

Centro Federal de Educação tecnológica de Minas Gerais

Estudo Comparativo das propriedades mecânicas do Quadro de Bicicletas, Fabricados com Alumínio, Titânio, e aço

Fernando Amaral Marques

Belo Horizonte 2013

Fernando Amaral Marques

Estudo Comparativo das propriedades mecânicas do Quadro de Bicicletas, Fabricados com Alumínio, Titânio, e aço

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do bacharelado em Engenharia
de materiais.

Orientador Hermes de Souza da Costa

Co- Orientadora Adriana Batista de Souza Medeiros

Belo Horizonte 2013

Fernando Amaral Marques

Estudo Comparativo das propriedades mecânicas do Quadro de Bicicletas, Fabricados com Alumínio, Titânio, e Aço

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do bacharelado em Engenharia de Materiais.

Orientador Hermes de Souza Costa

Co- Orientadora Adriana Batista de Souza Medeiros

Aprovado em

Banca Examinadora

Hermes de Souza Costa

Adriana de Souza Medeiros Batista

Ezequiel de Souza Costa Junior

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos que me ajudaram e tornaram possível essa conquista.

A minha família que sempre me deu apoio financeiro e moral, incentivando a concluir mais esta etapa.

A minha namorada, Camila que sempre esteve ao meu lado me dando suporte e ajudando nos momentos difíceis.

Aos meus amigos, pois aprendi muito com eles, e tive muitos momentos de alegria e diversão.

Aos meus amigos do curso de engenharia de materiais que sempre me ajudavam a esclarecer dúvidas fazer trabalhos, e também nas diversas comemorações ao longo do curso

A professora Adriana de Souza que me ajudou com a idéia do trabalho, a coletar dados, a finalizar o trabalho e sempre esteve a disposição.

Ao professor Hermes de Souza que aceitou a tarefa de ser meu orientador e sempre foi muito educado.

E ao CEFET-MG que me forneceu toda estrutura durante o ensino médio e posteriormente ao ensino superior e me deu toda base de conhecimento e experiência para que eu alcance o sucesso.

RESUMO

Os quadros de bicicleta têm grande importância na segurança, no custo e desempenho de atleta, motivo este que torna de grande relevância um estudo abordando os tipos de materiais utilizados na construção de quadros e suas propriedades. Um quadro de bicicleta deve possuir boa resistência mecânica, resistência ao impacto, à fadiga à corrosão e baixo peso. Entre os materiais utilizados comercialmente ganham destaque o alumínio e o aço, geralmente utilizados em bicicletas de baixo custo, e o titânio e os compósitos de fibra de carbono utilizados para bicicletas de elevado desempenho, frequentemente utilizadas por atletas profissionais. Neste trabalho foi realizada pesquisa na literatura científica para encontrar os valores de densidade, resistência a fadiga, ao impacto e a tração dos materiais citados e suas ligas mais utilizadas em quadros de bicicleta e posteriormente análise comparativa, evidenciando as vantagens e desvantagens do uso de cada material.

Palavras chaves: Quadro de bicicleta, titânio, alumínio, aço, fibra de carbono.

ABSTRACT

The bicycle frames, has great importance in safety, cost and performance of the athlete, this reason makes a study of great relevance addressing the types of materials used in building frames and properties. A bicycle frame must possess good mechanical strength, impact resistance, fatigue corrosion and low weight. Among the materials used commercially are highlighted aluminum and steel usually used in bicycle low cost, and titanium and carbon fiber composites used for bicycles expensive, frequently used by professional athletes. Will made a search on different sources to find the values of density, resistance to fatigue, impact and tensile materials cited and their alloys used in most bike frames and later comparative analysis, showing the advantages and disadvantages of using each material.

Keywords: bicycle frame, titanium, aluminum, steel.

Lista de figuras

Figura 1 - Bicicleta projetada por Da Vinci.....	15
Figura 2- Bicicleta de 1790	15
Figura 3 - Bicicleta draisiana	16
Figura 4 - Modelo de bicicleta de 1870.....	16
Figura 5 - Bicicleta utilizada atualmente.....	17
Figura 6 - Bicicleta para Mountain bike.....	19
Figura 7 - Bicicleta utilizada para ciclismo de estrada	20
Figura 8 - Ensaio de fadiga.....	29
Figura 9 - Corpos de prova ensaiados em diferentes temperaturas.	31
Figura 10 - Ensaio Charpy	33

Lista de gráficos

Grafico 1 - Curva S-N.....	28
Grafico 2 - curva de temperatura dúctil frágil para materiais com e sem entalhe.....	32
Grafico 03: Resumo comparativo das propriedades mecânicas do Ti-cp, Ti-6Al-4V e Ti-3Al- 2,5V.....	44
Gráfico 04 : Gráfico comparativo das ligas de alumínio 6061 e 7005.....	51
Gráfico 05: Tabela comparativa das propriedades dos aços AISI 1050, AISI 4130 e AISI 8740	60
Gráfico 06: Gráfico comparativo do Ti-6AL-4V, AISI 4130 e AA 6061.....	63

Lista de tabela

Tabela 01 : Propriedades mecânicas dos compósitos de fibra de carbono	36
Tabela 02: Teor de elementos presentes na liga de titânio	38
Tabela 03 : Característica da liga Ti-3Al-2.5V	39
Tabela 04 Características da liga Ti-6Al-4V.....	40
Tabela 05: Propriedades do titânio Cp	41
Tabela 06: Porcentagem dos elementos químicos presente no Ti-Cp	41
Tabela 07: Tabela comparativa entre o titânio e suas ligas.....	42
Tabela 08: Elementos químicos e suas quantidades presentes na liga AA6061.....	45
Tabela 09: Propriedades mecânica da liga 6061.....	47
Tabela 10: Elementos químicos presentes na liga AA7005	48
Tabela 11: Propriedades mecânicas da liga 7005	49
Tabela 12: Tabela comparativa das propriedades das ligas de alumínio.....	50
Tabela 13: Classificação dos aços carbonos:	52
Tabela 14: Propriedades do aço carbono AISI 1050	54
Tabela 15: Elementos presentes no AISI 4130	55
Tabela 16: Propriedades do aço carbono AISI 4130	56
Tabela 17: Elementos presentes no AISI8740	57
Tabela 18: Propriedades do aço carbono AISI 8740	58

Tabela 19: Comparativa das propriedades dos aços AISI 1050, AISI 4130 e AISI 8740.	59
Tabela 20: Comparação entre aço, titânio e alumínio.....	61

Sumario

1 Introdução	12
2 Objetivos	14
3 Revisão bibliográfica	15
3.1 Historico	15
3.2 Alguns esportes utilizando bicicletas	17
3.2.1 Mountain bike	18
3.2.2 Ciclismo de estrada	19
3.2.3 BMX	20
3.3 Utilização de alumínio em quadros de bicicleta	21
3.4 Utilizações de titânio em quadros de bicicleta	22
3.5 Utilização de fibra de carbono em quadros de bicicleta	23
3.6 Utilizações de aço em quadros de bicicleta	24
3.7 Outros materiais utilizados na fabricação de quadros de bicicleta	25
3.8 Resistência a fadiga.....	26
3.8.1 Ensaio de fadiga	28
3.9 Resistências a impacto.....	29
3.9.1 Fatores que alteram a resistência ao impacto	30
3.9.1.1 Temperatura	30
3.9.1.2 Entalhes	31
3.9.2 Ensaio de impacto	32
3.9.3 Ensaio Charpi	33

4 Metodologia	34
5 Resultados e discussão	35
5.1 Fibras de carbono	35
5.2 Titânio e suas ligas	36
5.2.1 Liga de titânio Ti-3Al-2.5V	38
5.2.2 Liga de titânio Ti-6Al-4V	39
5.2.3 Titânio – Cp	40
5.2.4 Comparação entre as ligas de titânio	42
5.3 Alumínio e suas ligas	44
5.3.1 Liga de alumínio AA 6061	45
5.3.2 Liga de alumínio AA7005	47
5.3.3 Comparação entre as ligas de alumínio.....	49
5.4 Aços	51
5.4.1 Aço carbono	52
5.4.2 Aço AISI 4130	54
5.4.3 AISI 8740	56
5.4.4 Comparação das propriedades dos aços	58
5.5 Comparações entre o aço AISI 4130, a liga de alumínio AA6061 e a liga de titânio Ti-6Al-4V	60
6 Conclusão	63
7 Referências Bibliográficas	64

1 Introdução

A bicicleta pode ser usada como forma de diversão, meio de transporte ou prática de esporte, para pessoas de todas as faixas etárias e classe social. Com o aumento do número de veículos motorizados nas grandes cidades a bicicleta pode se tornar a solução para diversos problemas entre os quais podemos citar:

a) O trânsito, que em cidades como São Paulo e Belo Horizonte, devido ao grande número de veículos nos horários de picos ocasiona lentidão nas vias e aumento considerável no tempo de viagem.

b) Auxiliar na diminuição da emissão de gases poluentes, pois se trata de um meio de transporte não poluente, ao contrário de carros e motos que emitem CO₂, um dos principais gases responsável pelo efeito estufa.

c) Melhorar a qualidade de vida dos usuários, por se tratar de uma forma de exercício físico que, se bem dosado, pode gerar saúde e auxiliar no combate a obesidade. De acordo com Xavier, e colaboradores (2008) pedalar é uma modalidade de exercício muito acessível e de grande importância para a saúde.

d) Meio de transporte de baixo custo seguro, que, se respeitado todas as normas de segurança das ciclovias e o uso de equipamentos de proteção pode reduzir o índice de acidentes.

Com o desenvolvimento das bicicletas *mountain bikes* houve um crescimento da popularidade das bicicletas, havendo também evolução tecnológica. As bicicletas passaram a apresentar estilos modernos e mais confortáveis, materiais mais leves e sofisticados recursos de cambio. A prática do ciclismo ficou mais fácil para pessoas de qualquer faixa etária e condição física. (Xavier et. al, 2008)

Com os avanços tecnológicos, surgimento de novos materiais, melhoria das propriedades de materiais já existentes, materiais mais leves, resistentes e com maior precisão dimensional é possível melhorar a qualidade, a durabilidade, e o desempenho das bicicletas. A escolha do material adequado pode proporcionar maior velocidade, conforto e segurança, melhorando assim o desempenho do atleta.

A prática de esportes que utilizam bicicletas como o *mountain bike*, ciclismo de estrada, *down Hill*, e *Freestyle* tem exigido mais das bicicletas. A busca por melhorias tem

levado os engenheiros a desenvolverem componentes que sejam capazes de reduzir o peso, promover resistência ao impacto e resistência a fadiga. Em uma bicicleta de corrida, por exemplo, todas as peças devem ser construídas com precisão, e menor peso possível para viabilizar ao atleta alcançar grandes velocidades, já que em provas de elevado nível a menor fração de tempo pode fazer toda diferença para se conhecer o vencedor.

O presente trabalho estudou através da literatura científica os principais materiais utilizados na fabricação de quadros de bicicleta, procurando entender suas propriedades mecânicas e principais vantagens.

2 Objetivos

O objetivo do trabalho é realizar estudo comparativo, do tempo de vida em fadiga e da resistência do quadro de bicicletas fabricados com alumínio, titânio e aço. Foi feita uma análise das propriedades mecânicas de resistência a fadiga, conseguidos através da consulta em sites especializados, e a análise tem por objetivo:

1 Apontar a relevância das diferenças de desempenho e qualidade dos quadros em relação a custo, segurança, conforto e velocidade para uso na prática do esporte ou paraa passear.

2 Entender as características dos materiais utilizados em cada tipo de bicicleta e o porquê de sua utilização.

3 Revisão bibliográfica

3.1 Histórico

Os primeiros traços da existência da bicicleta, tal como a conhecemos hoje, ocorreram em projetos do renomado inventor italiano Leonardo da Vinci, por volta de 1490 na figura 01 é possível observar como foi o projeto da bicicleta de Da vinci.

Figura 01 - Bicicleta projetada por Da Vinci



Fonte: <<http://pedaleiro.com.br/2007/02/28/a-bicicleta-de-da-vinci/>>
abril de 2012

acessado em

Em 1790 surge um brinquedo conhecido como celerífero, que futuramente viria se tornar a bicicleta. O celerífero foi construído em madeira com duas rodas interligadas por uma viga e um suporte para o apoio das mãos conforme ilustra a figura 02.

Figura 02 - Bicicleta de 1790



Fonte: <<http://saberdesign.com.br/content/dhist%C3%B3ria-1-bicicleta>> acessado em abril de
2012

Em 1813 Von Drais melhorou o celerífero, com um sistema de direção que permitia fazer curvas e com isto manter o equilíbrio da bicicleta quando em movimento, além de incorporar um rudimentar sistema de frenagem. Esse dispositivo ficou conhecido com a bicicleta draisiana como mostrado na figura 03.

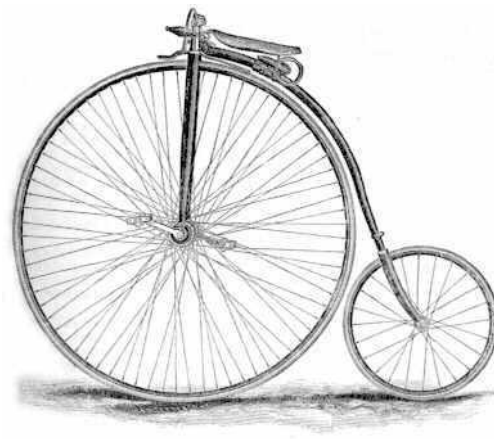
Figura 03 - Bicicleta draisiana



Fonte: < <http://www.motonline.com.br/ciclistica-da-moto-como-funciona/> > acessado em abril de 2012

Em 1870 os modelos tinham os pedais fixos ao eixo da roda da frente, a bicicleta possuía uma roda grande e uma pequena e os raios eram feitos de aço. De acordo com Medeiros (2008) essas bicicletas conseguiam alcançar grandes velocidades, todavia eram perigosas, pois o ciclista permanecia muito longe do solo o que tornava as quedas um grave risco. A figura 04 ilustra como era este modelo de bicicleta.

Figura 04 - Modelo de bicicleta de 1870



Fonte:< <http://www.geocities.ws/saladefisica7/funciona/bicicleta.html> > acessado em abril de 2012

A partir da década de 1870 com a revolução industrial a evolução da bicicleta se fez de forma rápida, com avanços do sistema de produção e também o desenvolvimento de materiais. Segundo Adams (1996) a bicicleta com quadro de aço, semelhante aos modelos existentes atualmente surgiram no final do século XIX.

Nos dias de hoje a bicicleta se tornou um importante meio de transporte, não poluente e seguro, sendo usada inclusive na prática de esportes olímpicos. Muitas pesquisas são desenvolvidas pela indústria, no intuito de aprimorar e melhorar cada vez mais um dos meios de transporte e entretenimento mais utilizados no mundo. De acordo com Farias (2009) a bicicleta é usada tanto como meio de transporte, sendo um transporte barato, ecológico e saudável, como objeto de lazer e para competições desportivas de ciclismo. A figura 05 ilustra uma bicicleta moderna.

Figura 05- Bicicleta utilizada atualmente.



Fonte <http://www.comprarbicicletas.com.br> > acessado em abril de 2012

3.2 Alguns esportes utilizando bicicletas

A bicicleta é utilizada na prática de esportes desde o final do século XIX, a partir de então tem se tentado criar bicicletas cada vez mais velozes e com melhor desempenho. Dessa forma o setor passou a desenvolver novos materiais que proporcionem vantagens aos competidores, ganhando alguns segundos em relação aos concorrentes que podem definir o vencedor. O desenvolvimento de novos materiais tem importante função, ganhando destaque à busca por materiais cada vez mais leves, resistentes, e capaz de proporcionar grandes velocidades. Serão descritos a seguir alguns esportes que, demandam bicicletas mais sofisticadas. Para Nabinger (2006) o desempenho dos ciclistas depende da técnica de pedalar, do preparo físico e do tipo de equipamento utilizado.

O ciclismo é um esporte que utiliza a bicicleta e seu melhor desempenho depende de uma completa interação entre o ciclista e a bicicleta, pois consiste em uma modalidade totalmente técnica e competitiva (Nabinger 2006).

3.2.1 Mountain bike

O *Mountain bike* é uma modalidade de ciclismo na qual o objetivo é transpor percursos com diversas irregularidades e obstáculos. Esta modalidade geralmente é praticada em estradas de terra, trilhas e locais com obstáculos, necessitando então de uma bicicleta leve e confortável, que permita o ciclista fazer o trajeto no menor tempo, e o mais confortável possível, evitando assim possíveis lesões e cansaço excessivo, já que devido às irregularidades no percurso o atleta poderá sentir os impactos com o solo o que poderá trazer desconfortos.

Nesse caso, vê-se a importância do desenvolvimento de materiais que permitam a construção de um quadro leve e resistente o suficiente para suportar cargas elevadas, devido às irregularidades da pista. Porém uma bicicleta que emprega materiais de elevado desempenho como fibra de carbono possui um elevado custo e utilizam tecnologias mais sofisticadas

Para práticas amadoras do esporte bicicletas com quadro de alumínio possuem melhor relação custo/benefício e podem ser leves e rígidas o suficiente para a prática com segurança. Lembrando que o *Mountain Bike* é um esporte que exige muito das bicicletas, necessitando que as mesmas tenham boa resistência a fadiga e ao impacto para suportar todos os esforços e ter elevada vida útil. A figura 06 mostra uma bicicleta com quadro de fibra de carbono utilizada para a prática do *Mountain Bike*.

Figura 06 Bicicleta para Mountain bike



Fonte:<http://www.pedal.com.br/forum/bikes29fullsuspension_topic21318.html> acessado maio de 2012

3.2.2 Ciclismo de estrada

É um esporte olímpico praticado em equipe, porém com resultados individuais. Existem duas principais modalidades do esporte o ciclismo contra o relógio e a corrida de estrada.

No ciclismo contra o relógio os competidores percorrem o percurso individualmente ou por equipe, vencendo aquele que finalizar o trajeto no menor tempo.

A corrida de estrada consiste em uma prova em que todos os participantes largam juntos vencendo aquele que chegar a linha de chegada primeira.

Em competições profissionais de ciclismo de estrada os atletas utilizam bicicletas que possibilitam atingir maiores velocidade. Conhecidas no Brasil como *Speed* (do inglês “veloz”) que são bicicletas mais leves e com uma estrutura mais aerodinâmica, e as mesmas são fabricadas em fibra de carbono ou em titânio o que lhe garante rigidez e leveza. As rodas são leves, com pneus finos e com elevada pressão. Tem pouca aderência ao solo, o que requer técnica e prática. Aceleram rápido e são capazes de manter alta velocidade A bicicleta *Speed* tem uso restrito ao asfalto e seu desempenho é bom apenas em estradas com boas condições, o que dificulta sua utilização em algumas localidades. Esta característica e seu alto custo tornam

a mesma não indicada para usos cotidianos e passeios. A figura 07 ilustra uma bicicleta *Speed*.

Figura 07: Bicicleta utilizada para ciclismo de estrada



Fonte <<http://asbicicletas.wordpress.com/2011/02/05/materiais-usados-em-quadros-de-bicicleta/>> acessado em maio de 2012

3.2.3 BMX

BMX é abreviatura de bicyclemotocross e é um esporte praticado utilizando bicicleta. O esporte é dividido em duas modalidades que são descritas a seguir.

Race é uma corrida em que o atleta tem que superar diversos obstáculos, curvas e rampas. No esporte deve-se finalizar o percurso primeiro que os adversários. Logo, assim como em outros esportes, é interessante ter uma bicicleta leve, que permitirá ao mesmo atingir maiores velocidades de forma mais fácil.

A outra modalidade é o *Freestyle* (do inglês “estilo livre”) em que o atleta deve passar por rampas e realizar manobras durante o salto e os juízes avaliam as manobras e decidem quem será o vencedor.

A bicicleta para realizar o BMX deve ser uma bicicleta menor, por ser mais ágil, facilitando a realização de manobras e melhor controle nas curvas. É necessário também que o quadro da bicicleta tenha boa resistência ao impacto, já que a mesma estará sujeita a

esforços dinâmicos no momento do salto do ciclista. E também à fadiga, pois assim a bicicleta terá maior vida útil.

Os quadros da bicicleta de BMX podem ser construídos com alumínio, fibra de carbono e titânio por se tratarem de materiais que são leves e possuem resistência para suportar as cargas necessárias. Ressaltando-se que o titânio e a fibra de carbono são mais utilizados em competições profissionais e o alumínio é mais utilizado em práticas amadoras, devido à grande diferença de custo e desempenho dos materiais.

3.3 Utilização de alumínio em quadros de bicicleta.

O alumínio utilizado em quadro de bicicleta surgiu como inovação e substituindo ao aço cromo-molibdênio. O alumínio possui menor rigidez que o aço o que poderia prejudicar seu desempenho, todavia se for usado um tubo de alumínio com maior diâmetro sua rigidez pode chegar a ser comparável com a do aço o que viabiliza sua utilização. Medeiros (2008) cita que para se conseguir um tubo de alumínio com mesma rigidez que um tubo de aço é necessário utilizar três vezes mais materiais. Logo é possível perceber que uma bicicleta produzida com alumínio possui um tubo com maior diâmetro em comparação as bicicletas produzidas com aço.

Outro fator a ser considerado refere-se à baixa resistência a fadiga do alumínio, comparado ao aço e as ligas tradicionais utilizadas em quadros de bicicleta. Durante a prática de esportes ou mesmo a passeio, o quadro de uma bicicleta é submetido a diversos esforços cíclicos. Um material com menor resistência à fadiga tende a trincar e romper em menor tempo de uso, diminuindo assim a vida útil do quadro. Portanto o quadro de alumínio deve ser planejado e estudado buscando encontrar a forma e o diâmetro adequado para aumentar a sua rigidez e durabilidade.

As principais vantagens do uso de alumínio em quadros de bicicleta são sua baixa densidade, que possibilita a construção de bicicletas mais leves permitindo alcançar maiores velocidades com menores esforços, seu baixo custo e fácil produção, que torna a bicicleta acessível à população de baixa renda e permite sua produção em grande escala. Outra propriedade importante que favorece a utilização do alumínio é a sua resistência à oxidação, em relação ao aço que permite melhor aparência e aumenta a vida útil. As bicicletas fabricadas com alumínio são satisfatórias para passeio, meio de transporte e práticas de esportes amadores, apresentando boa relação custo benefício.

3.4 Utilizações de titânio em quadros de bicicleta.

Há um amplo mercado para aplicação de titânio e suas ligas. Entre os campos de aplicação podemos destacar as bicicletas. Vandermark (1998) cita que o titânio começou a ser usado na década de 80 em bicicletas e desde então, houve uma expansão do uso do titânio.

O titânio e suas ligas são de grande interesse industrial uma vez que combina propriedades como tenacidade, deformabilidade, condutividades térmica e elétrica, vantagens estruturais como por exemplo dureza, leveza. (Braga et al, 2007).

O titânio e suas ligas possuem baixa densidade aliada a uma alta resistência mecânica, mesmo em altas temperaturas. Com isso, se apresentam com importância nas indústrias química, naval, aeroespacial, nuclear, bélica e biomédica. (Oestreich et.al 2011)

A prática de esportes como o Mountain bike e as provas de velocidades em alto nível forçou as empresas de bicicletas a desenvolverem cada vez mais bicicletas com melhores desempenhos e com inovações nos materiais utilizados no quadro, nesse contexto o titânio surgiu como opção.

O titânio apresenta propriedades que favorecem sua utilização em quadros de bicicleta, pois tem boa relação resistência/peso, baixa densidade (na ordem de $4,54 \text{ g cm}^{-3}$) menor que as dos aços e suas ligas que estão por volta de $7,87 \text{ g cm}^{-3}$. O titânio possui propriedades mecânicas como dureza, resistência a fadiga e rigidez superior a dos aços. Características tais que permitem com que o titânio tenha diversas aplicações que necessitem de elevado desempenho como a aeronáutica e em aplicações aeroespacial. A vantagem que tem sobre outros materiais é a solda, pois o calor produzido não afeta em nada a estrutura molecular, como o que ocorre no caso do aço e alumínio, o que pode induzir a ocorrência de trincas, ou modificações na estrutura do material, o que pode gerar uma região próxima a solda mais frágil e propiciar rupturas.

Outra propriedade favorável do titânio é a elevada resistência à corrosão, garantida devido a tendência do titânio de reagir com o oxigênio, formando uma camada passivadora de oxido de titânio composta de TiO_2 que protege o material da oxidação. O titânio tem elevada resistência à corrosão em vários meios corrosivos, evitando assim a formação de óxidos que podem desgastar a bicicleta, prejudicar seu desempenho e diminuir sua vida útil.

A capacidade de absorção de impacto também é característica dos quadros produzidos com titânio. A bicicleta está sujeita a diversos tipos de esforços durante uma prova olímpica ou até mesmo em um simples passeio, e estes esforços são transmitidos para o quadro da bicicleta, portanto torna-se importante que o quadro seja capaz de absorver esta energia, impedindo que ela se propague para o ciclista, promovendo maior sensação de conforto.

Apesar de ser um dos materiais mais apropriados para produção de quadros o titânio apresenta algumas desvantagens como alto custo, apesar de já existir quadros de titânio com menor custo o que pode fazer aumentar o seu mercado. Porém, seu custo ainda é elevado se comparado ao aço ou ao alumínio. Outras dificuldades referem-se à manutenção, consertos, e moldagem, visto que é um material de elevada dureza o que dificulta sua usinagem e conformação. De acordo com Vandermark (1997) é necessário pesquisa na área de titânio a fim de obter tecnologia para fabricação de tubos de titânio e também utilização de ligas que possibilitem a diminuição do custo do processo.

3.5 Utilização de fibra de carbono em quadros de bicicleta

As fibras de carbono e as fibras de vidro foram os primeiros reforços utilizados para aumentar a resistência e a rigidez de materiais compósitos leves, comumente utilizados em aeronaves, equipamentos de recreação e aplicações industriais (Lebrão 2008).

A fibra de carbono é muito usada na fabricação de compósitos que podem ser definidos como a combinação de dois ou mais tipos de materiais. Por se tratar de uma estrutura muito rígida, a fibra de carbono não é apropriada para o uso isoladamente, sendo assim deve ser combinada com outra matriz, por exemplo, como materiais poliméricos. Desta forma a fibra funciona como reforço, criando um material com propriedades intermediárias de resistência a depender da quantidade e disposição de cada material utilizado. Os compósitos produzidos a partir de fibra de carbono também podem ser reforçados com fibra de vidro, formando um compósito híbrido, no intuito de obter diferentes propriedades mecânicas.

Em virtude das fibras de carbono possuir elevados valores de resistência à tração, módulo de elasticidade extremamente elevado e baixa massa específica, quando comparadas com outros materiais de engenharia, são utilizadas predominantemente em aplicações críticas envolvendo redução de massa. (Lebrao, 2008)

A fibra de carbono, entre os materiais utilizados para construção de um quadro, é o mais rígido. De acordo com Burke (2003) uma bicicleta com maior rigidez permite que a

energia fornecida pelo ciclista através do pedal seja transferida para roda de trás com maior eficiência, gerando assim melhor desempenho. Em quadros de baixa rigidez, parte da energia gasta pelo ciclista é transferida para o quadro que sofre pequena deformação, resultando em uma menor quantidade de energia para movimentar a bicicleta. Todavia uma bicicleta com muita rigidez faz com que as imperfeições presentes no solo sejam transmitidas para o corpo do ciclista causando assim maior desconforto ao mesmo.

A fibra de carbono possui elevado módulo de elasticidade, resistência a tração e baixa massa específica em relação aos outros materiais, gerando assim quadros com excelente relação resistência/peso. Para Bittar (2009) um produto leve gera um bom retorno para os ciclistas principalmente nas subidas.

Entre as desvantagens do uso de bicicletas de fibra de carbono podemos citar, o elevado custo em comparação com as bicicletas produzidas em aço e alumínio, fator esse que faz com que o uso de quadros de fibra de carbono se torne mais restritos a bicicletas de competição. Outro ponto negativo é a dificuldade de manutenção, visto que a fibra de carbono após um acidente ou queda em que danifique a fibra, dificilmente poderá ser reparada, pois exige mão de obra especializada, e o ciclista deve parar de utilizar a bicicleta imediatamente evitando assim, algum acidente com a quebra do quadro que pode vir a ocorrer.

3.6 Utilização de aços em quadros de bicicleta.

Entre os materiais utilizados na fabricação de quadro de bicicleta merece destaque o aço, pois se trata de um dos materiais mais utilizados. O aço pode ser combinado com diversos elementos e em diferentes quantidades formando ligas, que possuem diferentes características.

Em relação ao alumínio o aço possui maior rigidez, maior resistência, e maior limite de fadiga, o que em média garante ao quadro maior durabilidade. O aço é um material de baixo custo em relação aos outros materiais utilizados. Os quadros em aço podem ser reparados facilmente, especialmente em caso de empeno. Em virtude da sua elevada resistência pode ser utilizado em bicicletas de carga.

Os quadros de menor custo geralmente são feitos com tubos obtidos de chapas de aço laminadas e costuradas, e depois soldados aos outros componentes do quadro. Já os quadros de melhor desempenho são feitos com tubos sem costura, estirados de forma a terem paredes menos espessas no meio que nas extremidades, o que visa diminuir o peso, e depois

unidos por conexões aos outros membros (Whitt *et al.*, 1982). O principal aço utilizado na fabricação de quadros, segundo Vandermark (1997), é o aço AISI4130 que possui como características fácil conformação e durabilidade. O aço AISI8740 também é bastante utilizado na construção de quadros de bicicleta

Entre os aços utilizados destacam-se as ligas cromo – molibdênio, por ser uma liga que melhora a resistência à corrosão do aço, e também é uma liga de fácil construção e fabricação dos tubos. Os quadros produzidos com ligas cromo- molibidênio proporcionam conforto ao ciclista, devido à capacidade de dissipação das vibrações, porém seu custo é variável e seu peso é relativamente baixo se comparado ao aço. Devido ao fato de ser uma liga resistente torna-se possível construir bicicletas com tubos de menores espessuras, com peso reduzido, e a durabilidade é a maior entre todos os quadros.

Os tubos de cromo-molibdênio especiais são duplamente moldados ao longo de sua extensão, portanto suas paredes têm duas espessuras diferentes e os quadros especiais são triplamente moldados no intuito de diminuir mais o peso e têm recebido tratamentos térmicos a altas temperaturas para torná-los ainda mais resistentes. Além desta liga existem diversos tipos de ligas metálicas que podem ser usadas na fabricação de quadros como, por exemplo, as ligas com manganês e magnésio, melhorando sua resistência à oxidação. Também o aço se liga com o silício, enxofre e fósforo aumentando à resistência a oxidação.

As principais desvantagens do uso do aço em quadros de bicicleta são o seu elevado peso em relação a outros materiais, o que reduz seu uso em bicicletas que necessitem elevado desempenho, porém é possível produzir quadros com ligas que diminuam o peso da bicicleta, tornando-a mais atrativa para competições. Outra desvantagem é a susceptibilidade em oxidar, que pode comprometer as características de projeto da bicicleta.

3.7 Outros materiais utilizados em quadros de bicicleta

Existe ampla faixa de materiais que podem ser utilizados na fabricação de bicicleta, variando de materiais tradicionais como aço e alumínio, matérias de elevado desempenho e tecnologia como o titânio e os compósitos, até materiais mais exóticos como o bambu, e cada material possui uma característica que tornará a bicicleta mais propícia para determinada atividade, desde bicicletas de passeios a bicicletas que atinjam grandes velocidades ou resistam a um terreno irregular na prática de esportes.

Dentre os compósitos destacam-se os que utilizam fibras de vidro junto com fibras de carbono com o intuito de obter propriedades diferentes, ou menor custo. Pode-se construir também bicicletas combinando elementos como, por exemplo, o aço combinado com o alumínio. Alumínio para o triângulo principal e aço cromo-molibdeno para o garfo dianteiro e o triângulo traseiro, que promove maior eficácia da força na roda traseira.

Oliveira (2009) estudou a utilização de bambu na construção de quadros de bicicleta, e concluiu que as juntas se mantiveram fortes quando testadas em uso e a estrutura se mostrou resistente e leve. Essa bicicleta pode ser construída facilmente e com uso de menor energia, mostrando ser uma alternativa viável.

3.8 Resistência á fadiga.

A fadiga é um dos principais motivos de falhas de componentes mecânicos. Segundo Correa (2005) a maioria das falhas de componentes estruturais ocorre por fadiga. Todo material submetido a esforços cíclicos pode sofrer ruptura por fadiga. A fadiga pode ser caracterizada como uma diminuição na capacidade de suportar carga do material, quando o mesmo é submetido a um esforço cíclico durante um período de tempo. Ocorrendo assim à ruptura de forma gradual e lenta. Fadiga é uma falha que pode ocorrer sob solicitações bastante inferiores ao limite de resistência do metal ou outros materiais, isto é, uma carga na região elástica. É consequência de esforços alternados, que produzem trincas, em geral na superfície, devido à concentração de tensões (Colim 2006).

Narasayah (2008) afirma que a nucleação de trincas geralmente ocorre em bandas de deslizamentos, contornos de grão, inclusões e partículas de segunda fase. As cargas variáveis geram pequenas deformações plásticas em algum ponto do material, essas pequenas deformações dão origem a pequenas trincas que se formam em discontinuidades presentes nos materiais que com o tempo se propaga levando o material à ruptura. Para tensões elevadas, uma fração muito grande da vida em fadiga acontece no estágio de crescimento ou propagação da trinca. Para um componente que possui um entalhe, esta parcela torna-se ainda maior. Visto que, o entalhe favorecera o processo de nucleação e propagação de trinca e é importante ressaltar que intrinsecamente os processos de fabricação formarão trincas ou defeitos nos materiais. A parte de propagação pode ser uma das etapas mais importantes no processo de fadiga.

A resistência a fadiga é medida pelo número de ciclos de cargas que um material suporta sem sofrer ruptura. Quanto maior for a carga menor tende a ser o número de ciclos que o material conseguirá suportar. E através do resultado é possível estimar o tempo de vida útil do material.

Entre os fatores que alteram a resistência à fadiga pode-se destacar segundo Callister (2007) :

Superfície do material: Diferentes tratamentos dados a superfície podem diminuir a resistência a fadiga dos materiais.

Tratamento de superfície: Marcas superficiais, devido às operações de usinagem, podem limitar a vida em fadiga.

Meio: O meio em que o material está submetido também pode vir a alterar a resistência a fadiga, pois corrosão no material facilita a etapa de formação e propagação de trincas.

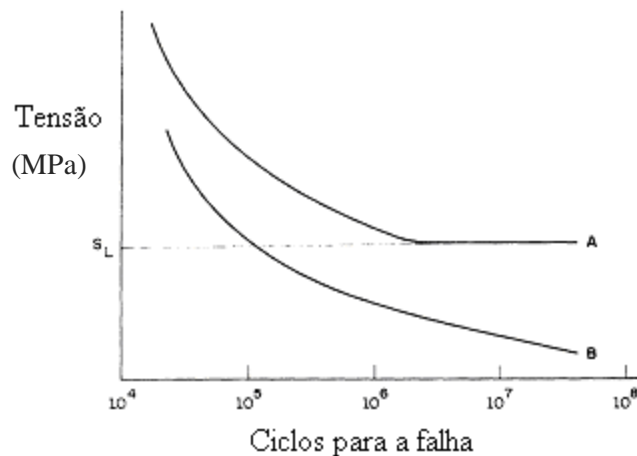
Variáveis de projeto: Materiais que possuem entalhes ou qualquer tipo de concentrador de tensão tem sua resistência a fadiga diminuída.

Ao andar de bicicleta o quadro e outros componentes são responsáveis por suportar cargas cíclicas como de tração e compressão. Quando o ciclista está subindo uma rua e tem que imprimir maior força ao pedal, ou quando está simplesmente descendo uma rua com menor esforço, ao passar por obstáculos efetuar curvas acentuadas, o quadro das bicicletas e outros componentes podem vir a sofrer ruptura por fadiga após um determinado tempo de uso. Shelton, Sullivan e Gall (2004) estudaram casos em que o mal planejamento do garfo causou sua ruptura por fadiga, levando o ciclista a sofrer um acidente grave, dessa forma destaca-se a importância de se fazer estudos prévios da fadiga dos materiais.

O desempenho do material submetido a fadiga pode ser descrito pela curva S-N ou curva de Wohler. Composto por um gráfico em que o eixo vertical representa a tensão cíclica máxima ao qual o material está sendo exposto e o eixo das abscissas representa o número de ciclos ao qual o material foi exposto antes da ruptura. De acordo com Januzzi (2011) a curva de Wohler relaciona o carregamento aplicado em termos de sua amplitude com o número de ciclos para falha.

A curva S-N pode ser obtida ensaiando-se amostras idênticas sobre diferentes valores de tensões (Correa,2005). O gráfico 01 mostra a curva de fadiga para esforços de flexão para dois diferentes tipos de materiais hipotéticos.

Gráfico 01 Curva S-N



FONTE: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABtoQAI/fadiga> > acessado em julho de 2012

É possível observar no gráfico que há dois comportamentos distintos para o material A e para o material B. No caso do material A não há ruptura por fadiga para valores de ciclos de tensão inferior a S_L sendo assim o material possui limite de resistência a fadiga, como é o caso dos aços em geral. Já no material B ocorreu ruptura por fadiga em todas as faixas de tensões. Segundo Callister (2007), a maioria dos materiais não ferrosos, não possuem limite de resistência à fadiga, portanto se comportam como material B.

3.8.1 Ensaio de fadiga

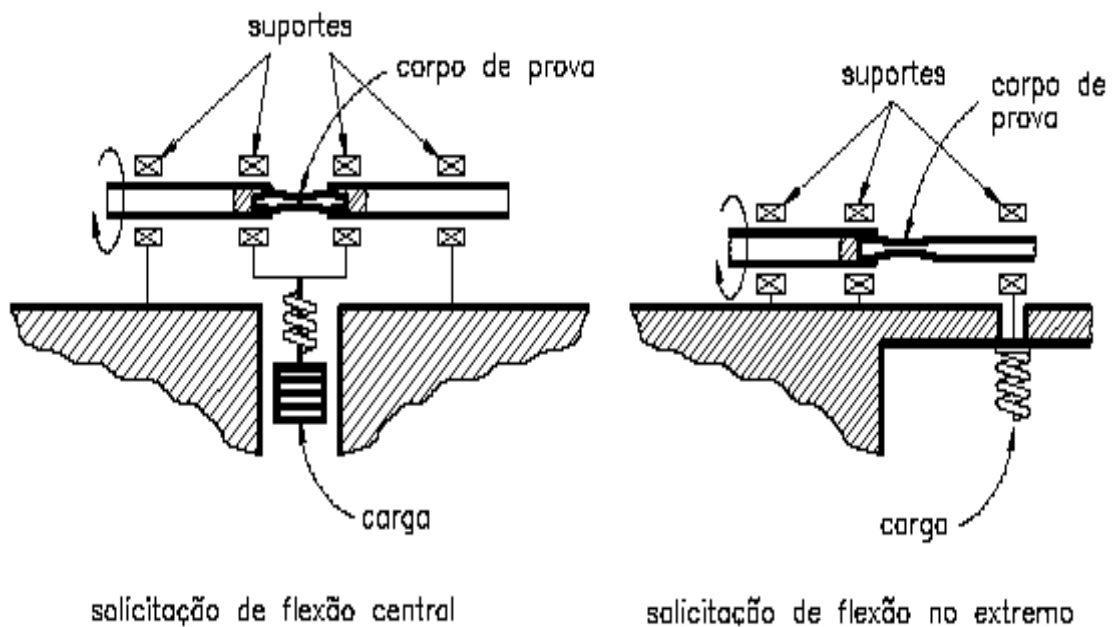
O ensaio de fadiga é realizado para simular situações em que um corpo de prova é submetido a tensões de fadiga. O equipamento de ensaio deve ser projetado para duplicar, tanto quanto possível, as condições de tensão durante o serviço. E com frequência são conduzidos ensaios que utilizam ciclos alternados de compressão e tração (Callister 2007). O equipamento de ensaio em geral é constituído de um sistema capaz de contar o número de ciclos efetuados, e também um dispositivo capaz de aplicar cargas cíclicas, que se alteram em intensidade e sentido.

O corpo de prova é submetido à tensão na ordem de dois terços do limite de resistência à tração e conta-se o número de ciclos até ocorrer à falha. Este procedimento é

repetido em outros corpos de prova com tensão máxima cada vez menor. Os dados são então plotados em um gráfico de tensão x log do número de ciclos, até o momento da ocorrência da falha (Callister 2007)

O ensaio mais comum é o de flexão rotativa onde o corpo de prova é colocado para girar em torno de um eixo, por um sistema motriz com conta giros, e uma carga que realiza esforço de flexão no corpo de prova. Então durante o giro, o corpo de prova será submetido a esforços de flexão em sentidos opostos, caracterizando o esforço cíclico. A figura 08 exemplifica duas possibilidades de se realizar o ensaio.

Figura 08 :Ensaio de fadiga



Fonte < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABN08AD/relatorio-4-ensaio-fadiga> > acessado em julho de 2012

3.9 Resistências ao impacto.

Todo material possui como uma de suas propriedades mecânicas a resistência ao impacto, que pode ser medido através do ensaio de impacto. Nesse ensaio um corpo de prova fabricado com o material previamente entalhado, é submetido à carga aplicada por um impacto instantâneo. O ensaio irá fornecer a medida da energia de impacto (Callister 2007)

Quanto à forma de rompimento os materiais podem ser caracterizados em dois tipos de fratura dúcteis e materiais frágeis.

Os materiais dúcteis são capazes de sofrer deformação plástica substancial e absorver maior quantidade de energia antes da fratura. Esse modo de fratura é preferível, pois não ocorre de forma repentina e necessita de maior quantidade de energia para sua ocorrência (Callister 2007).

Já os materiais frágeis absorvem pouca energia, possuem baixo valor de tenacidade, rompendo-se de forma catastrófica, pelo mecanismo de clivagem. A propagação da trinca pode ser entendida como à quebra sucessiva e repetida de ligações atômicas ao longo de planos cristalográficos específicos. A superfície da fratura apresenta aspecto granuloso (Callister 2007).

Materiais que apresentam comportamento frágil não podem ser utilizados em aplicações que requerem resistência ao impacto, pois podem se romper de forma repentina.

3.9.1 Fatores que alteram a resistência ao impacto

São diversos fatores que interferem na resistência ao impacto, que deverão ser avaliados durante a criação do projeto do quadro. Estes fatores serão descritos nos próximos tópicos.

3.9.1.1 Temperatura

Os materiais possuem uma variação em sua ductilidade e tenacidade em função da temperatura, sendo essa uma das variáveis a ser analisada no projeto de construção de componentes submetidos a esforços mecânicos como é o caso do quadro de bicicleta. Alguns materiais são mais sensíveis a mudança de temperatura e apresentam grande queda de ductilidade e tenacidade em determinada faixa de temperatura conhecida como temperatura de transição dúctil- frágil (Callister 2007)

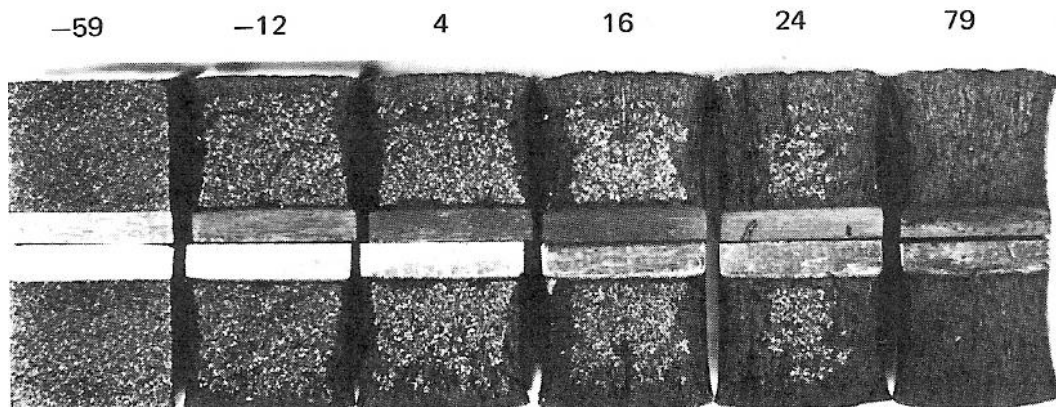
A transição dúctil –frágil está relacionada a dependência de absorção da energia de impacto em relação a temperatura. Para aços, a energia de impacto cai repentinamente para uma faixa de temperatura estreita e abaixo destes valores de temperatura a energia de impacto permanece constante, entretanto pequena. (Callister 2007).

Por este motivo os materiais utilizados em quadros de bicicleta em regiões onde as temperaturas são mais baixas, devem possuir valores de temperatura de transição inferiores a temperatura ambiente, ou então ser de um material que possua pouca sensibilidade a variação de temperatura.

Metais com estrutura cristalina cúbica de faces centradas (CFC) de baixa resistência, como algumas ligas de cobre e alumínio, apresentam queda suave de tenacidade com a diminuição da temperatura, ou seja, não possuem temperatura de transição dúctil-frágil. Materiais de alta resistência como o titânio também são pouco influenciados pela temperatura. Por sua vez, metais com estrutura cristalina cúbica de corpo centrado (CCC), como aços de baixa resistência, apresentam sensível queda na energia de impacto em certa faixa de temperatura (Callister 2007)

A figura 09 mostra a ruptura do mesmo material, em diferentes temperaturas, evidenciando que quanto menor a temperatura mais o corpo de prova tende a sofrer ruptura característica de comportamento frágil.

Figura 09: Corpos de prova ensaiados em diferentes temperaturas.



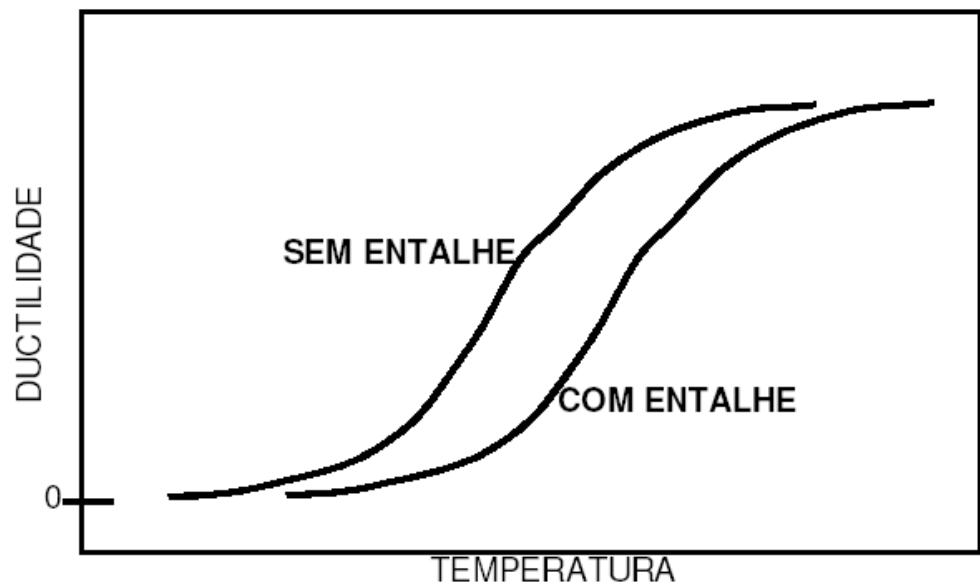
FONTE: <http://demar.eel.usp.br/~baptista/arquivos/LOM3010/Ensaio_cap6_Impacto.pdf> acessado em agosto de 2012

3.9.1.2 Entalhes

A presença de entalhes ou trincas no corpo de prova pode vir a fragilizar o mesmo, pois o entalhe funciona como concentrador de tensão, já que pode ocorrer a modificação do estado de tensões para triaxial na região do entalhe. Segundo Callister (2007)

o entalhe atua como um ponto de concentração de tensão para o impacto em alta velocidade. A temperatura de transição dúctil –frágil também é mais elevada em um corpo de prova com entalhe. O gráfico 02 mostra a variação da ductilidade em função da temperatura para um corpo de prova com entalhe e outro corpo de prova sem entalhe.

Gráfico 02: Curva de temperatura dúctil frágil para materiais com e sem entalhe.



Fonte: <<http://www.esab.com.br/br/por/Instrucao/biblioteca/upload/ApostilaMecanicaFratura.pdf>>_ acessado em agosto de 2012

Logo para quadros de bicicleta é importante que o ciclista esteja atento para trincas que possam funcionar como concentradores de tensão, reduzindo a resistência do material, podendo causar ruptura do mesmo e ocasionar lesões ao atleta.

3.9.2 Ensaio de impacto:

Existem diferentes tipos de ensaio de impacto com diferentes características. O ensaio tem por objetivo determinar a quantidade de energia absorvida por determinado material sob esforço dinâmico.

Durante o projeto de quadros de bicicleta quanto da escolha do material este deve ser submetido ao ensaio de impacto a fim de garantir que o material escolhido será capaz de suportar os esforços, ao qual o quadro será exposto durante a prática de atividades como

BMX e Mountain bike. Só assim o fabricante será capaz de garantir a segurança e o elevado desempenho do material e conseqüentemente da bicicleta.

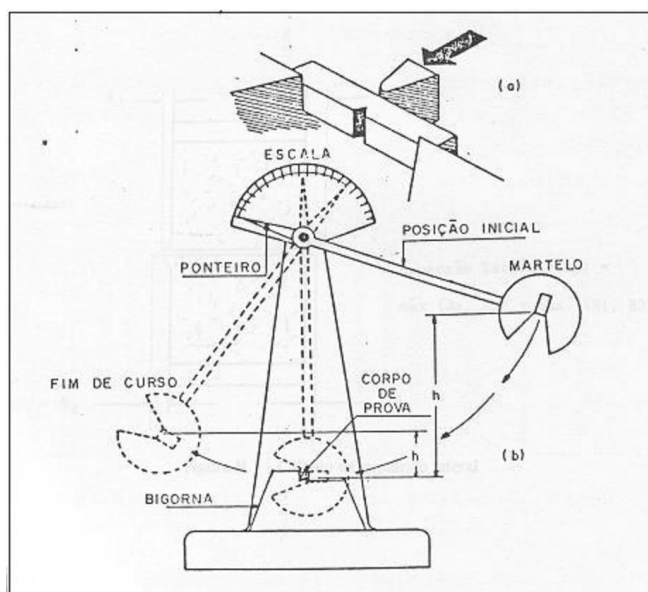
3.9.2.1 Ensaio Charpi

O ensaio Charpi é um dos ensaios mais utilizados por se tratar de ensaio simples, de baixo custo e pode ser realizado com corpo de prova em diferentes temperaturas.

Nesse ensaio a carga é aplicada por meio de um martelo pendular elevado a uma determinada altura fixa. O corpo de prova entalhado e colocado no dispositivo de ensaio então o martelo é solto realizando o movimento de um pêndulo, atingindo o corpo de prova, no lado oposto ao entalhe. O pendulo continua seu movimento atingindo uma determinada altura. A energia absorvida pelo corpo de prova é medida através da diferença de altura no início e no final do ensaio (Callister 2007). A figura 10 mostra o corpo de prova e como é realizado o ensaio.

O ensaio pode ser realizado com corpos de prova a diferentes temperaturas, com objetivo de determinar o comportamento do material em função da temperatura e identificar se o material possui ou não temperatura de transição dúctil- frágil (Callister 2007). A figura 10a mostra como o corpo de prova é atingido e a figura 10b mostram o equipamento utilizado para realização do ensaio.

Figura 10 Ensaio Charpy



4 Metodologia

No presente trabalho foi feita pesquisa e análise de dados, buscando avaliar as propriedades mecânicas de diferentes materiais utilizados na fabricação de quadros de bicicleta. Desta maneira foi possível evidenciar as desvantagens e vantagens de cada material, entendendo sua aplicação.

Foram escolhidos os o aço, o alumínio, e o titânio que são os materiais mais utilizados na construção de bicicleta. Nesse trabalho foram pesquisados dados sobre compósitos de fibra de carbono, mas não haverá comparações com os outros materiais devido a dificuldade da obtenção de dados, além da existência de diversas combinações de composição de fibras e carbono e substrato, sendo estas combinações e características segredos industriais.

Os materiais estudados foram o titânio cp (comercialmente puro) e suas ligas Ti-6Al-4V e a liga Ti-3Al-2,5V. As ligas de alumínio AA6061 e AA 7075, e os aços AISI 4130, AISI 8740 e AISI 1050. Todas as propriedades mecânicas foram pesquisadas na temperatura de 25°C. A análise foi feita para quadros com formatos idênticos

Os dados pesquisados foram densidade, coeficiente de Poisson, modulo de elasticidade, resistência à tração, limite de escoamento, deformação, dureza, resistência ao impacto e a fadiga.

Os valores foram extraídos da literatura <http://www.efunda.com> e <http://www.aerospacemetals.com/>. Que se trata de sites destinados à divulgação de dados de materiais utilizados em engenharia. Também foi utilizado o manual, “ASM Handbook, vol 19, Fadigue and fracture, ASM International, Materials Park,OH,1996”. Normalmente esses dados se tratam de segredos industriais, não estando disponível para consulta.

Os dados obtidos das propriedades mecânicas dos materiais foram analisados e comparados. Primeiramente entre o titânio e suas ligas, visando descrever as vantagens da utilização das ligas Ti-6Al-4V e a liga Ti-3Al.2,5V em relação ao Ti-cp. Em seguida foi feita a comparação entre as duas ligas de alumínio AA6061 e AA 7075 utilizadas em quadro, descrevendo as principais diferenças entre ambas. Depois a avaliação foi feita entre os aços, identificando as vantagens e desvantagens dos aços AISI 4130 e o AISI 8740 e AISI 1050.

Ao final do trabalho foi realizada uma comparação entre as propriedades mecânicas da liga de titânio Ti-6Al-4V do alumínio AA 7075 e do aço AISI 4130. Para verificar a diferença

entre as propriedades de um representante de cada classe de material (titânio, alumínio e aço) e entender a escolha do uso de determinado material em quadros de bicicleta.

5 Resultados e discussões

5.1 Fibras de carbono

As bicicletas construídas a partir de compósitos de fibra de carbono estão entre as de melhores qualidades e mais utilizadas por atletas. A vantagem dos compósitos de fibra de carbono é a grande variedade nas propriedades mecânicas que se pode obter variando os fatores descritos abaixo:

- Quanto ao precursor: As fibras de carbono são feitas a partir da pirolise do precursor que podem ser as fibras de poliacrilonitrila (PAN), fibras de celulose, e piches de petróleo alcatrão e hulha o que faz variar as propriedades finais da fibra (Neto et.al, 2006).

- Quanto ao processamento e tratamento final: A forma de processamento, e o tratamento térmico irão influenciar nas características das fibras como estiramento e Modulo de elasticidade (Neto et.al, 2006).

- Quanto à matriz do compósito: De acordo com Callister 2007 a ligação entre a fibra e a matriz é essencial para resistência do compósito, assim como as propriedades mecânicas das matrizes. Sendo mais utilizadas matrizes poliméricas como exemplo temos Nylon, Policarbonato e ABS da tabela 01.

- Quanto à concentração e orientação das fibras: Segundo Callister (2007) A concentração da fibra e sua distribuição possuem influência significativa na resistência mecânica, podendo gerar anisotropia no material.

Portanto são diversos fatores que podem variar e causar mudanças nas propriedades finais dos compósitos e conseqüentemente nos quadros de bicicleta, dando assim ao fabricante a oportunidade de construir quadros com as mais diversas características, para diferentes aplicações. A tabela 01 evidencia as diferentes propriedades das fibras de carbono, variando algumas características dos compósitos de fibra de carbono e matrizes poliméricas.

Tabela 01: Propriedades mecânicas dos compósitos de fibra de carbono

Compósitos	Nylon (PA6) 30% de fibra de carbono PAN	ABS 20% de fibra de carbono PAN	Policarbonato 40% fibra de carbono PAN
Modulo de elasticidade (GPa)	19,3-20,7	12,42 -13,80	20,7 - 21,39
Resistência à tração (MPa)	207-248	104-110	159-166
Deformação (%)	2 a 3	1 a 2	1 a 2

Fontes:

<http://www.efunda.com/materials/polymers/properties/polymer_datasheet.cfm?MajorID=PA&MinorID=20>
Acessado em fevereiro de 2013

<http://www.efunda.com/materials/polymers/properties/polymer_datasheet.cfm?MajorID=PC&MinorID=16>
Acessado em fevereiro de 2013

<http://www.efunda.com/materials/polymers/properties/polymer_datasheet.cfm?MajorID=ABS&MinorID=19>
Acessado em fevereiro de 2013

<http://www.efunda.com/materials/polymers/properties/polymer_datasheet.cfm?MajorID=PC&MinorID=17>
Acessado em fevereiro de 2013

Como mostrado na tabela há uma grande variação nas propriedades mecânicas. Variando-se a matriz polimérica e a quantidade de fibra a resistência à tração do compósito de Nylon com 30% de fibra de carbono é em média 113% superior a resistência da matriz de ABS com 20% de fibra de carbono e 40% superior a matriz de policarbonato com 40% de fibra de carbono. Para o exemplo citado não variou-se o precursor da fibra e a sua orientação na matriz.

5.2 Titânio e suas ligas.

O titânio apresenta estrutura cristalina hexagonal compacta fase alfa a temperatura ambiente, e pode sofrer modificação alotrópica a 881 °C para a estrutura cúbica fase beta. A manipulação destas características cristalográficas por adição de ligantes e tratamento térmico e conformação mecânica permite a obtenção de ligas com propriedades variadas.

O titânio possui a maior relação resistência/peso entre os metais e ainda é possível um aumento de resistência através de tratamento térmico e adição de elementos de liga. (Zimmer, 2009).

De acordo com Vandermark (1997) uma das principais ligas de titânio utilizadas na indústria é a de Ti-3Al-2.5V que pode ser caracterizada como uma liga de titânio com 3% de alumínio e 2,5% de vanádio. A conformabilidade, que favorece a formação do quadro, resistência à corrosão e resistência à fadiga, tornam essa liga de titânio propícia para formar o quadro da bicicleta, além de ter custo menor em relação ao titânio comercialmente puro (Ti-cp). A liga Ti-3Al-2.5V é utilizada na indústria aeroespacial e também em alguns quadros de bicicleta.

Vandermark (1997) também afirma que o Ti-cp pode ser encontrado em algumas bicicletas. O titânio comercialmente puro possui teores entre 98 e 99,5% de pureza e está disponível em quatro graus de pureza, variando de acordo com os teores de, hidrogênio, nitrogênio, carbono, oxigênio e ferro. Além da indústria de bicicleta o titânio cp pode ser utilizado nas indústrias química, militar e aeronáutica, em razão de sua elevada resistência a corrosão.

Outros componentes da bicicleta como pedais e guidão podem ser feitos com outras ligas de titânio como a Ti-6Al-4V que indica um teor de 6% de alumínio e 4% de vanádio. Esta liga é mais resistente do que a liga Ti-3Al-2.5V, porém sua conformabilidade é menor o que dificulta a fabricação de tubos com diâmetros reduzidos. A liga Ti-6Al-4V também é conhecida por suas aplicações biomédicas. A maior parte do titânio, e suas ligas, utilizadas em bicicletas vêm de peças usinadas apesar de se usar também a fundição em menor escala (Vandermark 1997). A liga Ti-6Al-4V é aplicada em turbinas de avião, peças automotivas de elevado desempenho, na área aeroespacial, biomédica e outro. A tabela 02 mostra o teor de elementos em cada liga.

Tabela 02: Teor de elementos presentes nas ligas de titânio

Ligas de titânio	ELEMENTO	Teor(%)
Ti-6Al-4V	V	4
	AL	6
Ti-3Al-2,5V	V	3
	AL	2,5

Fontes:

<http://www.efunda.com/materials/alloys/titanium/show_titanium.cfm?ID=T18_AB&prop=all&Page_Title=Ti-6Al-4V> acessado em setembro de 2012

<http://www.efunda.com/materials/alloys/stainless_steels/show_stainless.cfm?ID=T17_AB&show_prop=all&Page_Title=Ti-3Al-2.5V> acessado em setembro de 2012

5.2.1 Liga de titânio Ti-3Al-2.5V

A liga de titânio Ti-3Al-2.5V é uma das ligas mais utilizadas para fabricação de quadros e a mesma também é designada nos Estados Unidos como: AMS 4943, AMS 4944, AMS 4954 e suas características são mostradas na tabela 03:

Tabela 03: Característica da liga Ti-3Al-2.5V

Propriedade		Condição
Densidade (kg/m ³)	4480	-
Coefficiente de poisson	0,33	-
Modulo de elasticidade (GPa)	106,9	-
Resistencia a tração (MPa)	689	Recozido
Limite de escoamento (MPa)	586	Recozido
Deformação (%)	20	Recozido
Dureza (HRC)	24	-
Resistência ao impacto (J) (Charpy)	86	-
Resistencia a fadiga (MPa)	280	A 10 ⁷ ciclos e sem entalhes

Fontes:

<http://www.efunda.com/materials/alloys/alloy_home/show_alloy_found.cfm?ID=T17_AB&show_prop=all&Page_Title=Ti-3Al-2.5V> acessado em setembro de 2012

<<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MTA321>> acessado em setembro de 201

5.2.2 Liga de titânio Ti-6Al-4V

A liga Ti-6Al-4V é outra liga de titânio com inúmeras aplicações no campo da engenharia entre elas pode-se destacar a construção de quadros de bicicleta de elevado desempenho. Os dados referentes à liga são mostrados na tabela 04:

Tabela 04: Características da liga Ti-6Al-4V.

Propriedade		Condição
Densidade (kg/m ³)	4430	-
Coefficiente de poisson	0,34	-
Modulo de elasticidade (GPa)	113,8	-
Resistência a tração (MPa)	993	Recozido
Limite de escoamento (MPa)	924	Recozido
Deformação (%)	14	Recozido
Dureza (HRC)	36	Recozido
Resistência ao impacto (J) (Charpy)	19	Recozido
Resistência a fadiga (MPa)	510	a 10 ⁷ ciclos e sem entalhes

Fontes:

<http://www.efunda.com/materials/alloys/titanium/show_titanium.cfm?ID=T18_AB&prop=all&Page_Title=Ti-6Al-4V> acessado em setembro de 2012

<<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MTA321>> acessado em setembro de 2012

5.2.3 Titânio – Cp

A American Society for Testing and Materials (ASTM) classifica o Ti-cp em 4 graus sendo grau 1 com a menor porcentagem de titânio e o grau 4 com maior porcentagem de titânio. O titânio pode possuir duas microestrutura característica; a fase alfa (hexagonal compacta) e a fase beta (cúbica de corpo centrado), e cada fase irá fornecer ao titânio uma determinada propriedade mecânica. A microestrutura presente no titânio é dependente do tratamento térmico e do processo de conformação mecânica, sendo ambas variáveis importantes de serem analisadas ao trabalhar com titânio e suas ligas.

A presença de elementos intersticiais também pode elevar a resistência mecânica do titânio cp pelo mecanismo de reforço por solução sólida intersticial. Entre os elementos que podem aumentar a resistência mecânica estão o oxigênio o nitrogênio e o carbono. São diversos fatores que podem mudar as características do Ti-cp favorecendo seu uso em determinadas aplicações

As características do titânio cp são mostradas na tabela 05. Neste trabalho foi escolhido a título de exemplo o titânio do grau 2.

Tabela 05: Propriedades do titânio Cp

Propriedade		Condição
Densidade (kg/m ³)	4510	Recozido
Coefficiente de Poisson	0,34	Recozido
Modulo de elasticidade (GPa)	102	Recozido
Resistencia a tração (MPa)	430	Recozido
Limite de escoamento (MPa)	340	Recozido
Deformação (%)	28	Recozido
Dureza (HRB)	98	Recozido
Resistência ao impacto (J) (Charpy)	65	Recozido
Resistencia a fadiga (MPa)	280	A 10 ⁷ ciclos e sem entalhes

Fonte: <<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MTU021>> acesso em outubro de 2012

Os elementos presentes no titânio puro grau 2 a ser analisado são mostrados na tabela 06.

Tabela 06: Porcentagem dos elementos químicos presente no Ti-Cp

Elemento	C	Fe	H	N	O	Ti
peso (%)	Max 0,1	Max 0,3	Max 0,015	Max 0,03	Max 0,25	99,2

Fonte: <<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MTU021>> acessado em outubro de 2012

5.2.4 Comparação entre as ligas de titânio

O titânio e suas ligas apresentam excelentes propriedades que possibilitam seu uso em diferentes campos, como em quadros de bicicleta. A seguir será feita uma análise comparativa entre o Ti-cp, a liga de titânio Ti-6Al-4V e a liga Ti-3Al,2,5V. A tabela 07 mostra os dados mais importantes a serem analisados neste trabalho de forma a facilitar o estudo.

Tabela 07: Tabela comparativa entre o titânio e suas ligas.

Propriedades	Ti- cp	Ti-3Al-2,5V	Ti-6Al-4V
Densidade	4510	4480	4430
Modulo de elasticidade (GPa)	102	106,9	113,8
Resistencia a tração (MPa)	430	689	993
Resistência ao impacto (J) (Charpy)	65	86	19
Resistencia a fadiga (MPa)	280	280	510
Deformação (%)	28	20	14

Fontes: <<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MTU021>> acesso em outubro de 2012

<http://www.efunda.com/materials/alloys/titanium/show_titanium.cfm?ID=T18_AB&prop=all&Page_Title=Ti-6Al-4V> acessado em setembro de 2012

<http://www.efunda.com/materials/alloys/alloy_home/show_alloy_found.cfm?ID=T17_AB&show_prop=all&Page_Title=Ti-3Al-2.5V> acessado em setembro de 2012

<<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MTA321>> acessado em setembro de 2012

Em relação ao fator densidade, que está relacionado ao peso final da bicicleta a liga Ti-6Al-4V possui menor valor. Todavia a diferença é de apenas 1,81 % em relação ao Ti-cp e 1,13% em relação a liga Ti-3Al-2,5V . Logo o fator densidade não pode ser considerado relevante no momento da escolha entre a construção de bicicletas utilizando o titânio ou suas ligas, já que o quadro não possui um elevado volume, o que implicaria em uma redução de peso muito pequena.

O módulo de elasticidade está relacionado com a rigidez da bicicleta, ou seja, quanto maior o módulo de elasticidade maior será a rigidez da bicicleta, e resulta melhor eficiência da energia fornecida pelo ciclista. Porém rigidez elevada pode ocasionar desconforto ao atleta. Através da tabela 08 é possível observar que o a liga Ti-6Al-4V possui um módulo de elasticidade mais elevado que as demais sendo 10,37% maior que Ti-cp e 6,06 % maior que a liga Ti-3Al-2,5V.

A resistência mecânica pode ser observada pela resistência a tração. Tem-se ampla vantagem da liga Ti-6Al-4V sendo a mesma 131% superior em relação ao Ti-cp e 44% superior ao Ti-3Al-2,5V. É interessante verificar esta grande diferença que ressalta a importância da utilização de ligas para aumentar a resistência de materiais, nesse caso o titânio.

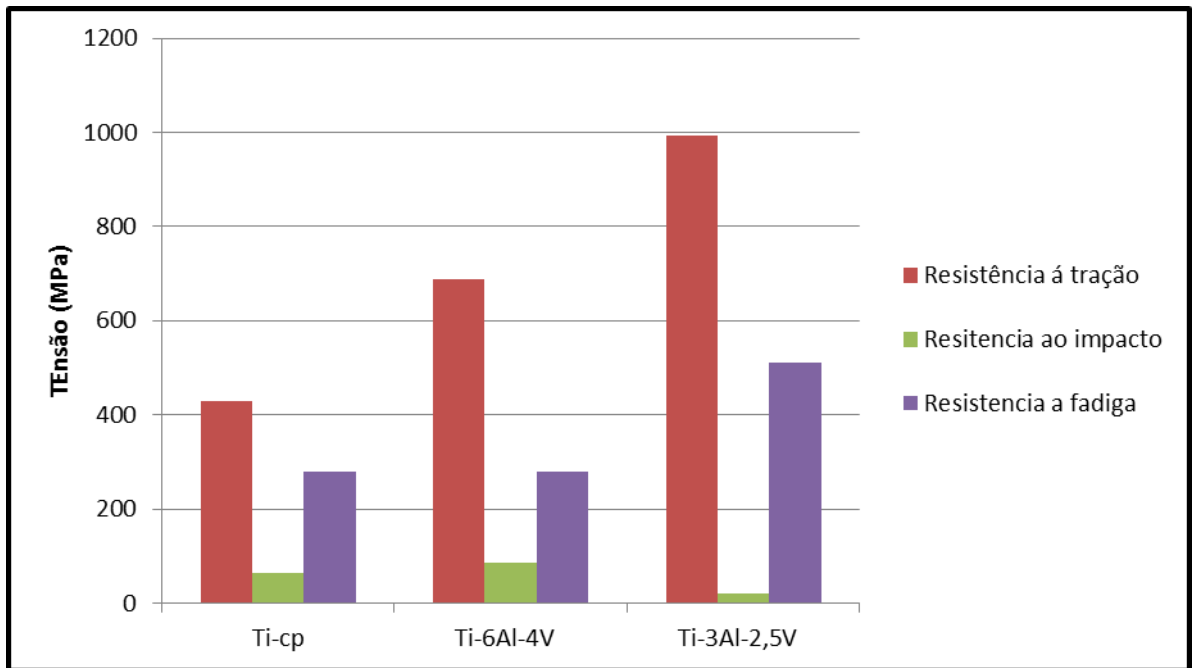
Quando se analisa a deformação dos materiais, estamos avaliando sua ductilidade, que tende a ser maior em materiais menos rígidos, o que é confirmado na tabela. O Ti-cp apresenta maior ductilidade, ou seja, o mesmo suporta deformação maior, o que facilita o seu processo de conformação, portanto o processo de fabricação de quadros de Ti-cp tende a ser mais fácil e simples quando comparado ao mesmo quadro utilizando as demais ligas apresentadas.

A resistência ao impacto, é superior em materiais de Ti-3Al-2,5V, essa propriedade esta intimamente relacionada à capacidade do material absorver energia quando submetidos a esforços dinâmicos, o que é comum na prática de diversos esportes. A vantagem da liga de Ti-3Al-2,5V em relação a Ti-6Al-4V é de 342% e em relação ao Ti-cp essa vantagem é de 32%. A grande diferença é notada principalmente devido a baixa resistência ao impacto da liga Ti-6Al-4V se comparada as demais, sendo assim o Ti-6Al-4V não será indicado para esportes em que os quadros são submetidos a esforços de impacto como por exemplo o mountain bike e o BMX.

Já para resistência à fadiga, o melhor material é o Ti-6Al-4V mantendo-se o número de ciclos ao qual o material é submetido durante o ensaio. O Ti-6Al-4V possui uma resistência a fadiga 82% superior ao Ti-cp e a liga Ti-3Al-2,5V. Portanto os quadros de Ti-6Al-4V em condições de uso semelhante tendem a ter uma vida útil maior dos que os demais.

Cabe aos fabricantes e usuários dos quadros de titânio, escolherem o material avaliando todas as variáveis citadas, e o custo-benefício, a fim de escolher a bicicleta que lhe atenda melhor. O gráfico 03 mostra um resumo das propriedades dos materiais citados neste tópico.

Gráfico 03: Resumo comparativo das propriedades mecânicas do Ti-cp, Ti-6Al-4V e Ti-3Al-2,5V.



5.3 Alumínios e suas ligas.

As bicicletas feitas com quadro de alumínio estão entre as principais bicicletas utilizadas para passeio, principalmente pela sua boa relação custo-benefício. Uma das vantagens do alumínio é sua baixa densidade em relação aos outros materiais, que permite a construção de bicicletas com menor peso em comparação ao aço, seu principal concorrente. Todavia os tubos de alumínio tendem a ter maior diâmetro o que pode aumentar seu peso. Outra característica interessante do alumínio é sua boa resistência à corrosão. Porém os quadros de alumínio tendem a ter menor resistência à fadiga e ao impacto se comparado ao aço.

O alumínio puro possui elevada ductilidade, porém baixa resistência mecânica o que dificulta sua utilização em quadros de bicicleta. É possível verificar a baixa resistência mecânica do alumínio e sua boa ductilidade se comparado aos outros metais. Porém o alumínio pode ser comumente combinado com outros elementos e sofrer tratamentos térmicos

a fim de formar ligas que venham a melhorar suas propriedades, principalmente sua resistência mecânica, possibilitando assim a construção de quadros de bicicleta com a resistência adequada. Os elementos de liga do alumínio geralmente estão em quantidades inferiores a 10% em peso, porém os mesmos têm grande influência em propriedades tais como resistência à tração, corrosão, fadiga, soldabilidade e custos. Entre as ligas utilizadas na fabricação de quadros de bicicleta pode-se destacar a liga de alumínio AA 6061 e a liga AA 7005.

5.3.1 Liga de alumínio AA 6061

A liga de alumínio AA 6061 é uma liga da família 6XXX, com a combinação de magnésio e silício podendo conter quantidades de outros elementos como, por exemplo, ferro, cobre, zinco e titânio. Sendo essa liga utilizada em quadros de bicicletas e outras aplicações como em barcos. Os elementos químicos e suas quantidades são mostrados na tabela 08:

Tabela 08: Elementos químicos e suas quantidades presentes na liga AA6061.

Elemento	Al	Si	Cu	Cr	Mg
peso (%)	97,9	0,6	0,28	0,2	1,0

Fonte<http://www.efunda.com/materials/alloys/aluminum/show_aluminum.cfm?ID=AA_6061&show_prop=all&Page_Title=AA%206061> acessado em outubro de 2012

Entre as características que tornam interessante a utilização da liga AA6061 destaca-se a boa resistência mecânica se comparada ao alumínio puro, resistência à corrosão e boa soldabilidade, que facilita a formação do quadro da bicicleta, e também a sua baixa densidade, que gera uma boa relação resistência/densidade fator importante em diversas aplicações.

As características da liga AA6061 como densidade e rigidez não variam muito com a presença de alguns elementos ou tratamento térmico, porém sua resistência pode variar bastante. Existem 3 tratamentos térmicos principais que visam melhorar as propriedades das ligas AA6061, a seguir elas são descritas:

- Tratamento “O” Recozimento que visa aumentar a ductilidade do material, este tipo de tratamento térmico não deve ser feito em quadros de bicicleta, pois os materiais que

passam por esse tratamento, possuem baixa resistência mecânica se comparado aos outros tratamentos.

- Tratamento “T4” Tem por objetivo de solubilizar uma fase endurecedora na matriz e envelhecido naturalmente que visa a precipitação controlada da fase endurecedora em uma matriz previamente solubilizada, as ligas que sofrem esse tratamento tem um aumento na resistência podendo chegar a duas vezes a resistência do AA6061-O.

- Tratamento “T6” Produto solubilizado e envelhecido artificialmente sendo o tratamento térmico mais indicado para utilização da liga AA6061 em quadros de bicicleta, pois promove maior aumento da resistência mecânica se comparado aos demais tratamentos.

A seguir é mostrada a tabela 09 com as principais propriedades mecânicas da liga AA6061 T6.

Tabela 09: Propriedades mecânica da liga 6061.

Propriedade		Condição
Densidade (kg/m ³)	2700	-
Coefficiente de Poisson	0,33	T6
Modulo de elasticidade (GPa)	70-80	T6
Resistencia a tração (MPa)	310	T6
Limite de escoamento (MPa)	275	T6
Deformação (%)	12	T6
Dureza (HB500)	95	T6
Resistencia a fadiga (MPa)	97	T6

Fontes:

<http://www.efunda.com/materials/alloys/aluminum/show_aluminum.cfm?ID=AA_6061&prop=all&Page_Title=AA%206061> Acessado em outubro de 2012

<<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6061t6>> Acessado em outubro de 2012

5.3.2 Liga de alumínio AA7005

È uma liga da família 7XXX liga de alumínio com magnésio e zinco e outros elementos listados na tabela 10, que conferem um aumento na resistência mecânica. Entre as principais aplicações da liga estão automóveis e bicicletas.

Tabela 10: Elementos químicos presentes na liga AA7005

Elemento	Al	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr
peso (%)	93,3	0,45	1,4	0,13	4,5	0,04	0,14

Fonte:<

http://www.efunda.com/materials/alloys/aluminum/show_aluminum.cfm?ID=AA_7005&prop=all&Page_Title=AA%207005> acessado em outubro de 2012

A liga AA7005 é caracterizada por ter uma resistência mecânica superior à liga AA6061 e por ser mais frágil. E a liga AA7005 ainda possui a vantagem de não necessitar de tratamento térmico para ser utilizada como quadro, o que diminui os custos de produção em relação à liga AA6061. Todavia sem tratamento térmico é preciso que os tubos do quadro possuam maior espessura, para oferecer a resistência necessária, o que leva ao aumento de peso do quadro.

Quando se realiza o tratamento térmico é possível aumentar a resistência da liga o que irá diminuir o peso do quadro, pois como o material é mais resistente pode se construir quadros de menor espessura. Portanto a presença ou não de tratamento térmico na liga AA7005 irá influenciar suas características e principalmente os fatores peso, e custo. Assim como na liga AA6061 pode se usar o tratamento térmico T6 na liga AA7005, e a seguir será mostrada a tabela 11 com as propriedades mecânicas da liga AA7005 tratadas em T6.

Tabela 11: Propriedades mecânicas da liga 7005

Propriedade		Condição
Densidade (kg/m ³)	2600 a 2800	-
Coefficiente de Poisson	0,33	T6
Modulo de elasticidade (GPa)	70-80	T6
Resistencia a tração (MPa)	372	T6
Limite de escoamento (MPa)	315	T6
Deformação (%)	12	T6
Dureza Vickers	175	T6
Resistencia a fadiga (MPa)	125	T6

Fonte:

<http://www.efunda.com/materials/alloys/aluminum/show_aluminum.cfm?ID=AA_7005&prop=all&Page_Title=AA%207005> acessado em novembro de 2012

5.3.3 Comparação entre as ligas de alumínio.

Os quadros de alumínio são aplicados em diversos campos, quase sempre com a intenção de se produzir peças de menor peso a baixo custo se comparado ao titânio. A tabela 12 mostra as características da liga AA7005 e AA6061, facilitando um estudo comparativo de ambas as ligas mais utilizadas na fabricação de quadros. É importante ressaltar que para possibilitar as comparações foram utilizadas ligas que passaram por tratamento térmico semelhante, conhecido como T6.

Tabela 12: Tabela comparativa das propriedades das ligas de alumínio.

Propriedades	AA6061	AA7005
Densidade (kg/m ³)	2700	2600-2800
Modulo de elasticidade (GPa)	70-80	70-80
Resistência a tração (MPa)	275	372
Resistência a fadiga (MPa)	96,5	125
Deformação (%)	17	12

Fontes:

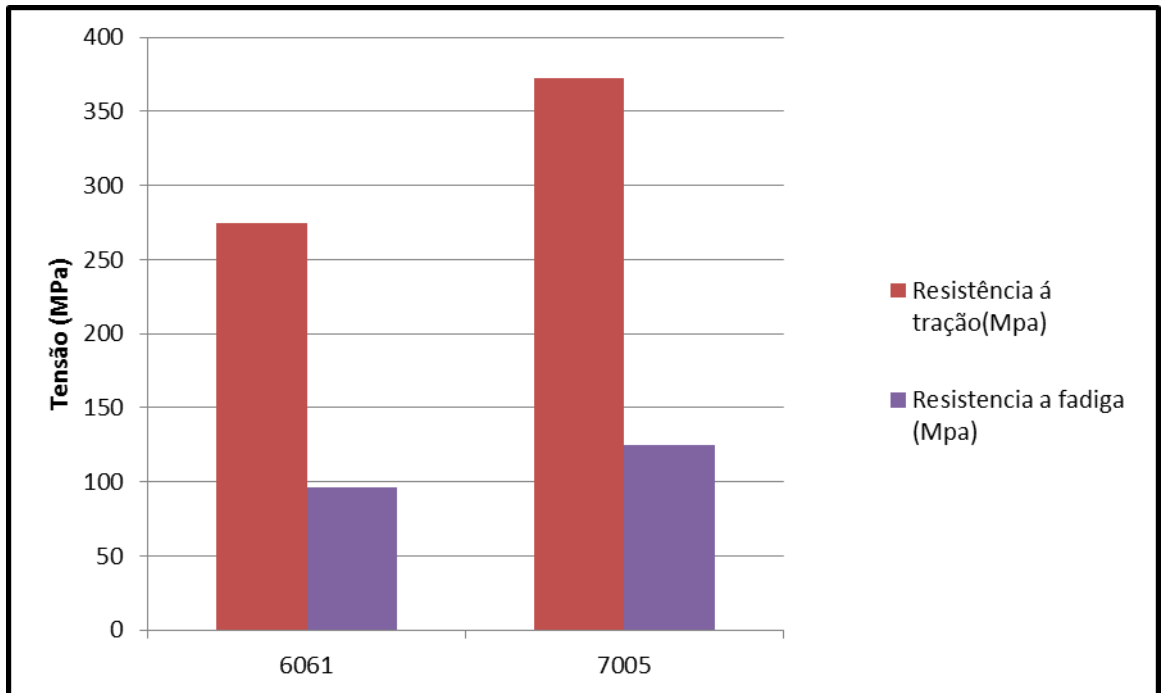
<http://www.efunda.com/materials/alloys/aluminum/show_aluminum.cfm?ID=AA_6061&prop=all&Page_Title=AA%206061> Acessado em outubro de 2012

<<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6061t6>> Acessado em outubro de 2012

<http://www.efunda.com/materials/alloys/aluminum/show_aluminum.cfm?ID=AA_7005&prop=all&Page_Title=AA%207005> acessado em novembro de 2012

A principal diferença entre as ligas está na sua resistência mecânica, ductilidade e resistência à fadiga. Sendo que a liga AA7005 é 35% mais resistente em relação liga AA6061 e possui uma resistência à fadiga 30% superior à liga AA6061, portanto a liga AA7005, desde que tratada termicamente, possui propriedades mecânicas melhores, sendo mais indicada para produção de quadros de bicicleta e aplicações que necessite de maior resistência. Porém a ductilidade da liga AA6061 é 42% maior, o que facilita seu processo de conformação para adquirir a forma desejada, o que provavelmente irá diminuir o custo desta etapa de produção. O gráfico 04 faz um comparativo entre as propriedades citadas.

Gráfico 04: Gráfico comparativo das ligas de alumínio 6061 e 7005.



5.4 Aços

O aço é um dos materiais mais utilizados no mundo devido ao fato de ser possível obter aços com as mais diversas características variando sua composição química, e tratamentos térmicos. É possível obter ligas com mais rigidez, maior resistência mecânica, melhor qualidade, ampla faixa de custo, e outros, além do que sua tecnologia de produção e conformação já é bastante conhecida e desenvolvida. O desafio é realizar uma combinação de características utilizando o aço que torne propício a utilização em quadros de bicicleta.

As bicicletas de aço estão entre as mais vendidas e tradicionais no mercado, sendo, juntamente com as bicicletas com quadro de alumínio, as mais populares para práticas cotidianas. Entre as vantagens em relação ao alumínio, seu principal concorrente, pode-se destacar a maior resistência mecânica e maior resistência a fadiga. A elevada densidade do aço, entretanto, dificulta a construção de quadros de baixo peso, o que faz com que as bicicletas se tornem mais pesadas sendo então desvantajoso seu uso em competições de alto nível, onde o titânio e os compósitos de fibra de carbono levam ampla vantagem.

Entre os aços mais utilizados para este propósito podemos destacar o AISI 4130 o AISI 8740 e o aço carbono AISI1050

5.4.1 Aço carbono

Os aços carbonos possuem diversas aplicações como quadros de bicicletas, engrenagens, placas, chapas, arames e outros e são classificados de acordo com a quantidade de carbono que possuem como na tabela 13.

Tabela 13: Classificação dos aços carbonos.

Teor de carbono (%)	Classificação
Ate 0,30	Aço baixo carbono
0,30-0,60	Aço médio carbono
0,60-1,00	Aço alto carbono

Fonte <<http://www.metlica.com.br/o-que-e-aco-carbono>> acessado em outubro de 2012

Desde que passem por tratamentos térmicos semelhantes, os aços de alto teor de carbono tendem a ser mais resistentes e com menor ductilidade. Os aços carbonos também possuem quantidades limitadas de elementos como silício, manganês, cobre e enxofre.

Entre as vantagens da utilização de aços carbonos em quadros de bicicleta pode-se citar a ampla faixa de propriedades que podem ser conseguidas variando a quantidade de carbono e o tratamento térmico. Pode - se fabricar estruturas de quadro com diferentes qualidades, desde quadros mais simples e de baixo custo ate quadros mais sofisticados com tratamentos térmicos que melhoram sua resistência. Geralmente os quadros de melhor qualidade são fabricados com aço de alto teor de carbono.

Entre os tratamentos térmicos possíveis de se aplicar ao aço carbono destacam-se:

- Recozimento → Peça é aquecida acima da temperatura de recristalização e resfriada lentamente. Este tratamento visa eliminar tensões residuais presente no aço, e a obtenção de uma estrutura de baixa dureza e maior ductilidade. A microestrutura obtida é a ferrita e perlita para aços hipoeutetoides e cementita e perlita para aços hipereutetoides. Como o resfriamento ocorre lentamente deve-se atentar ao crescimento de grão.

- Normalização → O resfriamento é feito em velocidade mediana, geralmente a temperatura ambiente. O constituinte formado é semelhante ao do recozimento, porém como a taxa de resfriamento é maior não ocorre crescimento de grão como no recozimento, ou seja, um dos objetivos da normalização é obter o refino e uniformização dos grãos. Portanto peças normalizadas tendem a ter uma resistência maior que peças recozida.

- Têmpera → Tratamento que exige uma taxa de resfriamento elevada, visando à formação de martensita, constituinte que garante dureza e fragilidade ao aço.

Existem diversos outros tipos de tratamento térmicos, porém não serão abordados neste trabalho.

Entre as principais desvantagens da utilização de aços carbonos está sua baixa resistência à corrosão, e sua baixa relação resistência/densidade se comparados a outros elementos. O fato de sua resistência ser menor que a do AISI4130 faz com que os tubos do quadro sejam mais espessos e conseqüentemente mais pesados, limitando sua utilização a bicicletas de baixo custo utilizadas para passeios.

Devido à ampla variedade de propriedades dos aços carbonos neste trabalho, foi escolhido o aço AISI1050 para ser analisado conforme mostrado na tabela 14, já que, o mesmo está entre os comercializados para bicicletas.

Tabela 14: Propriedades do aço carbono AISI 1050.

Propriedade		Condição
Densidade (kg/m ³)	7700-8030	-
Coefficiente de Poisson	0.27-0.30	-
Modulo de elasticidade (GPa)	190-210	-
Resistencia a tração (MPa)	979	Temperado e revenido a 315°C
Limite de escoamento (MPa)	724	Temperado e revenido a 315°C
Deformação (%)	14	Temperado e revenido a 315°C
Dureza (Brinell)	321	Temperado e revenido a 315°C
Resistencia ao impacto (Izod) (J)	27	normalização
Resistencia a fadiga (MPa)	415	Temperado e revenido. E a 10 ⁷ ciclos

Fonte:

<http://www.efunda.com/materials/alloys/carbon_steels/show_carbon.cfm?ID=AISI_1050&prop=all&Page_Title=AISI%201050> acessado em novembro de 2012

ASM Handbook, vol19, Fatigue and fracture, ASM International, Materials Park,OH,1996.

5.4.2 Aço AISI 4130

O AISI 4130 é um dos aços utilizados na fabricação de bicicleta que combina cromo, molibdênio, e outros elementos que são mostrados na tabela 15. Entre outras aplicações do aço 4130 podem-se citar tubulações e aeronaves.

Tabela 15: Elementos presentes no AISI 4130

Elemento	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo
peso (%)	0,28-0,33	0,40-0,60	0,035(max)	0,04(max)	0,15-0,30	0,80-1,10	0,15-0,25

Fonte:

<http://www.efunda.com/materials/alloys/alloy_steels/show_alloy.cfm?ID=AISI_4130&prop=all&Page_Title=AISI%204130> acessado em novembro de 2012

Um dos aspectos negativos da utilização do aço AISI 4130 em relação aos demais materiais é sua baixa resistência à corrosão o que leva ao surgimento de óxidos de ferro no quadro da bicicleta. Os aços inoxidáveis são resistentes à corrosão por possuírem quantidade elevada de cromo que forma uma camada de oxido de cromo passivadora que protege o aço da corrosão. Apesar do AISI 4130 possuir cromo, sua quantidade é inferior a dos aços inoxidáveis, portanto o mesmo se torna propício à corrosão.

Apesar de sua densidade ser superior à do alumínio se bem projetado pode se construir um quadro com espessura bem inferior ao do alumínio já que a resistência do aço é superior, portanto utiliza-se menos material e o peso final da bicicleta com quadro AISI 4130 será apenas discretamente superior ao de alumínio. A tabela 17 mostra as principais propriedades mecânicas do AISI 4130.

Outra característica importante não só do AISI 4130 mais de todos os aços em geral é o tratamento térmico, pois interfere na resistência e ductilidade do material, já que o tratamento térmico modifica a microestrutura do material como, por exemplo, as fases os constituintes e o tamanho de grão. A tabela 16 mostra as propriedades mecânicas do aço AISI 4130 e as condições em que os valores citados são válidos.

Tabela 16: Propriedades do aço carbono AISI 4130

Propriedade		Condição
Densidade (kg/m ³)	7700-8030	-
Coefficiente de Poisson	0.27-0.30	-
Modulo de elasticidade (GPa)	190-210	-
Resistencia a tração (MPa)	1496	Temperado e revenido a 315°C
Limite de escoamento (MPa)	1379	Temperado e revenido a 315°C
Deformação (%)	11	Temperado e revenido a 315°C
Dureza (Brinell)	435	Temperado e revenido a 315°C
Resistencia ao impacto (Izod) (J)	86	Normalizado
Resistencia a tração (MPa)	480	Temperado e revenido. E a 10 ⁷ ciclos

Fontes:

<http://www.efunda.com/materials/alloys/alloy_steels/show_alloy.cfm?ID=AISI_4130&prop=all&Page_Title=AISI%204130> acessado em dezembro de 2012

ASM Handbook, vol19, Fatigue and fracture, ASM International, Materials Park,OH,1996.

5.4.3 AISI 8740

O aço AISI 8740 é um dos tipos de aço utilizados na construção de quadro. O AISI 8740 pertence a família 87XX que tem como característica a presença dos elementos níquel cromo e molibdênio nas quantidades indicadas na tabela 17.

Tabela 17 : Elementos presentes no AISI8740

Elemento	c	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
peso (%)	0,38-0,43	0,75-1,00	0,035	0,04	0,15-0,30	0,40-0,60	0,40-0,70	0,20-0,30

Fonte:

<http://www.efunda.com/materials/alloys/alloy_steels/show_alloy.cfm?ID=AISI_8740&prop=all&Page_Title=AISI%208740> acessado em novembro de 2012

Conhecido também como aço liga AISI8740, assim como diversos outros tipos de aço, também pode passar por vários tratamentos térmicos que visam melhorar suas propriedades. Portanto é possível construir quadros com este material com diversas características de resistência a fadiga, resistência à tração e outros, o que incentiva o estudo e a combinação de propriedades do material. O fator limitante é apenas o custo do processo de tratamento térmico que pode inviabilizar a disponibilização do quadro no mercado. Porém, em relação à densidade, não é possível fazer modificações significativas, o que faz com que a relação resistência/ peso não seja boa para quadros de aço em geral, principalmente se comparados ao titânio e aos compósitos de fibra de carbono. A tabela 18 mostra as principais propriedades mecânicas do AISI 8740

Tabela 18: Propriedades do aço carbono AISI 8740

Propriedade		Condição
Densidade (kg/m ³)	7700-8030	-
Coefficiente de Poisson	0.27-0.30	-
Modulo de elasticidade (GPa)	190-210	-
Resistencia a tração (MPa)	1717	Temperado e revenido a 315°C
Limite de escoamento (MPa)	1551	Temperado e revenido a 315°C
Deformação (%)	11	Temperado e revenido a 315°C
Dureza (Brinell)	495	Temperado e revenido a 315°C
Resistencia ao impacto (Izod) (J)	18	Normalizado

Fonte

<http://www.efunda.com/materials/alloys/alloy_steels/show_alloy.cfm?ID=AISI_8740&prop=all&Page_Title=AISI%208740> acessado em dezembro de 2012

5.4.4 Comparação das propriedades dos aços

Os aços juntamente com alumínio estão entre os quadros mais utilizados para passeio, devido ao baixo custo e ao fato de facilmente reparados, e também por se tratar de um material já utilizado tradicionalmente em outros campos. Assim sendo as técnicas de tratamento térmico, deformação e soldagem são bastante conhecidas e estudadas. A tabela 19 mostra de forma comparativa as propriedades dos aços utilizados em quadros de bicicleta, todos passaram pelo mesmo tratamento térmico e passaram pelo mesmo processo de conformação na produção do quadro.

Tabela 19: Comparativo das propriedades dos aços AISI 1050, AISI 4130 e AISI 8740.

Propriedades	AISI 1050	AISI 4130	AISI 8740
Densidade (Kg/m ³)	7700 - 8030	7700 - 8030	7700 - 8030
Modulo de elasticidade (GPa)	190-210	190-210	190-210
Resistência a tração (MPa)	979	1496	1717
Resistência a fadiga (MPa)	415	480	-
Deformação (%)	14	11	11
Resistência ao impacto(J) Izod	27	86	18

Fontes

<http://www.efunda.com/materials/alloys/alloy_steels/show_alloy.cfm?ID=AISI_8740&prop=all&Page_Title=AISI%208740> acessado em dezembro de 2012

<http://www.efunda.com/materials/alloys/alloy_steels/show_alloy.cfm?ID=AISI_4130&prop=all&Page_Title=AISI%204130> acessado em dezembro de 2012

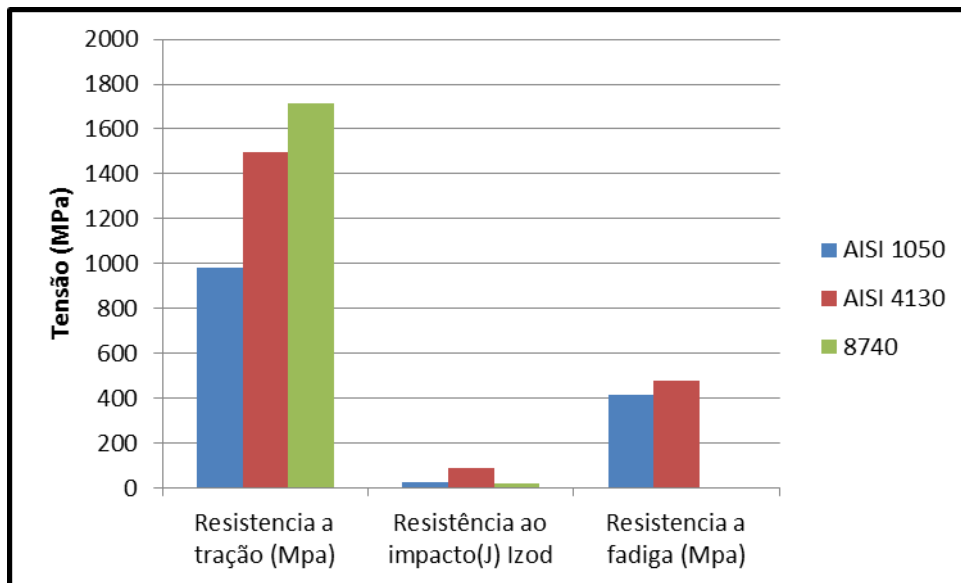
ASM Handbook, vol19, Fatigue and fracture, ASM International, Materials Park,OH,1996.

É possível perceber que não houve variação na densidade e no modulo de elasticidade entre os três aços citados. Já em relação à resistência mecânica analisada pela resistência à tração tem-se ampla vantagem do AISI 8740 que, utilizando se o mesmo tratamento térmico, apresentou uma resistência 15% superior ao AISI 4130 e 75% superior ao AISI 1050.

Já em relação à resistência ao impacto o AISI 4130 apresentou uma resistência 377% superior ao AISI 8740 e 218% superior ao AISI 1050, diferença essa que pode definir a escolha do fabricante na utilização do AISI 4130 em relação aos demais.

A resistência à fadiga do AISI 4130 é 16% superior ao do AISI 1050, e a deformação, que mostra uma idéia da ductilidade do material, do AISI 1050 e 27% superior em relação ao AISI8740 e AISI4130 que possuem a mesma deformação. O gráfico 05 mostra o comparativo das propriedades dos três aços estudados.

Gráfico 05: Tabela comparativa das propriedades dos aços AISI 1050, AISI 4130 e AISI 8740.



5.5 Comparações entre o aço AISI 4130, a liga de alumínio AA6061 e a liga de titânio Ti-6Al-4V.

É possível perceber diferentes propriedades entre as ligas de alumínio, titânio e aço. Cada um dos materiais com vantagens e desvantagens que os credenciam a diversas aplicações, entre elas a construção de quadros de bicicleta. As ligas de titânio em geral são indicadas para bicicletas de elevado desempenho, pelo fato do titânio proporcionar uma bicicleta de boa resistência à fadiga, mecânica e baixo peso. Todavia, dos materiais citados, o titânio é o que possui custo mais elevado o que favorece a utilização do aço e alumínio para bicicletas de ciclistas amadores.

O aço por sua vez é o mais resistente dos materiais, o mais tradicional e o que possui maior variabilidade nas propriedades. Dependendo do tipo de aço e tratamento térmico é possível observar uma ampla diferença entre as bicicletas feitas com diferentes aços, desde bicicletas de boa qualidade até bicicletas de menor qualidade e baixo custo. Porém, a elevada densidade do aço impede a construção de bicicletas de baixo peso em relação ao titânio, motivo este que desmotiva o uso de quadros de aço em na pratica de esportes. Já o alumínio é o mais leve dos materiais, entretanto sua baixa resistência requer que os tubos do quadro sejam mais espessos, o que eleva o peso da bicicleta, e sua baixa resistência a fadiga é outro fator limitante. Abaixo é mostrada uma tabela comparativa entre a liga de titânio Ti-6Al-4V a liga de alumínio AA6061 e o aço AISI 4130 que foram objeto de estudo deste trabalho . A

tabela 20 mostra a comparação entre o aço AISI4130, a liga de titânio Ti-6Al-4V e a liga de alumínio AA6061.

Tabela 20: Comparação entre aço, titânio e alumínio.

Propriedades	Ti-6Al-4V	AISI 4130	AA 6061
Densidade (Kg/m ³)	4430	7700 - 8030	2700
Modulo de elasticidade (GPa)	113,8	190-210	70-80
Resistência a tração (MPa)	993	1496	275
Resistência a fadiga (MPa)	510	480	96,5
Deformação (%)	14	11	17
Resistência mecânica / Densidade	0,22	0,19	0,10

Fontes:

<http://www.efunda.com/materials/alloys/steel/show_alloy.cfm?ID=AISI_4130&prop=all&Page_Title=AISI%204130> acessado em dezembro de 2012

<http://www.efunda.com/materials/alloys/aluminum/show_aluminum.cfm?ID=AA_6061&prop=all&Page_Title=AA%206061> Acessado em outubro de 2012

<<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6061t6>> Acessado em outubro de 2012

<http://www.efunda.com/materials/alloys/titanium/show_titanium.cfm?ID=T18_AB&prop=all&Page_Title=Ti-6Al-4V> acessado em setembro de 2012

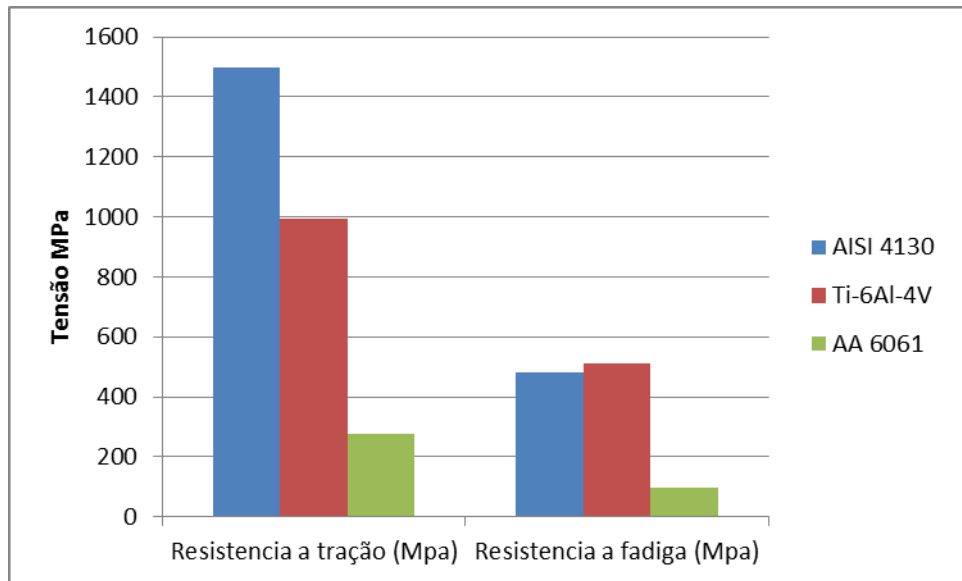
<<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MTA321>> acessado em setembro de 2012

Observando a tabela vêem-se as características marcantes do titânio, alumínio e aço utilizados em quadros. A densidade do titânio Ti-6Al-4V é em média 59% superior a do alumínio AA6061 e a do AISI 4130 é em média 196% superior ao do ao do Ti-6Al-4V . Fato este já esperado.

O módulo de elasticidade, do aço AISI 4130 é em média 75% superior ao Ti-6Al-4V e 166% superior ao do alumínio, mostrando assim que o aço é o material mais rígido. Em relação à resistência à tração o aço também é o mais resistente entre os materiais, sua vantagem é de 51% em relação ao titânio e 444% superior ao alumínio. É possível observar aqui uma das grandes desvantagens do alumínio que é sua baixa resistência.

Um dos pontos mais importantes deste estudo é mostrar a relevância da resistência à fadiga dos materiais utilizados em quadros, pois a todo o momento o quadro é exposto a condições de esforços cíclicos. E, neste quesito, temos uma pequena vantagem para o titânio de 6% em relação ao AISI 4130 e uma ampla vantagem em relação ao alumínio de 428% evidenciando mais uma vez a baixa resistência do alumínio. O que dificulta o uso do alumínio em competições. O gráfico 06 evidencia esta diferença.

E razão resistência/ peso é uma das mais utilizadas para estudo de resistência, em que o peso da estrutura é importante, e esta razão pode ser o fator que irá determinar a escolha do material em várias aplicações. Neste trabalho esta relação será avaliada pela relação resistência a tração/ densidade. Neste sentido o titânio é o material que possui a melhor relação resistência/peso mostrando ser possível construção de bicicleta com resistência mecânica, resistência à fadiga e baixo peso, e tubos de quadro não tão espessos, motivo pelo qual é o que possibilita melhor desempenho dos atletas. De acordo com Antonioli (2009) a resistência do titânio é comparável ao aço e com 50% de sua densidade e a resistência mecânica é 400% superior ao do alumínio, o que confirma sua elevada relação resistência/peso. O gráfico 06 evidencia as principais propriedades dos materiais estudados nesta seção.

Gráfico 06: Gráfico comparativo do Ti-6AL-4V, AISI 4130 e AA 6061

6 Conclusão

Com a realização deste trabalho, comparou-se as principais propriedades mecânicas do titânio, alumínio e aço, propriedades essas que os credenciam a ser utilizados em quadros de bicicleta, e a importância de cada propriedade nas características finais do elemento quadro.

O peso da bicicleta é fundamental para dar ao atleta uma vantagem ou desvantagem em relação aos seus concorrentes. Isso é o motivo que justifica o investimento que as indústrias de bicicleta fazem em pesquisas de materiais cada vez mais leves que mantenham a resistência mecânica adequada para prática de esporte. Neste quesito foi visto que o titânio leva ampla vantagem, pois é possível a construção de bicicletas com boa resistência e de baixo peso.

Já para bicicletas em que o desempenho não é o fator principal foi observado que o alumínio e o aço tendem a dominar o mercado, por possuírem resistência adequada e baixo custo, neste quesito o custo do quadro torna-se mais importante que o seu peso.

Em relação à resistência à fadiga foi possível avaliar sua importância nos estudos envolvendo o projeto dos quadros de bicicleta, pois está diretamente relacionado com a vida útil dos quadros. E a resistência ao impacto está relacionada com a segurança do ciclista, sendo então primordial avaliar estas variáveis na escolha do material.

Ao se fazer a escolha do material para o quadro os engenheiros devem atentar a diversas variáveis como densidade, resistência mecânica, resistência à fadiga e ao impacto, custos, processamento e tratamentos térmicos posteriores, e optar pelo material que atenda boa parte dos requisitos de mercado.

7 Referências Bibliográficas

ADAMS G.D, “Antique bicycle” Pedaling History – Burgwardt bicycle museum, Second edition, 1996.

ALVARES A.J et al. **Desenvolvimento de uma célula flexível de manufatura para fabricação de quadros de bicicleta.** Faculdade de tecnologia Universidade de Brasília, 1997.

ANTONIOLLI, Armando Italo Sette, **Uma contribuição ao fresamento frontal da liga de titânio Ti-6Al-4V.** Campinas, SP, 2009

ASM, Disponível em <<http://www.aerospacemetals.com/>> acesso em 09/12/2012

ASM Handbook, vol19, Fadigue and fracture, ASM International, Materials Park,OH,1996.

BIOCICLETA disponível em http://www.biocicleta.com.br/redatores/rafaelsoldatti.html?p2_articleid=1514%20ler acesso 26 ago 2012.

BITTAR, Leandro. Revista V02 – 13 edição. São Paulo, SP, 2009.

BRAGA N.A, et al **Obtenção de titânio metálico com porosidade controlada por metalurgia do pó.** São Paulo, S.P. 2007.

BRIGHTSPOKE, <http://www.brightspoke.com/c/understanding/bike-frame_materials.html> acesso em 29/11/2012.

Burke E.R., 2003 “ High - Tech cycling, The science of riding faster” Human kinetics profe, United State.

CALLISTER, W. D. **Materials Science and Engineering: An Introduction.** 7ed., 2007.

CICLOFEPAT, Disponível em < <http://www.ciclofepat.com.br/materialquadro.html>> acesso em 29 jul de 2012

COLIM, Glenda Maria. **Fadiga dos materiais**. São Paulo. SP. Escola Politécnica da universidade de São Paulo, 2006.

OESTREICH, Damian Henrique. et.al. Revisão da literatura sobre a usinabilidade do titânio e suas ligas. Caxias do Sul, RS, 2011

Comprar bicicletas.com Disponível em < <http://www.comprarbicicletas.com.br>> acesso maio de 2012.

CORRÊA D. L. **Otimização da vida-fadiga do aço estrutural R4**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Departamento de ciências dos materiais e metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

EBAH. Disponível em < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABUw0AB/relatorio-charpi>> acesso 20 jul, 2012.

EBAH. Disponível em <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABtoQAI/fadiga> acesso 14 jul 2012

EFUNDA, disponível em <<http://www.efunda.com/home.cfm>> Acesso 10/12/2012

ESAB. Disponível em <<http://www.esab.com.br/br/por/Instrucao/biblioteca/upload/ApostilaMecanicaFratura.pdf>> acesso 4 set, 2012.

ESCOLA DE BICICLETAS. **A História da Bicicleta**. Disponível em: <<http://www.escoladebicicleta.com.br/historiadabicicleta.html>> Acesso em 08/05/2012.

ESCOLA DE BICICLETAS. **Materiais** Disponível em: <<http://www.escoladebicicleta.com.br/materiais.html>> Acesso em 08/05/2012.

FARIAS L.G, PEREIRA L.L. **Pedalada para sustentabilidade: desenvolvimento de uma bicicleta urbana compactavel.** São Paulo, SP. 2009.

GEOCITIES. Disponível em <<http://www.geocities.ws/saladefisica7/funciona/bicicleta.html>> acesso em 05 jun, 2012

GLOBALST, disponível em < http://www.globalst.com.br/bvg/en_mec/17.pdf> acesso em 13 jul 2012.

GLOBALST, disponível em < http://www.globalst.com.br/bvg/en_mec/15.pdf > acesso em 13 jul 2012

JANUZZI, André Perez. **Um estudo sobre modelos de acúmulo de dano em fadiga uniaxial.** Brasilia, 2011

LEBRÃO, Guilherme Wolf, **Fibra de carbono.** Maua, SP, Centro universitário do Instituto Maua de tecnologia 2008.

MEDEIROS, Luiz Gustavo, **Análise de falha em junta soldada.** Porto Alegre,RS, 2008.

MOTONLINE. Disponível em <: <http://www.motonline.com.br/ciclistica-da-moto-como-funciona/>> acesso 03 jun 2012.

NABINGER, Eduardo, Análise dinamoétrica tridimensional da pedalada de ciclistas. Porto Alegre RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

NARASIAH, N.; RAY, K. K. Initiation and growth of micro-cracks under cyclic loading. **Materials Science and Engineering**, p. 48-59, 2008.

NETO, F. L.; PARDINI, L.C. *Compósitos estruturais: Ciência e tecnologia.* Blücher,2006.

OLIVEIRA, Felipe Hooler, **Utilização de bambu em quadro de bicicleta.** RS, Universidade Federal do Rio Grande do sul, 2009.

PEDAL, disponível em< <http://www.pedal.com.br/artigos/artigos.asp> > acesso 23 jun 2012.

PEDALEIRO disponível em <http://pedaleiro.com.br/2007/02/28/a-bicicleta-de-da-vinci/> acesso em 24 mai, 2012

PEQUINI, Suzy Marino. **A evolução tecnológica da bicicleta e suas implicações ergonômicas para máquina humana.** São Paulo, SP, USP 2000.

PORTAL São Francisco. Disponível em <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/bicicleta/bicicleta-3.php> acesso 26 ago 2012.

SABEDESIGN Disponível em <http://saberdesign.com.br/content/dhist%C3%B3ria-1-bicicleta> acesso 25 maio, 2012.

SERVIÇOS Brasileiro de respostas técnicas, **Respostas técnicas.** São Paulo, 2008.

SHELTON, Holly; SULLIVAN, John Obie; GALL, Ken. Analysis of the fatigue failure of a mountain bike front shock. **Engineering Failure Analysis,** 2004.

TONOLI, Cesar Salvarani, **Estudo sobre os efeitos de tensões residuais na vida em fadiga da liga de alumínio 6013-T6 em perfil tubular submetido a shot penning,** Guaratingueta,SP, 2009.

TREK, Manual de instrução como utilizar a bicicleta em segurança. 2007

UOL, Disponível em <http://esporte.hsw.uol.com.br/resumo-ciclismo-estrada-olimpiada.htm> acesso 28 ago, 2012.

UOL, disponível em <http://webventureuol.uol.com.br/bike/n/conheca-os-diferentes-tipos-de-bicicletas/444/secao/bike> acesso 29 ago, 2012.

VANDERMARK,Robert. **Opportunities for the Titanium Industry in Bicycles and Wheelchairs,** Boston, 1997.

VIEIRA, Silvia FREITAS, Armando. **O que é ciclismo.** Rio de Janeiro, RJ: Casa da Palavra, 2007.

WENER,Rodrigo. **SAPATILHA CICLISMO: UM CONCEITO PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.** Novo Hamburgo, RS, 2010.

WHITT, F. R. & WILSON, D. G. *Bicycling Science*, The MIT Press, Massachussets, 1982.

WORLD PRESS, disponível em <<http://asbicicletas.wordpress.com/2011/02/05/materiais-usados-em-quadros-de-bicicleta/>> acesso 25 mai 2012.

XAVIER, G.N.A.; M.C. Della Giustina; L.J.Carminatti; *Promovendo o uso de bicicleta para uma vida mais saudável*, Revista Cinergis. V1,n.2, p.51-58,jul/dez, 2000

ZIMMER, Cinthia Gabriely. **Avaliação do comportamento em fadiga de uma liga TI-6Al-4V tratada termicamente.** Porto Alegre, 2009