

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DIEGO GOMES DA SILVA**

N. CLASS.	M. 619.35
GUTTER	6586p
ANO/EDIÇÃO	2013

**PROPRIEDADES MODIFICADAS NA LIGA ALUMINIO A356**

**Varginha**  
**2013**

**DIEGO GOMES DA SILVA**

**PROPRIEDADES MODIFICADAS NA LIGA ALUMINIO A356**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas UNIS como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do prof. Fabiano Farias.

**Varginha**

**2013**

**DIEGO GOMES DA SILVA**

**PROPRIEDADES MODIFICADAS NA LIGA ALUMINIO A356**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

---

Prof. Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes

---

Profa. Esp. Luciene de Oliveira Prospéri

OBS:

Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos.

## RESUMO

De ante de vários fatores relacionado ao estudo dos materiais, o que mais se intriga hoje é como eles reagem quando combinados com outros diferentes elementos em uma mesma liga. Este trabalho vai propor a análise de uma liga ferrosa e como ela comporta de ante dos respectivos elementos que a compõe, serão observadas algumas características da liga, ou seja, suas propriedades mecânicas como a ductilidade. O material em questão é a liga Alumínio A356 usada principalmente para a fabricação de peças que compõe a indústria automotiva como as rodas de liga leve, usada neste setor, pois possui propriedades de uma liga de boa resistência e muito leve, estas são uma das suas características entre tantas outras. Vão ser analisadas duas rodas que serviram de base para retirada do corpo de prova que foi feito o ensaio de tração, a análise metalográfica e composição química.

**Palavras-chave:** Alumínio A356. Ductilidade. Rodas de liga leve.

## **ABSTRACT**

*Ante on several factors related to the study of materials, what more intrigue today is how they react when combined with other different elements in the same league. This paper will propose an analysis of a ferrous alloy and how it behaves compared to the respective elements that compose it, will be subject to some characteristics of the alloy, ie, its mechanical properties such as ductility. The material in question is the aluminum-silicon alloy A356 used mainly for the manufacture of parts that make up the automotive industry such as alloy wheels, used in this industry, because it has properties of an alloy of good strength and very light, these are one characteristic among many others. Will be analyzed two wheels that were the basis for removal of the specimen that was done the tensile test, the chemical composition and metallographic analysis.*

**Keywords:** *Aluminium A356. Ductility. Alloy wheels*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Produtos derivados do alumínio .....	12
Figura 02 – Máquina de tração.....	20
Figura 03 – Gráfico tensão x deformação .....	20
Figura 04 – Corpo de prova.....	21
Figura 05 – Região da aleta da roda.....	22
Figura 06 – Extensômetro .....	24
Figura 07 – Corpo de prova depois do ensaio de tração .....	25
Figura 08 – Microscópio .....	30
Figura 09 – Microestrutura liga alumínio A356.....	31
Figura 10 – Microestrutura liga alumínio A356.....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Padronização dos elementos de liga.....	23
Tabela 02 – Resultados .....	23
Tabela 03 – Resultados .....	25
Tabela 04 – Especificação das propriedades da liga alumínio A356.....	27
Tabela 05 – Especificação das propriedades da liga alumínio A356.....	29



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Resultado do ensaio de tração 1º corpo de prova.....	25
Gráfico 02 – Resultado do ensaio de tração 2º corpo de prova.....	26
Gráfico 03 – Resultado do ensaio de tração 3º corpo de prova.....	26
Gráfico 04 – Resultado do ensaio de tração 1º corpo de prova.....	27
Gráfico 05 – Resultado do ensaio de tração 2º corpo de prova.....	28
Gráfico 06 – Resultado do ensaio de tração 3º corpo de prova.....	28

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	11
2.1 Alumínio .....	12
2.2 Alumínio no Brasil .....	13
2.3 Fundição do alumínio .....	14
2.3.1 Generalidades .....	14
2.3.2 Fundentes .....	14
2.3.3 Gasificação .....	15
2.4 Fusão do alumínio .....	15
2.5 Liga alumínio A356 .....	16
2.5.1 Elementos liga alumínio A356 .....	16
2.5.2 Composição química .....	17
2.5.3 Tratamento térmico .....	17
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	18
3.1 Procedimentos para o ensaio .....	18
3.1.1 Ensaio de tração .....	19
3.1.2 Corpo de prova .....	20
3.2 Análise química .....	22
3.2.1 Espectrômetro .....	22
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	23
4.1 Análise Metalográfica .....	29
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	33
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	34

## 1. INTRODUÇÃO

Uma liga é formada por vários elementos químicos e cada elemento tem papel fundamental para determinar as suas características, pois possuem propriedades próprias que combinadas entre si determinam como a liga se comportará. Evidente que a quantidade desses elementos que formam a liga são determinados por normas internacionais dependendo do produto final que será fabricado. Seguir a padronização é forma de se evitar problemas futuros, pois esses elementos em excesso podem afetar e influenciar as propriedades não desejáveis na liga.

Este trabalho tem a finalidade de demonstrar como é importante respeitar algumas normas sugeridas para a fabricação de um produto, onde poderemos observar e analisar os resultados de uma liga que não está com seus respectivos elementos na especificação correta, ou seja, está fora do padrão desejado. Entre muitos fatores que poderiam acontecer, o menos desejável é a mudança na propriedade da liga que conseqüentemente afetará a qualidade do produto final, que neste caso seria a roda de liga leve.

Foram realizados alguns testes para essa verificação e comprovação de como isso pode ser prejudicial para liga, além de que foi feito uma pequena comparação de duas rodas onde uma está dentro das especificações pedidas pela montadora e a outra não está.

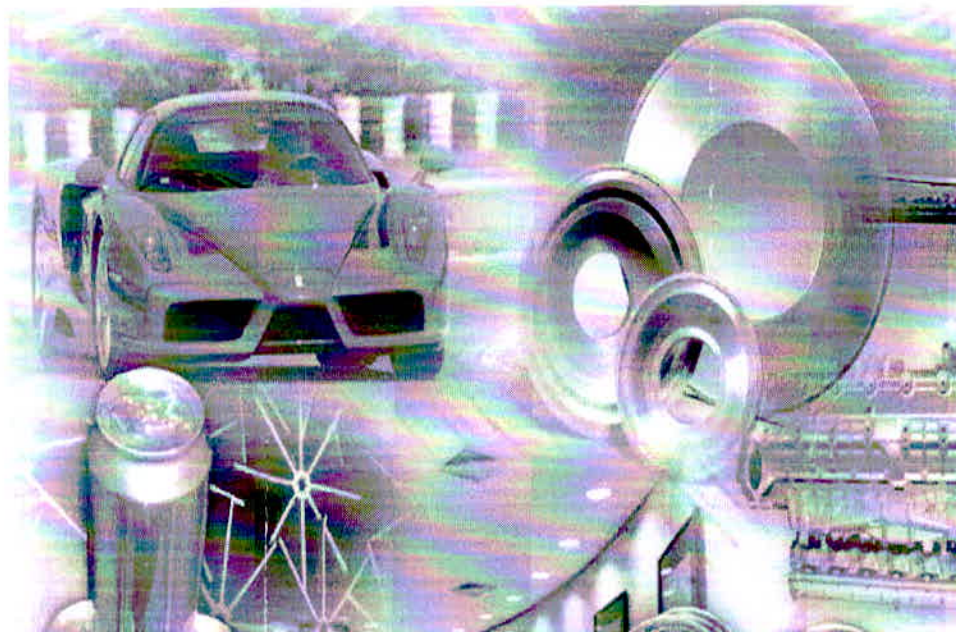
## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Alumínio

Segundo Peter Boer (1982) alumínio tem diante de si um futuro promissor. Sempre maiores possibilidades de aplicação aparecem para este metal moderno. Construção de veículos rodoviários e ferroviários, de aviões e navios, de aparelhos e máquinas, eletrotécnica, decorações internas e externas, bem como o amplo campo da embalagem, são apenas alguns dos mais importantes setores nos quais sua aplicação já foi explorada. Sua grande resistência anticorrosiva, pequeno peso específico e satisfatória tenacidade permitiram, quando de sua introdução na segunda metade do século passado, prever extensas possibilidades de aplicação.

Os primeiros vinte anos deste século deram, para a aplicação do novo e promissor metal, importantes impulsos positivos, como o desenvolvimento do automóvel e do avião, ficando, entretanto o desenvolvimento decisivo reservado à Segunda Guerra Mundial e à revolução técnica que se seguiu. Para tornar os conhecimentos essenciais da usinagem econômica do alumínio acessíveis tanto a estudiosos como às forças produtoras do futuro. Unicamente as reflexões teóricas indispensáveis a uma ocupação racional com o alumínio estão expostas de maneira facilmente compreensível (Peter Boer, 1982. p. 19).

Figura 1 – Produtos derivados do alumínio.



Fonte Associação Brasileira do Alumínio, 2007.

## 2.2 Alumínio no Brasil

Somente após a última guerra iniciou-se a construção de usinas de alumínio, das quais as mais importantes são: Companhia Eletro-Química Brasileira S.A., em Ouro Preto - Minas Gerais, produção prevista 10.000 toneladas por ano; Companhia Brasileira de Alumínio, em Rodvalho – Estado de São de Paulo, produção prevista 10.000 toneladas de alumínio por ano; e Companhia Industrial Brasil Alumínio em Campos – Estado do Rio, com produção prevista de 6.000 toneladas anualmente. A produção até o momento é pequena (ABAL, 2007).

Segundo Peter Boer (1982) as bauxitas, matéria prima do alumínio, estão presentes em muitos estados brasileiros, mas apenas parte das jazidas, algumas das quais de grandes proporções, foram objeto de prospecção detalhada.

O Brasil é dos países privilegiados para a fabricação e extração desse elemento tão importante para engenharia. Hoje o país possui a terceira maior reserva de bauxita do mundo a de adquirir um excelente poder hidrelétrico essencial para a transformação da bauxita para a formação do metal alumínio (pelo processo de eletrólise).

Peter Boer (1982) ainda cita que alguma região do Brasil que são ricas do minério onde se extrai o alumínio, veja a seguir:

- Poços de Caldas (Minas Gerais): as bauxitas mais valiosas aparecem no planalto de Poços de Caldas, parte da fronteira de São Paulo – Minas Gerais. São jazidas originadas da lateritização de nefelina sienita, fenolita e tinguaita, apresentando em suas partes compactas um teor de 60 á 62 % de  $Al_2O_3$ , enquanto que a parte amorfa é formada de bauxita com 50 á 60 % de  $Al_2O_3$ . Grandes ocorrências individuais: Chácara do Alemão, Felisberto, Conserva, Campo do Saco e Aterro. Reservas até agora conhecidas: 200 milhões de toneladas com 58%, 9 milhões com mais de 60%. Produção em 1951: 14.000 toneladas. Exploração pela Cia. Min. Bauxita; a bauxita é preparada por processo mecânico úmido, depois secada a 300 °C e embalada automaticamente. As jazidas de Poços de Caldas são a base da fábrica de alumínio de Rodvalho.

- Ouro Preto (Minas Gerais): quatro jazidas – Morro do Cruzeiro, Brígida, Saramenha e Tesoureiro – tendo ao todo 74 mil toneladas de bauxita com uma média de 58% de  $Al_2O_3$  e 118 mil toneladas com 56% em média. Teor de ácido silícido 2 a 4.

- Serra de Mutucá (Minas Gerais): as ocorrências estão localizadas nas proximidades de Nova Lima. A bauxita formou-se pela lateritização de xisto argiloso da série Minas.

Reservas até agora conhecidas: 2 milhões de toneladas de bauxita com teor médio de 56% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 2% de  $\text{SiO}_2$  e 10% de Fe. Não há ligação ferroviária nas proximidades.

– Mogi das Cruzes (Estado de São Paulo): as ocorrências de bauxita aqui localizadas são consideradas depósitos de resíduos de afloroscência. Sobre o gneiss e o granito aparecem módulos do tamanho de um grão de ervilha até as dimensões de uma cabeça; esta jazida, que se encontra próximo a Biritibassu e Mogi das Cruzes, possui uma espessura que varia entre alguns centímetros até 3 metros, em média apenas 2 metros. As bauxitas com impurezas provenientes da terra vermelha necessitam de lavagem. Teor médio do produto lavado acima de 55% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , com 5-20% de  $\text{SiO}_2$  e menos de 5% de Fe.

– Muqui (Espírito Santo): próximo a Muqui e Domingos Martins, existem jazidas constituídas de bauxita laterítica dignas de exploração. Reserva: 500 mil ton. Com 58-59% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; alto teor em  $\text{SiO}_2$ , porém baixo de ferro. A bauxita é transportada para a fábrica de Campos da Cia. Brasileira de Alumínio por ferrovia.

Outras jazidas: ocorrências de grandes dimensões, ainda não prospectadas, com espessura de mais de meio metro, situam-se em Correntina, no sudoeste da Bahia. As bauxitas muito fosfatadas do Centro-Norte (Maranhão) ainda não são exploradas.

Assim é que as companhias de alumínio tem recusado pedidos de perfis especiais para determinadas indústrias.

## 2.3 Fundição do Alumínio

### 2.3.1 Generalidades

Segundo Maria Helena (2007) a fundição do alumínio em si não apresenta grandes dificuldades: deve-se, não obstante, obedecer a certos preceitos fundamentais. Deve-se, por exemplo, evitar cuidadosamente que a fundição seja realizada em recipientes dos quais possa desprender-se ácido silícico ou óxido de ferro, pois neste caso libertar-se-iam o silício e o ferro, ligando-se com o alumínio; a separação destas impurezas é impossível pelo processo de fundição simples.

### 2.3.2 Fundentes

Merecem ainda atenção especial os sais de fluxo, os compostos formadores de excória – assim chamados fundentes a serem empregados. Fundentes são materiais que, adicionados

por ocasião de diversas operações de fundição, facilitam a fusão ou a separação de corpos estranhos. Os fundentes devem ter ponto de fusão inferior ao dos componentes isolados. Um bom fundente para o alumínio é uma mistura contendo 2/3 de fluoreto de sódio e 1/3 de cloreto de sódio, recomendando-se (Maria Helena 2007).

O alumínio dissolve com facilidade os seus óxidos quando em estado líquido, e os mantém parcialmente em suspensão. Por isso, deve-se realizar a fusão do alumínio num cadinho. A temperatura máxima para fundição do alumínio se localiza um pouco abaixo de 800°C, e esta temperatura não deve ser ultrapassada em caso algum. O alumínio não necessita ser vertido através de um funil, mas é importante que a fundição se efetue sem interrupção e, quando a fundição se realiza em coquilhas, as bolsadas devem ser eliminadas, não se devendo deixar romper o “frio”, isto é, enquanto a bolsada suga, deve continuar enchendo (Guia Técnico do Alumínio, 2000).

### 2.3.3 Gasificação

Durante a fusão, as ligas de alumínio em geral absorvem gases, principalmente se foram fundidas em fornos de combustão. O mais perigoso e prejudicial é o hidrogênio, mas também outras impurezas não-metálicas. O principal componente dessas impurezas não-metálicas é o óxido de alumínio, que se forma pela combinação de oxigênio de umidade com o alumínio. Por isso é essencial que a matéria prima seja limpa e seca (Peter Boer, 1982).

A absorção de gases e impurezas pela liga piora as características mecânicas dos produtos acabados e favorece a formação de bolhas vazias etc (Guia Técnico do Alumínio, 2000).

## 2.4 Fusão do alumínio

A fusão do alumínio é, usualmente, realizada em fornos refratários de revérbero, de indução, rotativo ou de cadinho, com capacidade que varia de 500 quilos a 100 toneladas. Alguns fornos são carregados pelo topo, caso em que a carga cai diretamente dentro do metal líquido, que está dentro do forno, ou sobre uma carga ainda não líquida do metal. Alguns fornos são carregados ao nível do chão, através de portas laterais (Guia Técnico do Alumínio, 2000).

Segundo Peter Boer (1982) em algumas fábricas, o alumínio é fundido primeiro em um forno (forno de fusão) e transferido para um segundo forno (forno de espera) para os ajustes de composição, fluxação e controle adequado da temperatura antes do vazamento. Na indústria de alumínio primário, é normal encontrarmos fornos de fusão/espera, onde o metal das cubas é transferido para o forno juntamente com sucata de metal do processo. Os fornos atuais são do tipo basculante para propiciar bom controle de temperatura e vazão do metal para os equipamentos de vazamento e permitir rápido e completo escoamento.

Na indústria de alumínio secundário, são usados fornos rotativos para fundir sucata secundária, material leve e borra. Nestes fornos, o metal é recuperado na parte inferior de uma camada líquida de sal protetora, a qual também serve para separar os óxidos metálicos do metal líquido (Guia Técnico do Alumínio, 2000).

## **2.5 Liga alumínio A356**

Apud Tarita Furlan (2013, p.16) cita que a liga A356 é uma das mais utilizadas na indústria por apresentar melhores combinações de propriedades mecânicas dentre as liga de alumínio fundidas. As altas propriedades dessa liga obtidas pelo tratamento térmico, solubilizada e envelhecida, são de interesses especial para aplicações automotivas, aeroespaciais e militares. O silício é importante nessa liga pois aumenta a fluidez, a fundibilidade, a resistência mecânica e a resistência a trincas de solidificação. O magnésio forma partículas precipitadas na matriz, que conferem ao material dureza e resistência após o tratamento térmico. O cobre e o ferro são impurezas que devem ser controladas, sendo que o cobre e o ferro formam intermetálicos que fragilizam o material.

### **2.5.1 Elementos liga alumínio A356**

Um dos aspectos que tornam as ligas de alumínio eficiente qualidade de servir como materiais para mecânica é que o mesmo possa ter a facilidade de combinar com alguns matérias importantes para toda a engenharia. As várias combinações desse elementos ajudam ao produto final a ter algumas propriedades melhoradas como resistência mecânica, resistência à corrosão e ao ataque de substâncias químicas, condutibilidade elétrica, usinabilidade, ductibilidade, formabilidade, entre outros benefícios. A função de cada



elemento da liga se altera de acordo com a quantidade dos elementos presentes na liga A356 e com a sua interação com outros elementos.

A finalidade na adição de elementos para formação de uma liga é devido ao fato que se tem a adquirir uma resistência mecânica, entretanto, algumas impurezas incluídas podem ser prejudiciais para algumas ligas. A seguir alguns exemplos da influência de elementos de liga:

Mg - O magnésio aumenta as propriedades de resistência da liga. Ele acelera e intensifica o endurecimento da liga através da precipitação de partículas intermetálicas  $Mg_2Si$  no tratamento térmico T6 (solubilização, têmpera, mais envelhecimento) (Ma; Samuel, 2004). Além disso, ele baixa a temperatura do eutético e torna a estrutura do Si eutético mais heterogênea (CACERES; DAVIDSON; GRIFFITHS; WANG, 1999).

Fe - O ferro é a impureza menos desejável por formar fases intermetálicas na forma de plaquetas ( $\beta-Al_5FeSi$ ), como também pela facilidade de formação de porosidades na presença desta fase. Ambos são prejudiciais às propriedades de tração (Ma; Samuel, 2004).

Sr - O estrôncio é adicionado para alterar a morfologia e distribuição das partículas do Si eutético na estrutura fundida e dessa forma aumentar a ductilidade da liga. Essa alteração na morfologia acelera o processo de esferoidização dessas partículas durante o tratamento de solubilização. Outro propósito é neutralizar o efeito das plaquetas intermetálicas de Fe para melhorar as propriedades. Em alguns casos, quando em ligas com alto teor de Mg (0,4%), reage com o Mg deixando menos magnésio disponível para formar  $Mg_2Si$  diminuindo assim a resistência (disponível em: [http://www.tede.udesc.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=1683](http://www.tede.udesc.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1683)).

### 2.5.2 Composição Química

A composição química, em percentual, do alumínio e de suas tantas ligas é descrito pela Norma ABNT NBR ISO209. Ela restringe toda a utilização do alumínio e diz respeito a construção de peças forjadas e de alumínio primário.

### 2.5.3 Tratamento Térmico

Apud Tarita Furlan (2013, p.70) diz que além do grau de modificação e velocidade de resfriamento, outro fator que influencia as propriedades mecânicas das liga de alumínio é o

tratamento térmico. Ligas de alumínio de alta resistência e peças de segurança passam pelo tratamento térmico que inclui solubilização em torno de 535°C por tempos de 4 á 12horas seguidas de resfriamento brusco, e envelhecimento a temperatura em torno de 165°C por tempos de 3 a 6 horas. No caso as duas rodas passaram pelo tratamento térmico antes da realização do ensaio, foi incluído o tratamento de solubilização que durou em torno de 5 horas e logo o envelhecimento que durou em torno de 3 horas.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Procedimentos para o Ensaio**

Este capítulo tem como finalidade demonstrar como foi feito e realizado o teste o do ensaio de tração. Com base em algumas literaturas que situam que o magnésio afeta drasticamente a liga Alumínio A356, influenciando na modificação da microestrutura da liga. O objetivo deste ensaio foi de comprovar no que realmente ocorre quando uma determinada liga contém uma certa quantidade excessiva de um de seus elementos que a compõe, às vezes até a mais no que é recomendado na normas internacionais para o processo e para a fabricação afetando as propriedades mecânicas da liga A356 que é geralmente utilizada na fabricação de rodas de liga leve.

Depois de várias pesquisas feitas e algumas discussões com profissionais da área, umas das questões levantadas foi à modificação da microestrutura causada pelo alto teor magnésio e de alguns elementos que estavam fora do padrão. Como foi dito anteriormente o magnésio é “uns dos causadores” que podem interferir diretamente na fabricação e nas propriedades indesejáveis que possam aparecer. Foi proposta então, a realização do ensaio e a comprovação de como alguns padrões devem ser seguidos corretamente, para que a qualidade do produto final possa ter a eficiência desejada pelo cliente.

Com base em todas as pesquisas que foram feitas em relação às propriedades da liga Alumínio A356, realizou-se alguns testes para verificação e a análise de algumas propriedades mecânicas que eram especificadas de acordo com normas internacionais.

Todos nós sabemos que uma liga é compostas por vários elementos diferentes e que cada elemento é essencial para liga, pois são adicionadas características próprias de cada elemento que a compõe. É de extrema importância que esses elementos estejam relacionados

em quantidades controladas, pois em excesso causariam problemas indesejáveis, como dito anteriormente.

O ensaio mecânico utilizado para execução dos testes feitos em laboratório foi seguindo as normas sugeridas pela montadora Toyota. O estudo do ensaio consiste em analisar um corpo de prova que sofre a aplicação de uma força, seu valor de resistência é medida percentualmente em relação a carga máxima aplicada.

O uso de software foi fundamental para o registro de todos esses dados, pois até mesmo para a visualização através de gráficos nós podemos identificar o real defeito que o corpo de prova apresentou, e assim podemos tomar algumas decisões para as possíveis causas dessa não conformidade.

A seguir será mostrado passo á passo de como esse teste foi realizado. Antes serão apresentados alguns conceitos:

### 3.1.1 Ensaio de tração

Segundo Sergio Augusto (1982, p.6) a aplicação de uma força num corpo sólido promove uma deformação do material na direção do esforço e o ensaio de tração consiste em submeter um material a um esforço que tendo a estica-lo ou alonga-lo. Geralmente, o ensaio é realizado num corpo de prova de formas e dimensões padronizadas, para que os resultados obtidos possam ser com paradas, ou se necessário, reproduzidos.

O corpo de prova é fixado a uma máquina que tem como objetivo exercer uma força axial nos dos sentidos até a região de estrição para ruptura do material.

A seguir a máquina de tração utilizada no ensaio:

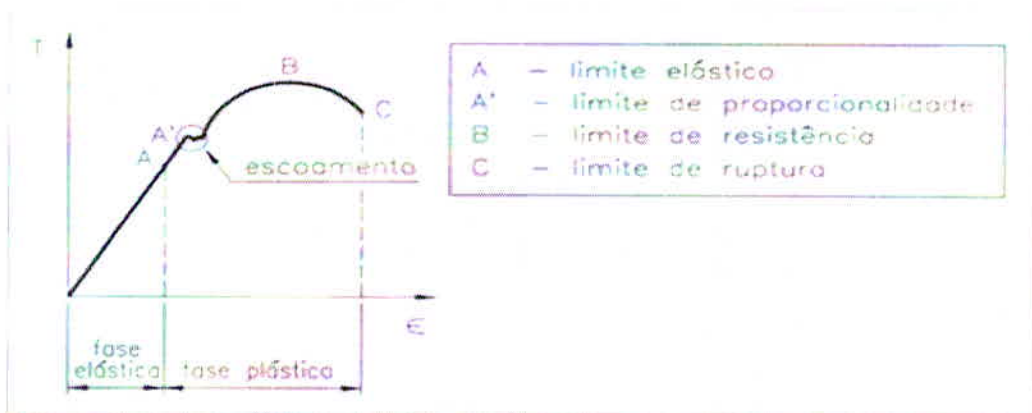
Figura 2 – Máquina de tração.



Fonte: autor.

A seguir será mostrado o gráfico tensão x deformação que mostrará as etapas do ensaio, do começo até a ruptura do material.

Figura 3- Gráfico tensão x deformação.



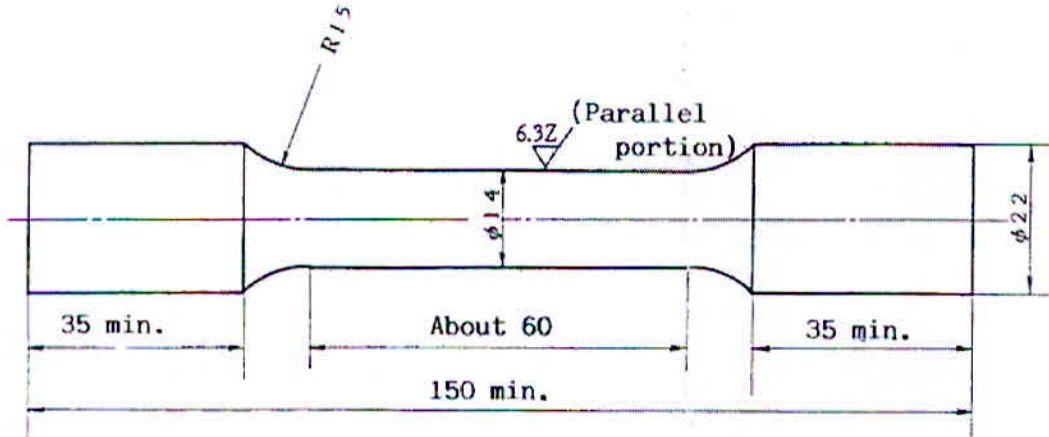
Fonte: Sérgio Augusto (1982).

### 3.1.2 Corpo de prova

As dimensões iniciais que determinam o corpo de prova são baseadas na norma sugerida pela montadora. De acordo com a norma da montadora TOYOTA TGS 2204G, o

corpo de prova deve apresentar esse padrão dimensional para a realização do ensaio, com a unidade em milímetros:

Figura 4 – Corpo de prova.



Fonte: TOYOTA TGS 2204G, p.7.

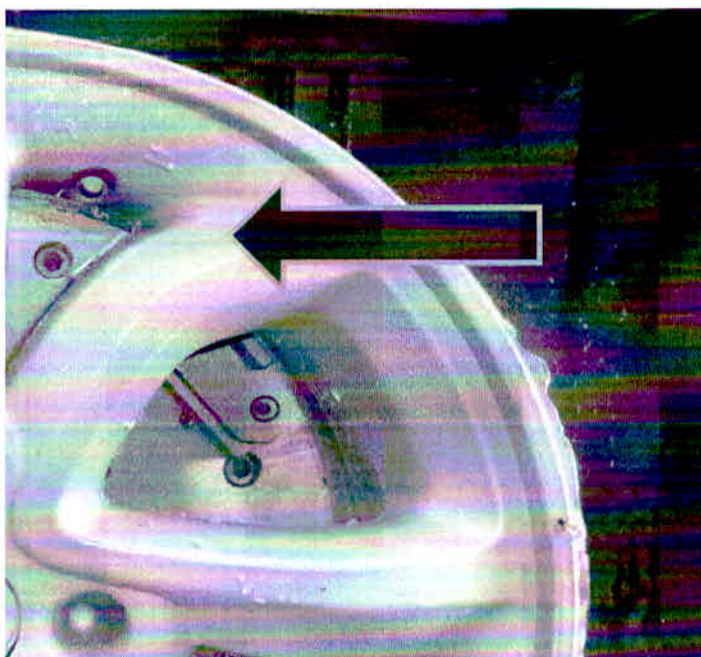
Segundo Sergio Augusto (1982) a utilização de corpos de prova normalizados é importante por vários motivos:

- facilidade de adaptação da máquina de ensaio e execução de ensaio
- permite sempre a ruptura do material, porque se fosse ensaiada uma amostra de tamanho excessivo a capacidade da máquina poderia ser insuficiente para romper o material
- permite a comparação de alongamentos e estirções que são propriedades dependentes da forma de corpos de provas ensaiados
- Ausência da irregularidade nos corpos de prova que poderiam afetar os resultados, caso fosse feito em corpo de prova não padronizado.

É uma necessidade de se obter para o ensaio de tração resultados consideráveis pela padronização do corpo de prova, para assim poder analisar o que realmente está acontecendo com as propriedades mecânicas da liga.

De acordo com a norma TOYOTA TSG 2204G a região onde se retiraram os 3 corpos de prova situam-se na região da aleta da roda de liga leve. Como mostra a figura a seguir

Figura 5 – Região da aleta da roda



Fonte: autor

Depois do corpo de prova retirado e usinado foi feita a análise química análise.

## 3.2 Análise Química

Também da mesma região onde se tirou o corpo de prova retira-se uma amostra para a análise no espectrômetro, com o objetivo de identificar a quantidade dos elementos que compõem a liga Alumínio A356. No caso foi retirado de duas rodas do mesmo modelo, porém notou-se composições diferentes.

### 3.2.1 Espectrômetro

Em física e em astronomia um espectrômetro é um instrumento óptico utilizado para estudar a composição e propriedades da luz (ou mais concretamente da radiação eletromagnética) numa determinada faixa do espectro eletromagnético. A estrutura base de um espectrômetro é relativamente simples e resume-se a um colimador que capta a radiação eletromagnética e a uma rede de difração ou prisma que separa a radiação nos seus vários comprimentos de onda. O colimador recebe a radiação produzindo um feixe paralelo. Esse feixe paralelo é então separado pela rede de difração ou pelo prisma montado numa mesa giratória. À medida que essa mesa giratória roda, cada um dos comprimentos de onda pode

ser captado por sensores fotovoltaicos e medidos numa escala circular (Ciências Exatas, disponível em: <http://www.knoow.net/cienciasexactas/fisica/espectrometro.htm>).

A extensão dos comprimentos de onda emitidos por uma fonte de radiação eletromagnética depende dos elementos que a constituem pelo que o espectrómetro pode ser utilizado para determinar a sua composição química. Na verdade, as características da radiação emitida por determinada fonte funciona quase como um impressão digital dos elementos químicos que a constituem. Desta forma, a informação espectral proporcionada pelo espectrómetro pode ser utilizada para determinar as composições químicas de estrelas e de outros objetos celestes. (Ciências Exatas, disponível em: <http://www.knoow.net/cienciasexactas/fisica/espectrometro.htm>).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSÕES

Retirou - se então a amostra da primeira roda analisada no espectrômetro, veja a seguir a especificação dos elementos de acordo com a norma Toyota TSG 3204:

Tabela 1 – Padronização dos elementos de liga

%	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti	Pb	Sn	Cr	Sr
MIN.	-	6,25	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAX.	0,20	7,5	0,35	0,10	0,30	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	-

Fonte: Norma Toyota TSG 3204, p.2.

Os valores encontrados foram esses:

Tabela 2 - Resultados

Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti	Pb	Sn	Cr	Sr
0,000	6,674	0,321	0,008	0,119	0,003	0,006	0,139	0,000	0,000	0,001	0,015

Fonte: autor

De acordo com as especificações requeridas pela norma da montadora, observa-se que os elementos que compõe a liga alumínio A356 encontra-se dentro do padrão. Assim todas as

propriedades da liga são consideráveis estáveis, sem qualquer modificação causada por excesso de algum elemento químico que a compõe.

A seguir será mostrada uma amostra retirada da outra roda, podemos perceber que dois dos elementos da liga está fora do padrão. Consequentemente será mostrado que efeito que causará no ensaio, ou seja, quais as propriedades mecânicas que serão modificadas.

Tabela 3 – Resultados.

Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti	Pb	Sn	Cr	Sr
0,001	8,136	0,363	0,010	0,255	0,006	0,009	0,189	0,003	0,000	0,004	0,015

Fonte: autor.

Depois da verificação sobre a quantidade de elementos na liga Alumínio A356, observa-se nitidamente que os teores de alguns elementos na liga estão fora do padrão estabelecidos por normas da montadora, a seguir será mostrado.

O software utilizado para os armazenamento dos dados se chama Bluehill, com ele identificamos carga máxima que o corpo de prova suporta como a determinação do limite de escoamento, limite de ruptura e o alongamento. Lembrando que para medir o alongamento que o corpo de prova obteve foi necessário a utilização do extensômetro que era interligado diretamente com o computador e logo com o programa, podendo assim obter os dados necessário. A seguir o como foi utilizado extensômetro e como foi fixado o corpo de prova:

Figura 6 – Extensômetro

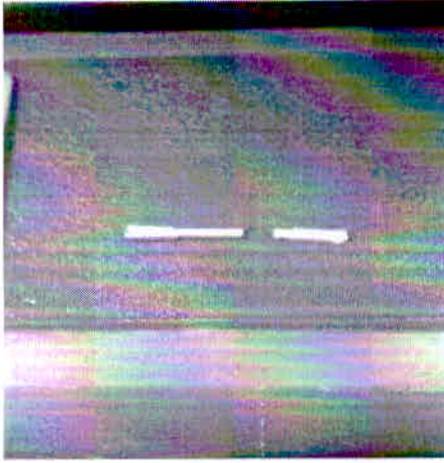


Fonte: autor.



A seguir será mostrada a ruptura do corpo de prova:

Figura 7 – corpo de prova depois do ensaio de tração

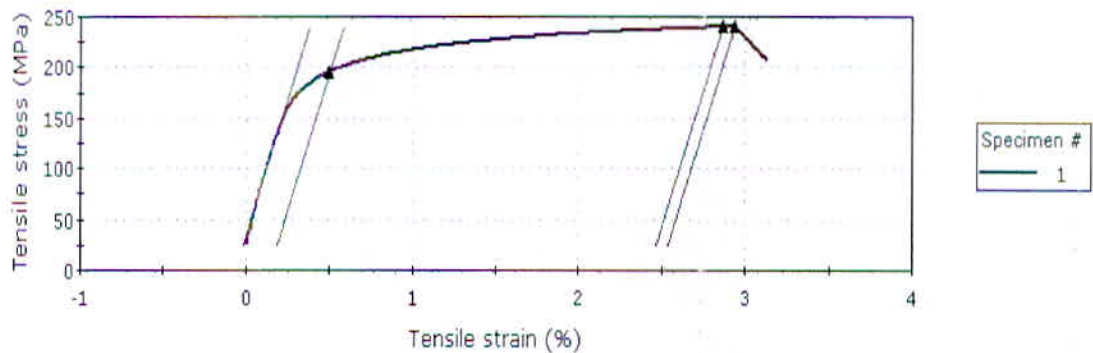


Fonte: autor

Lembrando que a primeira amostra para a realização do ensaio de tração, retirou-se da primeira roda que estava com todos o elementos que compõe a liga dentro da quantidade estabelecida pela montadora, logo se observou esses resultados:

1º Corpo de prova

Gráfico 1 – Resultado do ensaio de Tração 1º corpo de prova.

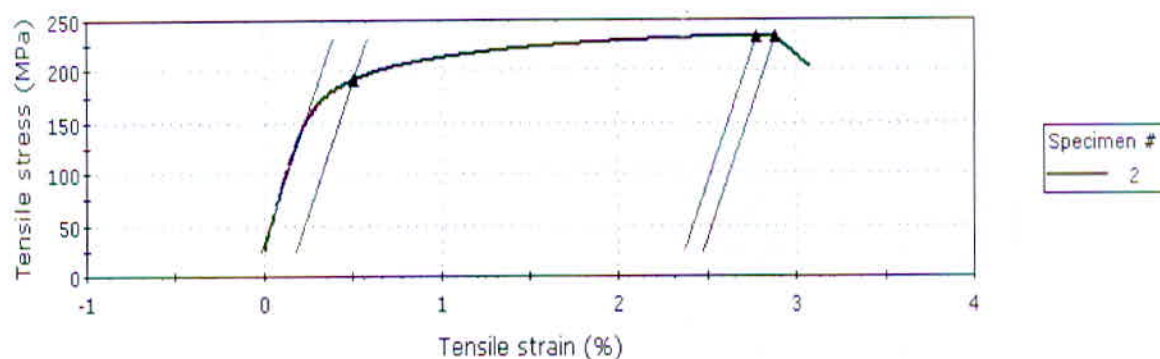


Results 1							
Amostra	Material	Along. na Rupt com Ext (%)	LR (MPa)	LE (MPa)	Carga Máxima (N)	Carga na ruptura (N)	
	ALETA	3,135	240,077	195,790	6788,011	6783,795	

Fonte: Software Bluehill, 2013.

## 2º corpo de prova

Gráfico 2 – Resultado do ensaio de Tração 2º corpo de prova.

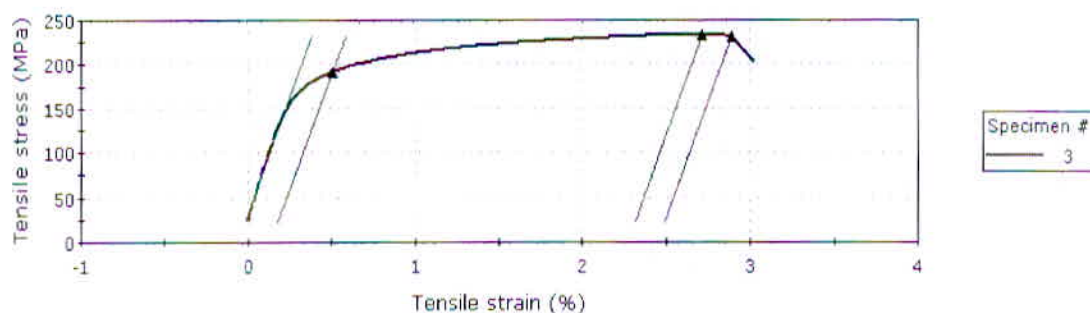


Results 1						
Amostra	Material	Along. na Rupt com Ext (%)	LR (MPa)	LE (MPa)	Carga Máxima (N)	Carga na ruptura (N)
	ALETA	3.079	233.809	191.247	6610.779	6560.457

Fonte: Software Bluehill, 2013.

## 3º corpo de prova

Gráfico 3 – Resultado do ensaio de Tração 3º corpo de prova.



Results 1						
Amostra	Material	Along. na Rupt com Ext (%)	LR (MPa)	LE (MPa)	Carga Máxima (N)	Carga na ruptura (N)
	ALETA	3.028	233.427	191.474	6599.979	6525.832

Fonte: Software Bluehill, 2013.

Logo podemos ver a seguir se resultados retirados da amostra estão dentro da norma TOYOTA T5G 3204g, ou seja, norma estabelecida pela montadora:

Tabela 4 – Especificação das propriedades da liga alumínio A356.

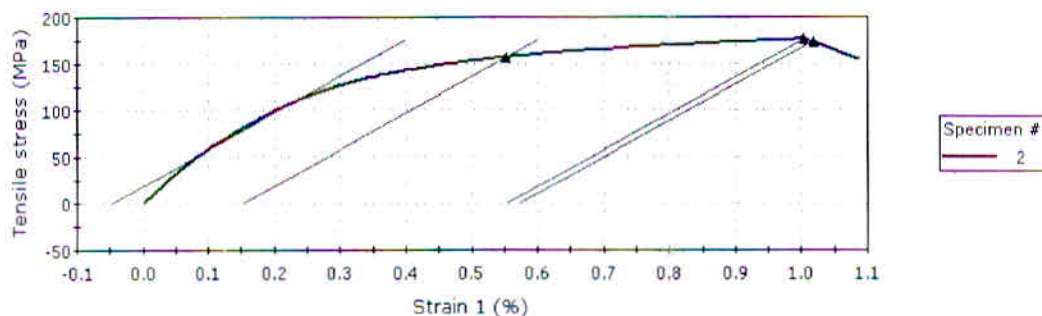
RESULTADOS						
Propriedades	Unidade	Especificação	CP – 1	CP – 2	CP – 3	CP – 4
Tensão de ruptura (LR)	MPa	$\geq 206$	240,077	233,809	233,427	-
Límite de escoamento (LE)	MPa	ND	-	-	-	-
Alongamento (A)	%	$\geq 2,0$	3,75	3,079	3,028	-

Fonte: autor

Em seguida foi realizado o ensaio no corpo de prova retirado da roda em que havia um alto teor de magnésio, a seguir os resultados obtidos:

## 1º corpo de prova

Gráfico 4 – Resultado do ensaio de Tração 1º corpo de prova.

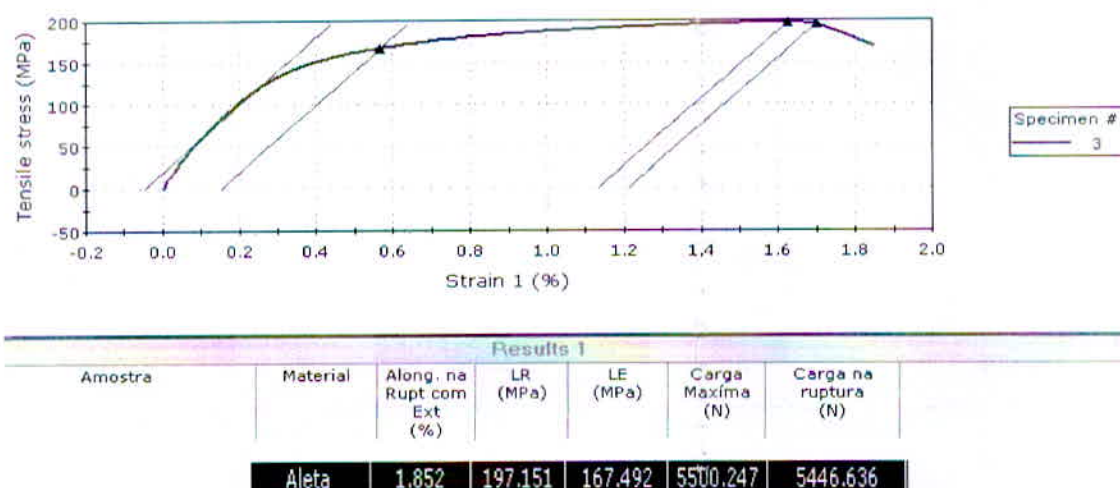


Results 1						
Amostra	Material	Along. na Rupt com Ext (%)	LR (MPa)	LE (MPa)	Carga Maxima (N)	Carga na ruptura (N)
Aleta		1.086	175.911	157.217	4842.029	4791.188

Fonte: Software Bluehill, 2013.

## 2º corpo de prova

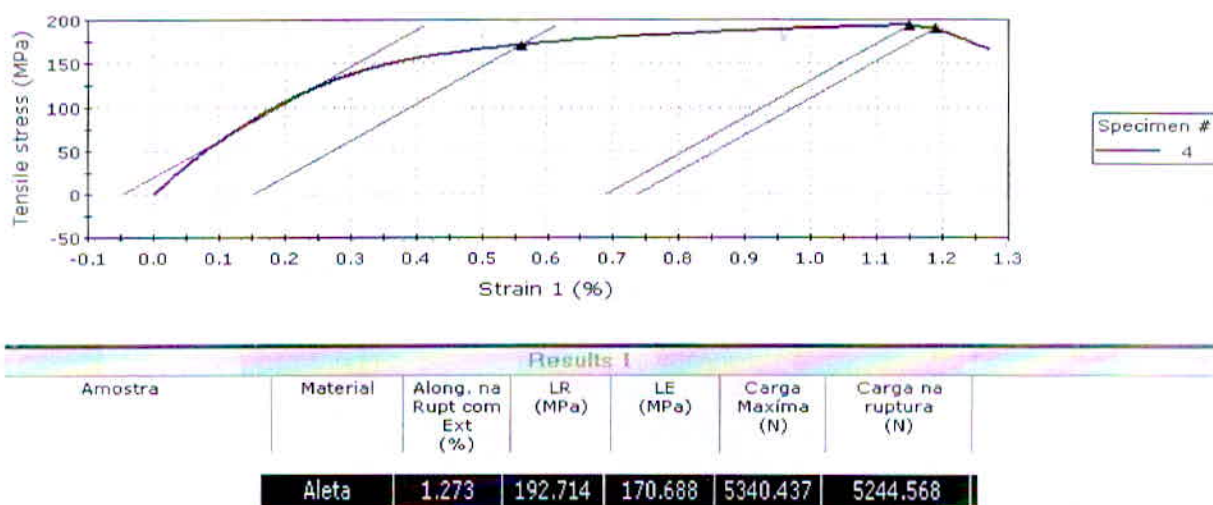
Gráfico 5 – Resultado do ensaio de Tração 2º corpo de prova.



Fonte: Software Bluehill, 2013.

### 3º corpo de prova

Gráfico 6 – Resultado do ensaio de Tração 3º corpo de prova.



Fonte: Software Bluehill, 2013.

Logo obtivemos valores bem menores do que o especificado, veja a seguir a tabela com as especificações da norma Toyota T5G 3204g com as especificações:

Tabela 5 – Especificação das propriedades da liga alumínio A356.

RESULTADOS						
Propriedades	UN.	Especificação	CP – 1	CP – 2	CP – 3	CP – 4
Tensão de ruptura (LR)	MPa	$\geq 206$	175,911	197, 151	192,714	-
Limite de escoamento (LE)	MPa	ND	-	-	-	-
Alongamento (A)	%	$\geq 2,0$	1,086	1,852	1,273	-

Fonte: Autor.

Depois dos testes realizados, podemos dizer que o alto teor de magnésio pode ser um dos causadores do baixo alongamento da liga e também para baixa carga para chegar a tensão de ruptura registrada pelo computador. Podemos perceber também nas amostras retiradas, em que a carga máxima foi bem menor que na solicitada na roda padronizada. Depois foi realizada a análise Metalográfica das duas rodas.

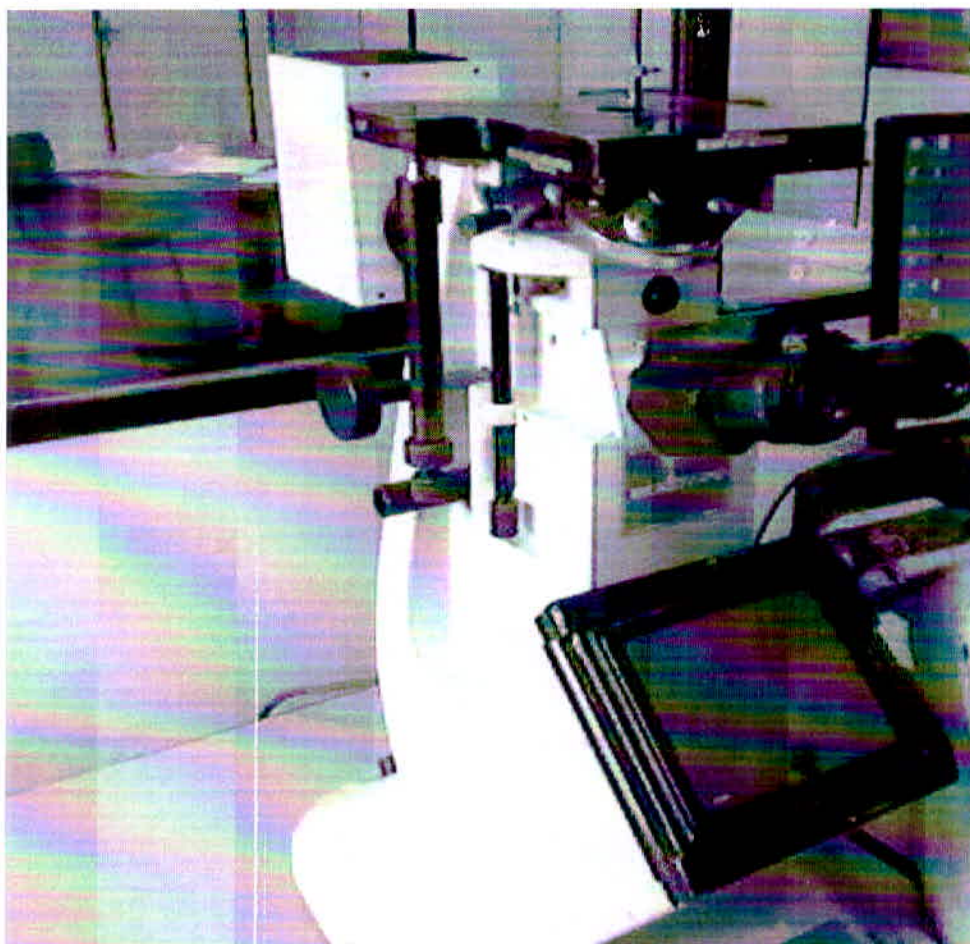
A ductilidade em que a liga adquire é relativamente pequena em ligas com maior magnésio, especialmente em ligas modificadas por Estrôncio (Sr), comparado às ligas com baixo Mg. A redução da ductilidade de ligas de alumínio não modificadas é devido a grandes concentrações de partículas de Silício.

Estrutura mais refinada maior a ductilidade. A presença de grandes partículas da fase intermetálica induz para uma diminuição na ductilidade de ligas modificadas por estrôncio. Quanto maiores as partículas de Silício e cada vez mais alongadas tendem a trincar mais cedo durante a deformação plástica. O efeito das partículas de Fe é balanceado pelo efeito do refino da taxa de resfriamento (CACERES; DAVIDSON; GRIFFITHS; WANG, 1999).

#### 4.1 Análise Metalográfica

Da mesma região retirou-se também uma amostra para visualização em microscópico. Foi realizado através do microscópico óptico, com o objetivo de poder identificar a macroestrutura e a microestrutura da amostra retirada. Uma das análises mais observadas, é de como os alguns elementos interferiram após o tratamento térmico em relação a sua microestrutura da liga, o principal modificador é o magnésio que influencia as propriedades da liga. A seguir o aparelho utilizado para esta análise:

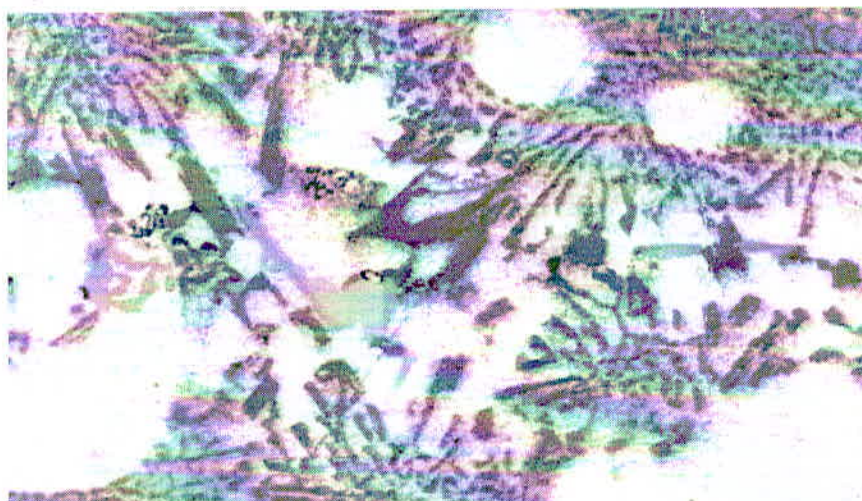
Figura 9 – Microscópico.



Fonte: autor.

Como pode ser observado, o alto teor de magnésio alongaram mais as agulhas de Silício e provocou a precipitação do endurecimento de grãos em torno das dentritas, lembrando que o magnésio é de extrema importância para fabricação da roda ou até mesmo para o tratamento térmico da liga alumínio A356, veja a seguir a microestrutura vista no microscópico com uma lente aumentada 400 vezes:

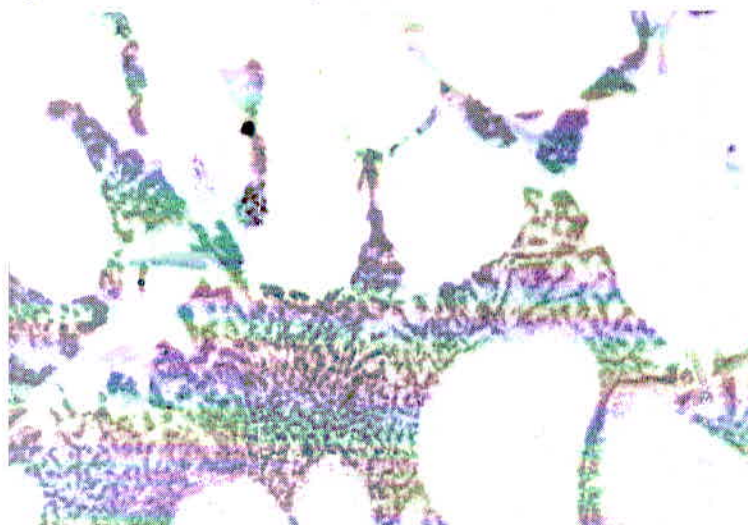
Figura 10 – Microestrutura liga A356.



Fonte: autor.

Bem diferente da outra amostra retirada da roda que estava dentro do padrão especificado, veja a seguir a microestrutura observada com uma lente de 400 vezes:

Figura 11 – Microestrutura liga A356.



Fonte: autor.

A distribuição é bem mais homogênea e as agulhas de silício bem menores. Em consequência do aumento do teor de magnésio, tanto o processo de tratamento térmico como a solubilização e o envelhecimento são prejudicados, pois não conseguem adquirir o tempo necessário para que o processo de tratamento térmico seja eficaz.

Apud Tarita Furlan (2013, p.75) diz que a introdução de pequenas quantidades de magnésio causa o aumento tanto do tamanho quanto do fator de forma de partículas de silício

quanto de seus respectivos desvios padrão. O aumento do desvio padrão dos parâmetros revela uma microestrutura mais heterogênea com o aumento do teor de magnésio. A adição de magnésio causa o aumento, não só do fator de forma, quanto do tamanho médio das partículas de silício.



## 5 CONCLUSÃO

Portanto é de extrema importância seguir a padronização em relação à quantidade de elementos que formam qualquer liga, como a liga A356, para que todas as propriedades mecânicas não sofram modificações indesejáveis que possam afetar a qualidade do produto final. Aparentemente o alto teor de magnésio afetou diretamente na modificação da microestrutura da roda de liga leve, mas outros elementos também devem ter quantidades controladas como o Silício e o Ferro.

Evidente que os testes foram cruciais para a verificação e identificar as possíveis falhas que possam ter ocorrido principalmente na composição química da liga. Os resultados obtidos são mais eficientes quando se tem equipamentos mais sofisticados, facilitando muito o trabalho do engenheiro que deve conhecer também cada elemento que compõe a liga, pois cada um possui uma característica própria e em excesso podem prejudicar a liga.

A análise das possíveis falhas que possam ter acontecido no processo tem papel fundamental para que não ocorra novamente este problema. Cabe ao engenheiro buscar medidas cabíveis para evitar esse tipo de situação e para orientar para todos envolvidos na fabricação de rodas de liga leve de como é importante respeitar a padronização para a eficiência do produto e satisfação do cliente.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL. **Manual do Alumínio**. Disponível em: [www.abal.com.br](http://www.abal.com.br). Acesso em: 01 mar 2013.

Engineering materials handbook, ASM International Handbook Committee; Theodore J. Reinhart, technical chairman, American Society for Metals, 1989, c1987. 1992.

KLIAUGA, Andréa Madeira. **Metalurgia básica para do metal**, 1.ed. São Paulo, 2009.

BOER, Peter. **Metalurgia Prática do Alumínio**; 3.ed. Sao Paulo ,Brasiliense, 1982.

CALLISTER JR., William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro, 2008.

FURLAN, Tarita. **Influência do teor de Estrôncio na modificação na liga A356**, Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-31032008-095727/pt-br.php>>. Acesso em: 13/07/2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL. **Guia Técnico do Alumínio**. São Paulo, 2000.

SOUZA, Sérgio Augusto, **Ensaio de Materiais Metálicos. Fundamentos Teóricos e Práticos**. São Paulo, Edgard Blucher, 1982.

PORTAL OFICINA DAS RODAS. **RODAS 2013**. Disponível em: <<http://www.oficinasrodas.com.br/articles/historia-liga-leve.html>> Acesso: 13/8/2013.

ROBERT, Maria Helena. **Curso de Solidificação do Alumínio e Suas Ligas**. São Paulo, 2007.

SILVA, Valdinei Ferreira. Tese: **Comportamento da Liga A356 T6 Fundida e Tixoextrudada sobre Fadiga Isotérmica e Termomecânico**. Universidade de São Paulo. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-25072012-143154/pt-br.php>>. Acesso em 26/09/2013.

TSG 2204, Toyota Engineering Standard. **Test Pieces for Tensile Test of Metallic Materials**. 2009.

T5G 3204G, Toyota Engineering Standard . **Tensile Test Method for Metallic Materials**. 2006.

MANTELL, Charles L. **Engineering materials handbook**. New York: Mcgraw - Hill, 1958.

SMITH, William F. **Princípios de ciência e engenharia de materiais**. Portugal: McGraw Hill, 1998.

PORTAL INFO ESCOLA. **Invenção da Roda**. Disponível em:  
<<http://www.infoescola.com/cultura/roda/>>. Acesso em 14/8/2013)