

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS - UNIS/MG

ENGENHARIA MECÂNICA

JAILSON CASSIMIRO GONÇALVES

Biblioteca Monsenhor Domingos Prado Fonseca

N. Class. M 621.56

Cutter 6.635 a

Ano/Ed. 2010

SISTEMA DE BIBLIOTECAS
FEPESMIG
BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA

**AUMENTO DE PRODUTIVIDADE NA TROCA DO TIPO DE
FLUIDO NA REFRIGERAÇÃO DE MOLDES DE FUNDIÇÃO NO
PROCESSO DE BAIXA PRESSÃO EM RODAS DE LIGA LEVE**

Varginha
2010

JAILSON CASSIMIRO GONÇALVES

**AUMENTO DE PRODUTIVIDADE NA TROCA DO TIPO DE
FLUIDO NA REFRIGERAÇÃO DE MOLDES DE FUNDIÇÃO NO
PROCESSO DE BAIXA PRESSÃO EM RODAS DE LIGA LEVE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Mecânica do Centro
Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG
como pré-requisito para a obtenção do grau de
Engenheiro Mecânico, sob a orientação do
Professor Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Varginha

2010

JAILSON CASSIMIRO GONÇALVES

**AUMENTO DE PRODUTIVIDADE NA TROCA DO TIPO DE
FLUIDO NA REFRIGERAÇÃO DE MOLDES DE FUNDIÇÃO NO
PROCESSO DE BAIXA PRESSÃO EM RODAS DE LIGA LEVE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Mecânica
do Centro Universitário do Sul de Minas –
UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico, sob a
orientação do Professor Ms. Luiz Carlos Vieira
Guedes.

Aprovado em 02/12/2010



Profº. Esp. Márcio de Santana



Profº. Ms. Nilton dos Santos Portugal



Profº. Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes

OBS.:

Dedico este trabalho a minha família, principalmente a Ana Luiza que com grande incentivo, sempre me apoiou e também a Mangels, que proporcionou todo o meu conhecimento para a realização deste TCC.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus colegas, minha família e em especial o Prof^o Fabiano Farias de Oliveira por terem ajudado na construção deste trabalho.

“Até os mais corajosos raramente
tem a coragem para aquilo que
realmente sabem”

Frederico Nietzsche

RESUMO

O crescimento astronômico da indústria automotiva no mundo e principalmente no Brasil faz com que os fornecedores de autopeças trabalhem forte para poder suprir esta demanda e acompanhar este crescimento. Porém nem todos os fornecedores de autopeças têm capacidade de grandes investimentos em máquinas ou novas fábricas para assim suprir esta necessidade, ficando a cargo de nossa engenharia, umas das melhores do mundo, desenvolver ou melhorar os processos produtivos existentes para suprir esta demanda. Este estudo tem o objetivo de demonstrar que a refrigeração a água é mais interessante para a fundição de rodas de liga leve, a baixa pressão, para a indústria automotiva que a ar. Através de análise comparativo entre resultados dos testes realizados, foi comprovada a viabilidade técnica, atendendo todas as exigências de engenharia que requer o produto em questão, conforme solicitado pelo cliente específico. A viabilidade econômica foi comprovada através da capacidade do retorno do investimento após seis meses. A refrigeração é muito importante para nossas metas de produção, pois tem redução considerável no tempo de processo de refrigeração sem perda de qualidade e da confiabilidade do produto, logo a redução no tempo total de fabricação, reduzindo assim os custos fixos de produção. Conseqüentemente seremos mais competitivos tanto no mercado internos quanto no externo. Após análise dos resultados, foi tomado a decisão por realizar a adaptação para o processo de refrigeração a água em todas as máquinas de fundição a baixa pressão da planta em questão

Palavras-Chave: Rodas de liga leve, Produtividade, Fundição.

ABSTRACT

The astronomical growth of the automotive industry worldwide and particularly in Brazil makes the parts suppliers work hard to be able meet this demand and accompany this growth. But not all auto parts suppliers have the capacity for major investments in new factories or machinery so as to meet this need, leaving it to our engineering, one of the best in the world, develop or improve existing production processes to meet this demand. This study aims to demonstrate that the water-cooler and more interesting for the cast alloy wheels, low pressure, for the automotive industry the air. Through comparative analysis between the results of tests performed, we confirmed the technical feasibility, given all the demands of engineering that requires the product in question, as requested by the client specific. The economic viability was confirmed by the ability of investment return after six months. Cooling is very important for our production targets, it has considerable reduction in the time of cooling process without loss of quality and reliability of the product, therefore reducing the total manufacturing time, thereby reducing fixed costs of production. Therefore we will be more competitive in both domestic and the foreign market. After analyzing the results, was taken the decision to make the adjustment to the process of cooling water in all machines at low pressure casting plant in question.

Keywords: *Alloy wheels, Productivity, Foundry.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1: Gráfico de licenciamento mensal | 14 |
| Figura 2: Estoque de Lingotes Primario | 18 |
| Figura 3: Vazamento de metal líquido. | 20 |
| Figura 4: Modificação do silício. | 21 |
| Figura 5: Refino de grão. | 21 |
| Figura 6: Máquina de desgaseificadora de metal líquido. | 22 |
| Figura 7: Solidificação do metal líquido. | 23 |
| Figura 8: Sequência de Refrigeração. | 24 |
| Figura 9: Zona de perigo e resfriamento. | 25 |
| Figura 10: Lateral do molde de injeção para o processo de ar água. | 33 |
| Figura 11: Lateral do molde de injeção para o processo de ar e água. | 33 |
| Figura 12: Painel de controle de vazão e Tubulação para água. | 34 |
| Figura 13: Máquina antes e depois da adaptação. | 34 |
| Figura 14: Esquema para bancada de teste para Fadiga de Disco. | 39 |
| Figura 15: Funcionamento da máquina de teste para Fadiga de Disco. | 40 |
| Figura 16: <i>Layout</i> da bancada de teste para Fadiga de Disco. | 42 |
| Figura 17: Bancada de teste para Fadiga de Disco. | 43 |
| Figura 18: <i>Layout</i> da bancada de teste de impacto de 13°. | 45 |
| Figura 19: Dispositivo de fixação de teste de impacto de 13°. | 46 |
| Figura 20: Bancada de teste de impacto de 13°. | 46 |
| Figura 21: <i>Layout</i> da bancada de teste de impacto de 90°. | 48 |
| Figura 22: Teste de impacto de 90° e roda após o teste. | 49 |
| Figura 23: <i>Layout</i> do sistema hidráulico de água do setor de fundição. | 51 |

SISTEMA DE BIBLIOTECAS
FEPESMIG

BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Composição das ligas..... | 17 |
| Tabela 2: Resultado dos ensaios de tração (Limite de resistência mecânica e limite de escoamento)..... | 36 |
| Tabela 3: Resultado dos ensaios de tração e dureza (alongamento e dureza ou durabilidade)..... | 37 |
| Tabela 4: Teste de fadiga de disco..... | 41 |
| Tabela 5: Resultado do teste de fadiga de aro..... | 44 |
| Tabela 6: Resultado do teste de impacto de 13°..... | 47 |
| Tabela 7: Resultado do teste de impacto de 90°..... | 50 |
| Tabela 8: Lista de material e valores para adaptação da refrigeração a água..... | 51 |
| Tabela 9: Tempo médio de Produção..... | 52 |
| Tabela 10: Ganhos de peças considerando o tempo médio de Produção..... | 52 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1. CONSIDERAÇÕES | 14 |
| 1.2. METODOLOGIA..... | 15 |
| 2. REREFENCIAIS TEÓRICOS..... | 16 |
| 2.1. FUNDIÇÃO..... | 16 |
| 2.1.1. Alumínio..... | 16 |
| 2.1.2. Liga de Alumínio..... | 16 |
| 2.1.2.1. Elementos da Liga de Alumínio..... | 17 |
| 2.1.3. Ligas usadas na fabricação de rodas..... | 17 |
| 2.1.3.1. Composição da Liga para a fabricação de rodas..... | 17 |
| 2.1.3.2. Matérias primas utilizadas..... | 18 |
| 2.2. PROCESSO DE FUSÃO | 19 |
| 2.2.1. Oxidação..... | 19 |
| 2.2.2. Absorção de Hidrogênio..... | 19 |
| 2.2.3. Contaminação da Liga..... | 19 |
| 2.3. VAZAMENTO | 20 |
| 2.3.1. Tratamento do metal líquido..... | 20 |
| 2.4. SOLIDIFICAÇÃO | 23 |
| 2.4.1. Solidificação Direcional..... | 24 |
| 2.4.2. Circuito de refrigeração..... | 26 |
| 2.4.3. Eficiência da refrigeração..... | 26 |
| 2.5. PINTURA DO MOLDE..... | 26 |
| 2.6. PROCESSO DE INJEÇÃO DE BAIXA PRESSÃO..... | 27 |
| 2.6.1. Máquina injetora de baixa-pressão..... | 27 |
| 2.7. TRATAMENTO TÉRMICO DE RODAS FUNDIDAS EM LIGA A356..... | 28 |
| 2.8. DEFEITOS DE FUNDIÇÃO TÍPICOS..... | 29 |
| ALGUNS DEFEITOS DE FUNDIÇÃO TÍPICOS EM RODAS AUTOMOTIVAS FUNDIDAS PODEM SER CITADOS: .. | 29 |
| 2.9. PROPRIEDADES MECÂNICAS..... | 30 |
| 2.9.1. Limite de resistência à tração..... | 30 |
| 2.9.2. Limite de escoamento..... | 31 |
| 2.9.3. Alongamento..... | 31 |
| 2.9.4. Dureza..... | 31 |
| 3. ESTUDO DE CASO..... | 32 |
| 3.1. IMPLANTAÇÃO DA REFRIGERAÇÃO DA ÁGUA NAS MÁQUINAS DE BAIXA PRESSÃO..... | 32 |
| 3.2. ENSAIOS E RESULTADOS | 34 |
| 3.2.1. Testes Estruturais (durabilidade)..... | 38 |
| 3.2.1.1. Fadiga de Disco..... | 38 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.2.1.2. | Fadiga de Aro | 41 |
| 3.2.1.3. | Teste de impacto de 13° | 44 |
| 3.2.1.4. | Teste de impacto 90° | 48 |
| 3.3. | COMPARATIVO DOS RESULTADOS OBTIDOS | 50 |
| 4. | VIABILIDADE ECONÔMICA / ANÁLISE PRODUTIVA | 51 |
| 4.1. | LEVANTAMENTO DE CUSTOS DO INVESTIMENTO | 51 |
| 4.2. | ANÁLISE PRODUTIVA | 52 |
| 5. | CONCLUSÃO | 53 |
| 5.1. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 53 |
| 5.2. | TRABALHOS FUTUROS | 54 |
| 6. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 55 |

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo analisar o processo de fundição de rodas de liga leve em injetoras de baixa pressão e sugerir possíveis soluções para um aumento de produtividade.

A partir de observação *in loco*, foi percebida uma deficiência no sistema de refrigeração do molde das injetoras. Nesse sentido foram apontadas possíveis melhorias onde foi feita uma reestruturação no projeto de refrigeração dos moldes das injetoras de baixa pressão, para que no segmento do trabalho os dados possam ser comparados com o processo usado atualmente.

Este trabalho está organizado em 5 Capítulos, encerrando-se com as Referências Bibliográficas.

No Capítulo 1 foi escrito com o objetivo de situar o leitor do problema da empresa e também as motivações para a realização deste trabalho.

No Capítulo 2 é apresentada a seção Fundição da empresa onde este trabalho foi desenvolvido. Além disso, este capítulo apresenta alguns processos existentes e utilizados neste trabalho, como por exemplo, fusão, injeção de baixa pressão etc.

No Capítulo 3 são mostrados os estudos de caso realizados, chamados na Seção 1.3 de ensaios. Os resultados obtidos da realização dos ensaios também são apresentados.

No Capítulo 4 a viabilidade econômica em investir em toda linha de refrigeração a partir da ideia obtida com a realização deste trabalho, é discutida.

Por fim, no Capítulo 5 algumas conclusões são citadas, juntamente com possíveis trabalhos futuros. Este trabalho é encerrado com as Referências Bibliográficas utilizadas.

1.1. Considerações

O crescimento astronômico da indústria automotiva desde 2008 faz com que os fornecedores de peças automotivas (autopeças) trabalhem forte para cumprir esta demanda e acompanhar este crescimento, conforme apresentado na Figura 1. Grandes investimentos nem sempre são possíveis para suprir esta demanda, como por exemplo, aquisições de novas fábricas ou ampliação de parques industriais existentes ou investimentos em novos maquinários (Secco, 2010).

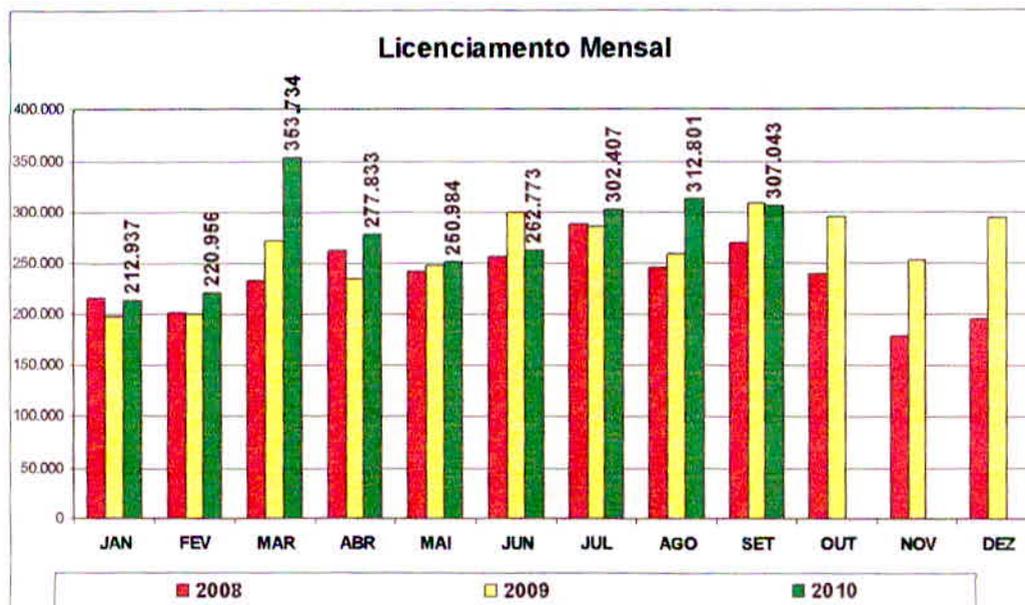


Figura 1: Gráfico de licenciamento mensal (Secco, 2010).
Fonte : Secco 2010

A Engenharia Brasileira é tida como uma das mais versáteis e criativas do mundo, exportando mão de obra para todo o mundo. Com este material humano valioso, algumas empresas estão apostando nesta criatividade para melhorar seus processos produtivos a fim de ampliar sua produção de modo a suprir a demanda de peças e acessórios (Secco, 2010).

A capacidade produtiva das autopeças já foi e ainda é motivo de discussão por ser um item preponderante para o crescimento da indústria automotiva, ou seja, o total crescimento da indústria automotiva está diretamente ligado a capacidade produtiva do parque industrial das autopeças (Secco, 2010).

Frente ao desafio de aumento da capacidade produtiva, a Engenharia Brasileira tem um papel fundamental, que é de criar boas alternativas com baixos orçamentos. Este projeto é mais um exemplo de criatividade, com o objetivo de suprir a alta demanda do mercado autopeças, será mudado o sistema de refrigeração a ar do

processo de fundição de rodas de liga leve por refrigeração a água. Dessa maneira, acredita-se obter um ganho de produtividade melhor, devido à eficiência da troca térmica da água.

1.2. Metodologia

A metodologia de pesquisa foi baseada na análise quantitativa, para apresentar as vantagens na mudança no tipo de fluido para refrigeração dos moldes, através da comparação dos resultados obtidos nos testes estruturais, nas propriedades mecânicas e também na análise produtivo.

2. REREFENCIAIS TEÓRICOS

Neste Capítulo os referenciais utilizados são explicados detalhadamente para apoiar o leitor em um melhor entendimento sobre o trabalho realizado.

2.1. Fundição

A fundição é antes de tudo uma arte que tem sido utilizada pelo homem desde 6000 A.C. para a fabricação de armas, utensílios (panelas, ferramentas etc.) e enfeites. Os primeiros processos utilizavam fornos que eram apenas buracos no chão com carvão e os primeiros moldes eram esculpidos em pedras, moldados em argila ou simplesmente cavados no solo (Malavas, 2008).

As ligas de Alumínio dentro da história da utilização de metais pelo homem (cerca de 8000 anos) são tão recentes que podem ainda ser consideradas como novas, pois o minério de alumínio foi descoberto apenas em 1821 e era tão difícil produzi-lo que chegava a ser tão caro quanto o ouro. Já com a chegada da segunda Guerra Mundial (1939 – 1945) houve uma necessidade de grande quantidade de aviões de metal, e o alumínio por ser leve foi usado em larga escala. Com isso, o alumínio tornou-se barato e comum em nossas vidas (Malavas, 2008).

Nos anos 70 iniciou-se no Brasil a produção de rodas de Magnésio (liga Mg-Al), que representam um peso bastante reduzido e boa aparência superficial, porém, uma péssima resistência ao impacto, motivo pelo qual, a produção de rodas de Magnésio foi restrita à competição e à aviação. No entanto, com o desenvolvimento de rodas de alumínio as montadoras imediatamente começaram a colocá-las em seus carros, tornando o consumo cada vez maior.

2.1.1. Alumínio

O alumínio (Al) é um metal de cor cinza claro e leve que no estado puro funde a 660°C e é muito mole. Por ser mole é necessário fazer uma liga com outros metais para melhorar as suas propriedades (Malavas, 2008).

2.1.2. Liga de Alumínio

Liga é uma mistura de metais, utilizados para a fabricação de peça fundida. Cada metal presente na liga é chamado de elemento de liga. A liga de alumínio é uma liga onde o alumínio está presente em maior quantidade. A leveza de Al faz com que a liga pese pouco, sendo por isso chamada de liga leve (Malavas, 2008).

2.1.2.1. Elementos da Liga de Alumínio

De acordo com Malavas (2008), os elementos principais da Liga de Alumínio são:

- **Silício (Si):** é o elemento mais utilizado nas ligas de fundição. Aumenta a fluidez do alumínio, permitindo que ele flua através de finas paredes na cavidade o reproduza detalhes mais delicados. Também aumenta a resistência mecânica da peça e abaixa a temperatura de fusão.

- **Magnésio (Mg):** aumenta as propriedades mecânicas principalmente junto com Silício(SI) e permite que a liga seja tratável termicamente, dependendo da quantidade adicionada.

- **Ferro (Fe):** é considerado como uma impureza torna a liga da roda mais frágil diminuindo sua resistência, fazendo com que ela quebre mais facilmente.

- **Cobre (Cu):** melhora as propriedades mecânicas, porém prejudica a fundibilidade e a resistência a Corrosão, é considerada uma impureza na liga da roda.

- **Titânio (Ti):** refinador de grão diminui o tamanho do grão.

- **Boro (B):** em conjunto com titânio aumenta o efeito de refino de grão.

- **Estrôncio (Sr):** modifica a forma do silício para melhorar propriedades mecânicas.

2.1.3. Ligas usadas na fabricação de rodas

Existem duas ligas de Alumínio que são utilizadas na fabricação de rodas, são elas:

- **Liga A413:** identifica com a cor amarela

- **Liga A356:** identifica com a cor azul.

2.1.3.1. Composição da Liga para a fabricação de rodas

A composição da liga é a quantidade exata de cada elemento fundamental e ela é sempre expressa em porcentagem, conforme apresentado na Tabela 1.

| Liga A413 AlSi 11% - Preto | Liga A356 AlSi 7% - Azul |
|----------------------------|--------------------------|
| Si - 10,5% a 11,5% | Si - 6,5% a 7,5% |
| Ti - 0,10 no maximo | Ti - 0,10 no maximo |
| Sr - 0,03 no maximo | Sr - 0,03 no maximo |
| Mg - 0,15 no maximo | Mg - 0,25 a 0,45 |
| Fe - 0,18% no maximo | Fe - 0,18 no maximo |

Tabela 1: Composição das ligas.

Fonte : o autor

As rodas podem ser devolvidas pela montadora se a composição não for respeitada ou se houver problemas (RECALL¹), portanto, é fundamental que as receitas de carga sejam respeitadas.

A receita ou carga de forno é a quantidade de cada matéria prima que deve ser colocado no forno. Normalmente utiliza-se 75% de matéria prima e 25% de material secundário (material secundário e rodas refugadas).

2.1.3.2. Matérias primas utilizadas

Algumas matérias primas foram utilizadas e separadas em materiais primários e secundários, como se segue:

- **Material primário:**

Lingote primário (A413 - e A356) comprados dos fabricantes na composição química desejada (liga "nova"). Na Figura 3 são apresentadas as ligas A413 (cor preta) e as ligas A356 (cor Azul) no armazenamento dos lingotes.



Figura 2: Estoque de Lingotes Primário
Fonte : o autor

¹RECALL é uma solicitação de devolução de um lote ou de uma linha inteira de produtos feita pelo fabricante do mesmo. Geralmente, isto ocorre pela descoberta de problemas relativos à segurança do produto

- **Material secundário:**

Liga A353 (proveniente da fusão dos cavacos e rebarbas gerados na empresa - liga "recuperada"), rodas refugadas e material de adição (Ante ligas – São metais que adicionam para melhorar a liga – que são: Alumínio – Estrôncio, Alumínio – Titânio – Boro, Magnésio metálico).

2.2. Processo de Fusão

Fusão é a transformação de um material sólido em material líquido com o fornecimento de calor. Existem alguns problemas que ocorrem durante a fusão de liga de alumínio, que são: oxidação, absorção de hidrogênio e a contaminação da liga (Morris, 1.978).

2.2.1. Oxidação

É causado pela queima de alumínio em contato com o ar. O produto desta queima é chamado de óxido de alumínio e forma a borra em cima do banho e nas paredes dos fornos. Quanto maior a temperatura do banho maior a quantidade de óxido (Malavas, 2008).

2.2.2. Absorção de Hidrogênio

É a entrada de gás hidrogênio no metal líquido. Este gás existente na água, óleo e umidade do ar. Quanto maior a temperatura de fusão maior é a quantidade de gás absorvida (Malavas, 2008).

2.2.3. Contaminação da Liga

É causado pela colocação de metais estranhos no forno, alheios a folha de carregamento. A temperatura de vazamento deve ser de 780°C . Deve-se tomar cuidado para que a temperatura não ultrapasse aos 800°C para evitar oxidação e a absorção de hidrogênio.

2.3. Vazamento

É a transferência de metal do forno de fusão para a panela ou da panela para maquina injetora, conforme ilustrado na Figura 3, respectivamente.



Figura 3: Vazamento de metal líquido.
Fonte : o autor

Deverá ocorrer somente quando a temperatura do metal estiver em torno de 780°C, isto quando o vazamento é do forno de fusão para a panela. Ressalta-se que durante o vazamento, alguns cuidados devem ser tomados para que não ocorra turbulência no metal que pode ocasionar absorção de gás e formação de oxido. Estes cuidados são:

- O fluxo do metal deve ser mantido constante
- A altura do vazamento deve ser o menor possível

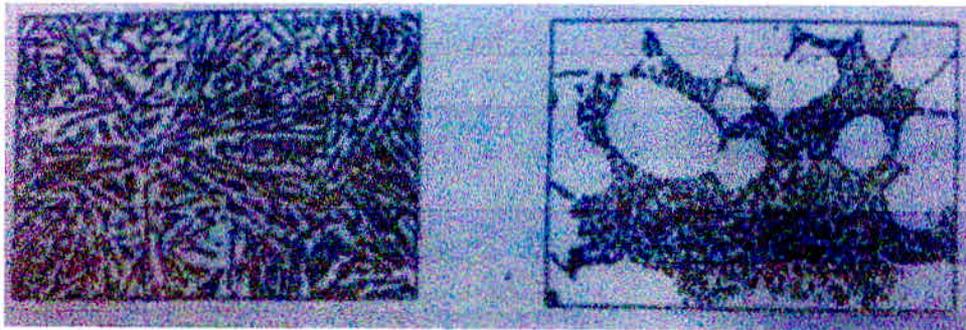
2.3.1. Tratamento do metal líquido

Tratamento do metal é uma série de operações para preparar o metal para ser colocado nas injetoras, visando melhorar as propriedades mecânicas e melhorar a fundibilidade da peça (Malavas, 2008). Estas operações são: modificação (adição de estrôncio, titânio e magnésio), Desgaseificação (FDU²), Escorificação e Vazamento na injetora.

²FDU – Equipamento que faz desgaseificação do alumínio através da aplicação de nitrogênio, retirando as partículas sólidas em suspensão do metal líquido e eventuais bolhas de hidrogênio do alumínio líquido, garantindo desta forma a qualidade da matéria prima utilizada na produção das peças injetadas

• **Modificação:** a modificação é a junção de três ante ligas: estrôncio, titânio e magnésio.

1. **Adição de estrôncio na panela:** adiciona-se estrôncio para modificar a forma do Silício na liga. Na Figura 4a é percebido o silício sem modificação, fino e comprido. Já na Figura 4b, nota-se o silício modificado, pequeno e arredondado.

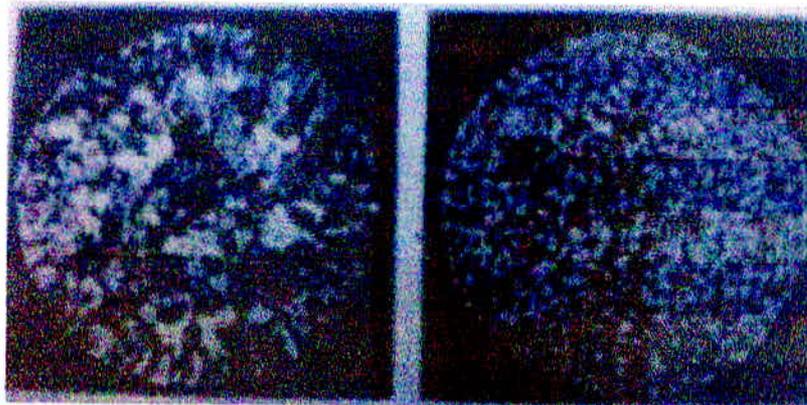


a)

b)

Figura 4: Modificação do silício.
Fonte : o autor

2. **Adição do Titânio (também conhecido como Refino de grão):** adiciona-se Titânio – Boro para promover o refino de grão, ou seja, ele torna os grãos do alumínio pequenos. Na Figura 5a é apresentado um exemplo de como fica o tamanho do grão da liga sem o titânio e na Figura 5b o tamanho com adição de titânio.



a)

b)

Figura 5: Refino de grão.
Fonte : o autor

3. **Adição de Magnésio:** adiciona-se Magnésio puro para aumentar a resistência da liga. Deve se tomar muito cuidado na adição deste elemento, pois se estiver fora da faixa, tornara a roda frágil.

- **Desgaseificação:** é feita pelo equipamento chamado F.D.U. que utiliza gás nitrogênio para arrastar o hidrogênio para fora do banho. O sopro de gás e o giro do rotor produzem uma grande quantidade de bolinhas de gás que sobe no metal como bolha de gás num copo de refrigerante, como mostrado na Figura 6 (Malavas, 2008).

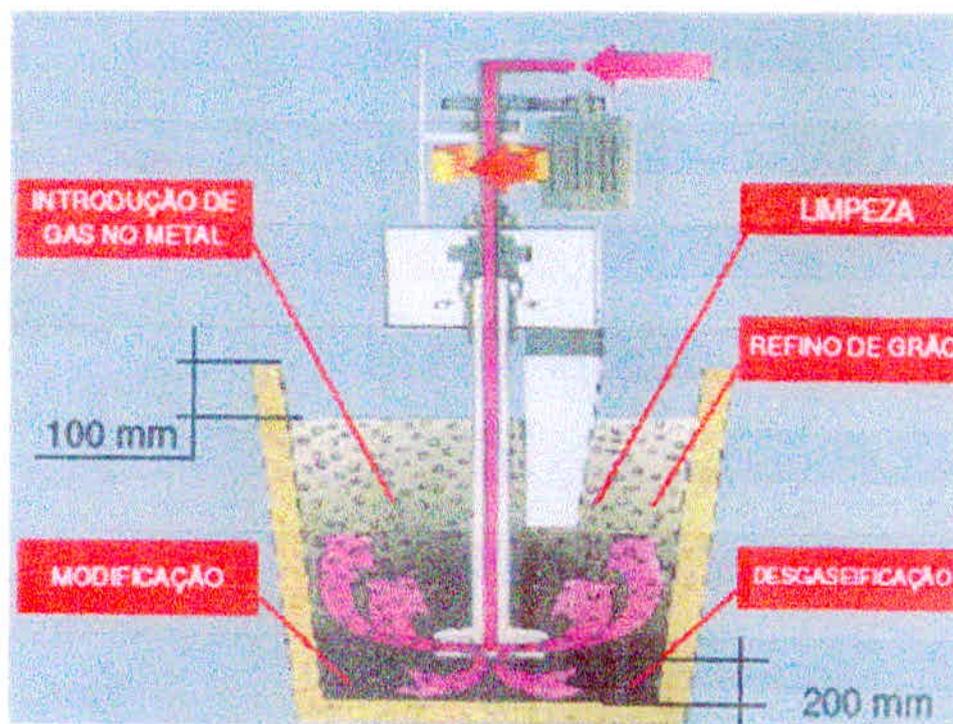


Figura 6: Máquina de desgaseificação de metal líquido.

Fonte: Cast Aluminium Wheel - Specification Number S95BB - 1007 - AA

A desgaseificação, que é a remoção do gás hidrogênio do metal, acontece porque o hidrogênio entra nas bolhas de nitrogênio do F.D.U.. A vantagem do F.D.U. é que quando as bolhas sobem, arrastam pedaços de óxidos que estão dentro do metal para a superfície, aumentando a quantidade de borra depois do F.D.U.

É importante retirar o gás hidrogênio e o óxido porque eles causam defeitos nas rodas que podem gerar sucata. O gás hidrogênio cria pequenos buracos no metal chamado poros e os óxidos prejudicam a usinagem porque são duros e podem criar vazamento nas rodas, gerando refugo de estanqueidade.

• **Escorificação:** retirada da borra com ajuda de um sal escorificante. Este sal separa o óxido de alumínio do metal, facilitando a retirada com uma escumadeira.

• **Vazamento na injetora:** é a parte final do tratamento do metal líquido, onde é realizado o abastecimento da injetora. Após estas etapas o metal está pronto para ser vazado nas injetoras.

É importante saber que durante a Fusão, alguns cuidados devem ser levados em consideração. Esses cuidados são:

• **Cuidado com a limpeza dos fornos de fusão:** fazer a limpeza do forno de fusão com escorificante diariamente e não ultrapassar a temperatura de 800°C, pois além de danificar a liga pode danificar o refratário.

• **Cuidado com o ferramental:** as Ferramentas utilizadas na limpeza do metal devem estar sempre limpas e frequentemente pintadas para que a ferramenta dure mais e evite a contaminação do metal.

• **Cuidados com o F.D.U.:** O F.D.U. deve estar sempre em condições de uso. Não pode faltar gás nitrogênio e deve se trocar o mais rápido possível o rotor e o eixo quando houver a quebra ou desgaste. Nenhuma panela deve ficar sem passar pelo F.D.U. para que a desgaseificação seja bem feita.

• **Cuidados com a Panela:** quando a panela estiver suja, devera ser limpa e a borra deve ser jogada na caixa de borra. Deve-se manter a panela sempre aquecida e limpa quando não estiver em uso. A limpeza deve ser sempre com a panela vazia.

2.4. Solidificação

É a mudança do estado líquido para o estado sólido através da perda de calor adquirido pelo metal durante sua fusão. Durante a solidificação seu volume diminui, com isso ocorre a contração, conforme mostrado na Figura 7 (Prates, Davies, 1974).

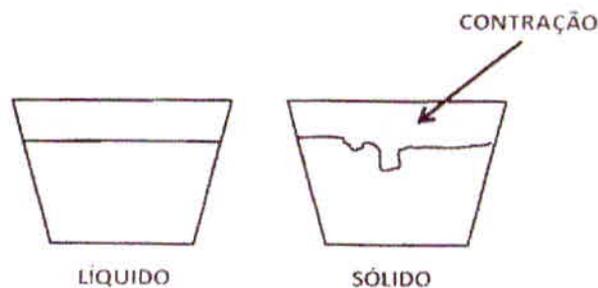


Figura 7: Solidificação do metal líquido.

Fonte: Cast Aluminium Wheel - Specification Number S95BB - 1007 - AA

2.4.1. Solidificação Direcional

Quando o metal esta solidificando dentro do molde as regiões onde a espessura da parede é menor solidifica antes das regiões onde a espessura é maior. Na Figura 8 é apresentada a solidificação direcional auxiliada de refrigeração (Prates, Davies, 1974).

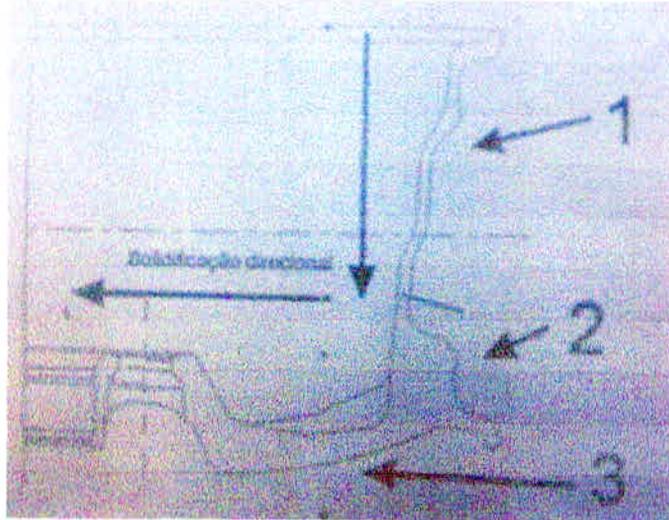


Figura 8: Sequência de Refrigeração.
Fonte: o autor

Como o volume diminui durante a solidificação, se não houver alimentação de material para compensar a redução de volume e refrigeração forçada, poderá aparecer na peça um local vazio de contração ou rechupe³, que ocorre na peça a se solidificar, causando refugo (Malavas, 2008).

Para evitar este problema na roda, coloca-se a refrigeração em alguns pontos do molde para direcionar a solidificação e fazer com que o ultimo ponto da roda seja o canal de injeção, que será extraído da peça na operação de usinagem (Malavas, 2008).

Na Figura 9 estão indicadas em cor preta as zonas onde ocorre mais facilmente rechupes (macro e micro). No restante da Figura, são zonas que primeiro solidificam e tem a refrigeração mais eficaz.

³.Rechupe – vazio dentro de peças fundidas causada pela falta de alimentação de material durante o processo.



Figura 9: Zona de perigo e resfriamento.
Fonte : o autor

Para evitar a **macro rechupe**, são eficazes: um molde com variações suaves e seção e um metal bem modificado. Para evitar o **micro rechupe**, são eficazes: um metal modificado, refinado e uma refrigeração controlada. Para **troca térmica do molde e metal**: a complexibilidade da troca térmica entre a superfície do metal e a superfície interna do molde, deve-se principalmente a imperfeição do contato térmico decorrente de fatores tais como, físico-químico entre metal e o molde, irregularidade de micro geometria materiais das superfícies em contato e transformação que ocorre nos materiais que constituem o metal e o molde (Rizzo, Melo, Santos, 1993).

A determinação de coeficiente de transferência de calor na interface metal-molde, devido a sua grande influencia na taxa ou velocidade de solidificação de fundido, tem sido alvo de estudo de vários pesquisadores (Ho, Pehlke, 1984; Martorono e Capocchi, 2000). Com a formação “*gap*” de ar nesta interface, o coeficiente de transferência de calor nessa região pode rapidamente descrever, dificultando a retirada de calor na mesma e desacelerando o processo de solidificação do metal líquido. A estrutura, e conseqüentemente as propriedades de uma peça fundida depende das condições térmica durante a solidificação, ou mais precisamente das taxas de resfriamento, que por sua vez dependem da resistência térmica molde/metal.

Uma maneira indireta de determinação utilizada neste estudo de caso foi de determinar o coeficiente de transferência de calor metal/molde consiste no levantamento

consiste no levantamento metalográfico dos espaçamentos dentríticos a partir da superfície da peça mostra a Figura 4 e Figura 5, já demonstrada anteriormente e sua correlação com parâmetros térmicos da solidificação e leis de crescimento dentritico. A transferência de calor na solidificação que determina as condições de resfriamento imposta é diretamente depende do coeficiente de transferência de calor na interface metal/coquilha (Caram, Garcia, 1995). Por isso foi escolhido água ao invés de ar, pois a transferência de calor é mais rápida, melhorando suas propriedades mecânicas como apresentado nos resultados do Capítulo 3.

2.4.2. Circuito de refrigeração

É indispensável que o molde seja bem refrigerado para:

- Alta produtividade
- Obter elevadas característica mecânica na roda e evitar defeitos
- Melhor compreender as vantagens do posicionamento dos circuitos

de refrigeração mais adequadas.

Nas zonas não citadas, o metal resfria particularmente rápido, onde o resfriamento ocorre por condução.

2.4.3. Eficiência da refrigeração

A eficiência da refrigeração é determinada pelo:

- Posicionamento do molde
- Fluido refrigerante. Ressalta-se que o fluido refrigerante mais barato

é o ar. E o mais forte é a água.

É possível utilizar misturas Ar/Água, desde que a proporção seja eficazmente controlada. Considerando a Figura 9 mencionada anteriormente, para se obter solidificação direcional é necessário empregar refrigeração:

- Cada vez mais forte, acompanhado a direção das setas.
- Mais fortes nas seções mais espessas.

Em uma roda, as seções mais críticas são os empregos de linhas de refrigeração, isso depende da geometria da roda e das paredes do molde nas diversas zonas. Porém, de um modo geral, é adequado utilizar a refrigeração.

2.5. Pintura do molde

As características térmicas de uma tinta são, em geral, isolantes. A tinta em um molde pode assumir papel preponderante sobre o desempenho do ferramental. De fato com

uma mão de tinta pode se evitar as dificuldades decorrentes de um perfil desfavorável (Malavas, 2008). Para tanto, deve-se porem considerar o caráter isolante da tinta, ou seja:

- **Menos tinta:** menos isolantes, mais condução,
- **Mais tinta:** mais isolante térmico, menos transmissão de calor.

2.6. Processo de injeção de baixa pressão

Comparado com outro processo de fundição que utiliza molde metálico, tais como gravidade ou injeção, os processos de fundição de baixa pressão além de boas características dimensionais e superficiais oferece vantagens tais como (Malavas, 2008):

- Confiabilidade de resistência mecânica e/ou alta qualidade,
- Boa estanqueidade,
- Aproveitamento do metal do metal derretido em torno de 98% ou 99%, pois dispensa massalote, canal de alimentação, bolsas de ar etc,
- Custo de instalação relativamente baixo,
- Baixa oxidação do metal derretido,
- Fácil automatização.

2.6.1. Máquina injetora de baixa-pressão

Princípios básicos de funcionamento injeção:

- Ar seco e injetado no interior do forno hemerticamente fechado,
- A pressão gerada no interior do forno faz com que o metal suba através do tubo pescador e preencha toda a cavidade do molde,
- A pressão e mantida por um determinado tempo para que aconteça a alimentação da peça. Simultaneamente inicia-se a refrigeração do molde,
- Solidificação: a injeção de ar é cortada. A refrigeração e mantida para forçar a solidificação direcional por um determinado tempo para evitar trincas, e quebra do canal da peça fundida,
- Reciclo: O molde é aberto e a roda é extraída. O operador limpa e resfria manualmente com spray de ar comprimido, coloca a tela metálica, verifica se há alguma irregularidade, aplica o ar (sopra-se o molde) e o ciclo e reiniciado automaticamente.

A refrigeração da ferramenta pode ser controlada de duas maneiras:

- **Controle automático:** Todos os pontos de refrigeração são controlados pelo CLP através de termopares ligado no molde, mantendo a temperatura do ferramental controlada,
- **Controle manual:** Todos os pontos de refrigeração são regulados de acordo com o aspecto visual da peça e pela prática do operador da máquina.

2.7. Tratamento térmico de rodas fundidas em liga A356

A liga A356 é endurecida por precipitação, ou seja, responde a tratamento de solubilização e de envelhecimento, apresentando aumentos consideráveis no valores de limite de escoamento e de resistência com pequena redução na ductilidade (Malavas, 2008).

Tipicamente o tratamento de solubilização é feito entre 520°C e 540°C de 5hs a 8h seguindo o resfriamento em água pré-aquecida a 80°C em tanque de tempera. Os fornos de solubilização devem apresentar pequena variação de temperatura (mais ou menos 5°C) uma vez que esta liga apresenta problemas de liquidação (formação da fase líquida) a partir de 550°C.

Com temperatura envolvida e relativamente baixa, a transmissão de calor dentro do forno ocorre preferencialmente por convecção, exigindo que estes equipamentos tenham ventiladores para homogeneização da temperatura. O pré-aquecimento da água de resfriamento auxilia a diminuir as tensões internas resultantes do resfriamento rápido, diminuindo assim as distorções durante a usinagem das rodas.

Em seguida a solubilização é feito o tratamento de envelhecimento ou precipitação, geralmente a temperatura entre 160°C a 180°C por tempos de 3h a 5h. O resfriamento após o envelhecimento não é controlado. Novamente recomenda-se que os fornos utilizados para o tratamento de envelhecimento sejam dotados de ventiladores que garantam a convecção interna, a convecção interna homogeneizando a temperatura da carga.

A resposta ao tratamento de envelhecimento é sensível ao tempo entre os dois tratamentos, então é importante considerar esta variável. O equipamento usado para o tratamento térmico das rodas podem ser os fornos Contínuo ou descontínuo (Batch).

2.8. Defeitos de fundição típicos

Alguns defeitos de fundição típicos em rodas automotivas fundidas podem ser citados:

- **Rechupe:** Os problemas associados a falta de alimentação das contrações de solidificação são os mais freqüentes em rodas fundidas em liga de alumínio, como consequência de uma solidificação não direcional para os massalotes. Note-se que o conceito de ser utilizado quanto a solidificação direcional varia com o processo de produção, ou seja, com a posição dos massalotes. Os recursos mais comuns para a obtenção da solidificação direcional é a variação no design da roda, resfriamento localizado (por água ou ar), e aquecimento localizado (por redução de espessura de paredes de ferramentas ou por isolamento térmico) (Martorono, Capocchi, 2000).

- **Inclusões de óxidos:** Os problemas com inclusões de óxidos são tão importantes quanto os de rechupe na produção de rodas automotivas. Em peças fundidas por gravidade onde a utilização por gravidade onde a utilização do rotor desgaseificador no forno de espera, a principal origem dos defeitos de inclusões de óxido é o enchimento turbulento da cavidade do molde. Assim, é importante rever o design do canal de enchimento e dos recursos utilizados para redução da turbulência do fluxo do metal durante a etapa de vazamento de cavidade (Malavas, 2008). No processo de baixa pressão, as inclusões de óxidos podem ser formadas em pelo menos dois momentos distintos:

1. **Durante o carregamento do forno de espera da máquina de baixa pressão:** como consequência da exposição de grande quantidade de superfície do metal líquido ao ar, é na turbulência que ocorre no contato do metal em queda com o metal estacionário no forno de espera. Neste caso, os ajustes de processo vão no sentido de reduzir a turbulência durante a etapa de carregamento das máquinas de baixa pressão (Malavas, 2008).

2. **Durante o alívio de pressão que ocorre no final do ciclo de injeção de uma roda:** quando o nível de metal no tubo pescador é abaixado, a superfície livre do metal tem contato com o ar e ficam aderidas as paredes do tubo, folhas de alumínio oxidado. Durante o enchimento da próxima roda, ambos os óxidos tenderiam entrar na cavidade. Neste caso devem-se adotar telas metálicas de passagem finas ou, mais eficientes.

- **Microporosidade:** Decorrem essencialmente do teor de hidrogênio contido no alumínio líquido e de velocidade de resfriamento baixa. Este problema é muito mais relevante quando são utilizadas liga de baixo teor de silício (A356) do que em ligas de elevado teor ($>10\%Si$) devido ao modo de solidificação gasoso.

- **Falha de enchimento:** Este é um problema comum na região do aro somente em rodas fundidas em baixa pressão. Sua origem esta relacionada com aprisionamento de ar da cavidade e com a formação de oxido de alumínio na frente do enchimento. O aprisionamento de bolhas de ar decorre de preenchimento rápido da cavidade (Turbulência) e da falta de saídas de ar na borda superior, por outro lado, a formação de oxido na frente de enchimento pode ser minimizada com o aumento da rugosidade do molde através da aplicação da pintura superficial e adoção de estrias na região externa do aro.

2.9. Propriedades Mecânicas

Segundo a Associação Brasileira de alumínio (ABAL, 2008), as propriedades mecânicas são determinadas por ensaios rotineiros de amostras selecionadas como sendo representativas do produto. Esses ensaios mecânicos são normalmente destrutivos, de modo que não deve ser efetuado em produtos acabados, pois altera suas condições de funcionamento. Obtêm corpos de prova de amostra que foram elaborados do mesmo modo que o produto, exceto no caso de peças fundidas e forjadas.

O ensaio de peças fundidas é feitos em corpos de provas do mesmo vazamento do metal da peça fundida e elaborados ao mesmo tempo. Com as peças forjadas, os ensaios geralmente são feitos em pedaços cortados do mesmo metal da peça. As principais propriedades mecânicas a serem verificadas através de ensaios são: Limite de resistência a tração, limite de escoamento, alongamento e dureza. Todos os ensaios destrutivos e realizados em corpo de prova serão detalhados.

2.9.1. Limite de resistência à tração

O limite de resistência à tração e a máxima tensão que o material resiste antes de haver a ruptura. Calcula-se dividindo a carga máxima (em quilogramas) aplicada durante o ensaio, pela seção transversal em milímetros quadrado (mm^2) do corpo de prova. Para o

Alumínio puro e recozido, essa razão é de aproximadamente 48 MPa^2 ⁴ ($4,9 \text{ Kg/mm}^2$). O valor aumenta em função da liga, do trabalho a frio e do tratamento térmico (quando possível) (ABAL, 2008)

2.9.2. Limite de escoamento

O limite de escoamento consiste na tensão em que o material começa a deformar-se plasticamente o que para o alumínio é de 0,2 % do comprimento original medido em um corpo de prova normal. É importante definir esse grau de deformação permanente porque as ligas de alumínio não possuem limite de escoamento tão pronunciado como a maioria dos aços. O limite do alumínio puro é de aproximadamente 12,7 MPa (ABAL, 2008).

2.9.3. Alongamento

O alongamento é expresso em porcentagem relativamente ao comprimento original medido em um corpo de prova normal e é calculado pela diferença entre pontos de referencia, antes e depois do ensaio de tração. Esse alongamento indica a ductilidade do metal ou da liga. Quanto mais fino o corpo de prova, menor será o alongamento e vice versa (ABAL, 2008).

2.9.4. Dureza

A dureza é definida como a medida da resistência de um metal a penetração. Para os metais, neste caso, uma liga de alumínio e o método Brinnell⁵. Não existe uma relação direta entre o valor da dureza e as propriedades mecânicas das várias ligas de alumínio, assim como o tratamento térmico e o endurecimento pelo trabalho a frio. Entretanto a dureza é significativamente mais baixa do que a maioria dos aços (ABAL, 2008).

⁴ MPa – Megapascal e uma unidade de medida de pressão (força dividido pela área) – 1MPa é igual a 10 Kgf/cm^2 ou 1MPa é igual a 1×10^6 pascal, já 1 pascal é igual a 1 N/m^2 .

⁵ O método Brinell é um método de medição de dureza utilizado principalmente em material metálico. Esse método foi proposto em 1900, pelo Engenheiro Suetto Johan August Brinell. É o primeiro ensaio normatizado e utilizado na engenharia e metalurgia. O teste consiste em um penetrador de formato esférico com 10mm de diâmetro feito de aço de elevada dureza ou de carbeto de tungstênio. A carga aplicada varia entre 500 a 3000 Kgf e durante o teste a carga mantida constante por um período entre 10 a 30 segundos.

3. ESTUDO DE CASO

A Mangels Ind. Com. Ltda. tomou varias medidas para fortalecer sua competitividade: expandiu sua capacidade de manufatura no mercado geográfico, concentrou seu foco de produção, diversificou sua base de clientes e concentrou-se no crescimento apoiado na liderança em inovação tecnológica. Este trabalho é fundamental para empresa, atuais e futuros clientes (montadora) e claro, de importância vital para o bem dos negócios, pois um dos itens que fazem parte de um processo de cotação de um novo projeto de desenvolvimento, em parceria com a indústria automotiva, é a capacidade produtiva instalada, principalmente nos dias atuais. No processo de cotação de um novo projeto a análise da capacidade instalada versus aquela a ser contratada, faz-se então um documento de comprometimento com alta gerencia que designa uma parte de nossa capacidade produtiva, mencionada no contrato que será dedicada única e exclusivamente ao contratante, montadora em questão. Com esse documento há o compromisso de atender a demanda contratada, senão, há penalidades como multas, principalmente se ocorrer parada de linha por falta de peças.

3.1. Implantação da refrigeração da água nas máquinas de baixa pressão

As maquinas de Baixa Pressão para fundição de rodas de liga leve para indústria automotiva foram projetadas para utilizarem o processo de refrigeração a ar nos moldes de injeção. Estas máquinas podem ser facilmente adaptadas para trabalharem com o processo de refrigeração a água. Na Figura 10a temos uma parte lateral do molde de injeção adaptado para receber o processo de refrigeração a ar. Já na Figura 10b temos outra lateral com a adaptação para receber o processo de refrigeração a água.



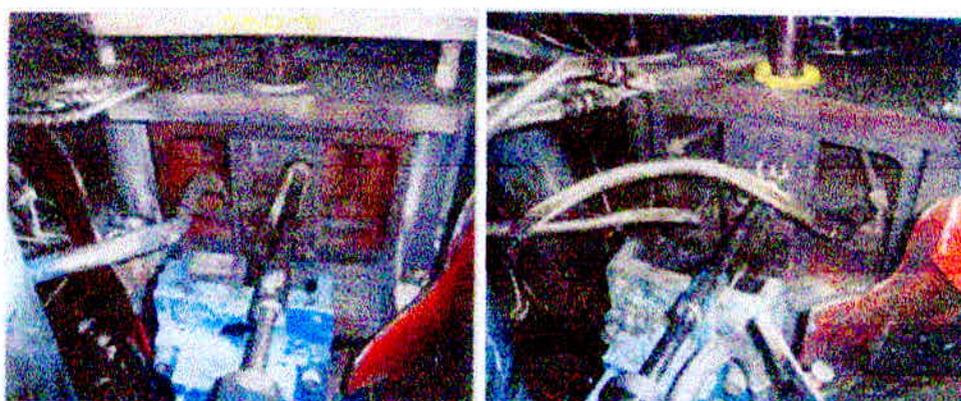
a)

b)

Figura 10: Lateral do molde de injeção para o processo de ar água.

Fonte : o autor

Na Figura 11a é mostrado o conjunto molde montada na injetora com a lateral para o processo de refrigeração a ar. Já na Figura 11b é mostrado o conjunto molde montado na injetora com a lateral para o processo de refrigeração a água.



a)

b)

Figura 11: Lateral do molde de injeção para o processo de ar e água.

Fonte : o autor

Na Figura 12a é visto o painel de válvulas para o controle de vazão de água na máquina de baixa pressão, utilizando o processo de refrigeração a água. Na Figura 12b tem-se uma visão geral da máquina e a instalação dos tubos de entrada/saída de água.

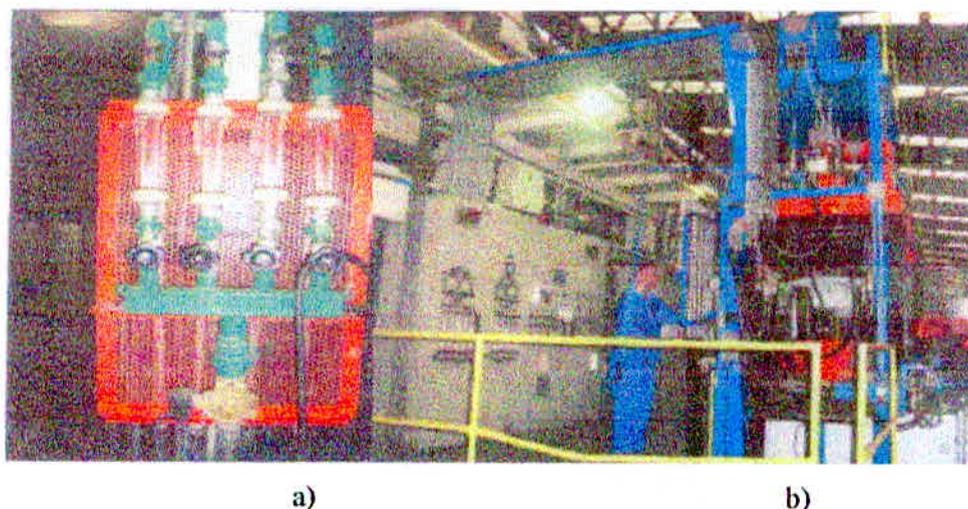


Figura 12: Painel de controle de vazão e Tubulação para água, respectivamente.
Fonte : o autor

Na Figura 13a é mostrada a máquina de baixa pressão (injetora) em sua configuração original, ou seja, utilizando o processo a ar. Já na Figura 13b é mostrada a máquina de baixa pressão com a adaptação para o processo de refrigeração a água completamente instalada.



Figura 13: Máquina antes e depois da adaptação.
Fonte : o autor

3.2. Ensaios e Resultados

Os ensaios foram realizados em corpo de provas retirado de 30 rodas. Todas as amostras atendem as especificações de engenharia descritas no desenho do cliente, onde podemos apenas revelar algumas características químicas dos componentes da liga a qual é composta de alumínio e silício. Todos os corpos de prova foram confeccionados conforme desenho da norma DIN TL 027 e são dos mesmos lotes de rodas utilizados para os demais

ensaios e testes deste projeto. Os ensaios foram realizados a temperatura controlada a 20°C o mês de agosto de 2009, seguindo a procedimento interno de ensaios laboratoriais. Onde foi utilizada bancada de teste de tração com extensômetro⁶ e software específico para cada teste onde e traçada a curva do teste em questão e impresso o relatório. Todos os relatórios dos testes estão arquivados na pasta do produto correspondente, onde os mesmo foram submetidos ao cliente em questão para sua análise e aprovação.

O resultado dos ensaios de tração A, apresentado na Tabela 2, mostra os ensaios específicos de limite de resistência mecânica e limite de escoamento. Os ensaios estão divididos por tipo de refrigeração, utilizando água e ar lado a lado para fácil visualização e comparação. Enquanto isso, o resultado dos ensaios de tração e dureza, apresentados na Tabela 3, mostra os ensaios específicos de alongamento e dureza. Os ensaios estão divididos por tipo de refrigeração, utilizando água e ar lado a lado para fácil visualização e comparação.

⁶ Extensômetro é um transdutor capaz de medir deformação dos corpos. Quando um material é deformado sua resistência mecânica é alterada a fração de mudança na resistência é proporcional a fração de mudança no comprimento do material.

| ENSAIO DE TRAÇÃO | | | | | |
|---|----------------------|--------|--|----------------------|--------|
| LIMITE DE RESISTENCIA MÊCANICA RMT (%) | | | LIMITE DE RESISTENCIA MÊCANICA LE (%) | | |
| RODA | TIPO DE REFRIGERAÇÃO | | RODA | TIPO DE REFRIGERAÇÃO | |
| | AGUA | AR | | AGUA | AR |
| RODA 1 | 188,79 | 187,14 | RODA 1 | 150,17 | 148,32 |
| RODA 2 | 189,91 | 194,87 | RODA 2 | 151,3 | 146,65 |
| RODA 3 | 187,45 | 190,5 | RODA 3 | 151,31 | 151,6 |
| RODA 4 | 194,56 | 186,89 | RODA 4 | 152,5 | 145,25 |
| RODA 5 | 179,56 | 182,78 | RODA 5 | 150,78 | 146,25 |
| RODA 6 | 184,56 | 189,9 | RODA 6 | 152,67 | 150,78 |
| RODA 7 | 183,89 | 183,85 | RODA 7 | 154,97 | 145,97 |
| RODA 8 | 193,32 | 176,36 | RODA 8 | 154,69 | 146,28 |
| RODA 9 | 194,84 | 184,85 | RODA 9 | 156 | 148,49 |
| RODA 10 | 187,38 | 180,5 | RODA 10 | 152,57 | 149,45 |
| RODA 11 | 179,43 | 181,86 | RODA 11 | 153,24 | 150,21 |
| RODA 12 | 189,45 | 185,43 | RODA 12 | 154,59 | 148,56 |
| RODA 13 | 196,98 | 174,83 | RODA 13 | 155,87 | 145,36 |
| RODA 14 | 190,82 | 190,71 | RODA 14 | 155,63 | 144,78 |
| RODA 15 | 175,79 | 189,48 | RODA 15 | 152,1 | 144,65 |
| RODA 16 | 193,56 | 188,83 | RODA 16 | 149,85 | 145,79 |
| RODA 17 | 195,67 | 188,36 | RODA 17 | 152,36 | 142,35 |
| RODA 18 | 189,45 | 184,72 | RODA 18 | 150,9 | 142,58 |
| RODA 19 | 188,12 | 191,31 | RODA 19 | 151,88 | 146,45 |
| RODA 20 | 188,19 | 187,47 | RODA 20 | 153,63 | 146,64 |
| RODA 21 | 194,39 | 185,89 | RODA 21 | 154,25 | 150,24 |
| RODA 22 | 193,37 | 178,36 | RODA 22 | 155,65 | 151,78 |
| RODA 23 | 194,78 | 176,35 | RODA 23 | 150,32 | 154,26 |
| RODA 24 | 193,84 | 179,83 | RODA 24 | 151,23 | 150,84 |
| RODA 25 | 195,1 | 176,34 | RODA 25 | 152,87 | 148,89 |
| RODA 26 | 189,97 | 187,77 | RODA 26 | 151,74 | 149,78 |
| RODA 27 | 176,39 | 175,32 | RODA 27 | 152,66 | 147,84 |
| RODA 28 | 186,98 | 189,48 | RODA 28 | 154,29 | 149,85 |
| RODA 29 | 194,67 | 186,46 | RODA 29 | 152,39 | 148,23 |
| RODA 30 | 197,07 | 178,98 | RODA 30 | 154,7 | 149,37 |
| Media | 189,35 | 183,8 | Media | 153,12 | 147,95 |
| Especificado | 165 Mpa Min | | Especificado | 80 Mpa Min | |

Tabela 2: Resultado dos ensaios de tração (Limite de resistência mecânica e limite de escoamento).

Fonte : o autor

| ENSAIO DE TRAÇÃO E DUREZA | | | | | |
|---------------------------|----------------------|-------|--------------|----------------------|-------|
| ALONGAMENTO AL (%) | | | DUREZA | | |
| | | | HB | | |
| RODA | TIPO DE REFRIGERAÇÃO | | RODA | TIPO DE REFRIGERAÇÃO | |
| | AGUA | AR | | AGUA | AR |
| RODA 1 | 10,00 | 9,45 | RODA 1 | 61,2 | 60,25 |
| RODA 2 | 8,00 | 9,47 | RODA 2 | 58,9 | 59,84 |
| RODA 3 | 12,33 | 9,40 | RODA 3 | 60,1 | 57,51 |
| RODA 4 | 9,52 | 10,44 | RODA 4 | 55,41 | 58,62 |
| RODA 5 | 9,58 | 10,11 | RODA 5 | 56,25 | 58,67 |
| RODA 6 | 10,12 | 10,81 | RODA 6 | 58,41 | 59,71 |
| RODA 7 | 10,48 | 9,87 | RODA 7 | 56,48 | 59,39 |
| RODA 8 | 11,15 | 8,52 | RODA 8 | 57,48 | 56,47 |
| RODA 9 | 9,84 | 8,71 | RODA 9 | 58,63 | 58,12 |
| RODA 10 | 9,45 | 10,46 | RODA 10 | 55,23 | 57,64 |
| RODA 11 | 11,52 | 11,10 | RODA 11 | 55,87 | 58,37 |
| RODA 12 | 12,15 | 10,48 | RODA 12 | 56,1 | 58,47 |
| RODA 13 | 10,28 | 9,72 | RODA 13 | 56,23 | 58,98 |
| RODA 14 | 11,58 | 10,41 | RODA 14 | 61,8 | 60,25 |
| RODA 15 | 10,97 | 9,31 | RODA 15 | 56,41 | 62,15 |
| RODA 16 | 9,84 | 9,78 | RODA 16 | 55,93 | 61,54 |
| RODA 17 | 10,87 | 10,81 | RODA 17 | 61,25 | 59,87 |
| RODA 18 | 12,49 | 8,45 | RODA 18 | 58,49 | 59,64 |
| RODA 19 | 11,89 | 8,67 | RODA 19 | 58,62 | 58,36 |
| RODA 20 | 11,05 | 9,71 | RODA 20 | 57,49 | 59,4 |
| RODA 21 | 10,87 | 8,74 | RODA 21 | 59,63 | 61,23 |
| RODA 22 | 11,58 | 10,46 | RODA 22 | 60,1 | 60,27 |
| RODA 23 | 12,48 | 10,28 | RODA 23 | 57,23 | 59,48 |
| RODA 24 | 12,68 | 9,74 | RODA 24 | 58,78 | 60,22 |
| RODA 25 | 12,48 | 9,64 | RODA 25 | 56,9 | 62,31 |
| RODA 26 | 11,93 | 10,23 | RODA 26 | 56,42 | 61,47 |
| RODA 27 | 11,73 | 8,65 | RODA 27 | 61,58 | 61,9 |
| RODA 28 | 11,49 | 10,44 | RODA 28 | 56,92 | 62,45 |
| RODA 29 | 12,78 | 10,22 | RODA 29 | 58,6 | 58,47 |
| RODA 30 | 12,08 | 9,20 | RODA 30 | 60,23 | 62,36 |
| Media | 11,22 | 9,78 | Media | 57,87 | 59,78 |
| Especificado | 7% Min | | Especificado | 55 HB Min | |

Tabela 3: Resultado dos ensaios de tração e dureza (alongamento e dureza ou durabilidade).
Fonte : o autor

Todos os resultados dos ensaios realizados estão acima do mínimo conforme especificado pelo cliente e descrito na última linha das Tabelas 2 e 3. Pode-se também notar que os valores dos ensaios correspondentes ao processo de refrigeração à água em sua maioria atende com maior folga que os valores dos ensaios do processo de refrigeração a ar.

3.2.1. Testes Estruturais (durabilidade)

Quando uma tensão oscilante é aplicada por certo número de vezes sobre um mesmo material, mesmo que os impactos tenham força inferior ao seu limite de resistência à tração, é previsível uma falha por fadiga. Em muitas ligas de alumínio não há um limite inferior abaixo do qual a fadiga nunca possa ocorrer, mas quanto menor a tensão, maior o número de ciclos necessário para produzir a falha nos testes estruturais. No alumínio, em testes normais, o limite de resistência chega a 50 milhões de inversões de tensão e pode variar de 25% a 50% da tensão de ruptura, conforme a liga (ABAL, 2008).

Foram aplicados os seguintes testes nas rodas selecionadas:

1. Fadiga de disco,
2. Fadiga de aro,
3. Impacto 13°,
4. Impacto 90°.

Cada teste será explicado nas Subseções subsequentes.

3.2.1.1. Fadiga de Disco

A fadiga de disco é um teste utilizado para aplicar uma carga contínua no eixo árvore, a qual simula o eixo do veículo. Que gera um momento (Força x Distância) que irá representar o esforço gerado no disco frontal da roda em sua utilização normal.

O procedimento para o teste de fadiga de disco segue:

- a) Montar a roda na placa de fixação como mostrado na Figura 14, fixe o flange do aro contra o anel da placa,
- b) O flange do eixo árvore deverá ter o mesmo diâmetro do plano de apoio da roda conforme apresentado na Figura 15c,
- c) O torque nas porcas deverá ser de 103 Nm, aplicando diagonalmente,
- d) A rotação deverá ser constante entre 100 e 1800 RPM, ilustrado na Figura 18b,

e) Aplicar uma carga continua no eixo arvore que gere um momento de acordo com o especificado no desenho (2,67 KNm±4%),

f) Ciclagem: 100.000 ciclos mínimos e 300.000 ciclos para o final do teste, controlados com um contador eletrônico, conforme Figura 15a,

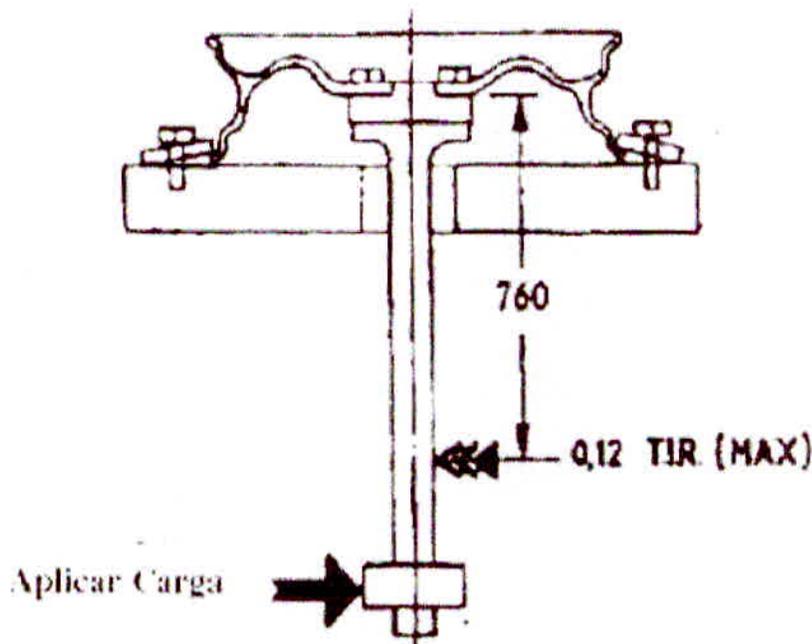
g) Aplicar liquido penetrante no final do teste.

Após esses procedimentos, há alguns critérios de aceitação:

a) O torque dos parafusos não devera ser menor que 70Nm,

b) Não deverão existir trincas com comprimento maior que 13mm, após liquido penetrante,

c) Sem vazamento no teste de estanqueidade com pressão entre 310 a 380KN/m².



$$BM = \frac{S \times W (R \times \mu + e) \times 9,8}{1000} \left[\frac{KN}{m} \right]$$

Figura 14: Esquema para bancada de teste para Fadiga de Disco.

Fonte: Cast Aluminium Wheel - Specification Number S95BB - 1007 - AA

Para um melhor entendimento da Figura 14, pode-se entender os seguintes significados para cada simbolo: BM (Momento), S (Distancia entre o ponto de apoio e a

carga aplicada) W (Máxima carga da roda), R (Raio Maximo do pneu), μ (Coeficiente de atrito – 0,65), e (Distancia do plano de apoio (offset).



Figura 15: Funcionamento da máquina de teste para Fadiga de Disco.

Fonte: o autor

Na Tabela 4, os resultados dos testes de fadiga de disco nos mostram os resultados dos ensaios de fadiga realizados em cinco rodas de cada processo. Os ensaios estão divididos por tipo de refrigeração, utilizando água e ar para fácil visualização e comparação. Todas as amostras utilizadas no teste de fadiga de disco atenderam as especificações de engenharia descritas no desenho do cliente onde podemos apenas revelar algumas características químicas dos componentes da liga, a qual composta de alumínio e silício. Os ensaios foram realizados a temperatura controlada a 20°C o mês de agosto de 2009, seguindo a procedimento interno de ensaios laboratoriais. Todos os relatórios dos testes estão arquivados na pasta do produto correspondente, onde os mesmos foram submetidos ao cliente em questão para sua análise e aprovação.

| TESTE DE FADIGA DE DISCO | | | | | | |
|--|-------------------|---------------------|------------------------|--------------------|----------|-----------|
| TESTE REALIZADO EM AMOSTRAS DE REFRIGERACAO A AR | | | | | | |
| RODA | TORQUE DE FIXAÇÃO | CARGA APLICADA (Kg) | TESTE DE ESTANQUEIDADE | LIQUIDO PENETRANTE | CICLAGEM | RESULTADO |
| 1 | 105 | 2,76 | Sem vazamento | Sem trincas | 300.000 | APROVADO |
| 2 | 105 | 2,76 | Sem vazamento | Sem trincas | 300.000 | APROVADO |
| 3 | 105 | 2,76 | Sem vazamento | Sem trincas | 300.000 | APROVADO |
| 4 | 105 | 2,76 | Sem vazamento | Sem trincas | 300.000 | APROVADO |
| 5 | 105 | 2,76 | Sem vazamento | Sem trincas | 300.000 | APROVADO |
| ESPECIFICADO | 103NM | 2,76(KN/m) | Sem vazamento | Sem trincas | 300.000 | |

| TESTE DE FADIGA DE DISCO | | | | | | |
|--|-------------------|---------------------|------------------------|--------------------|----------|-----------|
| TESTE REALIZADO EM AMOSTRAS DE REFRIGERACAO A AGUA | | | | | | |
| RODA | TORQUE DE FIXAÇÃO | CARGA APLICADA (Kg) | TESTE DE ESTANQUEIDADE | LIQUIDO PENETRANTE | CICLAGEM | RESULTADO |
| 1 | 105 | 2,76 | Sem vazamento | Sem trincas | 300.000 | APROVADO |
| 2 | 105 | 2,76 | Sem vazamento | Sem trincas | 300.000 | APROVADO |
| 3 | 105 | 2,76 | Sem vazamento | Sem trincas | 300.000 | APROVADO |
| 4 | 105 | 2,76 | Sem vazamento | Sem trincas | 300.000 | APROVADO |
| 5 | 105 | 2,76 | Sem vazamento | Sem trincas | 300.000 | APROVADO |
| ESPECIFICADO | 103NM | 2,76(KN/m) | Sem vazamento | Sem trincas | 300.000 | |

Tabela 4: Teste de fadiga de disco.

Fonte : o autor

Todos os resultados dos testes realizados foram satisfatórios de acordo com a especificação da engenharia do cliente, conforme notamos os valores especificados descritos na ultima linha pertencentes aos valores de cada teste.

3.2.1.2. Fadiga de Aro

A Fadiga de Aro (ou também chamada de Fadiga de Disco) é um teste onde se aplica uma carga a 90° do eixo arvore, o qual simula o eixo do veiculo, que gera um momento que ira representar o esforço gerado no aro da roda em sua utilização normal. Conforme ilustra a Figura 18, 19 e 20.

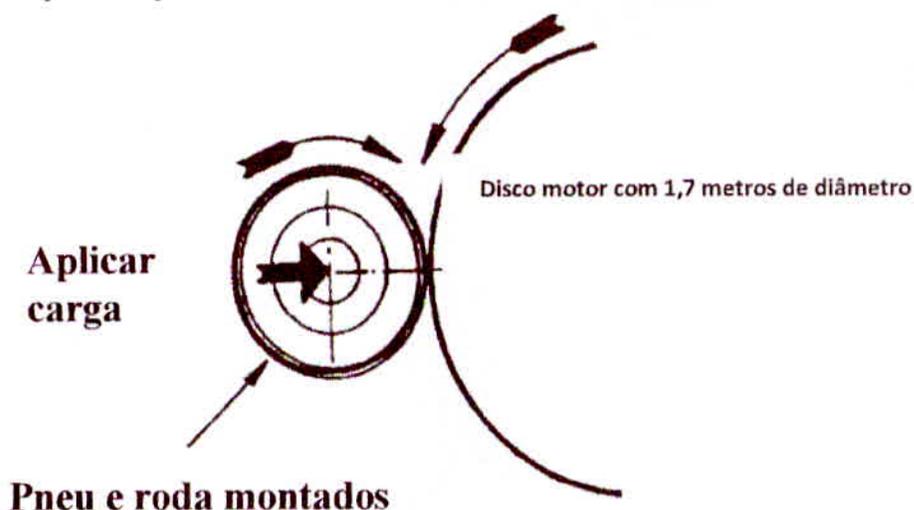
O procedimento para o teste de Fadiga de Disco segue:

- d) Montar o pneu especificado em desenho na roda e infle com pressão entre 410 a 450KN/m²,
- e) Montar o conjunto na maquina de fadiga de aro conforme Figura 20 e 21, conforme simulação,
- f) O torque nas porcas de fixação devera ser de 103 Nm, aplicando diagonalmente,
- g) Aplicar uma rotação linear no conjunto entre 32 a 40 Km/h,
- h) Aplicar a carga conforme especificado em desenho (11,55 KN.m),
- i) Ciclagem entre 1.000.000ciclos minimos e 3.000.000 ciclos para o final do teste,

j) Aplicar líquido penetrante no final do teste.

Após esses procedimentos, há alguns critérios de aceitação:

- a) O torque dos parafusos não devesa ser menor que 70Nm,
- b) Não deverão existir trincas com comprimento maior que 13mm, após líquido penetrante,
- c) Sem vazamento durante o teste devido cortes no pneu provenientes da roda,
- d) Sem vazamento durante o teste de trincas ou quebra do aro da roda,
- e) Trinca ou físsuras não serão aceitos após aplicação do líquido penetrante,
- f) A pressão após o teste não devesa ser menor que 350 KN/m².



$$L = \frac{W \times K \times 9,8}{1000} [KN]$$

Figura 16: *Layout* da bancada de teste para Fadiga de Disco.

Fonte: Cast Aluminium Wheel - Specification Number S95BB - 1007 - AA

Para um melhor entendimento da Figura 16, pode-se entender os seguintes significados para cada símbolo: L (Carga aplicada), W (Máxima Carga por roda), K (Fator de aceleração do teste).

Na Figura 18a é visto uma bancada de teste para Fadiga de Disco, enquanto na Figura 18b é apresentada uma bancada de teste de fadiga de Aro parada sem funcionamento.



a)

b)

Figura 17: Bancada de teste para Fadiga de Disco.

Fonte : o autor

Na Tabela 5, os resultados dos testes de Fadiga de aro, nos mostra os resultados dos ensaios de fadiga realizados em quatro rodas de cada processo. Os ensaios estão divididos por tipo de refrigeração, utilizando água e ar para fácil visualização e comparação. Todas as amostras utilizadas no teste de fadiga de disco atenderam as especificações de engenharia descritas no desenho do cliente, onde podemos apenas revelar algumas características químicas dos componentes da liga, a qual é composta de alumínio e silício.

Os ensaios foram realizados a temperatura controlada a 20°C o mês de agosto de 2009, seguindo a procedimento interno de ensaios laboratoriais. Todos os relatórios dos testes estão arquivados na pasta do produto correspondente, onde os mesmo foram submetidos ao cliente em questão para sua análise e aprovação.

| TESTE DE FADIGA DE ARO | | | | | | |
|--|-------------------|----------------------|------------------------|--------------------|-----------|-----------|
| TESTE REALIZADO EM AMOSTRAS DE REFRIGERAÇÃO A AR | | | | | | |
| RODA | TORQUE DE FIXAÇÃO | CARGA APLICADA (N.m) | TESTE DE ESTANQUEIDADE | LÍQUIDO PENETRANTE | CICLAGEM | RESULTADO |
| 1 | 103 | 11,55 | Sem vazamento | Sem trincas | 3.000.000 | APROVADO |
| 2 | 103 | 11,55 | Sem vazamento | Sem trincas | 3.000.000 | APROVADO |
| 3 | 103 | 11,55 | Sem vazamento | Sem trincas | 3.000.000 | APROVADO |
| 4 | 103 | 11,55 | Sem vazamento | Sem trincas | 3.000.000 | APROVADO |
| 5 | 103 | 11,55 | Sem vazamento | Sem trincas | 3.000.000 | APROVADO |
| ESPECIFICADO | 103 Nm | 11,55(N.m) | Sem vazamento | Sem trincas | 3.000.000 | |

| TESTE DE FADIGA DE DISCO | | | | | | |
|--|-------------------|---------------------|------------------------|--------------------|-----------|-----------|
| TESTE REALIZADO EM AMOSTRAS DE REFRIGERAÇÃO A AGUA | | | | | | |
| RODA | TORQUE DE FIXAÇÃO | CARGA APLICADA (kg) | TESTE DE ESTANQUEIDADE | LÍQUIDO PENETRANTE | CICLAGEM | RESULTADO |
| 1 | 103 | 11,55 | Sem vazamento | Sem trincas | 3.000.000 | APROVADO |
| 2 | 103 | 11,55 | Sem vazamento | Sem trincas | 3.000.000 | APROVADO |
| 3 | 103 | 11,55 | Sem vazamento | Sem trincas | 3.000.000 | APROVADO |
| 4 | 103 | 11,55 | Sem vazamento | Sem trincas | 3.000.000 | APROVADO |
| 5 | 103 | 11,55 | Sem vazamento | Sem trincas | 3.000.000 | APROVADO |
| ESPECIFICADO | 103 Nm | 11,55(N.m) | Sem vazamento | Sem trincas | 3.000.000 | |

Tabela 5: Resultado do teste de fadiga de aro.

Fonte : o autor

Todos os resultados dos testes realizados foram satisfatórios de acordo com a especificação da engenharia do cliente, conforme notado nos valores especificados na ultima linha pertencentes aos valores de cada teste.

3.2.1.3. Teste de impacto de 13°

O teste de impacto 13° simula a “batida” lateral da roda com o meio fio. A finalidade deste teste e verificar a resistência da roda caso o veiculo venha a colidir com o meio fio acidentalmente, como por exemplo, em pista molhadas ou no gelo, comuns em países da Europa.

O procedimento para o teste de fadiga de disco segue:

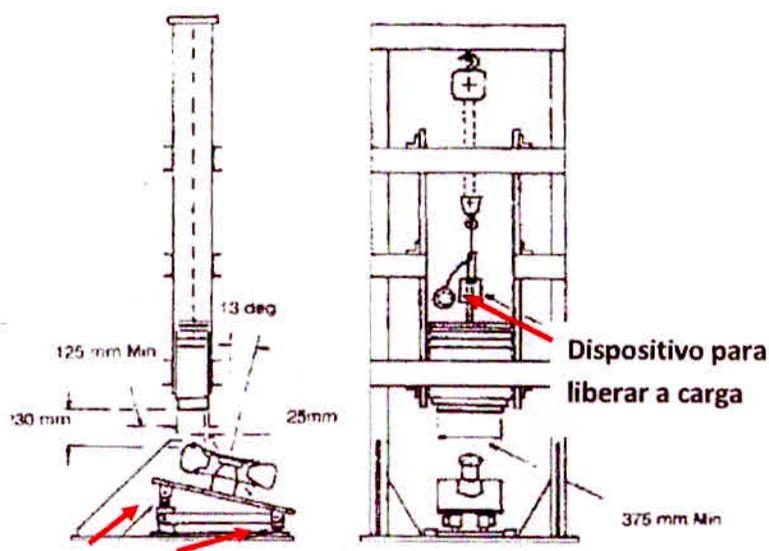
- k) O conjunto roda pneu devera ser fixado em uma placa plana em um ângulo de 13° com base a permitir ângulo de rotação para diferentes aplicações conforme Figuras 18, 19 e 20 apresentadas a seguir,
- l) O sistema de fixação do conjunto devera ser similar ao do veiculo,
- m) A pressão devera ser especificada para o veiculo ou em um desenho,
- n) Uma nova roda devera ser usada para cada teste,
- o) A temperatura da sala devera estar entre 10 a 38°,

p) A base de impacto da carga devera estar a uma altura de 230mm. Esta base devera estar direcionada para o pneu e não devera passar o contorno do aro em mais que 255mm,

q) A carga pode ser calculada pela formula ($D = 0,6 W + 180 Kg$), onde: D (massa a ser aplicada no teste) e W (Máxima carga aplicada por roda especificada em desenho).

Após esses procedimentos, há alguns critérios de aceitação:

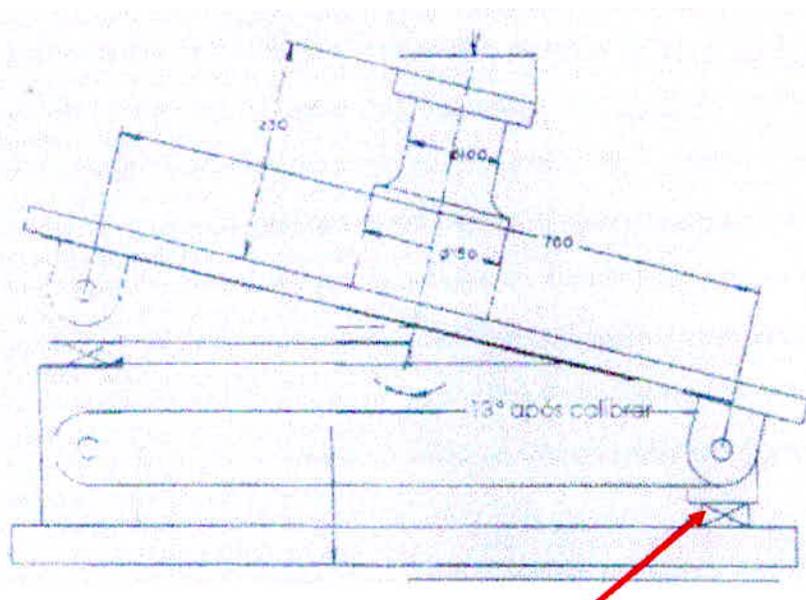
- a) Sem fratura ou trinca visível,
- b) Sem a perda total de pressão durante 1 min,
- c) Deformação ou trinca na região do aro não são consideradas como falhas.



Manta de borracha com dureza de 60 shore e altura comprimida de 27mm

Figura 18: *Layout* da bancada de teste de impacto de 13°.

Fonte: Cast Aluminium Wheel - Specification Number S95BB - 1007 - AA



**Manta de borracha com dureza de 60 shore
e altura comprimida de 27mm**

Figura 19: Dispositivo de fixação de teste de impacto de 13°.

Fonte: Cast Aluminium Wheel - Specification Number S95BB - 1007 - AA

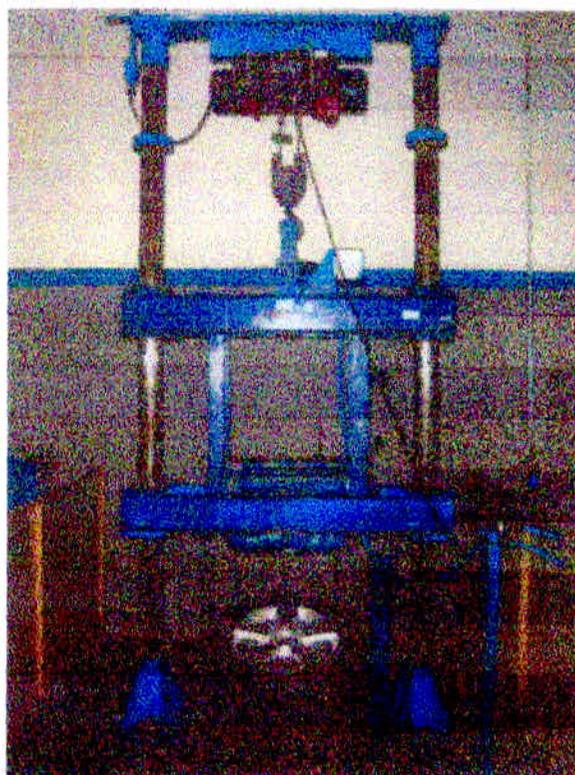


Figura 20: Bancada de teste de impacto de 13°.

Fonte : o autor

Na Tabela 6, os resultados dos testes de impacto 13°, nos mostra os resultados dos ensaios de impacto de 13° realizado em três rodas de cada processo. Os ensaios estão divididos por tipo de refrigeração, utilizando água e ar para fácil visualização e comparação. Todas as amostras utilizadas no teste de impacto de 13° atenderam as especificações de engenharia descritas no desenho do cliente, onde podemos apenas revelar algumas características químicas dos componentes da liga, a qual é composta de alumínio e silício.

Os ensaios foram realizados a temperatura controlada a 20°C o mês de agosto de 2009, seguindo a procedimento interno de ensaios laboratoriais. Todos os relatórios dos testes estão arquivados na pasta do produto correspondente, onde os mesmo foram submetidos ao cliente em questão para sua análise e aprovação.

| TESTE DE IMPACTO 13° | | | | | | |
|--|---------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|---------------|-----------|
| TESTE REALIZADO EM AMOSTRAS DE REFRIGERACAO A AR | | | | | | |
| RODA | CARGA APLICADA (Kg) | ALTURA DA CARGA (mm) | POSICÃO | TORQUE DE FIXAÇÃO | PRESSÃO (Psi) | RESULTADO |
| 1 | 464 | 230 | 0° DO FURO DE VALVULA | 103 | 29 | APROVADO |
| 2 | 464 | 230 | 90° DO FURO DE VALVULA | 103 | 29 | APROVADO |
| 3 | 464 | 230 | 180° DO FURO DE VALVULA | 103 | 29 | APROVADO |
| ESPECIFICADO | 463 | 230 | | 103 | 29 | |

SEM APRESENTACAO DE TRINCA E SEM PERDA DE PRESSAO APOS O TESTE

| TESTE DE IMPACTO 13° | | | | | | |
|--|---------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|---------------|-----------|
| TESTE REALIZADO EM AMOSTRAS DE REFRIGERACAO A AGUA | | | | | | |
| RODA | CARGA APLICADA (Kg) | ALTURA DA CARGA (mm) | POSICÃO | TORQUE DE FIXAÇÃO | PRESSÃO (Psi) | RESULTADO |
| 1 | 464 | 230 | 0° DO FURO DE VALVULA | 103 | 29 | APROVADO |
| 2 | 464 | 230 | 90° DO FURO DE VALVULA | 103 | 29 | APROVADO |
| 3 | 464 | 230 | 180° DO FURO DE VALVULA | 103 | 29 | APROVADO |
| ESPECIFICADO | 463 | 230 | | 103 | 29 | |

SEM APRESENTACAO DE TRINCA E SEM PERDA DE PRESSAO APOS O TESTE

Tabela 6: Resultado do teste de impacto de 13°

Fonte : o autor

Todos os resultados dos testes realizados foram satisfatórios de acordo com a especificação da engenharia do cliente, conforme notamos os valores especificados descritos na ultima linha pertencentes aos valores de cada teste.

3.2.1.4. Teste de impacto 90°

O teste de impacto 90° simula a “batida” da roda com um buraco ou saliência. A finalidade deste teste é verificar a resistência da roda caso o veículo venha a colidir com algo que possa causar a quase separação do disco com o aro sem permitir apenas uma deformação parcial e mensurável, conforme ilustrado na Figura 21.

O procedimento para o teste de fadiga de disco segue:

- a) Montar o menor pneu especificado para a roda e infle com a pressão especificada,
- b) Montar o conjunto conforme Figura 21
- c) Alinhar a face da ponteira da carga de modo a ficar exatamente no centro do conjunto roda/pneu e perpendicular ao eixo da roda.

Após esses procedimentos, há alguns critérios de aceitação:

- d) Deformação máxima permitida de 10 mm. Como mostrado na Figura 22 após o teste

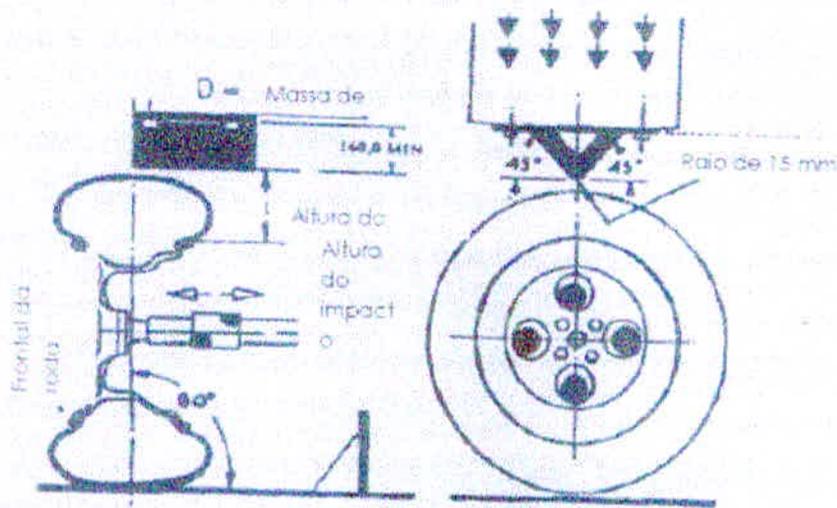


Figura 21: *Layout* da bancada de teste de impacto de 90o.

Fonte: Cast Aluminium Wheel - Specification Number S95BB - 1007 - AA

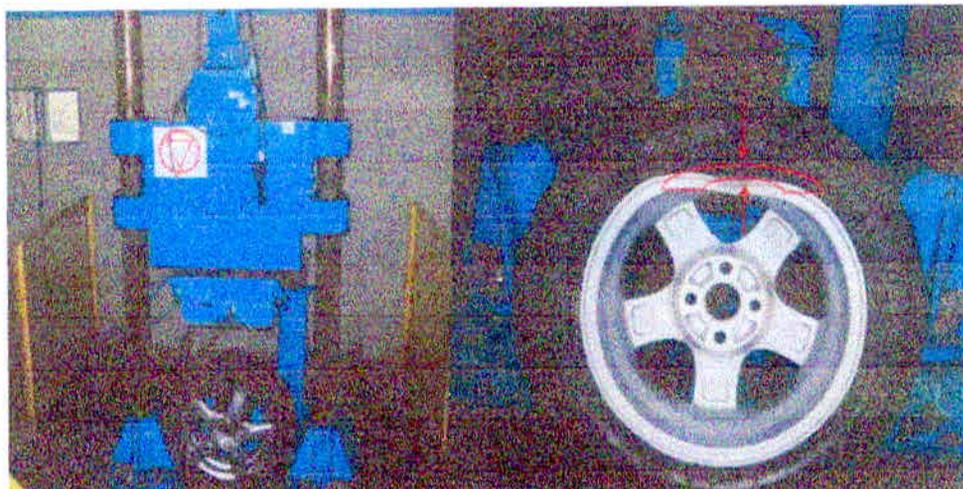


Figura 22: Teste de impacto de 90° e roda após o teste.
Fonte : o autor

Na Tabela 7, os resultados dos testes de impacto 90°, nos mostra os resultados dos ensaios de impacto de 90° realizado em três rodas de cada processo. Os ensaios estão divididos por tipo de refrigeração, utilizando água e ar para fácil visualização e comparação. Todas as amostras utilizadas no teste de impacto de 90° atenderam as especificações de engenharia descritas no desenho do cliente, onde podemos apenas revelar algumas características químicas dos componentes da liga, a qual é composta de alumínio e silício.

Os ensaios foram realizados a temperatura controlada a 20°C o mês de agosto de 2009, seguindo a procedimento interno de ensaios laboratoriais. Todos os relatórios dos testes estão arquivados na pasta do produto correspondente, onde os mesmo foram submetidos ao cliente em questão para sua análise e aprovação.

| TESTE DE IMPACTO 90° | | | | | | |
|--|---------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|-----------|-----------|
| TESTE REALIZADO EM AMOSTRAS DE REFRIGERAÇÃO A AR | | | | | | |
| RODA | CARGA APLICADA (Kg) | ALTURA DA CARGA (mm) | POSICÃO | TORQUE DE FIXAÇÃO | DEFLEXÃO | RESULTADO |
| 1 | 470 | 164 | 0° DO FURO DE VALVULA | 103 | 3,87 | APROVADO |
| 2 | 470 | 164 | 90° DO FURO DE VALVULA | 103 | 4,63 | APROVADO |
| 3 | 470 | 164 | 180° DO FURO DE VALVULA | 103 | 3,78 | APROVADO |
| ESPECIFICADO | 470 | 164 | | 103 | 10 mm max | |

| TESTE DE IMPACTO 90° | | | | | | |
|--|---------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|-----------|-----------|
| TESTE REALIZADO EM AMOSTRAS DE REFRIGERAÇÃO A AGUA | | | | | | |
| RODA | CARGA APLICADA (Kg) | ALTURA DA CARGA (mm) | POSICÃO | TORQUE DE FIXAÇÃO | DEFLEXÃO | RESULTADO |
| 1 | 470 | 164 | 0° DO FURO DE VALVULA | 103 | 1,95 | APROVADO |
| 2 | 470 | 164 | 90° DO FURO DE VALVULA | 103 | 1,35 | APROVADO |
| 3 | 470 | 164 | 180° DO FURO DE VALVULA | 103 | 0,7 | APROVADO |
| ESPECIFICADO | 470 | 164 | | 103 | 10 mm max | |

Tabela 7: Resultado do teste de impacto de 90°.

Fonte : o autor

Todos os resultados dos testes realizados foram satisfatórios de acordo com a especificação da engenharia do cliente, conforme notamos os valores especificados descritos na última linha pertencentes aos valores de cada teste

3.3. Comparativo dos Resultados obtidos

Neste capítulo foram apresentando os comparativos dos resultados obtidos nas análises dos ensaios referentes às propriedades mecânicas e também dos testes estruturais conforme especificado da engenharia do cliente.

Teremos a redução no custo da produção e conseqüente, seremos mais competitivos tanto no mercado interno como no externo. Também teremos que atender todas as exigências técnicas de engenharia que requer o produto em questão, por ser um item de segurança, o qual coloca em risco a vida, tratado assim com parâmetros mínimos exigidos, no que tange propriedades mecânicas e testes estruturais. Este novo processo de refrigeração a água devera não só atender todas as especificações como também justificar o investimento. O novo processo abordado ira também ser submetido a uma análise produtiva, ou seja, se o tempo de processo de fundição ira atender a demanda atual, ou superar, o que e esperado.

4. VIABILIDADE ECONÔMICA / ANÁLISE PRODUTIVA

A viabilidade econômica do projeto será analisada a aprovada por meio de seu "payback", ou seja, a capacidade que o investimento terá em se pagar. Esta análise será realizada com o montante total do investimento versus o tempo do seu abatimento, calculado por um percentual de rodas a mais a serem produzidas em um determinado tempo, já que haverá um aumento significativo na produção em torno de 20 %, aumento comprovado devido o menor tempo utilizado no processo de fundição utilizando refrigeração a água.

4.1. Levantamento de custos do investimento

Para adaptação de refrigeração a água em uma máquina de fundição de baixa pressão (BP), será necessário adquirir alguns materiais, conforme Tabela 8, já que as máquinas foram projetadas para trabalharem com o processo de refrigeração a ar.

| LISTA DE MATERIAIS PARA ADAPTAÇÃO DE REFRIGERAÇÃO A ÁGUA NAS INJETORAS DE BAIXA PRESSÃO | | | |
|---|------|--|---------------|
| ITEM | QTDE | DENOMINAÇÃO | VALOR |
| 0 | 2 | LUVA GALV 2" | R\$ 42,00 |
| 1 | 4 | UNIÃO 2" ASSENTO DE BRONZE | R\$ 300,00 |
| 2 | 18 | TUBO GALV. 2" X 6000 | R\$ 702,00 |
| 3 | 7 | COTOVELO GALV. 2" | R\$ 207,00 |
| 4 | 7 | MANGUEIRA 100R2AT - 16X1600 | R\$ 62,40 |
| 5 | 2 | LUVA DE RED 2" X 1 - 1/4" | R\$ 34,00 |
| 6 | 2 | BUCHA DE RED. 2" X 1 - 1/4" | R\$ 12,90 |
| 7 | 2 | NIPLE 1" | R\$ 9,20 |
| 8 | 2 | BUCHA DE RED. 1-1/2" X 1 - 1/4" | R\$ 16,60 |
| 9 | 1 | UNIÃO 1.1/2" ASSENTO DE BRONZE | R\$ 37,30 |
| 10 | 1 | NIPLE 1-1/4" | R\$ 19,20 |
| 11 | 3 | LUVA SOLDAVEL 1-1/4" | R\$ 13,75 |
| 12 | 1 | MANGUEIRA AEROQUIP212-16 SAE 100R2AT | R\$ 31,40 |
| 13 | 1 | LUVA SOLDAVEL 3/4" | R\$ 22,80 |
| 14 | 4 | NIPLE 3/4" GALV. | R\$ 24,00 |
| 15 | 8 | UNIÃO 3/4" ASSENTO DE BRONZE | R\$ 271,60 |
| 16 | 8 | MANGUEIRA BALFLEX SAE 100RAT - 1/2" | R\$ 66,00 |
| 17 | 4 | TUBO GALV. 1-1/4" X 6000 | R\$ 73,47 |
| 18 | 4 | TUBO GALV. 3/4" X 6000 | R\$ 909,60 |
| 19 | 4 | TE GALV. 3/4" | R\$ 53,20 |
| 20 | 4 | COTOVELO GALV. 1 1/4" | R\$ 19,80 |
| 21 | 6 | UNIÃO 1.1/4" ASSENTO DE BRONZE | R\$ 93,20 |
| 22 | 12 | COTOVELO GALV. 3/4" | R\$ 102,50 |
| 23 | 4 | LUVA 3/4" | R\$ 35,75 |
| 24 | 6 | CONECTOR MACHO 1/2 OD X 3/4 BSP | R\$ 121,50 |
| 25 | 2 | ABRAÇADEIRA DYNAR TBRDB 1-2B - 3/4" | R\$ 77,70 |
| 26 | 25 | ABRAÇADEIRA DYNAR TBRDB 1-42 - 1-1/4" | R\$ 77,70 |
| 27 | 4 | VALVULA ESFERA 3/4" FEMEA/FEMEA | R\$ 85,80 |
| 28 | 1 | VALVULA SOLENOIDE 2 VIAS 1-1/4" | R\$ 440,00 |
| 29 | 4 | VALVULA ECON 3/4" | R\$ 800,00 |
| 30 | 5 | ROTAMETRO GEMU | R\$ 2.584,62 |
| 31 | 1 | VALVULA SOLENOIDE 2 VIAS 1-1/2" | R\$ 660,00 |
| 32 | 4 | VALVULA DE RETENÇÃO TIPO PORTINHOLA 3/4" | R\$ 160,00 |
| 33 | 1 | MÃO DE OBRA | R\$ 2.456,52 |
| TOTAL | | | R\$ 10.624,31 |

Tabela 8. Lista de material e valores para adaptação da refrigeração a água.

Fonte : o autor

4.2. Análise produtiva

Utilizando o mesmo modelo de roda, a mesma máquina de injeção e o mesmo molde de injeção, foi coletado valores de tempo conforme apresentados na Tabela 9, onde foi usado o tempo médio de produção durante o turno inteiro.

| PROCESSO DE REFRIGERAÇÃO | AR | ÁGUA |
|--|------------|-----------|
| TEMPERATURA DO METAL (°C) | 680 ± 15 | 680 ± 15 |
| TEMPO 1ª INJEÇÃO (seg) | 30 ± 1,2 | 25 ± 1,2 |
| PRESSÃO 1ª INJEÇÃO (bar) | 0,5 ± 0,2 | 0,5 ± 0,2 |
| TEMPO 2ª INJEÇÃO (seg) | 180 ± 1,2 | 150 ± 1,2 |
| PRESSÃO 2ª INJEÇÃO (bar) | 1,0 ± 1,2 | 1,0 ± 1,3 |
| TEMPO DE RESFRIAMENTO (seg) | 48 ± 1,2 | 30 ± 1,2 |
| TEMPO APROXIMADO MOVIMENTAÇÃO DA MÁQUINA (seg) | 30 | 30 |
| TEMPO TOTAL DO PROCESSO (seg) | 280 | 235 |
| PERCENTUAL DE TEMPO A MENOS | 16% | |

Tabela 9: Tempo médio de Produção.
Fonte : o autor

Com uma redução de 16% no tempo total de processo, podemos dizer que este percentual é de aumento diretamente proporcional no aumento de produção, ou seja, teremos um aumento deste mesmo percentual em rodas produzidas utilizando o processo de refrigeração a água.

Considerando a média de rodas produzidas por um turno igual a 2.170, teremos um ganho de 26.040 peças por mês conforme mostrado na Tabela 10.

| Quantidade de rodas produzidas por turno | Quantidade de turnos | Quantidade de dias trabalhados | Total de rodas produzidas no mês com refrigeração a ar | Total de rodas produzidas no mês com refrigeração a água | Aumento de produtividade |
|--|----------------------|--------------------------------|--|--|--------------------------|
| 2.170 | 3 | 25 | 162.750 | 188.750 | 26.040 |

Tabela 10: Ganhos de peças considerando o tempo médio de Produção.
Fonte : o autor

5. CONCLUSÃO

Neste Capítulo algumas considerações finais serão realizadas. Além disso, possíveis trabalhos futuros serão citados para dar continuidade neste trabalho.

5.1. Considerações Finais

Neste trabalho foi proposta a modificação no processo de refrigeração na fundição de rodas de liga leve para indústria automotiva, substituindo o ar, que atualmente é o fluido utilizado na troca térmica, por água. Foram avaliadas as características, viabilidades e vantagens na comparação dos processos, e a refrigeração à água foi aprovada em todos os aspectos.

Com relação às propriedades mecânicas, as amostras retiradas das rodas com o novo processo de refrigeração a água, atenderam aos requisitos específicos de engenharia exigidos pelo cliente e também estão, em sua grande maioria, acima dos valores das amostras do processo de refrigeração a ar. Por meio dos valores encontrados em nossa pesquisa, temos segurança para a mudança do processo nas máquinas presentes na Mangels, empresa em que esta pesquisa foi realizada.

Os resultados do ensaio de fadiga e alongamento são de grande importância para a confiabilidade do produto e do processo, pois o produto roda, em questão, é item de segurança, ou seja, uma falha em campo pode colocar em risco a vida do usuário. Sendo assim temos que tratar os ensaios com o maior rigor possível. E no estudo mostrou isso principalmente o alongamento deste modelo testado teve um aumento de 30% a mais do mínimo desejado, que é de 7% pelo cliente, chegando ao valor de 11,22%.

Quanto à viabilidade econômica, teremos certamente o retorno no nosso investimento em um tempo aceitável. O custo inicial utilizado para modificação e de R\$ 10.624,31 lucrando R\$ 1.848,51 por máquina em uma *payback* de 6 (seis) meses, então estes valores não são tão significativos para empresa comparando em uma aquisição de novos maquinários, ou mesmo, uma nova fábrica. O ganho de produção devido ao menor tempo para o processo de fundição de rodas nos ajudará a garantir a entrega de nossos produtos sem atrasos para clientes. Assim teremos a confiança dos clientes e seremos parceiros em novos projetos, fundamental para a estratégia de negócio de nossa empresa. Essa modificação propôs a redução do tempo de fabricação em 23% no modelo testado aumentando em torno de 20% da capacidade produtiva deste modelo.

Os resultados obtidos nesse projeto foram frutos da utilização de bons equipamentos e matéria prima de qualidade. O processo de fundição de rodas de liga leve é extremamente sensível para a reprodução dos valores encontrados alguns fatores terão que ser controlados rigorosamente, por exemplo, temperatura da liga, temperatura do forno, composição química, elementos de liga, temperatura e vazão de água, área e pontos de troca térmica e também terá que ser considerado a geometria da roda e sua facilidade em escoar o material líquido para o total preenchimento do molde. Assim dependendo da geometria podemos aumentar a capacidade produtiva acima de 30%. Este estudo foi crucial para a competitividade e a satisfação de nossos clientes.

5.2. Trabalhos Futuros

Acredita-se que um trabalho satisfatório e que consiga trazer benefícios às empresas ou à área, é aquele que consegue “abrir portas e ideias” para trabalhos futuros. Sendo assim, acredita-se que alguns trabalhos futuros podem ser realizados, tais como:

- a) Pesquisar outro fluido para ser utilizado com maior eficiência de troca térmica,
- b) Estudar a solidificação direcionada na fundição de rodas de liga leve,
- c) Pesquisar a utilização de mais de um tipo de fluido no processo de refrigeração na fundição de alumínio,
- d) Estudar a viabilidade de fundição de liga leve à alta pressão para o produto roda.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(ABAL, 2008) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL. **O Alumínio: Características Químicas e Físicas.** Disponível em: <http://www.abal.org.br/aluminio/propriedade_mecanicas.asp>. Acesso em: 12 ago. 2008, 18h 56 min.

(Caram, Garcia, 1995) Caram, R.; Garcia, A. **The use of detritc microstructure growth to evaluate the metal – mold heat transfer coefficient in the foundry process.** V. 2, p 555 – 559, 1995.

(Ho, Pehlke, 1984) Ho, K.; Pehlke, R. D. **Mechanisms of heat transfer at a metal – mold interface, AFS transactions,** v. 92, p. 587, 1984.

(Malavas, 2008) Malavas, Jefferson. **Fundição de Alumínio e suas ligas.** São Paulo: SENAI, 2008.

(Martorono, Capocchi, 2000) Martorono, M.A.; Capocchi, J.D.T. **Heat Transfer coefficient at the metal mould interface in the unidirectional. Solidification,** v.43, p. 2541, 2000.

(Morris, 1978) Morris, Doyle. Schrader, leach: **Processo de Fabricação de materiais para Engenheiros –** Editor Edgard – Blucher LTDA, 1978.

(Prates, Davies, 1974) Prates, M.; Davies, G. J.. **Solidificações de Metais e suas ligas** 1ed. Rio de Janeiro, ED. Livros Técnicos e científicos, 1974.

(Rizzo, Melo, Santos, 1993) Rizzo, E.M.S; Melo M. L. N. M.; Santos, R. G. **Análise Numérico/ experimental de um Processo de Fundição de Precisão, Porto Alegre, 1993. Anais.... p 188-195**

(Secco, 2010) Secco, Raquel. **Número de Vendas bate recorde e crescem 32,6%.** Disponível em: <<http://autodata.com.br/agencia/noticias/>> Acesso em: 09 out 2010, 18h41min.