

# PROCESSO DE FUNDIÇÃO POR GRAVIDADE

## PARA CILINDROS EM ALUMÍNIO

Raimundo Alberto Monteiro Coelho<sup>1</sup>

Fabiano André Trein<sup>2</sup>

### RESUMO

O trabalho mostra a necessidade de implantação de um novo processo de fundir peças em alumínio, em função do processo fundição sob pressão já implantado não atender as exigências técnicas de uma nova geometria de cilindro com canais de transferência em curva, *henkel*. Esta curva por ser complexa é que ocasiona a inviabilidade técnica no processo atual, devido não poder extrair a peça do molde sem quebrá-la. O novo processo para atender a nova geometria é fundição por gravidade, que permite que a peça saia da coquilha sem ser danificada pela extração, devido o macho de areia que fica inserido na peça de alumínio ser removido somente na etapa posterior e pela a propriedade de desagregação dos grãos de areia pela o processo de vibração sofrido pela a máquina vibradora. Este projeto irá atender futuramente uma demanda de cilindros projetados para melhorar a emissão de gases na atmosfera, esta concepção recebe o nome de *spülvorlage* que significa arraste de ar limpo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Canal. Gravidade. Geometria. Henkel. Processo.

### ABSTRACT

The work shows the necessity of implantation of a new process to cast parts in aluminum, in function of the process casting through pressure already implanted not to take care of to the requirements techniques of a new geometry of cylinder with

---

<sup>1</sup> Acadêmico do Centro Universitário Feevale. Curso de Formação Específica Gestão da Produção.

<sup>2</sup> Professor do Centro Universitário Feevale. Mestre em Engenharia da Produção (PPGEP – UFRGS)

canals of transference in curve, henkel. This curve for being complex is that it causes the technique unfeasibility in the current process, had not to be able to extract the part of the mold without breaking it. The new process to take care of new geometry is gravity die casting, that allows that the part leave the die casting without being damaged by the extration, which had the sand male that is inserted in the aluminum part only to be removed in the posterior stage and by the property of disaggregation of the sand grains for the o process of vibration suffered for the vibrating machine. This project will take care of a demand of projected cylinders to improve the emission of gases in the atmosphere, this conception receives the name from spülvorlage that it means drags of clean air

**KEYWORDS:** Channel. Gravity. Geometer. Henkel. Process.

## INTRODUÇÃO

O projeto de fabricar cilindros por gravidade na empresa sediada em São Leopoldo pertencente ao grupo Fundimetal, foi baseada em histórico de crescimento do negócio cilindro, que desde a sua implantação iniciada em 1996, vem tendo um crescimento contínuo, tanto em produtividade, tecnologia, qualidade, quanto em instalações e crescimento pessoal e profissional de seus funcionários. Mas os fatores determinantes que contribuiram para decisão de viabilizar mais um projeto, foram a experiência adquirida no processo de fabricação de cilindros sob pressão e o custo no Brasil, criava um atrativo.

Haveria a necessidade de fabricar um produto visualmente similar aos existentes, mas que diferem pelas suas características funcionais e geométricas. Havia necessidade de desenvolver um processo de fundição que é o mais antigo da história da humanidade, mas para confeccionar o cilindro que atendesse as exigências ambientais sobre a emissão de poluentes provenientes da combustão interna dos motores. O processo de fundição por gravidade, tecnicamente seria o único capaz de realizar de se adequar à necessidade de fabricação do produto.

Este trabalho foi direcionado para mostrar como a tecnologia de um processo que desde os primórdios da evolução humana foi usado para a confecção

de peças metálicas, possa atender uma necessidade de mudança de conceito na fabricação de produtos com geometria diferente das atuais, na Fundimetal, pela mini-fábrica de cilindros Fundição por Gravidade.

Atender necessidade de fabricação de cilindros que a sua geometria interna exige canais de transferência em formato de curva. Pelo o processo existente não há viabilidade técnica para produzir, devido após solidificação do alumínio o macho metálico (que é a peça que dá formato interno), não poder ser removida de dentro da peça que está sendo produzida (cilindro).

Segundo Karantanis <sup>1</sup> (2006), para continuar produzindo cilindros que atendessem às exigências do mercado americano pela a *U.S. Environmental Protection Agency* e europeu pela a *Institut für Atmosphärische Umwelt* sobre a emissão de poluentes na atmosfera, proveniente da queima de combustão interna dos motores, faziam-se necessárias modificações na geometria interna das peças fabricadas em alumínio, para baixar o volume de gases expelido no meio ambiente. Estas alterações ocorreriam em 2 etapas: a primeira traz o conceito de canais *Henkel* (em forma de alça de xícara), a segunda etapa do projeto com maior restrição recebe o nome de *Spüvorlage* (significa câmara limpa pelo o arraste de ar).

A redução da emissão de poluentes na atmosfera pelos os motores 2 tempos de canais *Retos* produzido pela Fundimetal, dependia de uma modificação nos canais de transferência, que desde o início fazem parte do processo de fundição sob pressão, tendo uma concepção de ferramental adequada ao uso para confeccionar as peças, que partes deste conjunto são retos para que possa haver a extração da peça do molde, após o alumínio passar da forma líquida para a sólida.

Os canais projetados para a nova resolução não tem viabilidade técnica para produzir usando o processo descrito. Esta viabilidade se dá somente pelo processo de fundição por gravidade, principal assunto deste projeto.

Este trabalho enfocou o assunto de um forma diferente desta pois passou-se a estudar a otimização do limite do uso da areia e a forma drástica de redução na

---

<sup>1</sup> Estes dados foram adquiridos através de entrevista com a gerência das fundições e Ferramentaria de Construção

fonte ou seja a maneira ideal para a diminuição a geração do descarte do próprio processo de obtenção de peças fundidas.

## **1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1 Conceituação básica**

O que é fundição de por gravidade? Segundo Brandenberger (2003), quando se fala em processo de fundição é necessário definir: Que tipo de metal ou liga que vai ser fundido – ferro fundido, ferro nodular, aço, latão, bronze, magnésio, alumínio, zinco, etc. Para cada situação tem um molde diferente. São elas:

- molde em areia ligada com diferentes ligantes, para cada peça é necessário fazer um molde, e este por sua vez será descartado após vazamento.
- molde em areia sem ligante, para cada peça compactada através de equipamento que de pressão mecânica, é necessário fazer um novo modelo.
- molde cerâmico, para cada peça é necessário fazer um modelo. molde permanente, um molde para fazer milhares de peças.

O metal é vazado no molde usando a força da gravidade (fundição por gravidade). O metal é vazado no molde e sujeito a uma pressão elevada, dada através de uma máquina injetora (fundição sob pressão). O metal é vazado e centrifugado.

Na fundição por gravidade, como o molde também é impermeável, as dificuldades de saída do ar na hora do vazamento também existem. A pressão menor permite que se trabalhe com recursos diferentes das bolsas, tais como respiros e ajustes na linha de apartação do molde, controle da velocidade de vazamento, inclinação do molde, etc. Na fundição por gravidade podemos ter uma alimentação sem turbulência, com menos oxidação do metal e menos inclusões.

Tendo em vista que as peças por gravidade podem ser mais espessas, a solidificação leva mais tempo e há a possibilidade de aparecerem defeitos e o tamanho de grão é maior. Por isso o tratamento do banho líquido deve ser feito com alguns cuidados especiais:

- eliminação de gases dissolvidos;
- refino de grão e modificação;
- Ser livre de hidrogênio dissolvido;
- Ter quantidade adequada de agente de modificação de *Sr* ;
- Deverá apresentar baixo custo;

Cuidados com os cadinhos, pois os mesmos são caros e podem sofrer danos se manuseados incorretamente. Especificar o cadinho mais adequado. No nosso caso importa que fundiremos uma liga de alumínio, o aquecimento será elétrico, o material vai ser retirado do cadinho com concha e pretendemos fazer no próprio cadinho o tratamento de desgaseificação.

## 1.2 PROCESSO DE FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO

Fazer uma caminhada descalço na praia é muito prazeroso, mas pensar que aquela mesma areia que está sendo pisada também está sendo usada para ajudar a fazer uma peça de seu carro? No produto final ela não aparece é usada somente para moldar a peça do projeto.

Tudo começa lá na natureza, após ser recolhida será levada para uma indústria específica para processar conforme a especificação do cliente, esta especificação é basicamente a granulometria da areia que é o fator de parâmetro que garante as medidas de precisão recomendadas para cada projeto de peça. Outro fator importante o aglomerante, para este caso é uma resina à de fenol usada na mistura de areia. Uma vez que este material chega na Fundição, é levada para uma máquina para confeccionar os moldes de areia, conhecido como machinhos de areia, Pereira (2003).

Nesta máquina, um molde metálico é inserido entre um platô e outro. Para aquecer esta caixa de macho como é chamada, é usado o combustível gás natural. A formação da peça dentro desta caixa de macho se dá pelo o sopro de ar comprimido que a máquina dá dentro de uma campânula contendo areia.

Esta areia é empurrada para dentro das cavidades da caixa metálica, o molde e, e por ela está quente, conseqüentemente transfere a calor para a areia, que reage com o aglomerante formado a peça conforme a disposição interna do molde, depois de algum tempo dentro destas cavidades, automaticamente a máquina abre o molde e está formada a peça. Este insumo usado na para a produção do produto que vai para o cliente interno, sofrerá ainda várias etapas até ficar pronto para fazer o vazamento com alumínio líquido. A partir dele sair da máquina de soprar machos de areia, conhecida como sopradora, estes machinhos vão passar pela uma rebarbação manual, são usados limas diamantadas para fazer esta tarefa, este cuidado se dá porque não pode ter nenhum tipo de imperfeição, pelo o fato de aparecer no produto qualquer marca, alto ou baixo relevo. Assim como esta peça, uma outra requer os mesmos cuidados, que é a peça que irá ser montada na antes descrita.

O canal *henkel* tecnicamente descrito, é mas conhecido por orelhinha, até mesmo pelo as características muito parecidas. Esta será colada no corpo principal e após montada, uma terceira etapa é a remoção do excesso de cola, e por fim os reparos com uma massa para cobrir as imperfeições, e está pronto para ser vazado.

Coquilhadeira é o nome da máquina que recebe o vazamento de alumínio líquido dentro de cavidades metálicas chamada de coquilha, neste caso com uma evolução significativa, o vazamento se dá por robô. Uma vez que o alumínio esteja dentro do molde (coquilha) necessita de um período para se dá a solidificação, é usado 2,5 minutos, em seguida a máquina se abre e operador remove as peças da coquilha e deixando para resfriar naturalmente. Como as peças são unidas pelo um canal de alimentação ou de transferência. Estes devem ser retirados, tarefa feita pela uma máquina de serra fita, que deixará preparada para outra máquina que irá remover os machinhos de areia que estão inseridos nas peças, Pereira (2003)

Uma máquina punciona as peças e vibra fazendo com que toda a areia seja removida. O 100% receberá estas peças e fará um pente fino nelas, retirando as rebarbas e fazer uma inspeção visão em toda ela. Passa para o tratamento térmico, lá elas ficarão por 5h quando atingir 480°C. No final dos 300 minutos serão retiradas com a maior rapidez possível e submergir em água frio, ficando até resfriar por completo. Uma segunda parte do tratamento é colocar em uma estufa, que

permanecerá por 5h à 190°C. Saindo desta etapa elas vão para a área de transferência, para o cliente interno.

O processo é novo e o seu quadro funcional também. Por estas diferenças fazem com que se tenha uma atenção muito especial, até mesmo pela a promessa de substituir fornecedores do grupo e atender as normas ambientais de emissão de poluentes. O bom ambiente de trabalho, favorável a busca pelo o desconhecido, fez daqueles colegas uns verdadeiros parceiros para a realização deste trabalho. Importante o complemento das diversas bibliografias adquiridas, que somaram para o processo de fundição por gravidade, juntamente com as opiniões formadas à respeito.

A figura 1 mostra a forma de um molde metálico com machos metálicos para a confecção do interno. Este cilindro foi fabricado pelo o processo de injeção sob pressão, a máquina usada para a moldagem da mesma é uma injetora de 560 toneladas de fechamento conhecida no meio também como *die casting machine* (injetora para fundição sob pressão).



**Figura 1 - Vista externa de cilindro fundido sob pressão em alumínio**

Fonte: Fundimetal (2006)

A ilustração da figura 2 destaca no centro do círculo, dois rebaixas que são simétricos, ou seja, do lado oposto internamente existem outros dois. Após o resfriamento da peça ela precisa ser extraída do molde (retirada) como a superfície é plana, permite que a peça seja removida do molde sem algum empecilho



**Figura 2 – Vista interna dos canais de transferência do cilindro.**

Fonte: Fundimetal (2006)

A figura 3 mostra o externo de um cilindro com destaque no canal de transferência, produzido em uma coquilha metálica com machos de areia para confecção do interno. Este cilindro foi fabricado por gravidade, a máquina usada para a moldagem da mesma é uma coquilhadeira.



**Figura 3 - Vista externa de cilindro fundido por gravidade.**

Fonte: Fundimetal (2006)

A ilustração da figura 4 destaca no centro do círculo, duas aberturas rebaixasadas que são simétricas, ou seja, do lado oposto internamente existem outros dois. Após o resfriamento da peça ela precisa ser extraída da coquilha (retirada) como a superfície é curva, não permite que a peça seja removida do molde sem algum empecilho por uma macho metálico,, porque fica trancada na coquilha, para solucionar este problema, machos de areia servirá de molde e após resfriamento da peça pode ser removida através de vibração na peça.



**Figura 4 - Vista interna dos canais de transferência do cilindro.**

Fonte: Fundimetal (2006)

Este corte transversal da figura 5, é para ilustrar melhor a inviabilidade desta peça não ser produzida pelo o processo de fundição sob pressão.



**Figura 5 - Vista interna dos canais de transferência do cilindro.**

Fonte: Fundimetal (2006)

### **1.3 Oxidação**

Qualquer peça de alumínio, em contato com o ar, se cobre com uma película oxidada que na hora do aquecimento se transforma em  $Al_2O_3$ , chamado corundo.

Este é indesejável, pois é duro e de densidade semelhante ao alumínio líquido e, por isso, difícil de separar. Quando incorporado na peça, forma pontos duros que prejudicam a usinagem. Em suspensão no metal líquido diminui sua fluidez. Todo o alumínio se apresenta oxidado na superfície. Na hora da fusão, esta camada não se funde nem se transforma. Há perigo de oxidação adicional por falta de cuidados na condução do processo de fusão. O grau de oxidação depende das

condições de armazenamento do material de carga (umidade), de suas dimensões, da composição da liga, da temperatura e tempo de fusão, do tipo de forno, da forma de aquecimento e da superfície do banho (proteção com sais). Todas as reações envolvem perda de alumínio, o que é importante fator de custo.

Dependendo da carga que se usa e da operação do forno, temos perdas que variam muito. Neste caso usa-se sucata até chegar a 30%. Em caso de chapa muito fina, é ainda maior do que esta proporção.

#### **1.4 Limpeza de banho com FDU (Unidade de Desgaseificação por Fluido)**

Segundo Pereira (2003), a quantidade de hidrogênio dissolvido depende da temperatura do metal e da pressão parcial do hidróxido de alumínio sobre o banho. A liga deve estar na temperatura de trabalho, próxima de 740°C. O aparelho *FDU* deve ser posicionado de forma a ficar entre 100 e 200 mm do fundo do forno. É recomendável que se trabalhe com vazão controlada de 15 l/min para SF<sub>6</sub>, ou de 20 a 30 l/min para Nitrogênio. Durante o tratamento com *FDU*, colocar o escorificante (Coveral 6512) para limpeza do banho.

#### **1.5 Análise química conforme especificação**

O material especificado é alumínio fundido DIN GK-AlSi12CuNiMg. Trata-se de uma liga para fundição por gravidade (GK), para peças sujeitas a desgaste a quente, especialmente pistões e cilindros, com tratamento térmico T6 fornecido em lingotes e o Controle de Qualidade é responsável pela liberação dos diferentes lotes. A produção deve garantir que na hora do vazamento a análise esteja correta, vazar só após confirmação. Cuidado especial na fusão é manter o teor de Mg entre 0,25% à 0,45%, na composição do alumínio fim de garantir a realização do tratamento térmico.

#### **1.6 Princípios de fundição por gravidade**

O Departamento de Engenharia e Metalúrgica da Universidade Federal de Minas Gerais, a UFMG, completa que a estrutura metalográfica de ligas de alumínio-

silício contém um eutético (ponto de solidificação em relação ao teor de silício) em quantidades crescentes, quando nos aproximamos de 11.5% de Si. Um dos constituintes do eutético, em condições normais de solidificação, é formado por placas de Si que conferem propriedades indesejáveis às peças. O tratamento de modificação altera a forma destas placas para uma estrutura granular. Com isso melhoram-se as propriedades mecânicas, especialmente a ductilidade. O tratamento pode ser feito com diferentes elementos. Na Fundimetal escolheu-se *Sr (estrôncio)* como agente modificador. O teor residual de *Sr (estrôncio)* recomendado é de 40 a 60 ppm. Tempo de '*incubação*' é o tempo, depois do tratamento, que o elemento leva para agir adequadamente. Tempo de '*fading*' é o que leva para desaparecer o efeito, depende da temperatura de superaquecimento, da agitação do banho e da prática de desgaseificação usada – a modificação com *Sr (estrôncio)* tem vantagem, por isso foi escolhida. O controle do efeito deste tratamento pode ser feito por análise metalográfica. Pela fratura, cinza clara e sedosa, pode-se fazer controle expedito do tratamento. O grau de modificação também pode ser visto na aparência do banho líquido: depois de retirar a borra, a superfície do banho, inicialmente brilhante, deve assumir em alguns segundos uma cor cinza azulada.

O acréscimo do elemento estrôncio *Sr (estrôncio)*, na forma de liga com alumínio *Al*, deve ser feito ao banho antes do tratamento de desgaseificação. Este tratamento facilita a distribuição homogênea do estrôncio no metal líquido.

### **1.7 Vantagens e desvantagens, dos processos de fundição sob pressão e fundição por gravidade.**

Para Pereira (2003) basicamente a única diferença entre os dois processos é que na fundição sob pressão se aplica alta pressão sobre o metal líquido que é injetado no molde e compactado e na fundição por gravidade o metal preenche o molde por efeito da força da gravidade. O material do molde no caso de injeção, devido à grande velocidade do metal, tem que ser de aço especial (H-13) com alta resistência ao desgaste e ao calor. Para a fundição por gravidade podem ser usados moldes feitos de grafita ferro fundido, ferro nodular, aços carbono e aços especiais.

Conseqüência: injeção só pode ser usada economicamente para a produção de peças em grandes séries. A cada ciclo de injeção o molde deve ser pulverizado com desmoldante. No caso da fundição por gravidade, face à menor agressão, coloca-se este produto somente após maior ou menor número de ciclos de produção.

Usam-se diferentes tipos de desmoldantes – tintas – com a finalidade de facilitar o enchimento do molde e regular o resfriamento da peça. Por causa da alta velocidade do metal, na injeção há dificuldades em construir saída de ar da cavidade da matriz, esta saída de ar é conhecida como pulmão para umas empresas e bolsas para outras. Gera-se turbulência do metal que pode incorporar ar – cuidados no desenho das canaletas. Na fundição por gravidade, como o molde também é impermeável, as dificuldades de saída do ar na hora do vazamento também existem. A pressão menor permite que se trabalhe com recursos diferentes das bolsas, tais como respiros e ajustes na linha de apartação do molde, controle da velocidade de vazamento, inclinação do molde, etc. Na fundição por gravidade podemos ter uma alimentação sem turbulência, com menos oxidação do metal e menos inclusões. As diferenças nas peças produzidas.

O processo de injeção é mais adequado para peças finas conforme o afirma Pereira (2003) é de pequeno e médio porte. O limite de peso é fixado pela disponibilidade de máquinas suficientemente potentes para manter a matriz fechada na hora da injeção.

O processo por gravidade permite fundir peças de maior espessura de parede, que podem ser alimentadas para evitar rechupe (má formação da peça), neste caso significa uma má formação na peça caracterizado por um baixo relevo, com um aspecto de uma cratera em proporções miniaturizada. A espessura de parede mínima das peças, no caso da injeção é menor do que por gravidade.

As tolerâncias dimensionais de peças injetadas podem ser mais apertadas do que no processo por gravidade. Por isso também é possível trabalhar com menos sobremetal de usinagem e as peças produzidas podem ter menor peso. - O processo de injeção tem limitações quanto ao desenho das peças. As cavidades só podem ser feitas com machos metálicos que precisam ser extraídos mecanicamente,

antes de abrir-se a matriz com a peça injetada. O processo por gravidade permite o uso de machos de areia. Estes são retirados das peças fora da máquina.

### **1.8 Fundamentos do processo fundição na coquilha**

Segundo Bayerer (2001, p. 35), para a pintura de uma coquilha: recomenda-se uma superfície livre de gordura e de ferrugem retirar antes os pontos de atrito conforme procedimento de misturar bem a tinta sempre (procedimento de sedimentação) diluição da tinta com água. Pulverizador limpo e em bom funcionamento pela a temperatura da superfície 200 – 250 °C e por pressão do ar comprimido seco 3 – 6 bars, primeiro revestir as superfícies difíceis interrupção da pulverização quando mudar o sentido pulverizar, se possível, verticalmente na superfície da coquilha, ver distância do bico dosador para superfície do molde aprox. 200 mm e aplicar camada fina de tinta, porém cobrindo bem utilizando de gabaritos na pulverização como cobertura após o resfriamento, usar o jato de areia para retirar a tinta gasta.

D' Elboux (2001, p. 56) diz que para compatibilizar a industria de fundição com as justas e necessárias exigências ambientais muitas fundições em todo mundo tem procurado encontrar caminhos que diminuam o descarte dos resíduos das areias utilizadas no processo de obtenção das peças fundidas visto que estas peças são de primordial importância no desenvolvimento social e industrial. Como esse problema é comum praticamente em todo o mundo e a evolução sobre o tema caminha em uma velocidade muito lenta em função de sua complexidade e do alto grau de impacto sobre o meio ambiente realizou-se este trabalho que teve inicio 1997. Ao aprofundar-se nos estudos sobre o assunto verificar-se que as pessoas diretamente envolvidas e as leituras existentes preocupam-se mais em encontrar destinações aos resíduos em processos diferentes ao processo de fundição tais como a utilização em base asfáltica, construções civil e artefatos de cimento e tijolo.

### **1.9 Questão Ambiental**

Nas palavras de Nakagima (2005) mencionadas no site do BNDES, o diretor-geral da OMS afirma que é vital a cúpula da terra relacione saúde e meio ambiente. A questão ambiental vem impondo uma ampla e profunda revisão de conceito e profunda, sobretudo nas esferas políticas, social, cultural, filosófica, científica, tecnológica e econômica.

É imprescindível que a relação do homem com o meio ambiente seja reformulado e para tanto é necessário que os vários campos de conhecimento busquem soluções com vista a obtenção de processo de produção mais adequados do ponto de vista ambiental. Após a segunda guerra mundial observou-se um progressivo crescimento populacional e os impactos sobre os recursos da terra.

Entre 1950 e 1986 quando a população do mundo duplicou o consumo do grão aumentou em 2,6 vezes o uso de energia cresceu 3,2 vezes a economia em geral quadruplicou de bens manufaturados cresceu 7 vezes durante o mesmo período a produção norte-americana de produtos químicos, orgânicos e sintéticos (um importante fator de poluição de água e do ar) cresceu mais de nove vezes, atualmente o ser humano utiliza direta ou indiretamente cerca de 40% do total de terras cultivadas no mundo para produção de alimentos. Segundo relatório OMS (Organização Mundial da Saúde) cerca de 75% dos 49 milhões de pessoas que morrem todos os anos são vítimas de doenças relacionadas as questões ambientais ou a estilo de vida.

## **2 ESTUDO DE CASO**

### **2.1 Metodologia:**

A metodologia adotada para este estudo de caso foi através de material de curso básico de fundição por gravidade, entrevista com o gerente das fundições, material como: fotos do maquinário, das etapas do processo, revistas, material da internet, gravuras do projeto do produto, gráficos de pareto do controle do andamento da fábrica, experiências vivenciadas no chão de fábrica pelo o autor deste trabalho

### **2.2 Histórico da empresa**

No início deste século, um engenheiro alemão<sup>1</sup> criava na Europa, um instrumento que ia simplificar os métodos de trabalho de milhares de pessoas. Em 1926, ele inventou a moto-serra, uma ferramenta que reduzia o esforço do homem e aumentava expressivamente a sua produtividade em ação de corte que até então eram utilizados o machado e serras manuais. A moto-serra foi a maior atração da Feira de Leipzig de 1930. Alguns anos depois, foi apresentado ao mundo uma série de aperfeiçoamentos no seu invento. Lançou a primeira moto-serra leve e inteiramente portátil. Seu sobrenome transformou-se em sinônimo de modernização no mundo inteiro.

Quando a Fundimetal, no início de 1973, estabeleceu a sua subsidiária no Brasil, não foi simplesmente dado um passo em terras desconhecidas. Desde meados dos anos 60, considerável quantidade de moto-serras Kuntz foram importadas da Alemanha. A marca já era muito conhecida no Brasil e haviam fortes indícios de que uma rede própria de revendedores em território brasileiro seria muito bem sucedida.

No final de 1973, eram montadas as primeiras moto-serras em São Leopoldo, no Rio Grande do Sul. Inicialmente os componentes vieram todos da Alemanha, porém, já 18 meses mais tarde, puderam ser montadas as primeiras moto-serras *Made in Brazil*. Em 1974, foi iniciada a usinagem de carcaças, em meados de 1978 foi instalada a fundição sob pressão e em 1980, a fabricação de virabrequins e a implantação da unidade de tratamento térmico. Com a fabricação de sabres e a instalação de injetoras de plástico, no ano de 1982, a fábrica de São Leopoldo atingiu uma participação de produção própria comparável a matriz. Atualmente são fabricados no Brasil sete modelos de moto-serras, o Ruff motor, dois modelos de moto-bombas e 13 modelos de cilindros para fabricação de moto-serras e roçadeiras.

A empresa já atingiu alguns níveis de qualidade superiores à matriz, dando confiabilidade e reconhecimento aos seus produtos. Desde 1995 produz-se cilindros para todo o grupo Fundimetal, confirmando a posição de destaque no Grupo.

### **2.3 Processo de fundição por gravidade**

---

<sup>1</sup> O nome fantasia está sendo usado para preservar a identidade da empresa real

A figura 6 mostra o processo de formação da peça que dá o corpo do cilindro bruto em alumínio que depende de dois tipos diferentes tipos de moldes. Um deles faz a geometria externa que é chamado de coquilha e é metálica o outro a interna, feito por macho de areia. Para confecção dos machos de areia é necessário uma máquina sopradora de areia e um molde metálico, onde vai dá forma aos machos de areia. Esta máquina submete a areia que está em um compartimento a uma pressão de sopro suficiente para fazer a areia penetrar no molde metálico preenchendo seu interior formando a peça em areia.



**Figura 6 – vista de uma caixa de macho na máquina sopradora**

Fonte: Fundimetal (2006)

A figura 7 mostra o molde de areia que é composto por duas partes: macho principal e canal *henkel* que são fabricadas independentes, esta etapa consiste no processo de rebarbação manual dos machos de areia e montagem dos mesmos, após estarem rebarbadas e coladas uma à outra, o conjunto passa para a próxima etapa que é o vazamento, onde o produto definitivo será beneficiado pelas próximas etapas



**Figura 7 – Vista de rebarbação manual de machos de areia**

Fonte: Fundimetal (2006)

A imagem da figura 8 mostra como acontece o processo de montagem dos machos em areia após rebarbadas, o corpo principal chamado de macho principal recebe os canais *henkels* nas laterais esquerda e direita

**Figura 8 – vista de montagem de machos de areia**

Fonte: Fundimetal (2006)

A figura 9 mostra o forno que dá início ao processo de fabricação de peças em alumínio, nele o alumínio é recebido do fornecedor em forma de lingote que serão colocados para derreter juntamente com uma segunda parte proveniente de canais, peças sucatas e massalotes do processo de vaziar. Com temperaturas de 720 C° à 740 C° o material sai do forno por basculamento, que será transportado até o forno de trabalho por uma panela apropriado para esta situação.

**Figura 9 vista do forno de fusão e refusão**

Fonte: Fundimetal (2006)

A figura 10 mostra o alumínio dentro do cadinho na sua forma líquida onde permanecerá aquecido por resistências elétricas de um forno, que será levado à cavidade da coquilha pela uma concha cerâmica acoplada em um robô programado para este fim



**Figura 10 vista forno de trabalho da célula coquilhadeira**

Fonte: Fundimetal (2006)

A figura 11 mostra uma coquilha montada em cima de uma máquina coquilhadeira, estes pinos com os machos de areia em suas extremidades vão dá origem à duas peças em alumínio. A coquilha dividida em duas partes simétricas e aquecidas por chamas de fogo proveniente da queima de gás natural, quando fechada recebe o alumínio em forma líquida



**Figura 11 vista da coquilha aberta**

Fonte: Fundimetal (2006)

A figura 12 mostra a alimentação por uma concha cerâmica acoplado a um robô, a coquilha receberá o alumínio líquido através de um orifício na sua parte superior, que depois do tempo de solidificação estiver atingido, a peça estará formada.



**Figura 12 vista da concha enchendo a coquilha com alumínio líquido**

Fonte; Fundimetal (2006)

A figura 13 mostra uma coquilhadeira é a máquina que trabalha com um ferramental chamado coquilha, composta por porta coquilha, lateral e aletas onde fará o processo produtivo de peça bruta em alumínio



**Figura 13 vista de uma máquina coquilhadeira**

Fonte: Fundimetal (2006)

A figura 14 mostra o processo de solubilização que é a primeira etapa do tratamento térmico que consiste em cessar o processo de formação de dendritas (formação pontiaguda alta dureza na estrutura da peça ) essas dendritas são prejudiciais para a usinagem ocasionando menor vida útil às ferramentas de usinar os cilindros. A segunda etapa do tratamento é a precipitação que será feita quando a peça estiver sem os machos de areia e sem rebarbas



**Figura 14 vista do tratamento de estrutura solubilização**

Fonte: Fundimetal (2006)

A figura 15 mostra o corte de canais e massalotes (é a uma bacia onde o alumínio líquido pressiona pelo o peso para dá preenchimento nas aletas do cilindro), no estágio inicial ao corte, as peças são unidas a outra pelo o canal de alimentação, que não faz parte da peça, sua serventia é para receber o do alumínio líquido através das cavidades que une as peças, e quando o alumínio se solidifica deixa uma peça ligada a outra, que precisam ser separadas. Uma máquina de serra *fita* é usada para cortar os canais e os massalotes ( bolsa com diâmetro maior do que o canal, que serve para ajudar no preenchimento das peças e para escapar os gases provenientes da ebulição do material dentro das cavidades da coquilha.



**Figura 15 vista do corte de canais e massalotes**

Fonte: Fundimetal (2006)

A figura 16 mostra as peças que após concluir a etapa de corte dos canais e massalotes, as peças separadas serão postas no dispositivo da máquina vibradora, que através de haste metálica

pressionada na parte superior das peças e vibrando pela ação do ar comprimido em uma cavidade projetada para este fim



**Figura 16 vista do dispositivo de vibração**

Fonte: Fundimetal (2006)

A figura 17 mostra a remoção de rebarbas através de retífica pneumática com uma lixa cilíndrica acoplada à haste da ferramenta. Esta função é conhecida como operação 100% (devido ser feito a inspeção em todas as peças) estas peças iram para cestos metálicos de 15 ou 20 divisões conforme o tamanho e postas em um rack (engradado metálico) para seguir para o tratamento térmico.



**Figura 17 vista da rebarbação e inspeção**

Fonte: Fundimetal (2006)

A figura 18 mostra a última das etapas se dá pelo tratamento térmico das peças, ele é importante para dá as propriedades mecânicas que o produto exige. Este processo é conhecido como precipitação, que ao término do tempo que as peças passam dentro da estufa a uma temperatura de 190 C° por 5 horas dá como resultado a dureza que é medida no laboratório pelo um equipamento chamado durômetro. A faixa de dureza que a peça deve ficar é de 95 à 125 HB (*Hockie Brinell*). No final do tempo de permanência na estufa e ter resfriadas à temperatura ambiente, as peças estão prontas para serem entregues ao cliente interno.



**Figura 18 vista do tratamento térmico precipitação**

Fonte: Fundimetal (2006)

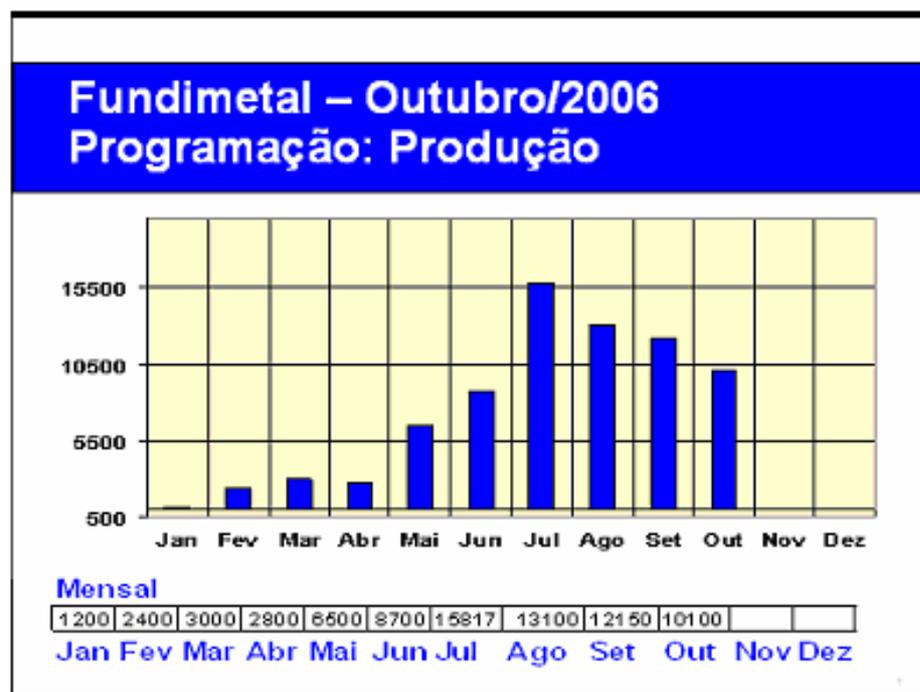
A figura 19 mostra o acompanhamento da sucata através de gráfico de pareto (nome dado em homenagem ao matemático italiano Pareto). A definição de sucata: é toda peça que por uma condição ou várias, não atende a Norma Técnica de Processo, documento que está registrado as características da qualidade para atender as especificações técnica do produto. A evolução da sucata mês a mês pelo gráfico, para os meses de janeiro e fevereiro atingiu a meta estipulada por ser o início do processo de fabricação de modalidade nova para o grupo, porém os meses de março até julho sofreram um acréscimo no seu percentual, devido a experiência acumulada e o grau de exigência do cliente externo e interno. A seqüência de agosto em diante é o reflexo da busca pela recuperação dos índices anteriores e o controle para deixar abaixo da meta, que será alterada para cada vez menos a cada semestre. O percentual de sucata é gerado a partir do valor da sucata, que é o mesmo da peça boa vezes o somatório da quantidade entregue mais a quantidade sucutada.



**Figura 20 vista do gráfico de EG eficiência global de máquina**

Fonte: Fundimetal (2006)

A figura 21 mostra o gráfico da programação da entrega de peças cilindro em bruto, a projeção é gerada pela a necessidade do cliente externo previamente negociado com fornecedor do Brasil. Conforme a evolução mensal, mostra os primeiros meses com programação baixa se comparado aos últimos meses, esta tendência se dá pelo fato do comportamento de uma peça nova em seu processo de alinhamento ser gradativa devido os ajustes de processo.



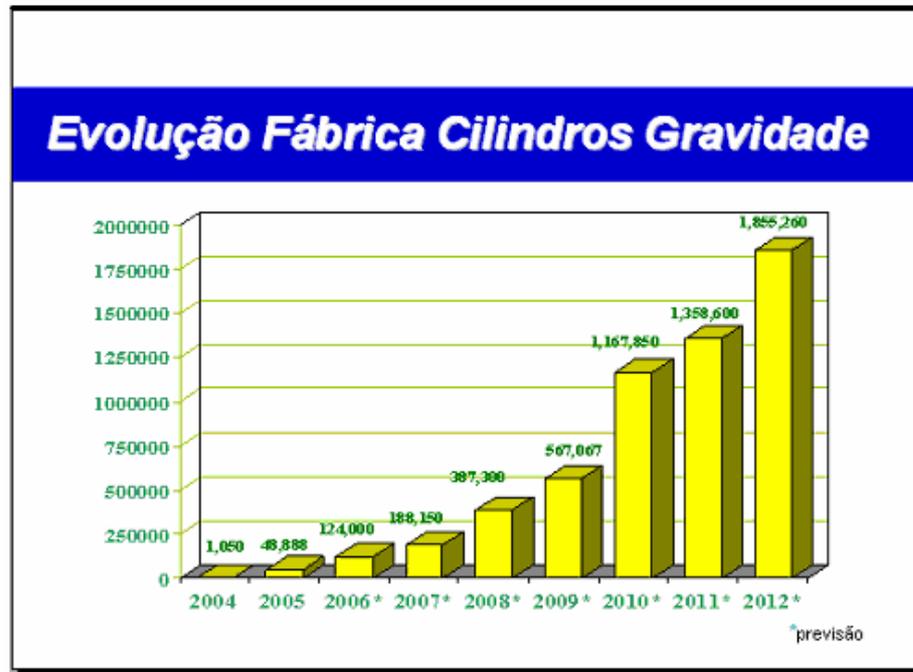
**Figura 21 vista do gráfico da programação da entrega de cilindros brutos**

Fonte: Fundimetal (2006)

## 2.4 Resultados

A figura 22 caracteriza o resultado da implantação de uma fábrica com um processo novo para atender uma demanda de produto que atenda uma legislação ambiental dos clientes externos. Após ter dado certo, um segundo incremento para cilindros mais complexos e com geometria dispendiosa está em processo de desenvolvimento para fazer parte do mix de entrega (peças diferentes entre si) A evolução anual mostrada pelo o gráfico de pareto, reflete uma projeção de

crescimento vertiginoso para os próximos 5 anos, o que indica que o projeto atingiu a sua plenitude com a fabricação dos produtos durante as fases iniciais de desenvolvimento e com previsão para vários anos pela a frente de sua implantação.



**Figura 22** vista do gráfico de evolução anual

Fonte: Fundimetal (2006)

### 3 CONCLUSÃO

O projeto de fabricação de cilindros para atender uma especificação técnica do produto usando o processo de fundição por gravidade obteve um resultado esperado desde o início de sua implantação. Os números demonstrados através de gráficos de sucata, EG eficiência de máquina e programação da entrega tem refletido esta tendência de crescimento. As etapas mais importantes se deram ainda no desenvolvimento, pois a teoria em determinados momentos se confrontou com a prática, obrigando assim a mudança de conceitos em relação a experiências obtidas no mesmo processo em produtos diferentes.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEYERER, Josef. Método de Pintura de Coquilha. **Revista FS: fundições e serviços**. São Paulo, ano 12, nº 101, p. 35, maio 2001.

BRANDENGERGER, Uhs. **Fundamentos de fundição por gravidade**: apostila. São Leopoldo: [s.e.], 2003-2004.

\_\_\_\_\_. **Técnica de fusão para alumínio**: apostila. São Leopoldo: [s.e.], 2003-2004.

D'ELBOUX, Francisco Augusto. Exigências Ambientais para Resíduos de Areia. **Revista FS: fundições e serviços**. São Paulo, ano 12, nº 106, p. 56, out. 2001.

DEPARTAMENTO de Engenharia e Metalúrgica. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.demet.ufmg.br/grad/disciplinas>. Acesso em: 21 maio 2005.

INDÚSTRIA Brasileira de Fundição. **Segmento de peças para o setor automotivo**. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/fund1.pdf>. Acesso em: 21 maio 2005.

PEREIRA, Ênio Vaz. **Princípios gerais de fundição por gravidade**: apostila. São Leopoldo: [s.e.], 2003.