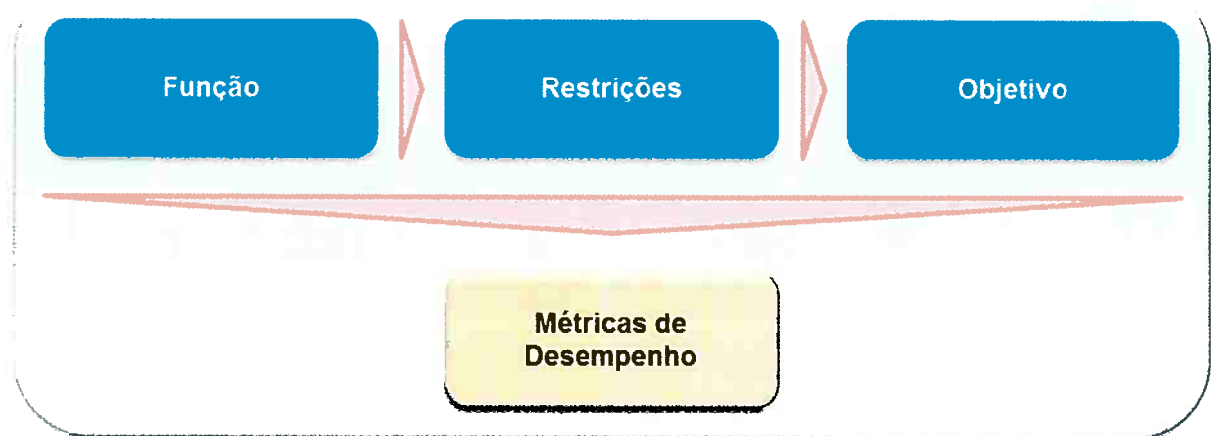
A tradução dos requisitos do projeto consiste em definir a função, as restrições, os objetivos e as variáveis livres na forma de equações e tópicos simples de maneira que permita avaliar objetivamente a capacidade e a seleção de diversos materiais em atender às demandas do projeto<sup>[30]</sup>.

A função do produto deve ser específica e clara para auxiliar na definição das restrições que deverão ser necessariamente atendidas pelos materiais candidatos. As restrições devem ser definidas de modo que seja possível identificar

as propriedades requisitadas para o material, enquanto o objetivo deve deixar claro qual propriedade ou característica se procura maximizar, ou minimizar<sup>[30]</sup>.

Através da descrição qualitativa das restrições e do objetivo, deve-se procurar uma métrica de desempenho do material (índice de desempenho do material) que relacione as propriedades desejadas (restrições) com os objetivos e as variáveis livres do projeto, na forma de equações da física, permitindo comparar materiais distintos através de gráficos de propriedades definidos pelo índice de desempenho dos materiais<sup>[30]</sup>.

Tabela 5 Esquema gráfico do processo de determinação das métricas de desempenho



## 4.2 TRIAGEM

A partir da definição das métricas de desempenho na Tradução dos Requisitos do Projeto, é possível visualizar todos os materiais candidatos em um plano cartesiano, que relacione duas métricas críticas (definidas pelo índice de desempenho dos materiais no caso de restrições simples), dessa maneira poderá se definir quais regiões do gráfico contêm materiais com maior índice de desempenho. Existem atualmente três metodologias distintas para a seleção de materiais: restrição simples e objetivo único; restrições múltiplas e objetivo único; e restrição única e objetivos múltiplos<sup>[30]</sup>.

Para construir os gráficos de propriedades será utilizado o software CES EduPack 2015, desenvolvido por *Granta Material Inspiration*. A identificação de regiões com máximo índice de desempenho de material permite selecionar os materiais candidatos para fabricar a peça, sempre buscando otimização de propriedades.

### 4.3 CLASSIFICAÇÃO EM FUNÇÃO DOS OBJETIVOS

Os materiais candidatos podem ser classificados e ordenados em função do índice de desempenho (para metodologia simples) ou poderão seguir para outras etapas de classificação (no caso de objetivos múltiplos)<sup>[30]</sup>.

Apenas poucos materiais, ou famílias de materiais, seguem para a próxima etapa do processo de seleção.

### 4.4 INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Antes de selecionar um material para dada aplicação, é preciso efetuar uma pesquisa estratégica sobre os materiais candidatos, logística comercial e de distribuição e histórico de utilização. O que se busca nesta etapa são informações adicionais sobre o material de forma a prevenir más escolhas.

Alguns materiais candidatos podem se tornar incompatíveis para a aplicação. É o que ocorre com materiais advindos de fornecedores problemáticos, como países com economia instável, ou que podem se tornar um problema iminente, fornecedores sem licenças ambientais, ocasionando o desbalanceamento da oferta e demanda, o que afeta diretamente a disponibilidade e o preço<sup>[29]</sup>.

Após essa última análise, pode-se, então, selecionar qual o material será utilizado no projeto.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, se buscará implementar a metodologia de seleção de materiais com restrições múltiplas e objetivo único, para eleger os melhores materiais para as partes dos skates: *deck* e *truck*.

A análise será feita focando-se em um skate *longboard*, dado que a pesquisa de preço mostrou um patamar mais elevado para esta modalidade, o que aumenta a abrangência de materiais com viabilidade econômica. No entanto, os resultados obtidos serão uma boa referência para qualquer tipo de skate, dado que as características desejadas são análogas.

A Tabela 6 contém uma análise inicial sobre a tradução dos requisitos do projeto para o *deck* e *truck*, baseada nos dados coletados na revisão bibliográfica.

Tabela 6 Tradução dos requisitos do projeto

|              | Função                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Restrições                                                                                                                                                                                                                                                                 | Objetivo                                                            | Variável Livre                                                                     |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Deck</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suportar o conjunto skate-skatista durante as diferentes situações de utilização</li> <li>- Transmitir força aos <i>trucks</i></li> <li>- Acomodar os pés do skatista de forma estável</li> <li>- Permitir afixação do <i>truck</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistir ao momento fletor máximo aplicado nas diferentes situações de utilização (ser rígido)</li> <li>- Não deformar plasticamente</li> <li>- Resistir ao impacto</li> <li>- Resistir à fadiga</li> <li>- Não riscar</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimizar massa</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Espessura da seção transversal</li> </ul> |
| <i>Truck</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suportar o peso total do conjunto skate-skatista nas diferentes condições de uso</li> <li>- Tornar possível a realização de curvas</li> </ul>                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Não deformar</li> <li>- Ser rígido</li> <li>- Resistir ao impacto</li> <li>- Permitir fabricação de formas complexas</li> </ul>                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimizar massa</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Raio da seção transversal</li> </ul>      |

### 5.1 DECK

As propriedades desejadas se traduzem em (i) módulo de rigidez, (ii) limite de escoamento (resistência à deformação plástica), (iii) limite de resistência à fadiga,

(iv) tenacidade à fratura (resistência à propagação de trincas) e (v) dureza (evitar riscos).

Será utilizado índice de desempenho para o (i) módulo de rigidez e para (ii) limite de escoamento com o objetivo único de minimizar a massa. Já para (iii) limite de resistência à fadiga, (iv) tenacidade à fratura e (v) dureza, serão utilizadas restrições numéricas, essas propriedades deverão ser igual ou superior ao material comumente utilizado hoje em dia para esta aplicação. A variável livre será a área da seção transversal, assumida seção retangular.

|      | Função                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Restrições                                                                                                                                                                                                                                                                 | Objetivo                                                            | Variável Livre                                                                     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Deck | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suportar o conjunto skate-skatista durante as diferentes situações de utilização</li> <li>- Transmitir força aos <i>trucks</i></li> <li>- Acomodar os pés do skatista de forma estável</li> <li>- Permitir afixação do <i>truck</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistir ao momento fletor máximo aplicado nas diferentes situações de utilização (ser rígido)</li> <li>- Não deformar plasticamente</li> <li>- Resistir ao impacto</li> <li>- Resistir à fadiga</li> <li>- Não riscar</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimizar massa</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Espessura da seção transversal</li> </ul> |

### 5.1.1. Restrição de Módulo de Rigidez (índice $M_1$ )

O *deck* se assemelha ao caso de uma placa rígida suspensa em duas extremidades (*trucks*). A equação abaixo descreve a tensão elástica para uma placa de dimensões  $w$  (largura),  $l$  (comprimento) e  $t$  (espessura); em que  $t$  é a variável livre<sup>[31]</sup>:

$$S = \frac{C(E)l}{L^3} = \frac{C(E)(w \cdot t^3)}{l^3 12}$$

Sendo  $S$  a tensão,  $C$  constante,  $I$  momento de inércia e  $E$  módulo de rigidez. A massa do *deck* pode ser calculada aproximadamente por:

$$m = (w \cdot t) \cdot l \cdot (\rho)$$

Sendo  $\rho$  a densidade do material.

Dessa maneira, a massa pode ser reescrita por:

$$m = \left( \frac{12l^6 w^2}{C} S \right)^{1/3} \left( \frac{\rho}{E^{1/3}} \right)$$

Para minimizar a massa, deve-se procurar maximizar o índice  $M_1 = \frac{E^{1/3}}{\rho}$ .

### 5.1.2. Restrição de Resistência (índice $M_2$ )

A tensão ( $\sigma$ ) na fibra inferior do *deck* causada pelo momento fletor ( $M$ ) deve ser menor ou igual ao limite de escoamento ( $\sigma_y$ ), para que o skate não se deforme plasticamente<sup>[32]</sup>:

$$\sigma = \frac{-M t}{I} \frac{1}{2} = \frac{-6M}{wt^2}$$

Analogamente ao índice anterior, pode-se relacionar tensão e massa para obter um novo índice de desempenho a ser maximizado para que a massa seja reduzida,  $M_2 = \frac{\sigma_y^{1/2}}{\rho}$ <sup>[30]</sup>:

$$m = (-6Mwl^2)^{1/2} \left( \frac{\rho}{\sigma_y^{1/2}} \right)$$

Logo, os índices podem ser relacionados por meio da massa:

$$M_1 = \left( \frac{-2wS^3}{3l^2C^2M^3} \right) M_2$$

Rearranjando pela massa, temos a reta:

$$\text{Log } M_1 = \text{log } M_2 + \frac{1}{6} \log \left( \frac{-2wS^3}{3l^2C^2M^3} \right)$$

Tal equação relaciona o índice  $M_1$  com o índice  $M_2$  por meio de uma reta com coeficiente de inclinação 1. Essa reta é denominada reta de iso-desempenho, materiais localizados sobre essa reta possuem o mesmo desempenho em  $M_1$  e  $M_2$ .

Antes de determinar o gráfico de desempenho, tem-se que definir o valor do coeficiente de acoplamento,  $\frac{1}{6} \log \left( \frac{-2wS^3}{3l^2C^2M^3} \right)$ , que tornará possível desenhar as retas de iso-desempenho.

De modo a simplificar a análise, foi traçada uma reta de iso-desempenho com inclinação 1 tangenciando a região das madeiras de fibra curta (carvalho, faia, freixo e laminados de madeira), de modo que foi considerado o limite inferior de propriedades para esse conjunto.

### 5.1.3. Restrições Numéricas

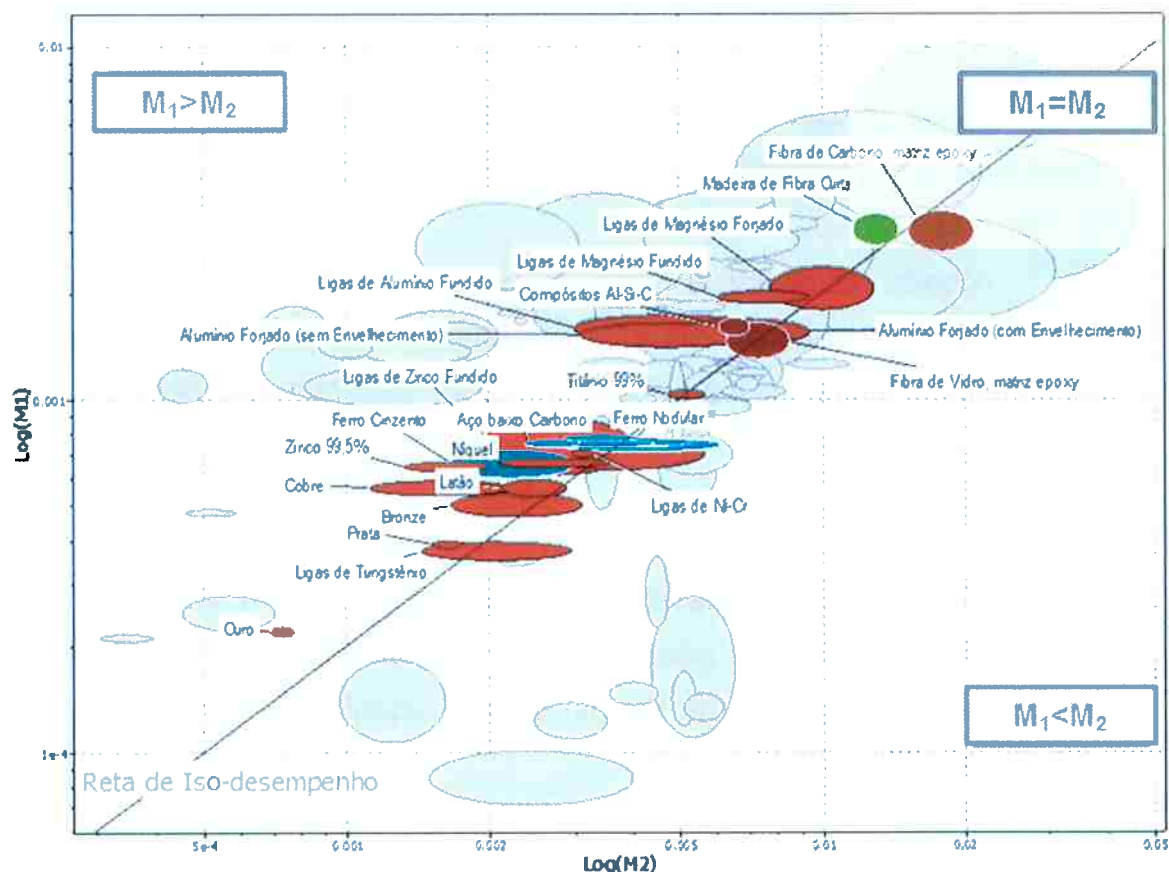
O material atualmente utilizado em decks é o laminado de madeira (*wood veneer*) que aparece no software entre as madeiras de fibra curta, vide propriedades na Tabela 7:

Tabela 7 Propriedades de madeiras de fibra curta (*hardwood*), destaque para as restrições numéricas

|                                                   | Laminado de madeira |           |
|---------------------------------------------------|---------------------|-----------|
|                                                   | Mín.                | Máx.      |
| Densidade (kg/m³)                                 | 850                 | 1.030     |
| Módulo de Rigidez (GPa)                           | 21                  | 25        |
| Limite de Escoamento (MPa)                        | 43                  | 52        |
| Limite de Resistência à Tração (MPa)              | 132                 | 162       |
| <b>Limite de Resistência à Fadiga (MPa)</b>       | <b>42</b>           | <b>52</b> |
| <b>Tenacidade à fratura (MPa.m<sup>1/2</sup>)</b> | <b>9</b>            | <b>10</b> |
| <b>Dureza Vickers (HV)</b>                        | <b>13</b>           | <b>16</b> |

Desse modo, aplicando-se as restrições numéricas e os índices de desempenho, obteve-se a Figura 20 como solução para o caso de restrições múltiplas e objetivo único conjuntamente com as restrições numéricas.

Figura 20 Materiais candidatos para decks.



A Figura 20 mostra um gráfico que relaciona em os índices  $M_1$  e  $M_2$  na escala logarítmica para diferentes materiais que atendem às restrições numéricas, os materiais em cinza falharam ao menos em uma das restrições. A região amarela do gráfico mostra os materiais superiores aos laminados de madeira tanto em  $M_1$  quanto em  $M_2$ .

Embora a fibra de carbono tenha mostrado desempenho similar à das madeiras de fibra curta para valores de  $M_1$ , quando analisada a amplitude de valores de  $M_2$ , pode-se constatar que o desempenho da fibra de carbono é superior nesse índice. À partir dos materiais candidatos, foram selecionados três, de acordo com o melhor desempenho, Tabela 8:

Tabela 8 Materiais selecionados para *decks*.

|                                   | Densidade<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Módulo de<br>Rigidez<br>(GPa) | Limite de<br>Escoamento<br>(MPa) | Limite de<br>Resistência<br>à Tração<br>(Mpa) | Limite de<br>Resistência<br>à Fadiga<br>(Mpa) | Tenacidade<br>à fratura<br>(MPa.m <sup>1/2</sup> ) | Dureza<br>Superficial<br>(HV) |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|
| Fibra de carbono,<br>matriz epoxy | 1.500-1.600                       | <b>69-150</b>                 | <b>550-1.050</b>                 | <b>550-1.050</b>                              | <b>150-300</b>                                | <b>6-20</b>                                        | 11-22                         |
| Madeira de fibra curta            | <b>850-1.030</b>                  | 21-25                         | 43-52                            | 132-162                                       | 42-52                                         | 9-10                                               | 13-16                         |
| Ligas de Mg forjado               | 1.500-1.950                       | 42-47                         | 115-410                          | 185-450                                       | 90-225                                        | 12-18                                              | <b>43-135</b>                 |

A partir da Tabela 8, pode-se constatar que, para os sete parâmetros analisados, a fibra de carbono em matriz epoxy apresentou o melhor valor em cinco deles, sendo muitas vezes superior às propriedades dos outros materiais candidatos. Dessa maneira, só resta analisar a disponibilidade da fibra de carbono no mercado.

Através de pesquisa realizada em 13/11/2015 no *website* NEI – Guia de Produtos e Fornecedores Industriais<sup>[33]</sup>, foram encontrados 23 fornecedores deste material, o que caracteriza a disponibilidade em mercado nacional.

## 5.2 TRUCK

As propriedades desejadas se traduzem em (i) limite de escoamento (resistência à deformação plástica), (ii) módulo de rigidez, (iii) tenacidade à fratura (resistência à propagação de trincas) e (iv) moldabilidade (permitir a fabricação de formas complexas).

Analogamente ao estudo do *deck*, será utilizado índice de desempenho para (i) limite de escoamento e (ii) módulo de rigidez, com o objetivo único de minimizar a massa.

Para (iii) tenacidade à fratura e (iv) moldabilidade, serão utilizadas restrições numéricas, as propriedades devem ser no mínimo igual ou superior ao material comumente utilizado hoje em dia para esta aplicação, liga de alumínio 356-T6. A variável livre será o raio do *hanger*, assumido cilíndrico.

|              | Função                                                                                                                                                                                 | Restrições                                                                                                                                                               | Objetivo                                                            | Variável Livre                                                                |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Truck</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suportar o peso total do conjunto skate-skatista nas diferentes condições de uso</li> <li>- Tornar possível a realização de curvas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Não deformar</li> <li>- Ser rígido</li> <li>- Resistir ao impacto</li> <li>- Permitir fabricação de formas complexas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimizar massa</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Raio da seção transversal</li> </ul> |

### 5.2.1. Restrição de Resistência (índice $M_3$ )

A tensão ( $\sigma$ ) na fibra inferior do *hanger* (forma cilíndrica) causada pelo momento fletor ( $M$ ) deve ser menor ou igual ao limite de escoamento ( $\sigma_y$ ), para que o *hanger* não se deforme plasticamente<sup>[32]</sup>:

$$\sigma = \frac{Mr}{I} = \frac{4M}{\pi r^3}$$

A massa do *hanger* pode ser calculada aproximadamente por:

$$m = (\pi r^2)(l)(\rho)$$

Sendo  $\rho$  a densidade do material.

Dessa maneira, a massa pode ser reescrita por:

$$m = \left[ l \pi \left( \frac{4M}{\pi} \right)^{2/3} \right] \left( \frac{\rho}{\sigma_y^{2/3}} \right)$$

Para minimizar a massa, deve-se procurar maximizar o índice  $M_3 = \frac{\sigma_y^{2/3}}{\rho}$ .

### 5.2.2. Restrição de Rigidez (índice $M_4$ )

O *hanger* se assemelha ao caso de um cilindro suspenso em duas extremidades (rodas) com carga concentrada no centro (pino mestre – *kingpin*). A

equação abaixo descreve a tensão elástica para um cilindro de dimensões  $l$  (comprimento) e  $r$  (raio); em que  $r$  é a variável livre<sup>[31]</sup>:

$$S = \frac{C(E)I}{L^3} = \frac{C(E)(\pi r^4)}{l^3 4}$$

Sendo  $S$  a tensão,  $C$  constante,  $I$  momento de inércia e  $E$  módulo de rigidez.

A massa do *hanger* pode ser calculada aproximadamente por:

$$m = (\pi r^2)(l)(\rho)$$

Sendo  $\rho$  a densidade do material.

Dessa maneira, a massa pode ser reescrita por:

$$m = \left[ 2 \left( \frac{Sl^5\pi}{C} \right)^{1/2} \right] \left( \frac{\rho}{E^{1/2}} \right)$$

Para minimizar a massa, deve-se procurar maximizar o índice  $M_4 = \frac{E^{1/2}}{\rho}$ .

Ambas os índices  $M_3$  e  $M_4$  podem ser relacionados pela massa da seguinte maneira:

$$M_3 = \left( \frac{4M^4C^3}{\pi l^9 S^3} \right)^{1/6} M_4$$

Rearranjando pela massa, temos a reta:

$$\log M_3 = \log M_4 + \frac{1}{6} \log \left( \frac{4M^4C^3}{\pi l^9 S^3} \right)$$

Tal equação relaciona o índice  $M_3$  com o índice  $M_4$  por meio de uma reta com coeficiente de inclinação 1. Essa reta é denominada reta de iso-desempenho, materiais localizados sobre essa reta possuem o mesmo desempenho em  $M_3$  e  $M_4$ .

Antes de determinar o gráfico de desempenho, tem-se que definir o valor do coeficiente de acoplamento,  $\frac{1}{6} \log \left( \frac{4M^4C^3}{\pi l^9 S^3} \right)$ , que tornará possível desenhar as retas de iso-desempenho.

Será utilizado o mesmo artifício que usou-se para o *deck*, sendo traçada uma reta de iso-desempenho com inclinação 1 tangenciando a região das ligas de alumínio fundido, de modo que foi considerado o limite inferior de propriedades para esse conjunto.

### 5.2.3. Restrições Numéricas

O material atualmente utilizado em *trucks* são ligas de alumínio LM25-TF, o equivalente a liga A356-T6 composta por Al-(6,5%-7,5%)Si-(0,20-0,45%)Mg. No software esse material aparece apenas como ligas de alumínio fundido, vide propriedades na Tabela 9:

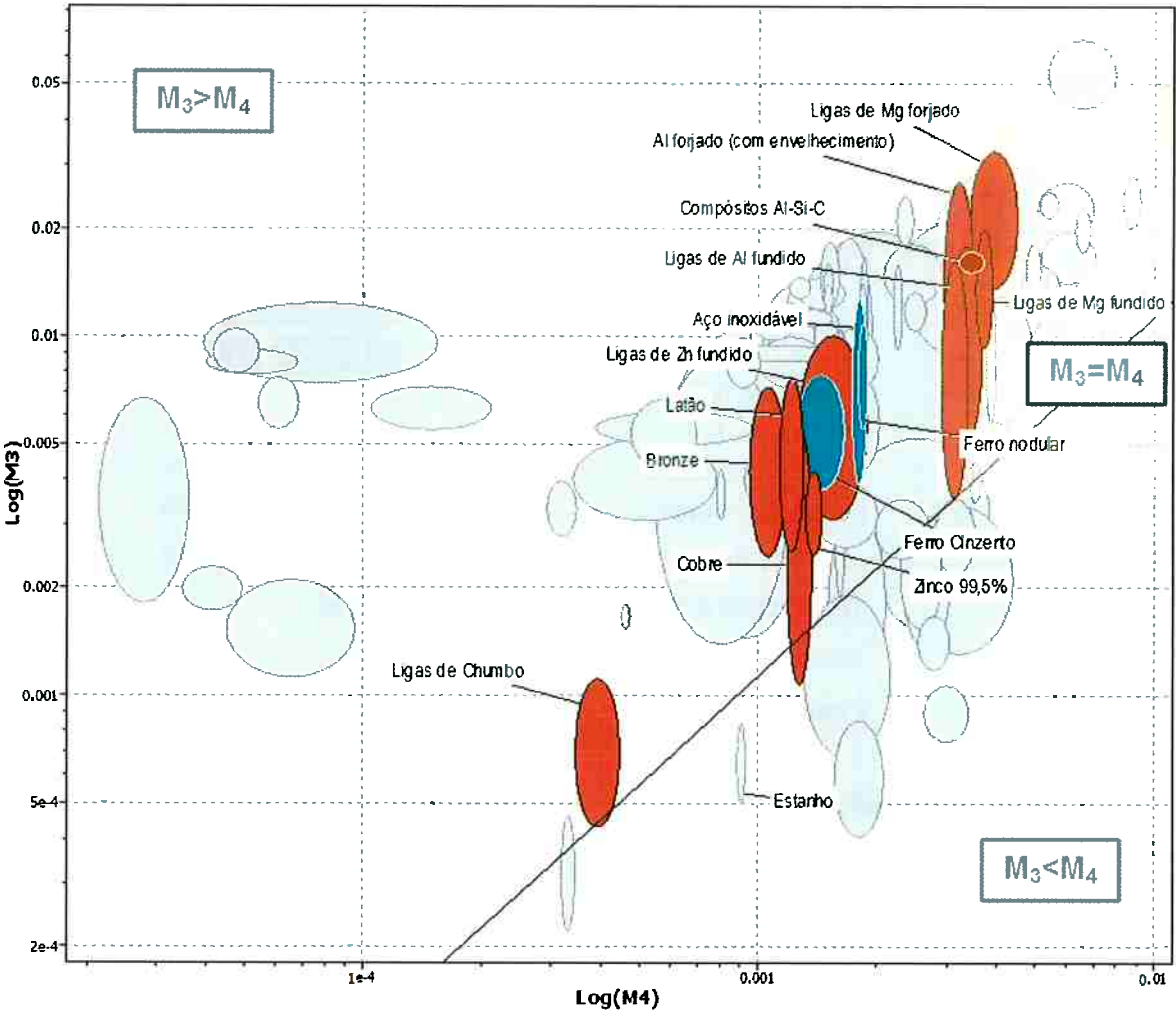
Tabela 9 Propriedades das ligas de alumínio, destaque para as restrições numéricas.

|                                                   | Ligas de Alumínio |           |
|---------------------------------------------------|-------------------|-----------|
|                                                   | Mín.              | Máx.      |
| Densidade (kg/m³)                                 | 2.500             | 2.900     |
| Módulo de Rigidez (GPa)                           | 72                | 89        |
| Limite de Escoamento (MPa)                        | 50                | 330       |
| Limite de Resistência à Tração (MPa)              | 65                | 386       |
| Limite de Resistência à Fadiga (MPa)              | 32                | 157       |
| <b>Tenacidade à Fratura (MPa.m<sup>1/2</sup>)</b> | <b>18</b>         | <b>35</b> |
| Dureza Vickers (HV)                               | 60                | 150       |
| <b>Fundibilidade</b>                              | <b>4</b>          | <b>5</b>  |

Fundibilidade é uma tradução livre da propriedade *castability* descrita no CES EduPack 2015 como a facilidade de processamento por fundição, levando em conta fluidez, contração, entre outros parâmetros de fundição (sendo 1 = processamento impraticável e 5 = excelente processamento). Através dessa propriedade será avaliada a capacidade de fabricação de formas complexas.

Aplicando todas as restrições numéricas, obteve-se o seguinte gráfico de desempenho, Figura 21:

Figura 21 Materiais candidatos para *trucks*.



A Figura 21 mostra um gráfico que relaciona em os índices  $M_3$  e  $M_4$  na escala logarítmica para diferentes materiais que atendem às restrições numéricas, os materiais em cinza falharam ao menos em uma das restrições. A região amarela do gráfico mostra os materiais superiores às ligas de alumínio tanto em  $M_3$  quanto em  $M_4$ . A partir dos materiais candidatos, foram selecionados quatros, de acordo com o melhor desempenho, Tabela 10:

Tabela 10 Desempenho dos materiais candidatos para *trucks*

|                                    | Densidade<br>(kg/m³) | Módulo de<br>Rigidez<br>(GPa) | Limite de<br>Escoamento<br>(MPa) | Limite de<br>Resistência<br>à Tração<br>(Mpa) | Limite de<br>Resistência<br>à Fadiga<br>(Mpa) | Tenacidade<br>à Fratura<br>(MPa.m <sup>1/2</sup> ) | Dureza<br>Superficial<br>(HV) | Fundibilidade |
|------------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|---------------|
| Ligas de Mg forjado                | 1.500-1.950          | 42-47                         | 115-410                          | 185-450                                       | 90-225                                        | 12-18                                              | 43-135                        | 4-5           |
| Compósitos Al-Si-C                 | 2.660-2.900          | 81-100                        | 280-324                          | 290-365                                       | 50-110                                        | 15-24                                              | 70-140                        | 3-4           |
| Al forjado (com<br>envelhecimento) | 2.500-2.900          | 68-80                         | 95-610                           | 180-620                                       | 57-210                                        | 21-35                                              | 60-160                        | 4-5           |
| Ligas de Al fundido                | 2.500-2.900          | 72-89                         | 50-330                           | 65-386                                        | 32-157                                        | 18-35                                              | 60-150                        | 4-5           |

Embora o melhor material que atende às restrições numéricas e com maior desempenho pelo critério dos índices seja as ligas de magnésio forjado, esse material possui a menor resistência à fratura de todos os selecionados, característica altamente desejável nos *trucks*.

Por isso, o material selecionado foi aquele que apresentou melhor desempenho em quatro das oito propriedades analisadas, o alumínio forjado com endurecimento por envelhecimento. Os compósitos de carbonetos de Al-Si em matriz metálica apresentaram a segunda melhor desempenho em termos de índices, porém a sua fundibilidade é mais problemática que a de todos os outros materiais.

O forjamento de alumínio com posterior tratamento de envelhecimento, que consiste em se solubilizar todos os precipitados para que durante a etapa de envelhecimento se precipite de forma controlada, aumentando a resistência do material<sup>[34]</sup>, é um processo conhecido da metalurgia, sendo, então, um material final viável.

Vale notar que a liga de alumínio A356-T6, possui o mesmo tratamento térmico que o material encontrado, diferindo-se por um ser fundido enquanto a liga selecionada deve ser forjada.

### 5.3. RODAS

Finalmente, não foi realizado um estudo para a seleção dos materiais das rodas. As rodas apresentam um sistema tribológico, em que o atrito não é apenas determinado pelo material que as compõem, mas sim, pelo conjunto de superfícies e particulados que fazem parte desse sistema<sup>[30]</sup>.

Dessa forma, para determinar um material para rodas deve-se levar em conta o comportamento dos materiais candidatos sobre as diversas superfícies como asfalto, concreto, madeira, paralelepípedos etc.

Além disso, as rodas perdem energia por atrito de rolamento, fazendo necessária a análise do coeficiente de restituição do material, que quanto mais próximo de 1, menos energia é consumida durante sua deformação elástica<sup>[15]</sup>. Não se realizou um estudo de seleção de materiais para as rodas devido à dificuldade de se considerar os diferentes sistemas tribológicos na análise.

## 6 CONCLUSÕES

- a) O estudo de seleção de materiais para skates foi realizado em duas partes, uma para determinar o melhor material para fabricação de *decks* e outra para identificar o melhor material para *trucks*.
- b) O estudo de seleção de materiais para *decks*, com o auxílio do *software Granta CES EduPack*, demonstrou que o melhor material com o objetivo de se minimizar a massa foi a fibra de carbono em matriz epoxy, que apresentou desempenho superior ao laminado de madeira em quase todas as propriedades observadas, exceto densidade.
- c) Embora mais densa do que o laminado de madeira, a fibra de carbono possui propriedades mecânicas muito superiores a esses materiais, destacando-se o módulo de rigidez, o limite de escoamento, o limite de resistência à tração e a tenacidade à fratura.
- d) Já o estudo de seleção de materiais para *trucks*, mais especificamente para os *hangers* que compõem os *trucks*, identificou-se as ligas de alumínio forjado com tratamento de endurecimento por envelhecimento como o melhor material. Suas vantagens em relação à liga de alumínio fundido A356-T6 atualmente utilizada consistem em melhores limite de escoamento, limite de resistência à tração e limite de resistência à fadiga, o que permite otimizar a massa do conjunto e aumentar a confiabilidade da peça.
- e) Embora as ligas de magnésio forjado tenham mostrado melhor combinação de propriedades para minimizar a massa através dos índices de desempenho, tal material não foi selecionado, pois apresentou a menor tenacidade à fratura entre os 4 melhores materiais em análise. Tal propriedade é decisiva na vida útil de *trucks* uma vez que essa parte sofre duros impactos durante a utilização.

## **7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- a) Não foram analisadas como soluções geométricas poderiam interferir no projeto, podendo minimizar as demandas por propriedades mecânicas e, assim, reduzir as dimensões e a massa dos componentes.
- b) Além dessa análise, a seleção de materiais para rodas e para equipamentos de proteção, não abordados nesse trabalho, ficam de sugestão para trabalhos futuros.

## APÊNDICE

# Pesquisa de Esportes na Poli

\*Obrigatório

Qual sua idade? \*

Sexo: \*

- ☐ Feminino  
☐ Masculino

Pratica qual esporte? \*

\* é permitido assinalar mais de uma alternativa

- ☐ Volei  
☐ Futebol  
☐ Futsal  
☐ Street Skate  
☐ Longboard Skate  
☐ Atletismo  
☐ Basquete  
☐ Arte Marcial  
☐ Tênis  
☐ Natação  
☐ Rugby  
☐ Nenhum  
☐ Outro:

Com qual frequência? \*

- ☐ Regularmente  
☐ Ocasionalmente  
☐ Profissionalmente  
☐ Raramente  
☐ Não Pratico

Para skatistas apenas, com que frequência andam de skate? \*

- ☐ Diariamente  
☐ Semanalmente  
☐ Mensalmente  
☐ Raramente  
☐ Não ando de skate

## REFERÊNCIAS

1. GASPARIN, G. Número de academias no país sobre mais de 3 vezes em 6 anos. **G1 Notícias**, p. 1, 15 jan. 2014a.
2. HAYDÉE, L. Brasil é o segundo em número de academias. **Ativo - Pratique Esporte**, p. 1, ago. 2015b.
3. KWASNICKA, K. **FiSA 2015: Principal encontro latino-americano da indústria de ingredientes alimentícios, de 25 a 27 de agosto**. Disponível em: <<http://www.abenutri.org/fisa-2015/>>. Acesso em: 28 set. 2015c.
4. BARROS, M. Torpedo aquático. **Istoé independente**, p. 1, 2004d.
5. CALZA, P. C. **SKATE: Sistema de Preparação do desportista de competição**. [s.l.] Faculdade de Educação Física da Universidade Estadual de Campinas, 2007e.
6. CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE SKATE. **História do Skate no Mundo**. Disponível em: <<http://www.cbsk.com.br/paginas/historia-do-skate-no-mundo>>. Acesso em: 2 set. 2015f.
7. CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE SKATE. **Principais Conquistas de Skatistas Brasileiros**. Disponível em: <<http://www.cbsk.com.br/paginas/principais-conquistas-de-skatistas-brasileiros>>. Acesso em: 10 set. 2015g.
8. ARAKAKI, S. **Dados do Skate**. Disponível em: <<https://fgskt.wordpress.com/dados-do-skate/>>. Acesso em: 1 ago. 2015h.
9. THE WORLD BANK. **Total Population**. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>>. Acesso em: 20 out. 2015i.
10. DATAFOLHA, I. D. P. Praticantes de skate: Penetração nos lares brasileiros. p. 1–21, 2009j.
11. CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE SKATE. **Modalidades**. Disponível em: <<http://www.cbsk.com.br/>>. Acesso em: 8 set. 2015k.
12. SILVA, J. E. DA. Benefícios do skate nas aulas de educação física escolar, para os alunos do ensino fundamental ii. p. 29, 2009l.
13. PRENTISS, A. M. et al. Get Rad! The Evolution of the Skateboard Deck. **Evolution: Education and Outreach**, v. 4, n. 3, p. 379–389, 2011m.
14. LINKE, G. W. Innovative Design□: Design of a Press System and Molds to Produce a Skateboard Deck . 2011n.
15. WATERMAN, N.; CREASE, A. Skateboards—a triumph of materials technology. **International Journal of Materials in Engineering ...**, v. 1, n. September, p. 7–12, 1978o.

16. TITÃO. **Qual amortecedor escolhe para seu skate.** Disponível em: <<http://www.oskate.com.br/qual-amortecedor-escolher-para-seu-skate/>>. Acesso em: 8 nov. 2015p.
17. DE, S. ET AL. **Finite Element Analysis Of a Skateboard Truck** MANE 4240 & CIVIL 4240 - Introduction to Finite Element - Major Project 10. Troy, NY, USA: [s.n.]. Disponível em: <[http://homepages.rpi.edu/~des/skateboard truck.pdf](http://homepages.rpi.edu/~des/skateboard%20truck.pdf)>.
18. ABE, G. **Sobreskate.** Disponível em: <<https://www.youtube.com/user/SobreSkate/about>>. Acesso em: 21 out. 2015r.
19. ABE, G. **Como montar roda e rolamento de skate.** Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Ekx5yY-NxP4>>. Acesso em: 21 out. 2015s.
20. ABE, G. **Como escolher uma roda para seu skate - canal sobreskate.** Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=xB5MmL4S\\_ko](https://www.youtube.com/watch?v=xB5MmL4S_ko)>. Acesso em: 21 out. 2015t.
21. SKATE NO COMANDO. **Confira Algumas Marcas do Skate Nacional e Internacional.** Disponível em: <<http://skatenocomando.blogspot.com.br/2014/03/confira-algumas-marcas-do-skate.html>>. Acesso em: 10 nov. 2015u.
22. CASA DO SKATISTA. **Skate Completo.** Disponível em: <<http://www.casadoskatista.com.br/skate-completo>>. Acesso em: 10 nov. 2015v.
23. MONSTER SPORTS. **Skate Completo.** Disponível em: <[http://www.monstersports.com.br/navegacao.php?ordena=preco\\_d&agrupador\\_busca=37](http://www.monstersports.com.br/navegacao.php?ordena=preco_d&agrupador_busca=37)>. Acesso em: 10 nov. 2015w.
24. CASA DO SKATISTA. **Longboard Completo.** Disponível em: <<http://www.casadoskatista.com.br/longboard-completo---?sort=%2Bpreco>>. Acesso em: 10 nov. 2015x.
25. MONSTER SPORTS. **Longboard Completo.** Disponível em: <[http://www.monstersports.com.br/navegacao.php?ordena=preco\\_a&categoria\\_busca=179](http://www.monstersports.com.br/navegacao.php?ordena=preco_a&categoria_busca=179)>. Acesso em: 10 nov. 2015y.
26. MOREIRA, M. F. Ligas de alumínio para fundição. p. 1–38, [s.d.].
27. WAREHOUSE SKATEBOARDS. **Choosing the Right Skateboard Bushings for Trucks.** Disponível em: <<https://www.warehouseskateboards.com/help/Skateboard-Bushings-Buying-Guide>>. Acesso em: 9 nov. 2015aa.
28. WAREHOUSE SKATEBOARDS. **Longboard-Skateboard Wheels Buying Guide.** Disponível em: <<https://www.warehouseskateboards.com/help/Longboard-Skateboard-Wheels-Buying-Guide>>. Acesso em: 10 nov. 2015ab.
29. ASHBY, M. Translating Requirements into Constraints and Objectives. p. 1–22, 2012ac.
30. ASHBY, M. F. Materials Selection in Mechanical Design Third Edition. **Design**, p. 624, 2005ad.

31. ASHBY, M. Useful Solutions for Standard Problems. n. July, p. 1–37, 2010ae.
32. DE, S.; DE, O. Tensões de Flexão nas Vigas Vigas consideradas no nosso estudo de flexão Flexão Pura e Flexão Não-Uniforme. p. 1–20, 2003af.
33. NEI - GUIA DE PRODUTOS E FORNECEDORES INDUSTRIAIS. **Pesquisa Fibra de Carbono e Grafite**. Disponível em: <<http://www.nei.com.br/fornecedores/fibra-de-carbono-e-grafite?id=3faf2bfd-5635-11e4-86da-b8ac6f8335df>>. Acesso em: 13 nov. 2015ag.
34. MACHADO, I. **Introdução à Manufatura Mecânica – PMR 2202 – Tratamentos Térmicos e de Superfície**, [s.d.].