

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS**

**PMT594
TRABALHO DE FORMATURA II**

**DEFEITOS EM PEÇAS FUNDIDAS
NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA
DEVIDO A MOLDAGEM**

**Aluno: Marcelo Sagae Abe
Orientador: Claudio Luiz Mariotto**

Novembro de 1996

Agradecimentos

- Ao professor Claudio Luiz Mariotto pela orientação e interesse pelo trabalho.
- A Eduardo Ribeiro Chaves (Gerente de Produção), Mario Branco Jacintho Jr. (Gerente de Qualidade Assegurada) e a todas as pessoas da Fundição Osasco que me auxiliaram na realização do trabalho.
- Aos meus pais pelo apoio e incentivos constantes.

Sumário

<u>RESUMO</u>	1
<u>1. INTRODUÇÃO</u>	2
<u>2. A EMPRESA</u>	3
2.1. HISTÓRICO	3
2.2. SISTEMA DE MOLDAGEM SPO	4
2.2.1. SISTEMA DE AREIAS	4
2.2.2. MACHARIA	13
2.2.3. MOLDAGEM SPO	19
<u>3. PRINCIPAIS DEFEITOS</u>	22
3.1. INCLUSÕES	24
3.1.1. TIPOS DE INCLUSÕES	24
3.1.2. PRINCIPAIS CAUSAS	25
3.2. PINHOLE	30
3.2.1. PRINCIPAIS CAUSAS	30
<u>4. DADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO DOS DADOS</u>	36
4.1. INCLUSÃO	36
4.1.1. PLANO DE AÇÃO	37
4.1.2. REUNIÃO DA QUALIDADE	40
4.1.3. REUNIÃO DE PARADA DE MÁQUINA SPO	41
4.2. PINHOLE	43
4.2.1. CASO 1 - 1994	44
4.2.2. CASO 2 - 1996	51
<u>5. CONCLUSÃO</u>	57
<u>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	59
<u>7. ANEXOS</u>	62

Resumo

Neste trabalho foram estudados dois dos principais defeitos em peças fundidas devidos a moldagem: a inclusão e o pinhole.

O estudo foi baseado na peça Suporte Ponta de Eixo dos veículos Escort, Verona, Logus e Pointer (Anexos 1 e 2) e foi realizado na Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda. Esta peça é produzida usando moldagem em areia verde com utilização de macho e teve o ínicio de produção no final de 1992.

Através de uma revisão bibliográfica foram obtidas as principais causas que podem ser atribuídas aos defeitos na Fundição Osasco que foram correlacionados com casos de alto índice de refugo (scrap) por estes defeitos. Este trabalho é relacionado com o Controle de Qualidade da Planta e portanto, foram utilizados relatórios, planos de ações e outros tipos de estudos realizados para diminuir a ocorrências destes defeitos.

1. Introdução

O trabalho aqui apresentado refere-se ao estudo de defeitos devidos a moldagem em peças fundidas na Indústria Automobilística e foi realizado em conjunto com o Estágio Supervisionado na Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda.

Este estudo foi realizado utilizando-se a peça Suporte Ponta de Eixo BE-6 do Escort, Logus e Pointer (Knuckle) que foi selecionada devido ao tipo de moldagem e ao alto volume de produção, o que possibilitou um levantamento de dados a respeito dos principais defeitos apresentados nesta peça. A moldagem do Suporte Ponta de Eixo na Fundição Osasco é do tipo moldagem automática em areia verde com a utilização de macho no sistema de moldagem SPO.

A seleção dos principais defeitos baseou-se em relatórios anuais anteriores de peças rejeitadas, relacionadas com os defeitos ocorridos (Ver figura 4), onde os escolhidos para realização do trabalho foram: Inclusão e Pinhole. As principais causas de cada defeito foram obtidas através de um levantamento bibliográfico, que foram posteriormente relacionadas aos dados obtidos na fundição.

O trabalho é relacionado com o controle de qualidade da fundição que implica na prevenção e saneamento de defeitos. O surgimento das peças fundidas defeituosas, que resultam no desperdício de produção, deve ser evitado. Este é o objetivo do trabalho e do controle de qualidade. Entretanto é necessário também um diagnóstico correto dos defeitos e de suas causas, a fim de evitar a sua reincidência no futuro.

2. A Empresa

2.1. Histórico

A Fundição Osasco foi construída em 1958 para produzir o motor 272 CID do Ford V8 e componentes de chassi de caminhão, tais como: bloco do motor, cabeçote do motor, tampa do mancal, volante, cubos de roda traseira e dianteira, suportes, etc. A Fundição Osasco era uma fábrica cativa, que dava suporte às necessidades da Fábrica de Caminhões do Ipiranga.

Em 1974, com a chegada das Fábricas Ford de Taubaté (uma fábrica de motores para produzir motor OHC I4 /2.0L /2.3 e uma fundição de ferro), uma nova estratégia de produção foi adotada para as fundições brasileiras: a Fundição de Taubaté produziria em ferro cinzento e a de Osasco em ferros-ligados nodular/especial.

Atualmente, a Fundição Osasco produz 87 tipos de fundidos com dois processos de moldagem: areia verde e moldagem em casca. Os principais fundidos produzidos na Fundição Osasco são: virabrequins, comandos de válvula e camisas do cilindro para os motores AP 1.6L/1.8L/2.0L; e cubos de roda traseira e dianteira para caminhões.

Para produzir fundidos em ferros-ligados nodular/especial, a Fundição Osasco tem uma capacidade instalada de fusão de 44.000 toneladas métricas por ano. A idade dos equipamentos instalados varia de novos até 36 anos de uso, consistindo em (7) fornos elétricos de indução, (2) sistemas de moldagem SPO/BMM de areia verde, (3) máquinas Sutter de moldagem de casca, (2) Sutter Hot Box, (1) Redford Hot Box, vários equipamentos para os laboratórios metalúrgico, químico e de areia, Fornos para Tratamentos Térmicos, (1) Máquina de Raio-x, (1) Máquina de Ultra-Som e equipamentos convencionais para limpeza.

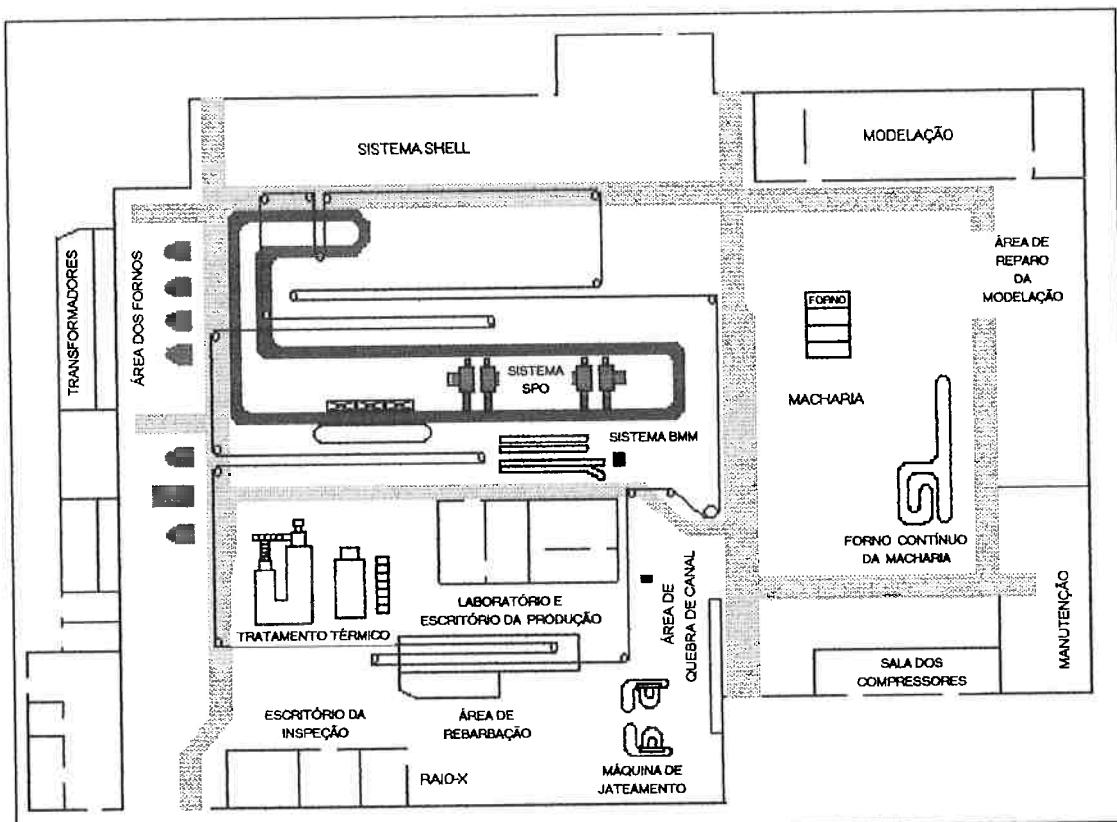


Figura 1 - Lay-out Funcional da Fundição Osasco - Ford Brasil Ltda

2.2. Sistema de Moldagem SPO

Na produção do Suporte Ponta de Eixo as etapas envolvidas na moldagem são a preparação da areia (Sistema de Areias), a confecção do macho (Macharia) e a moldagem e vazamento (linha de Moldagem SPO).

2.2.1. Sistema de Areias

O Sistema de Areias da Fundição Osasco para moldagem em areia verde é responsável pela preparação de areias de faceamento (areia nova) e de areia de enchimento (areia usada).

2.2.1.1. Preparação da Areia ^(5,9,19)

Na preparação da areia de enchimento e de faceamento são realizadas algumas adições com o objetivo de se obter as propriedades de moldagem necessária à areia verde. As adições realizadas na areia base na Fundição Osasco são as seguintes:

- Argila

É um aglomerante do tipo mineral, usual nas areias de fundição sintéticas. Dela se exigem qualidades especiais. A argila deve ter alto poder aglomerante, tanto no estado verde como seca. A coesão da areia de fundição caracterizada pelas resistências dos corpos de prova, é determinada pela argila e aumenta com o teor desta. Este aumento, porém, prejudica a refratariedade da mistura, isto é, abaixa o ponto de sinterização. De outro lado a areia para ser trabalhável exige uma certa umidade que será tanto maior quanto mais elevado o teor de argila.

Na prática o teor de argila é determinado pela mínima quantidade necessária para comunicar à areia de fundição uma resiliência adequada ao serviço. Com uma argila de alto poder aglomerante é possível alcançar a resiliência desejada, usando-se menor teor desse material. Esta economia causará um aumento de sua permeabilidade e elevará seu ponto de sinterização. Além disso, exigindo a mistura menor quantidade de água, presta-se melhor como areia de fundição para moldes verdes diminuindo a umidade da areia.

As argilas utilizadas na Fundição Osasco são Bentonitas Sódicas e Cálcicas. As Bentonitas Sódicas possuem Na^+ como principal íon adsorvido e apresentam pH 9,2 em suspensão alcalina (reação alcalina). As Bentonitas Cálcicas possuem Ca^{2+} como principal íon adsorvido e apresentam pH 6,2 quando em suspensão aquosa (reação ácida). As Bentonitas Sódicas, apresentam o fenômeno de tixotropia, tem grande poder de suspensão, grande índice de plasticidade e valores elevados de resistência de corpos de prova a quentes, ocorrendo o inverso com o Bentonita Cálcica.

Como os íons adsorvidos dispõem da propriedade de troca mediante a ação percolante de eletrólitos alcalinos, é possível transmutar a Bentonita Cálcica em Sódica de Bentonita Ativada. As bentonitas ativadas apresentam características ligeiramente inferiores que que as bentonitas sódicas naturais.

A Bentonita Cálcicas têm maior resistência a compressão a verde que as Bentonitas Sódicas porém são menos duráveis, isto é menos resistentes a ação do calor, pois elas perdem a água de cristalização a uma temperatura mais baixa e portanto são consumidas mais rapidamente. Mistura Física de Bentonita de Calcio e Sódio tende a ter a melhor combinação de propriedades.

- Farinha de Milho Gelatinizado (Mogul)

O Mogul é um aglomerante vegetal derivado do amido de milho. Aumenta as características de moldabilidade da areia, aumentando tanto a resistência como a deformação mecânica e a colapsibilidade. A presença deste aglomerante facilita os consertos dos moldes especialmente se a areia de fundição tem a propriedade de secagem rápida ao ar como é o caso do faceamento contendo bentonita.

- Carvão

O Carvão é o elemento que o fundidor lança mão para melhorar o acabamento superficial das peças. O melhor ou pior acabamento superficial é dentro de certos limites função do volume de gases redutores gerados na areia, provenientes dos constituintes orgânicos em particular do carvão. Em fundição deve-se empregar carvão mineral betuminoso de alto teor de materiais voláteis. O Carvão Cardiff utilizado na Fundição Osasco apresenta uma especificação de mais de 33% de voláteis, 1,5% de umidade, 1,5% de enxofre e menos de 15% de cinzas.

O Carvão também é usado para atenuar a expansibilidade da areia. Neste caso o carvão granulado funciona como verdadeira junta de dilatação devendo, para isto, ter granulação pouco mais fina que a areia na qual vai ser adicionada.

A) Areia de Faceamento ^(5, 19)

A areia de faceamento é preparada num Misturador Simpson 2G, onde o processo se realiza em duas fases: fase seca e fase úmida.

Na primeira fase que demora entre 2 a 3 minutos, os componentes (areia, bentonita, mogul e carvão) são misturados a seco, provocando uma suspensão de finos. Assim que o material apresente um aspecto homogêneo é considerada encerrada a 1^a fase, e sem interromper a operação, inicia-se a 2^a fase, mediante a adição de água.

A quantidade de água a ser adicionada, partindo-se dos materiais secos corresponde a umidade ótima determinada em laboratório para a determinada areia. Se os materiais originalmente contém certa umidade a água adicionada será proporcionalmente menor.

A seguir, apresenta-se a Tabela (1) com as adições realizadas para a preparação da areia assim como os respectivos tempos de adição e de mistura:

Material	Areia 60/70 AFS	Areia 40/50 AFS	Mogul	Bentonita Sódica W	Bentonita Cálcica NT25	Carvão Cardiff	Água	Tempo de Mistura Final (seg.)	Tempo de Descarga (seg.)
Peso (Kg)	365 a 385	365 a 385	10 a 12	22 a 28	22 a 28	6 a 8	15 a 20		
%	44,5	44,5	1,4	3,2	3,2	0,9	2,3		
Tempo de Adição (seg.)	25 a 35			80 a 100			25 a 35	280 a 320	50 a 70
Tempo de Mistura (seg.)	25 a 35			80 a 100			25 a 35		

Tabela 1 - Folha de dados para Set Up - Areia de Faceamento (F6) - Fundição Osasco

B) Areia de Enchimento^(5, 19)

A preparação da areia de enchimento baseia-se na recuperação (aproximadamente 96%) da areia do sistema, isto é à reciclagem da areia previamente utilizada que apresenta-se aglomerada e heterogênea.

Os moldes após o vazamento do metal fundido são desmoldados por grades vibratórias (Shake-out), onde esta areia cai num sistema de esteira. A esteira encaminha a areia do porão até a torre de areia na parte superior da fundição, onde estão presentes um separador magnético, uma peneira rotativa , e os 3 Misturadores B&P 80A. No separador magnético são retiradas da areia, pequenas partículas metálicas que estejam presentes na mesma e na peneira rotativa são retirados pedaços de machos, partículas metálicas maiores e qualquer outra partícula indesejável com tamanho maior que a malha da peneira.

Uma vez limpa, a areia vai para o misturador. Aí não existe a fase seca, iniciando-se imediatamente a adição de água. A porção de finos inertes, que correspondem principalmente à parte de argila queimada (perdeu a água de composição), é retirada por exaustão, durante as operações de desmoldagem e peneiramento. As adições de aglomerantes realizadas (Bentonita e Mogul), podem ser feitas após a adição de água pois trata-se de pequenas quantidades de adição. A quantidade de água adicionada é muito variável, dependendo da umidade da areia recirculante. Portanto, o operador realiza medições de umidade sucessivas da areia durante a adição de água para se obter a umidade ótima desejada.

As adições realizadas com os seus respectivos tempos de adição e de mistura são dado na tabela 2 a seguir:

Material	Água	Areia Usada	Mogul	Bentonita Sódica W	Tempo de Descarga (seg.)
Peso (Kg)	10 a 20	680 a 740	1 a 3	1 a 3	
%	2,6	96,6	0,4	0,4	
Tempo de Adição (seg.)	3 a 5	2 a 5		3 a 5	10 a 20
Tempo de Mistura (seg.)	3 a 5	2 a 5		45 a 55	

Tabela 2 - Folha de dados para Set Up - Areia de Enchimento (S) - Fundição Osasco

2.2.1.2. Testes Realizados ^(5, 7, 9, 23)

Para se avaliar as propriedades das areias de faceamento e de enchimento preparadas no Sistema de Areias, são realizados ensaios no Laboratório de Areia para se analisar os seguintes parâmetros:

- Umidade

A importância do ensaio de umidade é posta em evidência pela influência da quantidade de água contida na areia de fundição sobre o molde ou a peça fundida. Essa influência se realiza de duas maneiras: de um modo direto, pelo efeito da própria água sobre o molde ou a peça; de modo indireto através da variação das demais características da areia de moldagem como resistência e permeabilidade, podendo causar defeitos na peça fundida, dificuldades nos serviços de moldagem e na alteração da estrutura do próprio metal. O teor de umidade é determinado pela diferença de pesos da amostra original quando úmida (areia verde) e após a secagem.

- **Permeabilidade**

Um molde refratário (constituído de areia de fundição) deve permitir durante o vazamento que o ar existente na cavidade do molde e os gases gerados na propria areia atravessem sua estrutura. A essa propriedade do molde corresponde a característica de permeabilidade da areia de fundição. A permeabilidade de uma areia de fundição é, pois, a característica tecnologica que expressa a propriedade física de ventilação de um molde ou um macho, isto é, a propriedade de se deixar atravessar por gases ou vapores. Esta propriedade esta relacionada com a granulometria da areia, isto é, para areias grossas a permeabilidade é alta enquanto para areias finas a permeabilidade é baixa.

- **Moldabilidade**

O índice de Moldabilidade é determinado em laboratório em aparelhagem especial através de peneiramento em condições padronizadas. A moldabilidade deve ser controlada na prática , contínua e automaticamente durante a operação de preparo da mistura. O índice de moldabiilidade está em razão direta com a deformação sob carga, dureza, resistência a compressão à verde e densidade relativa. Em razão inversa está com a permeabilidade e com os vazios de compactação.

- **Compactabilidade**

Métodos tradicionais de controle de misturas de areia verde envolvem ensaios de umidade e reistência de compressão à verde no sentido de monitorar as propriedades da areia. Entretanto para um controle mais preciso, o monitoramento da compactabilidade é muito importante para determinar a qualidade da areia de moldagem. O ponto de otimização das propriedades da areia é obtido com a compactabilidade variando de 40 a 50%. Compactabilidade é função do grau de umidificação da argila e outros aditivos presentes na areia.

- Argila Ativa

Após o vazamento de metal em um molde a areia que será reciclada apresenta seu aglomerante sob duas formas: Argila inerte e Argila Ativa.

A Argila Inerte é aquela que perdeu toda a sua capacidade aglomerante pela alteração da estrutura cristalina ou por uma fusão total ou parcial de seus componentes. A Argila Ativa em contrapartida, é aquela que não sofreu alteração tão profunda a ponto de perder suas propriedades aglomerantes.

Portanto, Argila Ativa determina a quantidade de argila que não sofreu perda de suas propriedades aglomerantes após o ciclo de vazamento, isto é quanto maior a argila ativa maior a durabilidade da mesma.

- Resistência à Compressão a Verde

Por resistência se entende o valor de carga específica de ruptura da areia de fundição submetida a carga aplicada progressivamente. A primeira propriedade do molde que depende da resistência da areia é a sua autosustentação. Portanto, a resistência da areia corresponde a consistência do molde.

Os ensaios para a determinação da resistência da areia são divididos em três tipos: resistência à compressão, à tração e o cisalhamento. Cada um destes ensaios responde à caracterização de um tipo de solicitação. Entretanto entre eles, o que oferece maior precisão, isto é, cujo valores resultantes apresentam menor discrepância em relação à média, é a resistência à compressão. Portanto, normalmente o ensaio utilizado pelos laboratórios é o ensaio de Resistência à Compressão.

A resistência à verde de um areia de fundição, aumenta:

- Pela adição de aglomerantes minerais como Bentonitas
- Pela adição de aglomerantes orgânicos como Resinas e Mogul

- Pela variação da granulometria, seja aumentando o modulo de finura pela adição de areia fina seja homogenizando a distribuição granulometrica da areia.

A seguir é dada uma tabela com o Plano de Controle dos parâmetros especificados para os testes de laboratório de areia para o Knuckle:

A) Areia de Enchimento ⁽²³⁾

PLANO DE CONTROLE (Parâmetros do processo)				
Área: Laboratório de Areia	Nome da Peça: Suporte Ponta de Eixo (Knuckle)			
Maquinas/Equip. para Fabricação	Descrição do Parâmetro	Especificação do Processo	Método de Avaliação	Tamanho e Frequencia das Amostras
Misturador 80A 1,2 e 3	Umidade	2,2 a 2,7%	Infra-Vermelho	n=1 a cada 30 minutos
Misturador 80A 1,2 e 3	Argila Ativa	4,0 a 6,5%	Determinador de Areia Ativa	n=1 semanal
Misturador 80A 1,2 e 3	Permeabilidade	160 a 200 AFS	Eletric Permeter	n=1 a cada 30 minutos
Misturador 80A 1,2 e 3	Compactabilidade	40 a 50%	Solotest Compactability	n=1 a cada 30 minutos
Misturador 80A 1,2 e 3	Moldabilidade	80 a 92%	Maquina Moldability	n=1 a cada 30 minutos
Misturador 80A 1,2 e 3	Resistência à Compressão a Verde	9 a 11 PSI	Maquina Universal 405	n=1 a cada 30 minutos
Misturador 80A 1,2 e 3	Resistência à Compressão a Quente	30 a 70 PSI	Dilatômetro	n=3 a cada turno

Tabela 3 - Plano de Controle do Laboratório de Areias - Areia de Enchimento (S) - Fundição Osasco

B) Areia de Faceamento⁽²³⁾

PLANO DE CONTROLE (Parâmetros do processo)				
Área: Laboratório de Areia	Nome da Peça: Suporte Ponta de Eixo (Knuckle)			
Maquinas/Equip. para Fabricacão	Descrição do Parâmetro	Especificação do Processo	Método de Avaliação	Tamanho e Frequencia das Amostras
Misturador Simpson 2G	Resistência a Compressão a Verde	8,5 a 11,5 PSI	Maquina Universal 405	n=2 horária
Misturador Simpson 2G	Permeabilidade	150 a 250 AFS	Electric Permeter	n=2 horária
Misturador Simpson 2G	Compactabilidade	38 a 48%	Solotest Compactability	n=2 horária
Misturador Simpson 2G	Umidade	2,6 a 3,3%	Aparelho Speedy	n=2 a cada 3 mistura

Tabela 4 - Plano de Controle do Laboratório de Areia - Areia de Faceamento (F6) - Fundição Osasco

2.2.2. Macharia^(5, 6, 21, 24)

A Setor de Macharia da Fundição Osasco é composto por dois Misturadores Simpson (30A e 40A) para a preparação das misturas de areias, duas Maquinas Sutter Hot Box (Model SP-1722) e uma Máquina Redford Hot Box (Model SP-1740) para confecção de machos no processo caixa quente. Na produção do macho do Knuckle é utilizado o sistema caixa quente na Máquina Sutter (Anexo 3).

O processo Caixa Quente emprega caixas metálicas aquecidas. O calor da caixa de machos inicia a cura rápida da mistura de areia, resina e catalisador e em poucos segundos apresenta resistência suficiente para permitir a retirada imediata do macho da caixa. Embora nesse momento o interior do macho esteja ainda verde (sem curar), a exotermia da reação em pouco tempo completa o seu endurecimento. O tempo de cura da areia misturada na resina varia em função da temperatura da caixa que deve ser uniforme em todo o ciclo de moldagem. Este

processo oferece as vantagens de boa tolerância dimensional, excelente colapsibilidade e altas taxas de produção, resultando em fundidos com excelente acabamento.

O Fluxograma do Processo de confecção do macho para o Suporte de Ponta de Eixo (Knuckle) é dado a seguir:

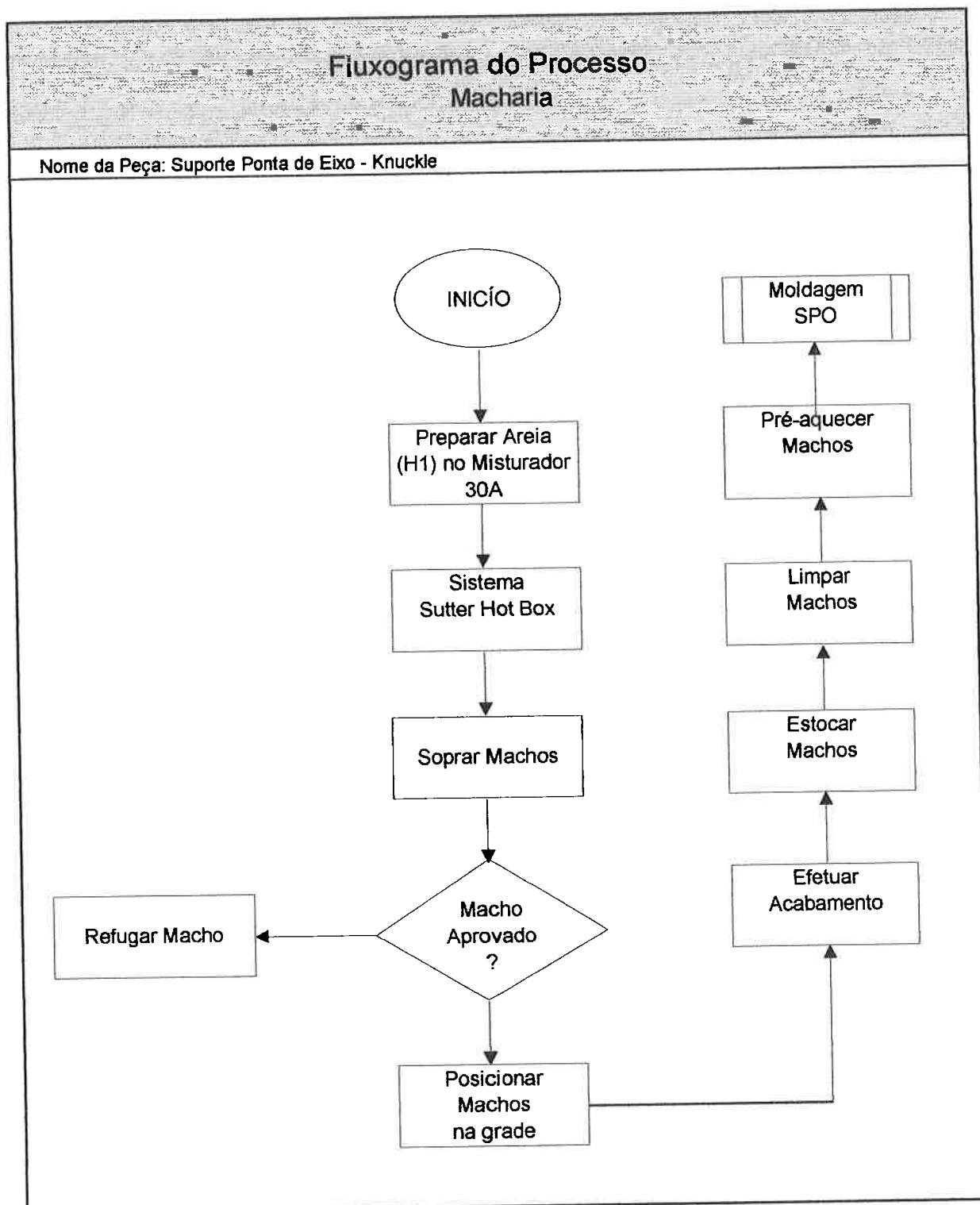


Figura 2 - Fluxograma do Processo da Macharia - Fundição Osasco - Ford Brasil Ltda ⁽²¹⁾

2.2.2.1. Preparação da Areia H1

A) Adições Realizadas ^(5, 19)

A areia para confecção do macho para o Knuckle é preparada no Misturador Simpson 30A através das seguintes adições: Areia Base, Resina Fenólica, Óleo de Linhaça, Catalisador e Óxido de Ferro.

- Resina Fenólica

Também chamadas de resinas Fenol-Formol ou FF, são resinas sintéticas termofixas produzidas pela reação fenol e formol. Resinas Termofixas são compostos que ao solidificarem (curarem) tornam-se produtos insolúveis, infusíveis, rígidos e estáveis. Isso significa que a cura não é apenas a evaporação do solvente, ou seja, a secagem propriamente dita, mas sim o desencadeamento de uma ou mais reações químicas complexas, como condensação, reticulação, polimerização e etc.

O nitrogênio além do hidrogênio é o principal causador do defeito “pinhole” em peças fundidas, portanto deve-se minimizar o seu teor nas resinas sintéticas para produção de machos. As resinas fenólicas apresentam teor de nitrogênio muito baixo ou nulo e portanto são muito utilizados na confecção de machos nas fundições de ferro fundido.

Uma outra vantagem da resina fenólica é que ela é menos sensível a umidade que outras resinas sintéticas, isto é, menos higroscópica.

- Catalisador

O catalisador tem a função de acelerar a reação de polimerização da resina fenólica, pois ele altera o pH original da mistura para o pH adequado para a reação, acelerando a cinética do processo. A resina fenólica é menos sensível à temperatura que outros tipos de resinas sintéticas e portanto, necessita catalisadores mais fortes. O Catalisador utilizado na Fundição Osasco é composto de um ácido forte, o ácido fosfórico.

- **Óxido de Ferro**

O óxido de ferro é adicionado na areia para produção do macho com o objetivo de aumentar a resistência a tração a quente da mistura, principalmente em machos de grande espessura.

- **Óleo de Linhaça**

A finalidade da adição do óleo de linhaça na areia para a produção do macho é a de facilitar a retirada do macho da caixa quente depois da cura, isto é, ela atua como um lubrificante. Machos de perfil complicado feitos com resina fenólica pura, apresentam uma maior dificuldade na extração do que quando feitos por exemplo, com resina furânicá ou com resina fenólica modificada com uréia.

A Folha de Dados para Set Up da produção da areia H1⁽¹⁸⁾ é dado abaixo:

Material	Areia 40/50 AFS	Areia 60/70 AFS (1 ^a carga)	Areia 60/70 AFS (2 ^a carga)	Óxido de Ferro	Catalisador	Resina Fenólica	Óleo de Linhaça	Tempo de Descarga (seg.)
Peso (Kg)	80 a 90	27 a 33	27 a 33	0,33 a 0,39	0,25 a 0,55	2,3 a 2,6	0,22 a 0,28	
Tempo de Adição (seg.)	10 a 15	10 a 15	10 a 15	0 a 5	5 a 10	5 a 15	5 a 10	10 a 20
Tempo de Mistura (seg.)	10 a 15	10 a 15	10 a 15	25 a 35	5 a 15	25 a 35	25 a 35	

Tabela 5 - Folha de Dados para Set Up da Areia H1 - Fundição Osasco - Ford Brasil Ltda

B) Propriedades e Testes da areia ^(5, 24)

Em uma areia de macho se requer as seguintes propriedades:

- Alta resistência a quente - Os machos tendo em geral poucos pontos de apoio no molde, estão sujeitos a esforços pela pressão metalostática. Portanto a areia deve

ter uma resistência a quente suficiente para aguentar esforços de tração, compressão e cisalhamento a que os machos são submetidos.

- Dureza elevada - Esta propriedade é necessária para resistir a erosão do metal líquido durante o vazamento.
- Permeabilidade elevada - Para permitir o escapamento dos gases através de sua inserção no molde (marcação) a permeabilidade deve ter um valor elevado.
- Teor de gases - O volume de gases gerados pelo macho aumenta com o teor de aglomerante volátil presente na areia. A velocidade de evolução dos gases varia com o tempo.
- Colapsabilidade Boa - Para permitir a contração do metal e não causar trincas na peça fundida deve-se ter uma colapsabilidade adequada.
- Inalterabilidade - A areia do macho estufado não deve se alterar depois de moldada afim de permitir o armazenamento dos machos. Portanto não deve absorver umidade, ou seja, não deve ser higroscópica.

Na macharia da Fundição Osasco para o macho do Knuckle são realizados apenas ensaios de tração a quente na areia onde a especificação é de mínimo de 55 PSI e é realizado numa frequência de 2 amostra a cada 10 misturas. Outros testes não são realizados para este macho pois aquelas características são consideradas estáveis nas Cartas Estatísticas do Processo (CEP).

2.2.2.2. Preparação do Macho ⁽¹⁸⁾

Depois de preparada a areia H1 o silo é carregado e então inicia-se a etapa de sopro do macho na Máquina Sutter com os valores de pressão, de tempo de sopro e tempo e temperatura de cura especificados para este macho.

Peça	Nome do Macho	Sistema			Pressão Sopro (PSI)	Tempo Sopro (seg.)	Temper. Cura (°C)	Tempo Cura (seg.)	Aquecimento Moldagem	
		Sutter	Redford	Manual					Temper. (°C)	Tempo (min.)
Knuckle LE	Corpo	x			60 a 100	4 a 6	245 a 255	10 a 20	150 a 180	20 a 40
Knuckle LD	Corpo	x			60 a 100	4 a 6	245 a 255	10 a 20	150 a 180	20 a 40

Tabela 6 - Folha de Dados para Set Up da Macharia

Em seguida o macho é inspecionado visualmente e se aprovado é posicionado na grade macho onde ele recebe o acabamento para eliminar possíveis rebarbas que possam gerar defeitos como inclusão na peça fundida. Os machos são então estocados em prateleiras onde ficam aguardando o momento de moldagem.

Durante o tempo que o macho fica estocado, o mesmo pode absorver umidade e “sujeira” do meio ambiente e isto pode provocar o posterior surgimento de defeitos na peça fundida. Portanto o macho antes de ir para a moldagem SPO é limpado com um jato de ar comprimido, para eliminar os grãos de areia ou qualquer tipo de partícula livre na superfície do macho, e é pré-aquecido numa estufa para eliminar a umidade e igualar a temperatura do macho com a da temperatura da areia verde do molde.

2.2.3. Moldagem Spo ^(22, 25)

Após a preparação de areia de enchimento e faceamento e confecção do macho, é então realizada a moldagem na linha que é composta de 4 máquinas de moldagem SPO através do fluxograma do processo dado a seguir:

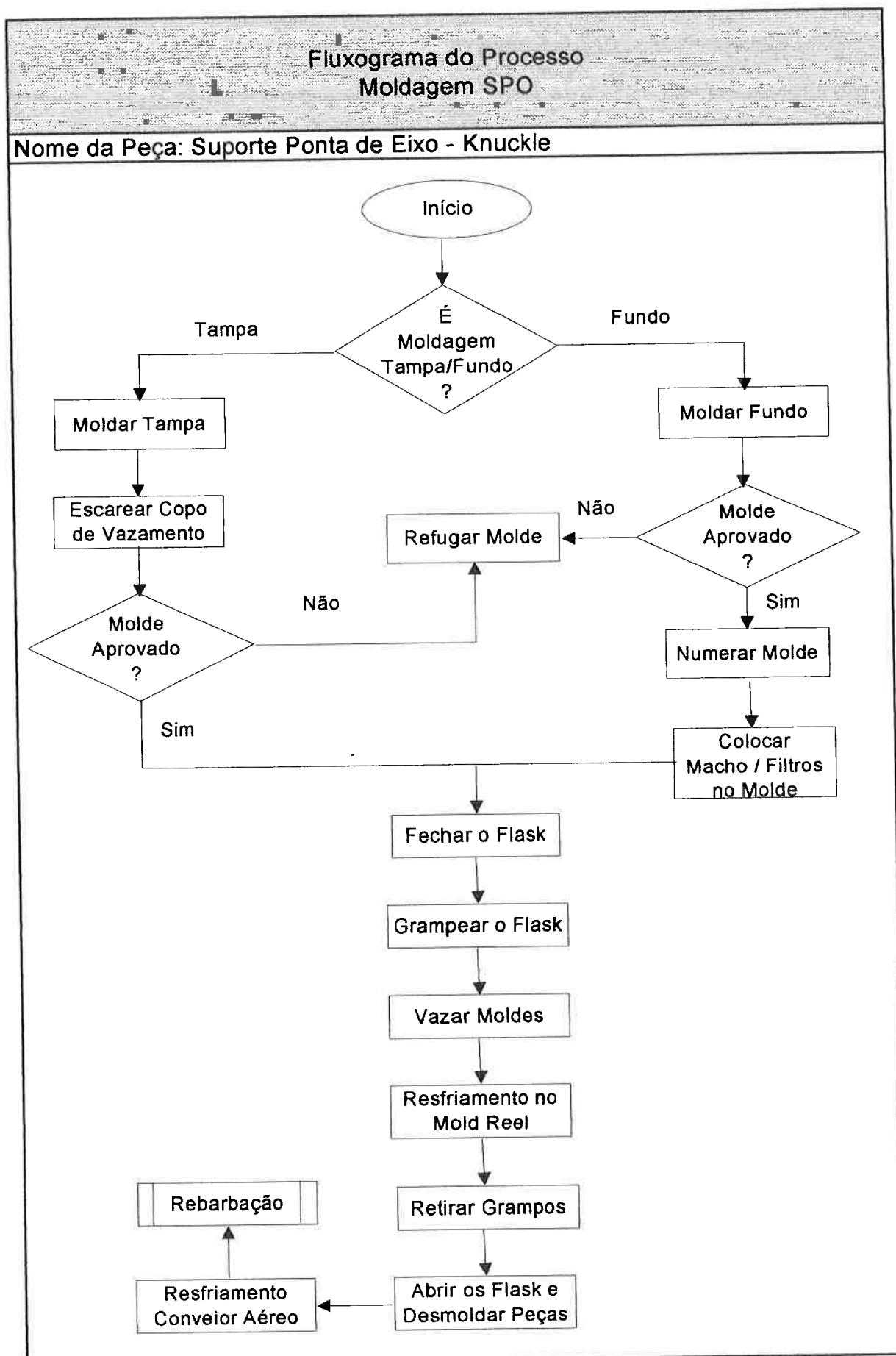


Figura 3 - Fluxograma do Processo - Moldagem SPO - Fundição Osasco - Ford Brasil Ltda

Na moldagem SPO para o Knuckle os parâmetros do processo controlados são:

- Pressão do sistema de ar comprimido da Fábrica - O valor especificado é de 110 a 120 PSI medidos num manômetro a cada 2 horas trabalhadas.
- Pressão de Compressão na Máquina SPO (Booster) - O valor especificado é de 116 a 126 PSI medidos num manômetro a cada 2 horas trabalhadas.
- Tempo de Socamento - O esmagamento da Máquina SPO consiste de uma mesa vibratória que realiza batidas na caixa para assentamento da areia, seguido de compressão da areia pela ferramenta (esmagador) por um determinado tempo. O valor especificado para o Knuckle é de 7 batidas e 4 segundos de compressão, tanto para o molde tampa quanto para o molde fundo .

A moldagem da caixa fundo inicia-se com o posicionamento do caixa sobre a placa de moldagem através de uma talha manual. O operador então aciona o botão que abre o silo e libera a areia de enchimento e depois o que libera a areia de faceamento. A máquina de moldagem (SPO 3 e 4) aplica então uma pressão de compressão, para realizar o socamento por um tempo especificado acima.

Com o molde fundo pronto ele é posicionado na linha (Mold Reel) onde é inspecionado e limpado com um jato de ar comprimido, para que se possa colocar os machos e os filtros (50x50cm e 50x75cm). (Ver Anexo 4)

A moldagem da caixa tampa é realizado com o mesmo procedimento da caixa fundo porém é realizado nas máquinas SPO 1 e 2. O molde tampa é então posicionado sobre o molde fundo na linha através de uma talha manual, onde então é realizado o fechamento da caixa pelo operador através de colocação de grampos (Anexo 5). O conjunto segue então pela linha para a realização da próxima etapa que é o vazamento.

Após o vazamento a caixa segue pela linha (Mold Reel) onde é realizado o resfriamento até o desmoldador. A desmoldagem é então realizada pelo operador

que retira os grampos e por uma máquina automática que retira a caixa tampa, para que se possa levantar a peça manualmente com uma gancho e colocar a mesma no Conveyor Aéreo (Ver Anexo 6).

O Conveyor Aéreo é um sistema transportador que tem a finalidade de encaminhar a peça do desmoldador até o setor de rebarba e de realizar o resfriamento da mesma. Quando a peça chega na rebarbação, termina o processo de moldagem e inicia o processo de acabamento superficial da peça.

3. Principais Defeitos ⁽¹⁶⁾

A seleção dos principais defeitos do Knuckle foi realizada através do relatório de Refugo por defeitos de 1995 (ver Figura 4) onde são apontados os defeitos de maior ocorrência. Os defeitos escolhidos foram a Inclusão e o Pinhole pois são os dois defeitos de maior ocorrência com as causas relacionadas à moldagem.

O defeito de Molde Quebrado apesar de ocorrer devido à moldagem, tem causas bem definidas relacionadas a deficiência de equipamentos.

O defeito de Estrutura é relacionado principalmente a problemas de composição química do metal e de tratamento térmico e portanto não foi considerado para este trabalho pois as causas de ocorrência não são relativas à moldagem. A matriz do Knuckle é de ferro fundido nodular ferrítico, e qualquer variação da mesma como a ocorrência de perlita ou nodularização incorreta é classificado como defeito de estrutura.

RELATÓRIO DE SCRAP POR DEFEITO

Ano: 1995

Ford Brasil Ltda
Fundição Osasco

Nome da Peça: Suporte Ponta de Eixo - Knuckle

Defeitos	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total	%
Inclusão	11	360	321	74	81	47	9	8	24	36	84	27	1082	50,73
Molde Quebrado		19	23	35	40	24	14	16	8	16	32	9	236	11,06
Estrutura					26		126					24	176	8,25
Pinhole		88	19	12	7	5	15	4	1	14	4	2	171	8,02
Trinca		11	45	15	8	8	14	6	24	8	6	23	168	7,88
Excesso de Jato		14	44	10	7	7	3		10	4	12		111	5,20
Bolha de Gás	1	43	29	4	9	1			1		6		94	4,41
Emenda		14	6	10	11	2			4	4	13	14	78	3,66
Desencontro		8		1	4				1				13	0,61
Chupagem				1									2	0,09
Penetração Metálica		1					1						2	0,09
Total Inspecionado	2258	14282	15747	13638	20153	9691	4341	3666	5897	7807	10607	8273	116360	
Total Rejeitado	12	558	487	162	193	94	182	34	73	82	157	99	2133	
Scrap (%)	0,53	3,91	3,09	1,19	0,96	0,97	4,19	0,93	1,24	1,05	1,48	1,20	1,83	

Pareto - Tipos de Defeitos 1995

Defeito	Porcentagem (%)
Inclusão	52,00
Molde Quebrado	11,06
Estrutura	8,25
Pinhole	8,02
Trinca	7,88
Excesso de Jato	5,20
Bolha de Gás	4,41
Emenda	3,66
Desencontro	0,61
Chupagem	0,09
Penetração Metálica	0,09

Figura 4 - Relatório de refugo por defeito do Knuckle LD (1995) - Fundição Osasco

3.1. Inclusões^(1, 2, 4, 8)

As inclusões são partículas de materiais estranhos engastadas no metal. Esses corpos estranhos podem causar defeitos superficiais nas peças fundidas, que podem ser observados visualmente após fundição, ou muitas vezes são detectados somente após usinagem, principalmente no caso dos ferros fundidos nodulares que, por apresentarem elevada tensão superficial, não permitem que as inclusões aflorem a superfície, situando-se portanto nas regiões sub-superficiais das peças fundidas.

As inclusões são normalmente provenientes de areia de macho e molde e escória que entra na cavidade do molde.

Em virtude deste defeito envolver um objeto não especificado ou um corpo estranho, a determinação da causa exata implica num hábil serviço de detecção. O defeito pode ser devido a existência de quaisquer material estranho que penetrou no molde (canais de entrada) devido a negligência. Não basta apenas verificar se houve negligência na moldagem, pois a falta de cuidado pode ser uma questão de equipamento, projeto, colocação ou manutenção.

3.1.1. Tipos de Inclusões⁽⁴⁾

As inclusões que ocorrem no Suporte Ponta de Eixo são identificados como inclusões de areia verde, areia do macho, massa de retoque de macho e de escória. As inclusões de escória ocorrem raramente em comparação com as inclusões de areia na produção do suporte. Além disso apresentam uma aparência característica muito diferente das inclusões de areia.

As inclusões de massa de retoque de macho apresentam uma aparência característica muito parecida com a inclusão de escória entretanto se observada no estereoscópio apresenta uma coloração cinza. Este tipo de inclusão origina-se basicamente do desprendimento de massa das regiões retocadas de machos devido a ação do fluxo metálico que causa o descascamento ou erosão da massa. Este tipo

de inclusão não ocorre atualmente pois o retoque de macho com massa, foi eliminado em Dezembro de 95 com objetivo de se reduzir a quantidade de peças defeituosas devido ao defeito de inclusão.

As inclusões de areia podem ser observadas visualmente ou com uso de uma lupa, apresentando-se sob a forma de cavidades irregulares que podem conter mesmo após a limpeza superficial da peça, alguns grãos de areia. No entretanto é muito difícil determinar se as inclusões são provenientes de moldes ou de machos, uma vez que o aspecto macroscópico é muito parecido.

- Aspecto macroscópico - Contudo, no caso de moldes de areia verde que emprega pó de carvão, pode se verificar no estereoscópio que os grãos de areia estão envolvidos com um material brilhante e preto. No caso de areia de macho os grãos de areia estão envolvidos com um material brilhante de coloração marrom, devido a calcinação de elementos carbonáceos de resinas.
- Aspecto microscópico - Com a observação em microscópico ótico os grãos de areia do molde de areia verde apresentam um contorno irregular, coloração cinza escura e uma orla oxidada na interface areia metal, devido a umidade da areia de moldagem. No caso da areia de macho, observa-se também um contorno irregular e coloração cinza escuro entretanto sem a ola oxidada.

3.1.2. Principais Causas ^(1, 2)

3.1.2.1. Modelo de Fundição

A) Folga insuficiente para a colocação dos machos e o fechamento pode ocasionar o deslocamento da areia para a cavidade do molde. A maioria dos machos aglutinados a óleo tendem a crescer durante o cozimento. A intensidade deste crescimento variará com o tipo, a quantidade de aglutinante e as temperaturas de cozimento. Em

virtude disto a folga que foi antes adequada poderá não o ser mais, caso ocorra uma mudança nos procedimentos utilizados na macharia.

B) Falta de filet (arredondamento) nos modelos produz bordas vivas que facilitam a ruptura do molde levando a areia solta para a cavidade do mesmo.

C) Modelos ou sistemas de alimentação mal montados

D) Áreas de contato da caixa de moldar desgastadas. Estas podem provocar um esmagamento ou romper muitos grãos de areia que assumirão a forma de inclusões em algum trecho da peça fundida. Estas áreas de contatos desgastadas poderiam ser localizadas através de uma inspeção visual e serem restauradas na oficina de modelos da fundição.

3.1.2.2. Caixa de moldagem

Qualquer fator na caixa, que for capaz de criar um efeito de fricção ou durante o fechamento da caixa de moldar superior ou ajustamento dos machos pode criar areia solta na cavidade do molde.

Isto então pode incluir caixa empenadas, buchas e pinos tortos ou desgastados, fixação inadequada dos machos, pinos e buchas sujas e localizadores inadequados. Um problema muito comum é o de fechamento das caixas de moldar superiores nos moldes que possuem bolos muito altos. Neste caso há a necessidade de ter pinos de guia suficientemente longo para guiar a caixa de moldar superior antes que os bolos possam tocar-se, evitando desta forma depender da habilidade do moldador nas etapas iniciais de fechamento.

3.1.2.3. Sistema de canais

A) Fatores causadores de crostas (buckles) e lavagens (erosão). Qualquer fator causador de crosta e lavagens podem produzir inclusões de areia que se assemelham a escória se a areia se fundir. Este fator tem uma importância aumentada no caso de sistemas de canais de alimentação, porque a criação da inclusão pode ocorrer no canal de entrada, no canal de distribuição ou no canal de descida e não na peça fundida, a não ser que o sistema de canais de alimentação seja inspecionado e limpo, esta fonte bastante comum de defeitos não poderá ser prontamente identificada.

B) Sistema de canais de alimentação inadequado. Um número inadequado de canais de ataque provoca lavagens na peça fundida, pois quanto maior o número de canais de ataque em função do peso da peça, menor será o volume de metal que passará pelo canal, o que reduzirá a ocorrência de lavagens ou erosão.

C) Filtro Inadequado. O filtro tem a função de evitar a passagem de "sujeiras" para a cavidade do molde e para controlar a vazão do metal. O filtro deve ter uma alta resistência a erosão e deve ser normalmente de material cerâmico.

D) Turbulência no Sistema de Canais. A turbulência pode causar um desprendimento de areia nos canais de descida, distribuição e ataque a qual será carregada para cavidade do molde pelo metal líquido, o que causará uma inclusão.

3.1.2.4. Areias de Moldagem

A) Materiais de baixo ponto de fusão. A areia pode ser também a fonte da inclusão. Caso a mesma funda-se ou contenha materiais de baixo ponto de fusão, estes são convertidos em escória e transportado para a peça fundida. Esses produtos de baixo ponto de fusão são especialmente perigosos no sistema de canais, porque este transporta todo o metal que entra na cavidade do molde.

B) Grau de compactação. Deve se manter o grau de compactação numa faixa adequada para evitar escamas ou lavagens sem entretanto prejudicar outras

propriedades da areia. As lavagens são agravadas pela baixa compactação enquanto as escamas são causadas por expansão térmica, isto é, agravada por alto grau de compactação.

C) Baixa resistência da areia. Deve-se assegurar que os moldes tenham uma resistência adequada às solicitações para evitar a friabilidade, controlando-se os teores de umidade e de argila ativa da areia.

3.1.2.5. Macharia

A) Fatores causadores de lavagens e crostas. Estes fatores que provocam ou permitem a ocorrência de lavagens e crostas nas superfícies providas de machos, como alta friabilidade do macho, podem deslocar a areia e criar inclusões.

B) Machos limpos inadequadamente. Os mesmos podem ser assentados com areia solta ou parcialmente solta que será lavada com facilidade.

C) Quebra prematura dos machos no molde e no sistema de canais que produz areia solta. Esta pode surgir na forma de inclusão ou, devido aos aglutinantes de baixo ponto de fusão, fundir-se e aparecer na forma de inclusão de escória. Esta quebra pode ocorrer com grãos soltos ou pedaços informes pequenos que se fundem produzindo uma inclusão de escória de tamanho considerável.

3.1.2.6. Sistema de moldagem

A) Fatores causadores de crostas ou lavagens. Qualquer sistema de moldagem que cause crostas, erosão, quedas, esmagamentos e desloque a areia na cavidade do molde ou sistema de canais pode produzir inclusão de areia. O socamento não uniforme nos sistemas de canais de alimentação deve ser evitado. Muitos sistemas de canais de alimentação não são projetados visando um bom socamento; e os que possuem cantos vivos, ausência de filetes, saída pequena e similares constituem alguns exemplos.

B) Moldagem mal feita ou negligente. Esta é considerada com frequencia como causa primária das inclusões. Isto constitui numa causa tão obvia que necessita de poucos comentários, exceto para frisar que a inspeção dos moldes antes do fechamento deveria incluir também a dos canais de alimentação e canais de entrada, assim como também da cavidade do molde.

C) Uso excessivo de separador líquido. Isto pode reduzir a temperatura de fusão da areia até o ponto de criar escória. A acumulação de separador líquido nos canais de distribuição em quantidades consideráveis pode reduzir a resistência a seco e a quente até o ponto de erosão e formação de crostas. Isto constitui uma fonte muito comum de inclusões nas fundições com equipamento de aplicação automática de separador de produtividade elevada adotado.

D) Areia solta proveniente de machos ou moldes. No caso de macho serem fixados manualmente ou através de gabaritos, qualquer fricção resultará na formação de partículas soltas de areia.

E) Excesso de pressão no grampeamento. Com excesso de pressão de grampeamento ou de peso sobre o molde, pode causar esmagamento, com desprendimento de areia do molde causando inclusão.

3.1.2.7. Sistema de vazamento

A) Panela úmida. Um bico úmido na panela pode esfriar o metal de forma a interferir na separação adequada da escória. Além disso, estes bicos úmidos tendem a criar escória através do estilhaçamento por choque térmico.

B) Temperatura de vazamento. A baixa temperatura de vazamento constitui uma fonte comum de problemas. O sistema de canais de alimentação provido com um afogador adequado para o metal relativamente quente e limpo, pode não conseguir separar a escória da panela mais suja e fria.

C) Vazamento intermitente ou vagaroso. Caso não se consiga manter o canal de descida cheio, cai a eficiência do sistema de canais como capatador de escória.

D) Acumulação de escória. O uso de panelas sujas cria mais escória do que a que pode ser retida pelo sistema de canais. Isto torna-se particularmente problemático quando permanece na panela uma crosta de metal, que tende a oxidar-se produzindo uma composição fluida.

3.2. Pinhole (1, 2, 3, 4, 10, 11)

O Pinhole é um defeito gasoso muito comum em peças fundidas, particularmente em fundições que produzem peças de pequena e media seção de ferro fundido cinzento e nodular. Normalmente em moldagem areia verde, o pinhole está associado ao hidrogênio e ocasionalmente pode estar associado ao nitrogênio dependendo do tipo de resina utilizada como aglomerante da areia do macho. Estes são diferentes defeitos, com diferentes causas e que necessitam de diferentes ações corretivas.

Na Fundição Osasco entretanto, os pinholes apresentados nas peças são todos provenientes de gás hidrogênio pois os aglomerantes utilizados na areia verde e o tipo de resina (resina fenólica) utilizada no processo caixa quente na produção do macho não apresentam nitrogênio na sua composição, não existindo outras fontes potenciais de produção de gás nitrogênio no molde.

Pinholes de hidrogênio correspondem a cavidades ou furos, mais ou menos redondos e de superfície brilhante que aparecem logo abaixo da superfície da peça.

3.2.1. Principais Causas (1, 2, 10, 11)

3.2.1.1. Caixas de Moldagem

Parede da caixa de moldar demasiadamente próxima das peças fundidas decorrente do desejo normal de colocar o número máximo possível de peças fundidas em cada caixa, pode causar um socamento mole nesta região. Isto pode aumentar a permeabilidade do molde facilitando a entrada de umidade proveniente da caixa úmida.

Em segundo lugar, uma combinação de caixa fria com areia quente provoca a umidade excessiva resultante da condensação. Isto força o fundidor a depender de sua habilidade de reduzir a quantidade de gás no material de moldagem ou a ventilar o molde.

3.2.1.2. Sistema de Canais

Canal de enchimento longos. O Pinhole de hidrogênio ocorre devido a captura de hidrogênio da areia de moldagem, portanto, deve se diminuir a área de contato entre a areia e o metal líquido, isto é, manter o canal de distribuição o menor possível. A quantidade de areia com que o metal entra em contato é provavelmente uma das características de maior importância para se diagnosticar a causa do pinhole. Se o pinhole ocorrer na superfície da peça é provavelmente devido a captura de hidrogênio da areia de moldagem.

Recomenda-se que a posição da peça no molde de multi-cavidade seja identificada, pois a posição dos pinholes em relação ao canal de distribuição pode ser útil na identificação da causa. Se o hidrogênio capturado da areia do molde for a causa, o pinhole deve aparecer em regiões distantes do canal. Se o pinhole aparecer próximo do canal, outros causadores, como o nitrogênio, devem ser investigados.

3.2.1.3. Areia de moldagem

A) Elevado teor de umidade na areia verde. O excesso de umidade na areia de moldagem constitui possivelmente a maior causa dos defeitos gasosos nos metais

fundidos. O excesso de umidade é aquele excedente de água desnecessário para uma composição específica de areia. A umidade é necessária na areia de moldagem a verde, mas pode ser rigorosamente controlada para evitar o surgimento de quantidades elevadas de gás na forma de vapor. A pressão do gás não pode exceder a do metal fundido.

B) Permeabilidade inadequada nos materiais de moldagem envolvidos. A permeabilidade inadequada do molde é geralmente causada pelo excesso de finos na areia ou distribuição inadequada dos grãos. A permeabilidade terá um significado particular para cada conjunto de condições envolvido num determinado caso particular. A presença de excesso de finos provocará uma queda da permeabilidade. Se a remoção dos finos não produzir um aumento desejado da permeabilidade, neste caso deveríamos procurar obter uma distribuição mais uniforme dos grãos de areia através de adições elevadas (10 a 30%) de areia com granulometria uniforme.

A presença de quantidades elevadas de carvão, piche, óleo, resina ou de qualquer outro material capaz de formar gases nas temperaturas do metal fundido, pode exigir uma permeabilidade elevada para ventilar o volume crescente de gases. Estes gases podem provocar um aumento da pressão gasosa na superfície do molde. A pressão do metal fundido deveria ser mais elevado que a pressão gasosa máxima na face da areia, portanto deve-se manter a porcentagem destes materiais em níveis baixos.

C) Areia deficientemente misturada. O tempo ótimo de mistura deve ser conhecido para qualquer tipo de misturador utilizado. A mistura insuficiente pode ser causada pelo ciclo de mistura demasiadamente curto ou por lâminas ou mós desgastadas que não misturarão de forma adequada. Um ciclo curto ou equipamento desgastado não permitirá a plasticização adequada da argila, e contribuirá para a mistura indevida da areia.

D) Pelotas de argila. As mesmas contém um alto teor de umidade devido a sua capacidade de reter água e portanto desprendem quantidades elevadas de gás quando o metal é vazado sobre elas.

E) Teor de Voláteis. É de extrema importância o controle do teor de voláteis na areia de moldagem verde para se evitar o surgimento do defeito de pinhole na peça fundida. O aumento do teor de voláteis na areia é conseguido com a adição de pó de carvão. Quando o teor de voláteis for menor que o especificado para o determinado tipo de areia, poderá ocorrer uma condição oxidante que juntamente com uma umidade excessiva, causará a dissociação da água com a formação do gás hidrogênio.

3.2.1.4. Macharia

A) Macho inadequadamente curado ou cozido. Os machos inadequadamente cozidos em todos os processos, incluindo os de resina a caixa quente , produzem um excesso de gás que deveria ser normalmente removido durante o cozimento. No que concerne a isto, os machos ocos ou revestidos que não foram adequadamente drenados ou mandrilados terão centros deficientemente cozidos.

B) Aglutinantes em excesso. Em todos os processos da macharia, a presença de argila e impurezas orgânicas aumenta a necessidade de aglutinante, e o alto nível do mesmo produz quantidades elevadas de gás.

C) Permeabilidade inadequada nas condições envolvidas. (Veja “Areia de Moldagem” itemB)

D) Ventilação inadequada. Isto pode ser causado por: respiradouros muito próximos da superfície, quantidades insuficientes de respiradouros, respiradouros excessivamente pequenos em relação a permeabilidade da areia, ventiladores vedados pela pintura e respiradores não conectados.

E) Machos que absorvem umidade durante armazenamento ou no molde. Alguns tipos de materiais constituintes do macho possuem a tendência de absorver a umidade (higroscópica). A captação de umidade pode ocorrer durante o armazenamento, antes de sua utilização ou no próprio molde antes do vazamento.

F) Areia do macho inadequadamente misturado

3.2.1.5. Sistema de moldagem

A) Combinações de materiais quentes e frios. Quaisquer combinações dos mesmos tais como, areia, machos, caixas de moldar, resfriadores, varetas de reforço, chapelonas, revestimentos dos alimentadores de metal e árvores podem provocar bolhas devido a condensação. Os materiais dos machos e resfriadores são os principais provocadores de danos, mas quaisquer material utilizados que forem mais quente ou mais frio do que a areia do molde causarão a condensação, especialmente se não forem vazados logo.

B) Ventilação inadequado do molde. Sob certas condições a permeabilidade da areia, especialmente nos moldes maiores, poderá ser inadequada para eliminar os gases numa velocidade suficientemente rápida. A fim de compensar isto, deverá ser feita uma ventilação adequada. As varetas dos respiradouros ou arames aparelhados com defesas para impedir que os respiradouros penetrem completamente na cavidade do molde podem ser às vezes mais eficientes do que aqueles conectados na peça fundida, porque estes últimos serão entupidos pelo próprio metal.

C) Áreas duras, produzidas pelo socamento inadequado para as condições envolvidas. O socamento ou a compressão excessiva num local elevado do modelo de fundição produzirá uma área dura, resultando uma permeabilidade baixa localizada. Isto ocasiona um pinhole.

D) Bacias de vazamento e sistemas canais de enchimento úmidos, se a bacia for demasiadamente dura ou úmida, poderá provocar a fervura do metal que transportará os gases capturados para dentro do molde, causando porosidade excessiva.

E) Suspensão aquosa para o faceamento do molde em quantidade excessiva , revestimento demasiadamente compacto ou não seco. Isto poderá provocar um pinhole devido ao excesso de umidade e/ou materiais voláteis deixados na superfície do molde.

3.2.1.6. Composição Química do Metal

A formação do pinhole está relacionado com a quantidade de gás dissolvido no metal líquido e com a capacidade do metal líquido captar hidrogênio da umidade da areia do molde. Este fenômeno é aumentado pela presença de pequenas quantidades de Aluminio no metal líquido, pois o alumínio reage com a água da areia (umidade) para produzir hidrogênio.



Portanto, deve se controlar o teor de alumínio no ferro fundido que pode ser proveniente da sucata utilizada na carga do forno e das ligas ferro-silício utilizadas para inoculação do ferro fundido nodular. A formação do hidrogênio através da reação com a água da areia, também é encorajada pela presença de magnésio, manganês e titânio, entretanto para que isso ocorra é necessária a presença de alumínio. Na Fundição Osasco o teor máximo de alumínio especificado para as ligas Fe-Si é de 1,25% e o teor máximo de alumínio no metal é de 0,1%.

3.2.1.7. Sistema de vazamento

A) Cadiños ou panelas frias, úmidas ou mal calcinadas

B) Vazamento interrompido. O vazamento interrompido ou feito numa temperatura demasiadamente elevada em relação ao molde introduz gases dissolvidos no mesmo. Além disso ele exerce o mesmo efeito que o vazamento frio e o demasiadamente lento.

C) Vazamento lento. O vazamento lento permite ao metal esfriar-se no molde e reagir de maneira identica ao metal frio.

4. Dados Obtidos e Discussão dos Dados

4.1. Inclusão ^(16, 12, 13, 14)

O defeito de inclusão na Suporte Ponta de Eixo representa o maior causador de refugo com uma margem de diferença muito grande para o segundo tipo de defeito como pode ser observado na Figura 4 , que se refere coleta de dados de 1995 e confirmado no levantamento de 1996 da Figura 5 abaixo:

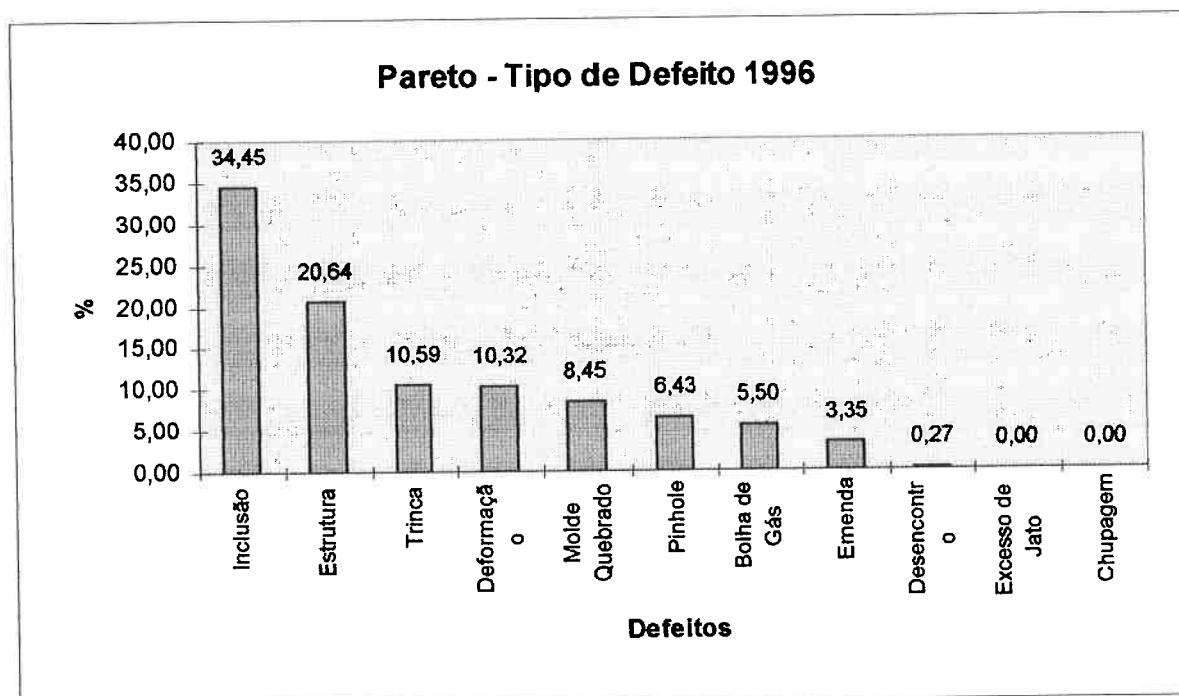


Figura 5 - Pareto de ocorrência de tipos de defeitos em 1996 do Knuckle - Fundição Osasco

O alto índice de ocorrência da inclusão está associado a grande quantidade de fatores que causam este defeito no processo de moldagem como descrito anteriormente, tais como: Modelo de Fundição, Caixas de Moldagem, Areia de Moldagem, Operações incorretas na Moldagem e outros.

Normalmente, as diversas causas deste defeito podem ocorrer simultaneamente numa produção, isto é, num lote de peças produzido os defeitos detectados podem ter diferentes causas, o que torna difícil a sua determinação e solução do problema.

A redução de refugo por inclusão pode ocorrer de duas maneiras na Fundição Osasco:

- Através da determinação de uma causa específica de inclusão no Knuckle com implementação de ações corretivas para eliminação do defeito. Este estudo é realizado através da abertura de Plano de Ação toda a vez que for observado um crescimento no índice de refugo.
- Através de melhorias contínuas realizadas através de equipes multifuncionais nas áreas envolvidas (Sistema de Areia, Laboratórios, Macharia e Moldagem SPO) que causam uma redução de ocorrência de inclusão nas peças da Fundição incluindo o Knuckle. Essas melhorias são definidas por exemplo na Reunião da Qualidade e Reunião de Redução de Parada de Máquina (SPO) .

4.1.1. Plano de Ação⁽¹²⁾

A utilização de um plano de ação por uma equipe multifuncional com o objetivo de determinar a causa real do defeito para implementação de ações de corretivas é uma maneira eficiente de solução de problema quando existe algumas causas potenciais comprovadas.

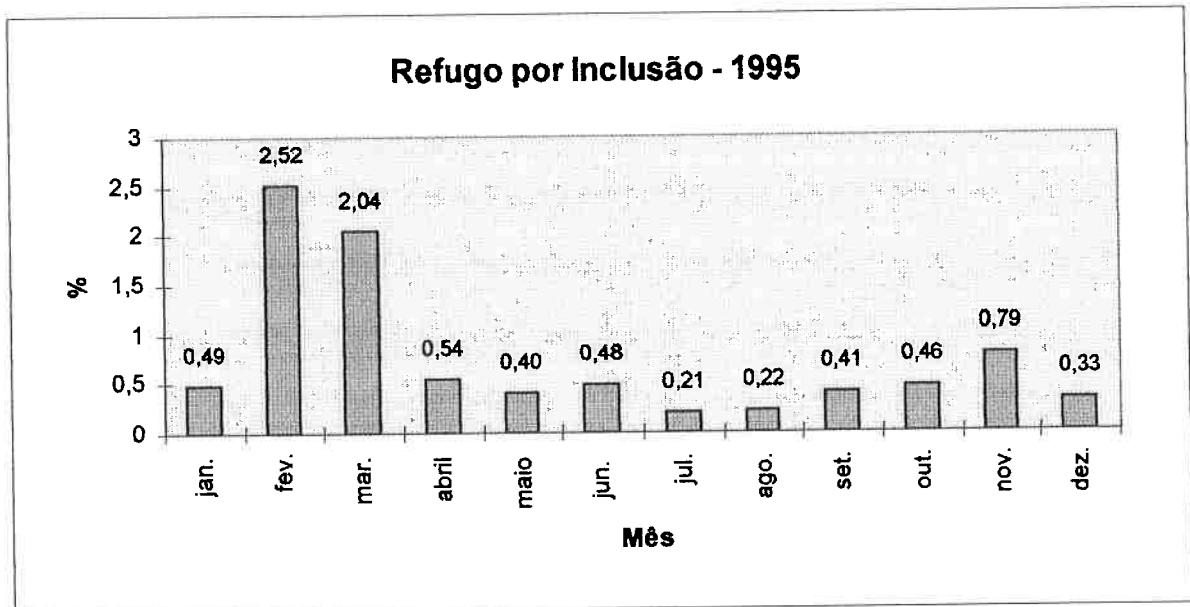


Figura 6 - Refugo por Inclusão do Knuckle em 1995 - Fundição Osasco

Em fevereiro de 1995 foi realizado um plano de ação devido ao aumento expressivo do índice de refugo por inclusão de areia detectados por inspeção visual, onde a equipe levantou a possível causa potencial que é dada no diagrama causa e efeito.

A) Diagrama Causa e Efeito

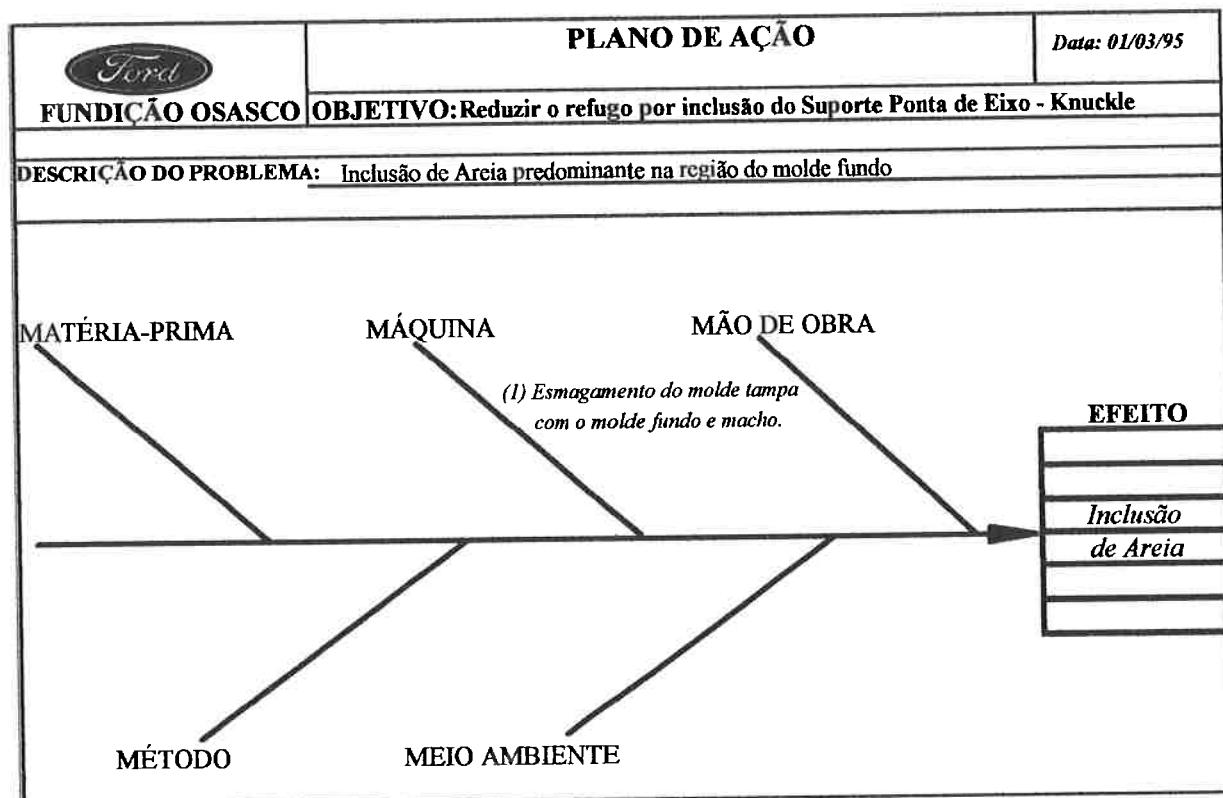


Figura 7 - Plano de Ação E047-F - Fundição Osasco

B) Ações Realizadas

A partir da causa potencial levantada, foram determinadas algumas ações para confirmação do problema e implementar correções visando eliminar este defeito.

1 - A primeira ação realizada foi a de verificação do fechamento molde tampa com o molde fundo no sistema SPO e observou-se a presença de resíduos de areia causado por esmagamento nas marcações (marcação é o encaixe existente no macho e no molde para fixação do macho) . Portanto, esta causa após a confirmação, tornou-se uma causa real do surgimento da inclusão.

2 - Foi verificada a árvore moldada, onde não se observou rebarba na região da marcação, o que comprovou que as marcações molde / macho estavam muito justas.

3 - Após a confirmação do problema foi realizado o ajuste pelo setor de Modelação das marcações, dando uma maior folga da marcação do molde (bolo) com a marcação do macho.

4 - Foram substituídos os canais de madeira para de metal nas placas de moldagem.

5 - Após os ajustes das marcações foi novamente verificado o fechamento do molde tampa com o molde fundo, onde não foi verificado resíduos de areia.

6 - A partir de 23/04/95 a produção de Knuckle passou a utilizar os modelos com marcações revisadas, para teste das alterações.

O sucesso das ações realizadas e alterações implementadas, pode ser observado na Figura 6, com a grande redução do refugo a partir de abril de 1995.

4.1.2. Reunião da Qualidade ⁽¹⁴⁾

A Reunião da Qualidade é realizada semanalmente por uma equipe multifuncional liderada pelo Gerente de Qualidade da Planta com a finalidade de atingir os Objetivos Funcionais da Fundição Osasco em relação a Qualidade, que são Redução do Refugo e Satisfação do Cliente.

Nesta reunião é analisada pela equipe qualquer tipo de alteração que possa resultar numa melhoria do sistema e consequentemente redução do refugo interno e externo da fundição como por exemplo: compra, troca e reforma de máquinas e equipamentos, alterações nas especificações do processo, treinamento de operador, e outros.

Ao longo do ano de 1996 foram realizadas algumas alterações que resultaram numa diminuição do refugo por inclusão do Knuckle.

A) Macharia

Algumas das melhorias que forma realizadas na macharia que ajudaram na diminuição de refugo por inclusão no Knuckle :

- **Eliminação da massa de retoque de macho** - A massa de retoque era um causador de inclusão, quando esta através de erosão pelo metal líquido se desprendia do macho. Com a eliminação do retoque do macho, os machos com defeitos são refugados pois em relação aos custos é muito melhor refugar um macho defeituoso do que uma peça com defeito de inclusão. O refugo de macho do Knuckle é em média de 0,8%.
- **Introdução da etapa de limpeza com ar comprimido do macho antes do pré-aquecimento** - A limpeza com ar comprimido é importante para eliminar possíveis grãos de areia soltos na superfície do macho que possam ficar levemente fixos no macho devido ao pré-aquecimento, mas que ao entrar em contato com o fluxo de metal líquido, podem soltar-se e formar inclusões de areia.
- **Alteração da grade de estocagem do macho do Knuckle** - Foram redesenhados os apoios da grade no macho, com o objetivo de evitar a acumulação de grãos de areia soltos pois a grade antiga é basicamente uma prateleira inclinada. A nova grade é composta de apenas dois apoios para cada macho sendo que a areia solta se acumula numa bandeja na parte inferior da grade. A sua capacidade é de 1800 machos.
- **Introdução de termopar na Sutter Hot Box** - O controle da cura do macho era realizado somente baseado na pressão de sopro e no tempo de cura. Com a colocação do termopar foi possível um melhor controle da temperatura de cura e consequentemente a confecção de machos de maior qualidade, diminuindo-se a probabilidade de obter-se machos curados parcialmente que possam causar inclusão de areia na peça.

4.1.3. Reunião de Parada de Máquina SPO⁽¹³⁾

Esta reunião é realizada semanalmente por uma equipe multi-funcional liderada pelo Gerente de Produção da Planta com o objetivo de reduzir qualquer tipo de parada na linha de moldagem para aumentar a produtividade e eficiência da mesma.

Durante o ano de 1996 foram realizadas melhorias no sistema SPO e de areias que indiretamente causaram uma manutenção dos baixos níveis de refugo por inclusão neste ano.

A) Sistema SPO

- Troca de caixas de moldagem - Foram trocados 300 conjuntos caixa tampa e fundo e retificadas as caixas de moldagem antigas. Esta troca garantiu a manutenção do refugo por inclusão em níveis baixos pois as caixas de moldagem antigas empenadas, são um grande causador de desprendimento e queda de areia no molde que poderá formar inclusões de areia.
- Troca de pinos e buchas - Foi realizada a troca de pinos e buchas desgastadas que poderiam causar inclusões devido ao desprendimento de areia do molde no fechamento da caixa. Além disso foi realizado um treinamento com operadores com objetivo de aumentar o número de operadores treinados para realizar a troca de pino e bucha e realizar o serviço de inspeção dos mesmos.

B) Sistema de Areias

- Foram realizadas reformas nos 3 misturadores de areia de enchimento e no misturador de areia de faceamento, o que proporcionou uma melhor preparação da mistura de areia e consequentemente a obtenção de uma areia com propriedades mais homogêneas.

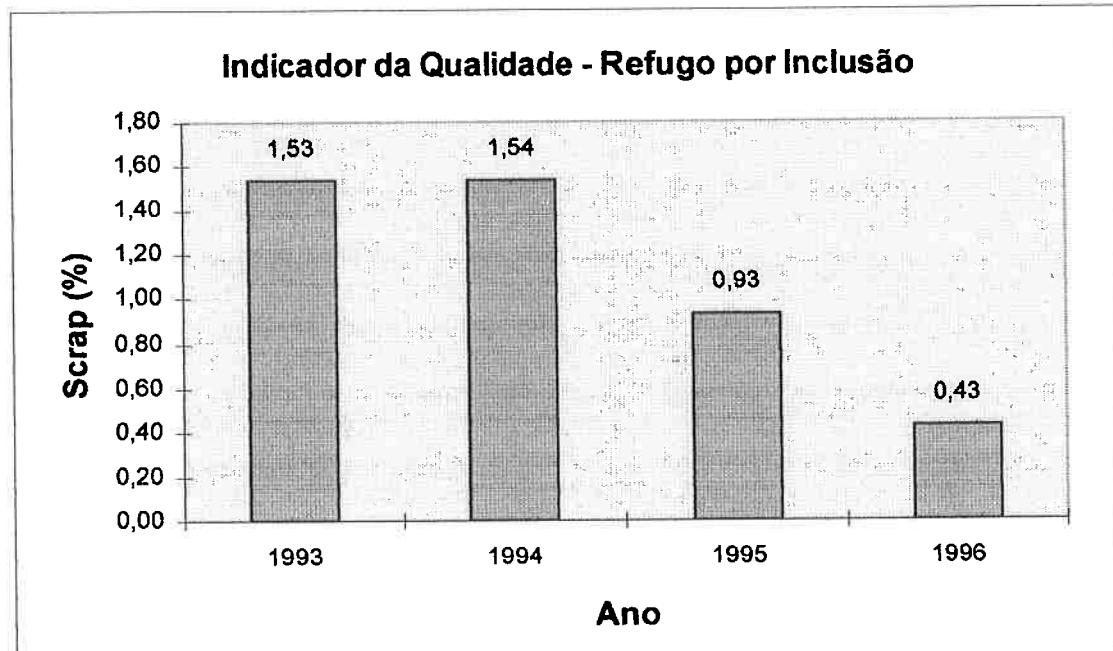


Figura 8 - Indicador da Qualidade - Refugo por Inclusão do Knuckle - Fundição Osasco

No ano de 1996 não houve nenhuma ocorrência com grandes quantidades de peças refugadas do Knuckle por inclusão, portanto não foi realizado nenhum plano de ação para determinação de uma causa específica. A redução de refugo ou manutenção deste pequeno índice foi realizado através de melhorias implementadas no processo.

4.2. Pinhole (15, 16, 26)

O Suporte Ponta de Eixo começou a ser produzido na Fundição Osasco no final de 1992 e neste período apresentou uma tendência de diminuição de refugo por pinhole ao longo dos anos com exceção de 1994 quando ocorreu um grande aumento de refugo de peças como é observado na Figura 9.

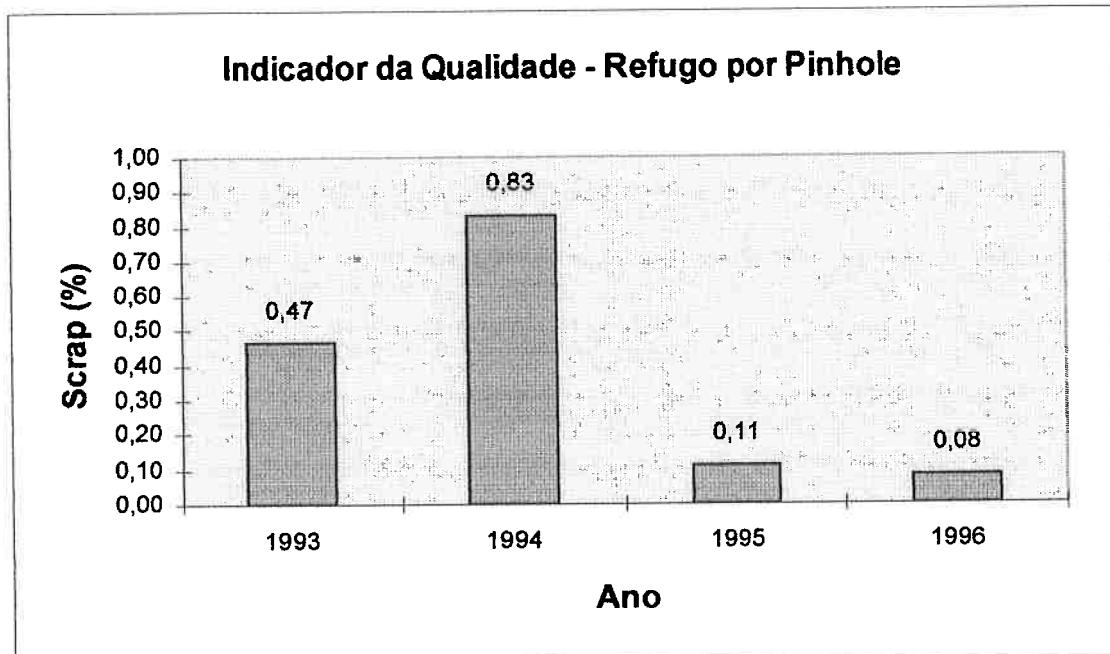


Figura 9 - Refugo por pinhole do Suporte Ponta de Eixo - Fundição Osasco

4.2.1. Caso 1 - 1994

Os defeitos de pinhole correspondiam a cavidades localizadas nas orelhas de fixação da pinça de freio (Anexo 1), que foram detectados por amostragem num aparelho de Raio-x em junho de 1994 devido a uma causa específica que aumentou muito o índice de refugo da peça. Imediatamente, foi tomada uma ação de contenção do problema que foi de inspeção de 100% das peças no Raio-x e aberto um Plano de Ações com o objetivo de determinar a causa e realizar alterações que evitassem a recorrência do problema.

Para a realização do Plano de Ação foi utilizado o método de 8 Disciplinas que consiste da solução de problemas em equipe através da determinação da causa real do defeito com implementação de ações corretivas e preventivas para evitar a recorrência do problema. Esta técnica consiste de 8 Passos que serão apresentados a seguir.

- 1º Passo - Formação da Equipe Multifuncional

Foi convocada uma equipe multifuncional composta por representantes de diversas setores da fábrica, engenheiros de processo e produto, encarregados da moldagem, encarregados da macharia, supervisor do laboratório e outros, com o objetivo de reunir um grupo de pessoas com conhecimento do processo/produto, autoridade e habilidade nas disciplinas técnicas necessárias para solucionar o problema.

- 2º Passo - Descrição do Problema

O defeito consistia de pequenas cavidades localizadas nas orelhas de fixação da pinça de freio (Anexo 1) que geram refugo interno na inspeção realizada logo após a limpeza e tratamento térmico. A inspeção consiste de inspeção visual de 100% das peças e inspeção por amostragem em aparelho de Raio-x. Este defeito foi classificado como defeito gasoso de pinhole.

- 3º Passo - Implementação de Ações de Contenção

As ações de contenção são aqueleas realizadas antes da determinação da causa real do problema e da implementação de ações corretivas e tem como objetivo isolar o problema. A ação de contenção realizada foi a inspeção de 100% das peças produzidas neste lote, para identificar todas as peças defeituosas.

- 4º Passo - Determinação da(s) Causa(s) Real(is)

A equipe multi-funcional selecionou as principais causas potenciais de ocorrência do defeito, através de um diagrama causa e efeito (Espinha de Peixe) do tipo 5M que é apresentado a seguir:

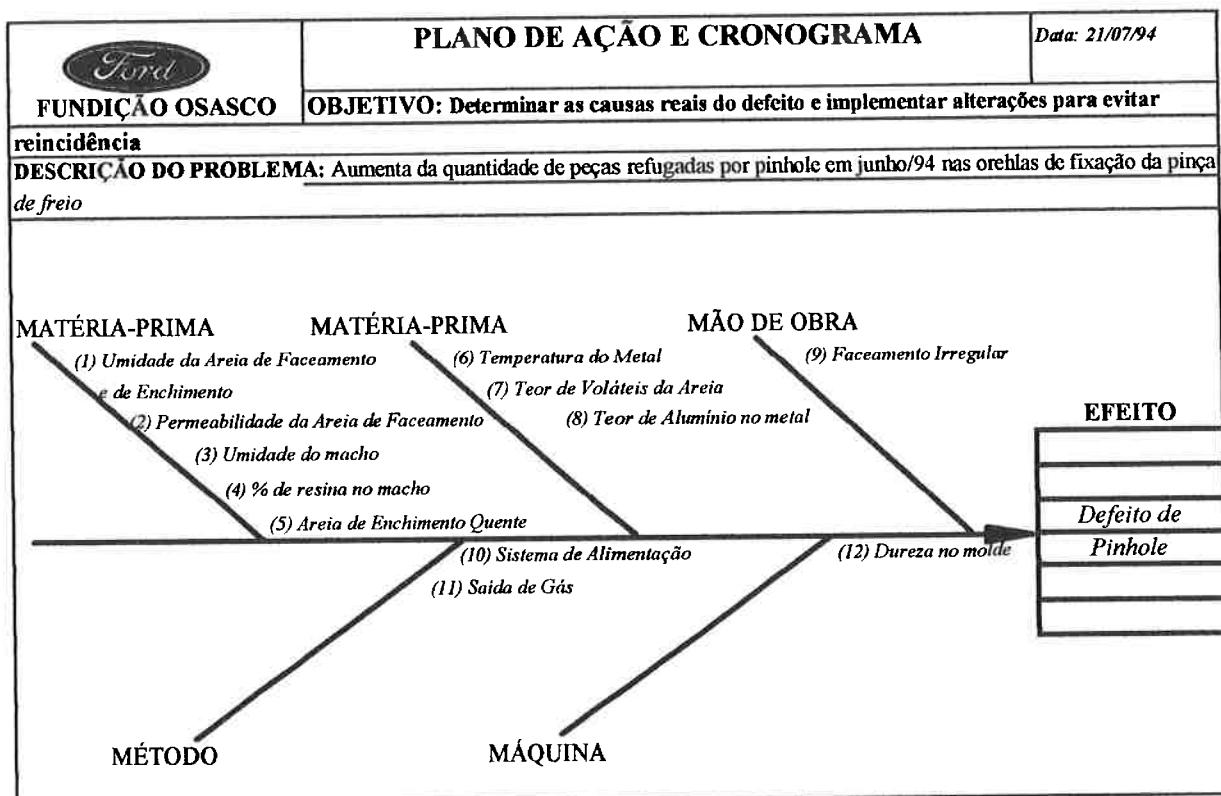


Figura 10 - Plano de Ação - 8 Disciplinas

Através do diagrama de causa e efeito, foram definidas pela equipe as ações a serem tomadas para verificar as possíveis causas. Para cada um dos 12 ítems levantados foi designado um integrante da equipe como responsável para verificação de cada causa potencial em relatórios de análises neste período. Através da observação das operações na produção verificou-se que todas estas variáveis estavam dentro do especificado.

Foi decidida então a realização de experiências utilizando a técnica estatística DOE-Taguchi para seleção das variáveis de cada Experiência para realização de melhorias que pudessem ser implementadas para eliminação do problema.

A) Variáveis do processo utilizadas nas experiências

Foram definidas pela equipe multifuncional as seguintes variáveis para as experiências:

	Situação Atual	Experiência
Permeabilidade da areia de faceamento	Areia F6	Areia F1
% de Resina Fenólica no macho	2% (2,8 kg)	1,8% (2,5 Kg)
Taco sobre as orelhas	Atual	Aliviado
Respiração nas orelhas	Sem	Com

Tabela 7 - Variáveis das Experiências

- Permeabilidade - A propriedade de permeabilidade está diretamente associado com a granulometria da areia, isto é, aumentando o tamanho do grão aumenta-se a permeabilidade. A granulometria da areia é dada pelo módulo AFS onde quanto maior o módulo mais fino é a areia. A areia de faceamento F6 é uma mistura de areia 60/70 AFS e 40/50 AFS. Na experiência utilizou-se uma areia de granulometria maior que é a areia F1 de 40/50 AFS.
- % de Resina Fenólica - Para a realização da experiência decidiu-se diminuir o teor de resina adicionado à areia para a confecção do macho, pois a resina, quando em excesso, pode causar a formação de gases ao entrar em contato com o metal líquido, causando o surgimento do defeito de pinhole.
- Taco sobre as orelhas - Devido ao surgimento de varias peças peças com pinhole nas orelhas de fixação da pinça de freio, a equipe decidiu aliviar a compactação da região sobre as orelhas através da diminuição dos 2 tacos do esmagador 25T, o que proporciona um aumento da permeabilidade do molde nessa região.
- Respiro nas Orelhas - Foi decidida pela equipe a utilização na experiência de respiros sobre as orelhas para melhorar a retirada de gases formados no vazamento do metal no molde.

B) Constantes utilizadas nas experiências

Para a realização de todas as experiências foi decidida a utilização das seguintes constantes:

- **Tempo de Socamento** - O tempo de socamento do esmagador sobre a areia para confecção do molde era de 8 batidas para 5 segundos de compactação quando ocorreram os defeitos. Foi decidido alterar para 7 batidas para 4 segundos de compactação para todas as experiências.
- **Areia de Faceamento** - Foi instruído aos operadores da moldagem que garantissem uma cobertura total da superfície do molde com areia de faceamento para todos os moldes da experiência.
- **Temperatura de Vazamento** - Foi mantida a mesma temperatura de vazamento de 1430 a 1450 °C

Através da técnica estatística DOE-Taguchi foram definidas as 8 experiências:

Experiência	Permeabilidade Areia de Faceam.	% Resina Macho	Taco sobre	Respiração sobre
			as orelhas	as orelhas
1	F6	2% (2,8Kg)	atual	sem
2	F6	2% (2,8Kg)	aliviado	com
3	F6	1,8% (2,5 Kg)	atual	sem
4	F6	1,8% (2,5 Kg)	aliviado	com
5	F1	2% (2,8Kg)	atual	com
6	F1	2% (2,8Kg)	aliviado	sem
7	F1	1,8% (2,5 Kg)	atual	com
8	F1	1,8% (2,5 Kg)	aliviado	sem

Tabela 8 - Experiências das 8 Disciplinas

C) Resultados

Após a realização das experiências foi realizada a limpeza por jateamento, tratamento térmico e inspeção visual e raio-x de 100% das peças, obtendo-se os seguintes resultados:

Defeitos	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8
Inclusão	10	3	9	23	14	14	5	6
Pinhole	4				1	2	1	2
Trinca					1			
Chupagem			1					
Emenda				2				
Total	480	486	510	492	450	468	486	462
Refugo	2,90%	0,62%	1,96%	5,08%	3,55%	3,41%	1,23%	1,73%

Tabela 9 - Resultados das Experiências

Através dos valores de refugo obtidos para cada experiência a combinação de variáveis que apresentou melhor resultado foi o da experiência 2.

- 5º Passo - Ações Permanentes

Através dos resultados das experiência, decidiu-se manter:

- areia de faceamento F6
- teor de resina fenólica de 2% (2,8 Kg), pois a diminuição para 1,8% (2,5 Kg) causou um aumento no refugo por inclusão.
- sistema de alimentação atual no furo do amortecedor
- temperatura de vazamento de 1430 à 1450 °C

Foram alterados:

- troca do filtro cerâmico de 30x50 cm para 50x50 cm para aumentar o controle do fluxo metálico e diminuir a ocorrência de inclusão.
- colocados pinos para retirada de gás sobre as orelhas
- modificar o esmagamento de 8 batidas por 6 segundos para 7 batidas por 4 segundos.

- 6º Passo - Implementação das Ações Permanentes

Foram implementadas as alterações em setembro de 1994, o que resultou numa grande diminuição de refugo por pinhole e consequentemente do refugo total, que é observado no figura 11 e 12 .

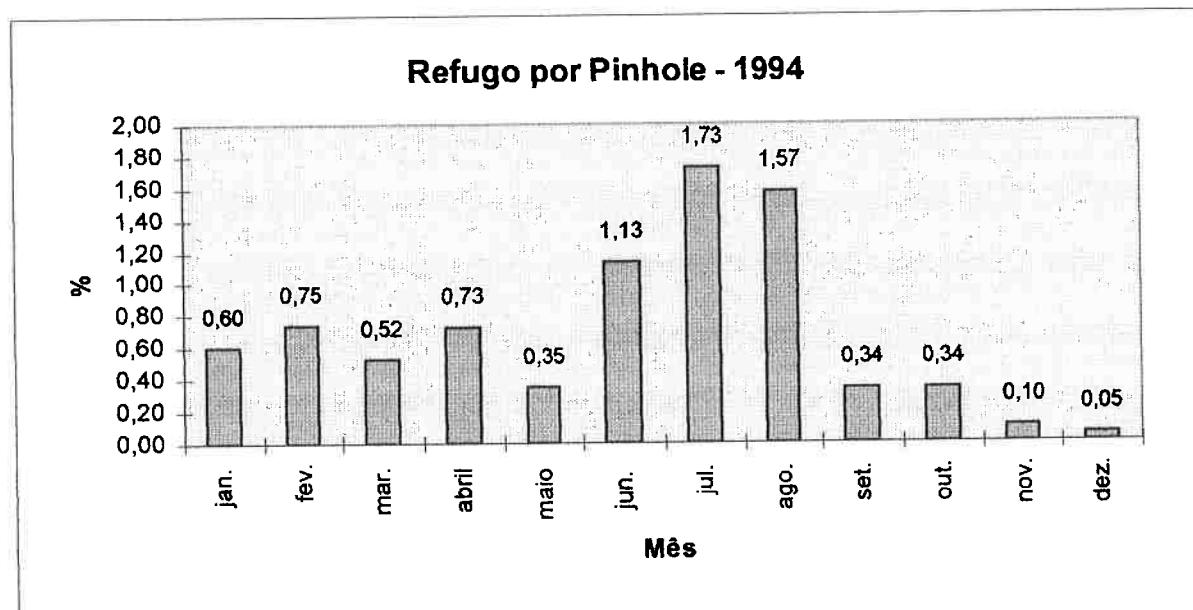


Figura 11 - Refugo por Pinhole em 1994 do Knuckle - Fundição Osasco

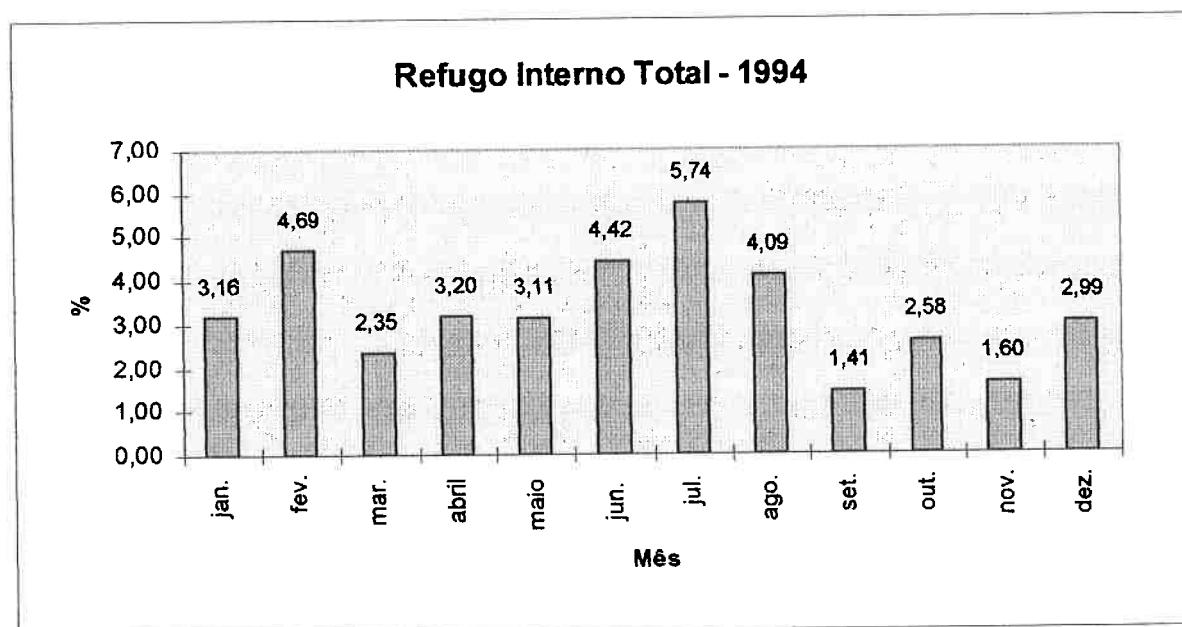


Figura 12 - Refugo Interno Total do Knuckle em 1994 - Fundição Osasco

- 7º Passo - Ações para evitar recorrência

Devido a diminuição de refugo total nos meses de Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro devido as ações corretivas implementadas, decidiu-se manter as modificações e não foi realizado nenhuma ação preventiva adicional.

- 8º Passo - Parabenizar a Equipe

Devido ao sucesso obtido com a implementação de ações corretivas que resultaram numa diminuição significativa do refugo de peça por pinhole, a equipe foi parabenizada pelo Gerente da Planta e encerrado o Plano de Ação em 18/01/95 com os 8 Passos concluídos.

4.2.2. Caso 2 - 1996

Através do gráfico de Refugo por Pinhole em 1996 ao longo dos meses podemos observar um grande aumento de refugo por pinhole no braço do Knuckle em setembro, detectados através de inspeção de peças por amostragem por um aparelho de Raio-x.

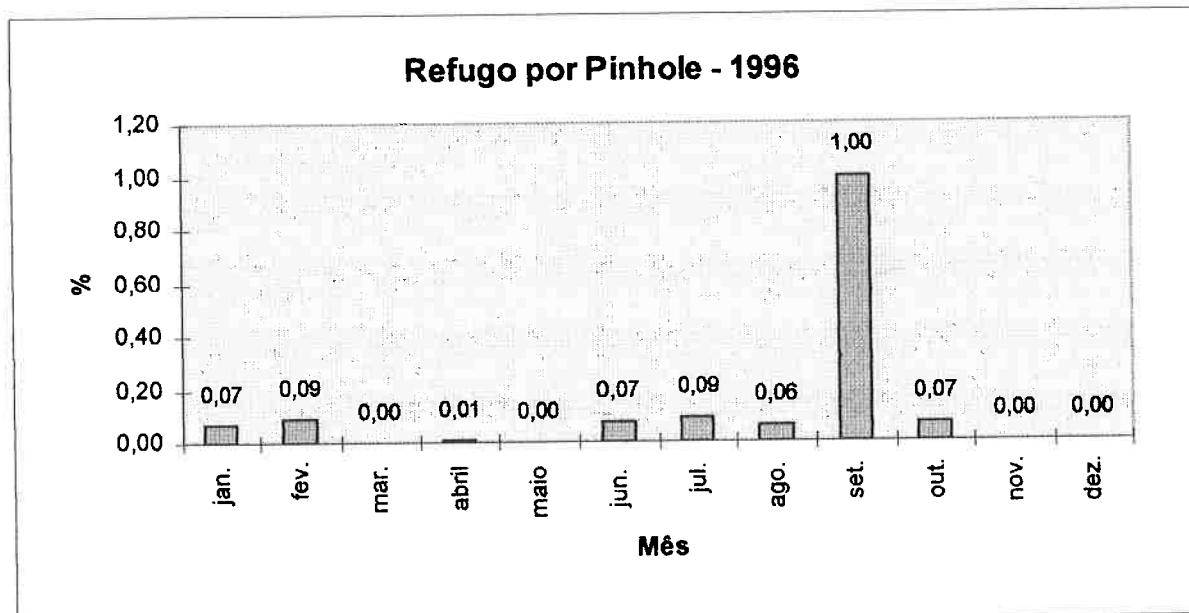


Figura 13 - Refugo por Pinhole do Knuckle em 1996 - Fundição Osasco

A primeira ação tomada foi a de inspeção de 100% das peças por Raio-X onde foram detectadas 52 peças com pinhole em 5200 inspecionadas, o que representou um refugo de 1,0% das peças produzidas.

Em seguida foi realizada reunião com uma equipe multifuncional onde foi aberto um plano de ação com o objetivo de detectar a causa real do problema. Através de um diagrama causa efeito do tipo 5M foram selecionadas pela equipe as causas potenciais do defeito.

A) Diagrama Causa e Efeito

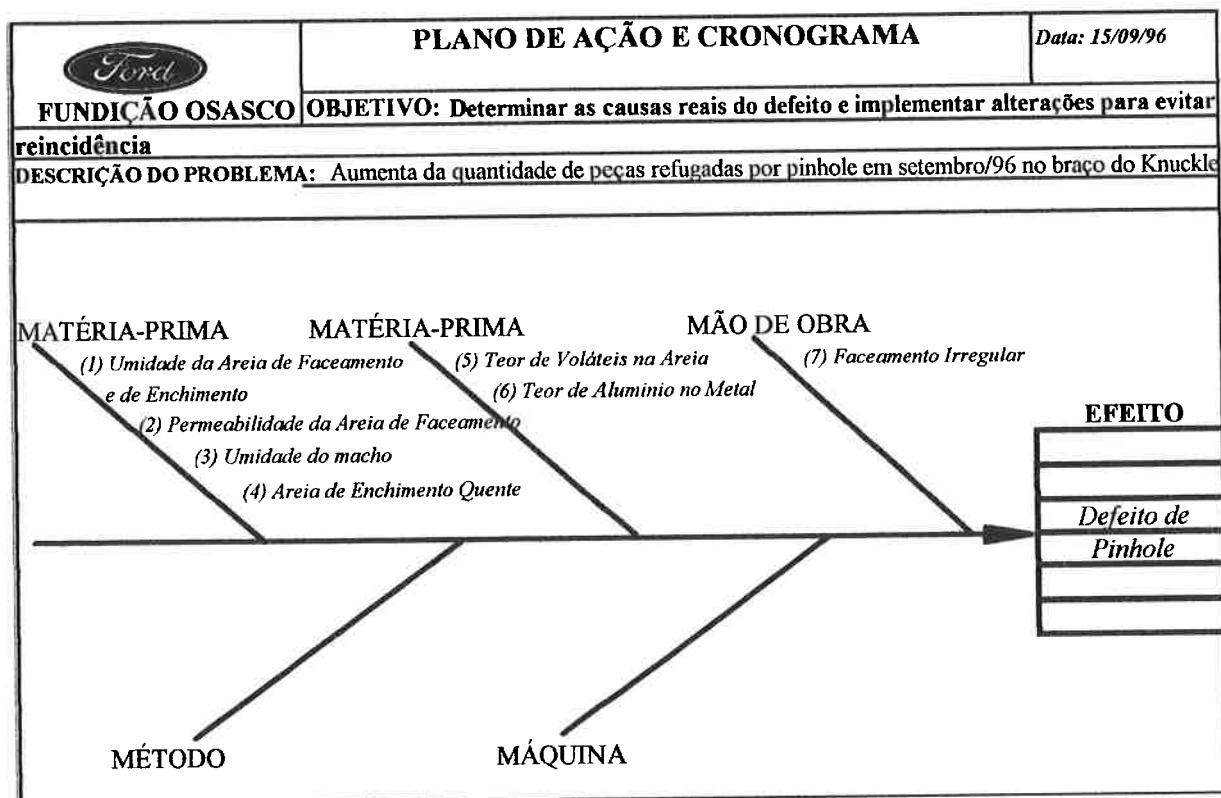


Figura 14 - Plano de Ação e Cronograma E0082-J ⁽¹⁵⁾

B) Ações Realizadas

Para cada ítem levantado pela equipe no diagrama causa e efeito, foi tomadas ações com o objetivo de confirmar se os mesmos são causas potenciais da ocorrência do defeito:

- Item1 - Umidade da Areia de Faceamento e de Enchimento

Através de relatórios de controle das propriedades das areias foram verificados os valores de umidade das areias de faceamento e de enchimento do dia e do horário de produção das peças defeituosas. Os valores são apresentados nas tabelas 10 e 11 e observou-se que eles estavam dentro da especificação das respectivas areias.

Areia de Enchimento											
Horário	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00
Umidade (%)	2,5	2,6	2,2	2,5	2,7	2,4	2,3	2,5	2,2	2,4	2,4

Tabela 10 - Testes de Umidade da Areia de Enchimento

Areia de Faceamento												
Horário	7:00		8:00		9:00		10:00		11:00		12:00	
Tampa / Fundo	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F
Umidade (%)	2,7	2,7	2,9	2,8	2,8	2,8	3	3	2,8	2,8	2,7	2,8
Permeabilidade (AFS)	190	191	195	194	205	205	190	188	200	200	190	190

Tabela 11 - Testes de Umidade e Permeabilidade da Areia de Faceamento

Esta especificação da umidade da areia de faceamento foi feita num período onde a linha de moldagem SPO operava numa velocidade média de 80 a 90 moldes por hora. Entretanto, atualmente a linha opera numa velocidade média de 100 a 120 moldes por hora o que pode causar um excesso de umidade da areia. O teste de umidade da areia de faceamento é realizado no misturador, podendo ocorrer uma perda de água por evaporação durante o tempo em que a mesma fica estocada no silo de areia, isto é, quanto maior a velocidade da linha, menor é a perda de água por evaporação e portanto maior é a umidade da areia no molde.

Portanto, esta especificação de umidade da areia de faceamento, pode ser uma das causas reais do defeito.

- Item 2 - Permeabilidade da Areia de Faceamento

A permeabilidade da areia de faceamento no dia da produção das peças defeituosas é dada na tabela, observando-se valores dentro da faixa especificada para este tipo de areia. Portanto, a permeabilidade de areia de faceamento não indicou nenhuma irregularidade na preparação da areia que pudesse ter causado o defeito.

- Item 3 - Umidade do macho

Para se analisar a possibilidade de umidade excessiva no macho foram verificados na Carta Estatística do Processo (CEP) os ensaios de resistência à tração a quente realizados na mistura de areia utilizada para confeccinar os machos utilizados na produção das peças defeituosas e não observou nenhuma irregularidade nesta propriedade. Verificou-se também nos registros dos dados do pré-aquecimento do macho que ele foi realizado numa temperatura de 170°C por 30 minutos, o que não indicou nenhuma irregularidade que pudesse ter gerado a umidade no macho.

- Item 4 - Areia de Enchimento Quente

Uma avaliação da temperatura da areia de enchimento é difícil pois como ela é uma areia reciclada do sistema, ela varia com a velocidade da linha de produção, isto é, quanto mais rápida estiver a linha menos tempo a areia tem para resfriar. Quando a temperatura da areia se eleva muito um artifício utilizado é adicionar uma maior quantidade de areia de faceamento na produção do molde ou adicionar mais água a mistura.

Para melhorar este controle está sendo instalado na Torre de Areia da Fundição, um sensor a laser que possibilita a medição da temperatura da areia antes de entrar no misturador, o que representa uma grande melhoria no controle das propriedades da areia.

- Item 5 - Teor de Voláteis na areia

Na preparação da areia de faceamento adicionou-se pó de carvão que apresenta uma especificação de teor de voláteis igual a 33%. Uma quantidade baixa de voláteis cria uma condição oxidante que juntamente com a presença de umidade pode causar a dissociação da água com a formação do gás hidrogênio que poderá causar o pinhole.

No recebimento de um lote de carvão cardiff de um dos fornecedores, foi feita a análise no laboratório da Fundição e verificou-se que o teor de voláteis era de 30%, isto é, abaixo do especificado. O Laboratório informou a Engenharia do Processo que entretanto, liberou a utilização do carvão. Com o surgimento dos defeitos de pinhole, a utilização deste lote de Carvão Cardiff passou a ser uma causa possível do problema. Portanto decidiu-se não utilizar este Carvão fora de especificação até que fossem realizadas experiências com o mesmo.

- Item 6 - Faceamento irregular

Na operação de moldagem a primeira etapa é a abertura do silo de areia para preencher a caixa de moldagem com areia de enchimento. Em seguida, o operador adiciona uma quantidade suficiente de areia de faceamento para garantir uma cobertura total da superfície do molde pela mesma, para então se realizar a esmagamento.

Portanto, a operação de faceamento é dependente da habilidade do operador em dosar a quantidade de areia de faceamento suficiente. Para evitar o faceamento irregular foi realizado um treinamento com o objetivo de explicar ao operador a quantidade de areia adequada e a importância do faceamento.

C) Considerações do Plano de Ação

Com a confirmação de irregularidades no teor de voláteis em um dos lotes de Carvão Cardiff uma das ações de contenção tomada foi a de suspensão da utilização do

mesmo até a realização de experiências. A outra ação de contenção decidida pelo grupo foi a da redução do teor de umidade da areia de faceamento para 2,5%. Observando-se o gráfico da Figura 9, o refugo do Suporte Ponta de Eixo por pinhole em outubro caiu de 1,0% para 0,07% indicando que as ações de contenção realizadas obtiveram sucesso, pois o problema não voltou a ocorrer nas produções seguintes.

Experiências estão sendo realizadas com a utilização de Carvão Cardiff com teor de voláteis de 30% e 33% e com a variação do teor de umidade da areia de faceamento, entretanto nenhuma conclusão a respeito da causa real do defeito foi obtida até o momento.

5. Conclusão

Neste trabalho foram estudados dois dos principais defeitos na peça Suporte Ponta de Eixo da Fundição Osasco, a inclusão e o pinhole, onde foi possível analisar e determinar as causas de alguns casos em que ocorreram grandes quantidades de peças refugadas e melhorias no processo para minimizar estes defeitos.

Com referência a inclusão foram estudados:

- Um caso ocorrido em 1995, relacionado ao alto índice de inclusão de areia cuja causa era o esmagamento da caixa tampa com a caixa fundo e machos devido as marcações justas, que foi solucionado com a revisão das marcações. Este trabalho resultou na diminuição do índice de refugo por inclusão que era no máximo 2,54% para uma média de 0,43% no restante do ano.
- Em 1996 devido ao baixo índice de refugo, de média 0,43%, não foi realizado nenhum estudo para a determinação de uma causa específica. Entretanto foram introduzidas algumas melhorias no processo que auxiliaram a manutenção desse baixo índice de refugo devido a inclusão.

Com relação ao defeito de pinhole foram realizados os seguintes estudos:

- Em 1994 foi estudo um caso onde foi utilizado o método de solução de problemas em equipe (8 Disciplinas) e a técnica estatística DOE-Taguchi, para a determinação das causas reais e implementação de ações corretivas. Este trabalho resultou na redução do índice de refugo por pinhole de 0,83% em 1994 para 0,11% em 1995.
- Em 1996 o índice de refugo por pinhole manteve-se estável em níveis aceitáveis, com exceção de um caso isolado de alto refugo que ocorreu em setembro devido possivelmente a utilização de um lote de pó de Carvão com teor de voláteis, abaixo do especificado. Com a substituição deste lote o problema foi

aparentemente solucionado e experiências estão sendo realizadas para confirmação posterior da causa real.

O trabalho descrito acima foi desenvolvido considerando-se uma única peça, entretanto este tipo de estudo para determinação de causas reais de defeitos e implementação de ações corretivas e preventivas é aplicado a todas as peças produzidas, como parte do Sistema de Qualidade da Fundição Osasco.

6. Referências bibliográficas

1. Analysis of Casting Defects, AFS - pag. 16-22 e pag. 42-51, 3º ed. 1974
2. Casting Defects Handbook, AFS - pag. 19-32 e pag. 55-68, 1984
3. Metals Handbook, Ninth Edition, v.15 - pag. 94 e pag. 641-642
4. Beckert, E.A. , Fenilli, R. , Rietter, N. - *Inclusões Não Metálicas em Ferros Fundidos Provenientes de Machos e Moldes, Técnicas e Materiais de Areia de Moldagem*, pag. 51-61, ABM 1983
5. Brosch, C. D. , Ré, V. L. - *Areias de Fundição e Materiais de Moldagem*, pag. 15-41, IPT 1965
6. Resinas Sintéticas para Fundição - Alba Química Ind. e Comércio Ltda - pag. 17 - 45, 1ºed. 1989
7. Guesser, W. L. , Masiero, I - *Controle de Sistemas de Areia, Controle de Qualidade na Indústria de Fundição*, pag. 37 - 46, ABM 1981
8. *Inclusions from moulds, cores, metal treatment and handling*, BCIRA (Apostila de curso) - pag. 1 - 3
9. *Meaningful sand testing*, BCIRA (Apostila de curso) - pag 1 - 11
10. *Defects Principally Related to Poor Quality Sand*, BCIRA (Apostila de curso) - pag. 7 - 8
11. *Hydrogen Pinholing*, BCIRA (Apostila de curso) - pag. 1 - 4

12. Plano de Ação e Cronograma N° E047-F, Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda, 1995
13. Plano de Ação e Cronograma N° P0074-J, Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda, 1996
14. Plano de Ação e Cronograma N° Q0052-J, Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda, 1996
15. 14. Plano de Ação e Cronograma N° E0082-J, Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda, 1996
16. Relatório de Scrap por Defeito, Cod.174 - 1993, 1994, 1995, 1996 - Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda
17. Relatório de Scrap por Defeito, Cod.175 - 1993, 1994, 1995, 1996 - Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda
18. Folha de Dados para Set Up, Cod. 06.001 - Revisado: 15/07/96 - Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda
19. Folha de Dados para Set Up, Cod. 07.001 - Revisado: 08/10/96 - Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda
20. Folha de Dados para Set Up, Cod. 01.001 - Revisado: 17/07/96 - Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda
21. Fluxograma do Processo, Cod. 06.001 - Revisado: 15/07/96 - Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda
22. Fluxograma do Processo, Cod. 01.001 - Revisado: 15/07/96 - Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda

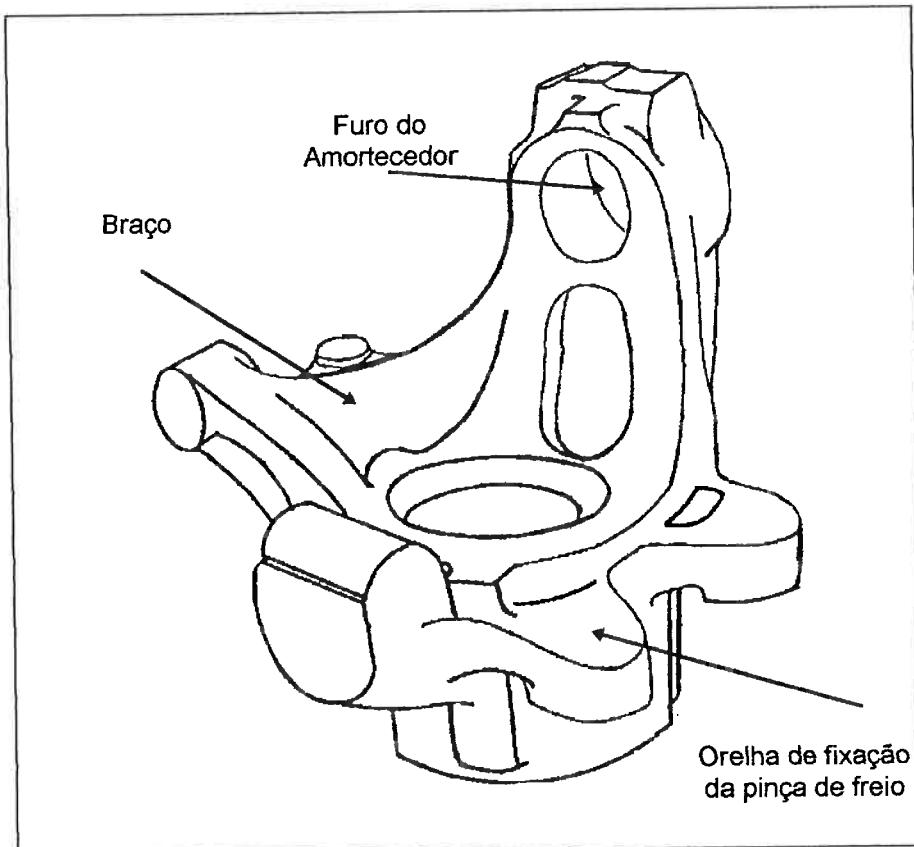
23. Plano de Controle, Cod. 07.001 - Revidado: 30/09/96 - Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda

24. Plano de Controle, Cod. 06.001 - Revidado: 30/09/96 - Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda

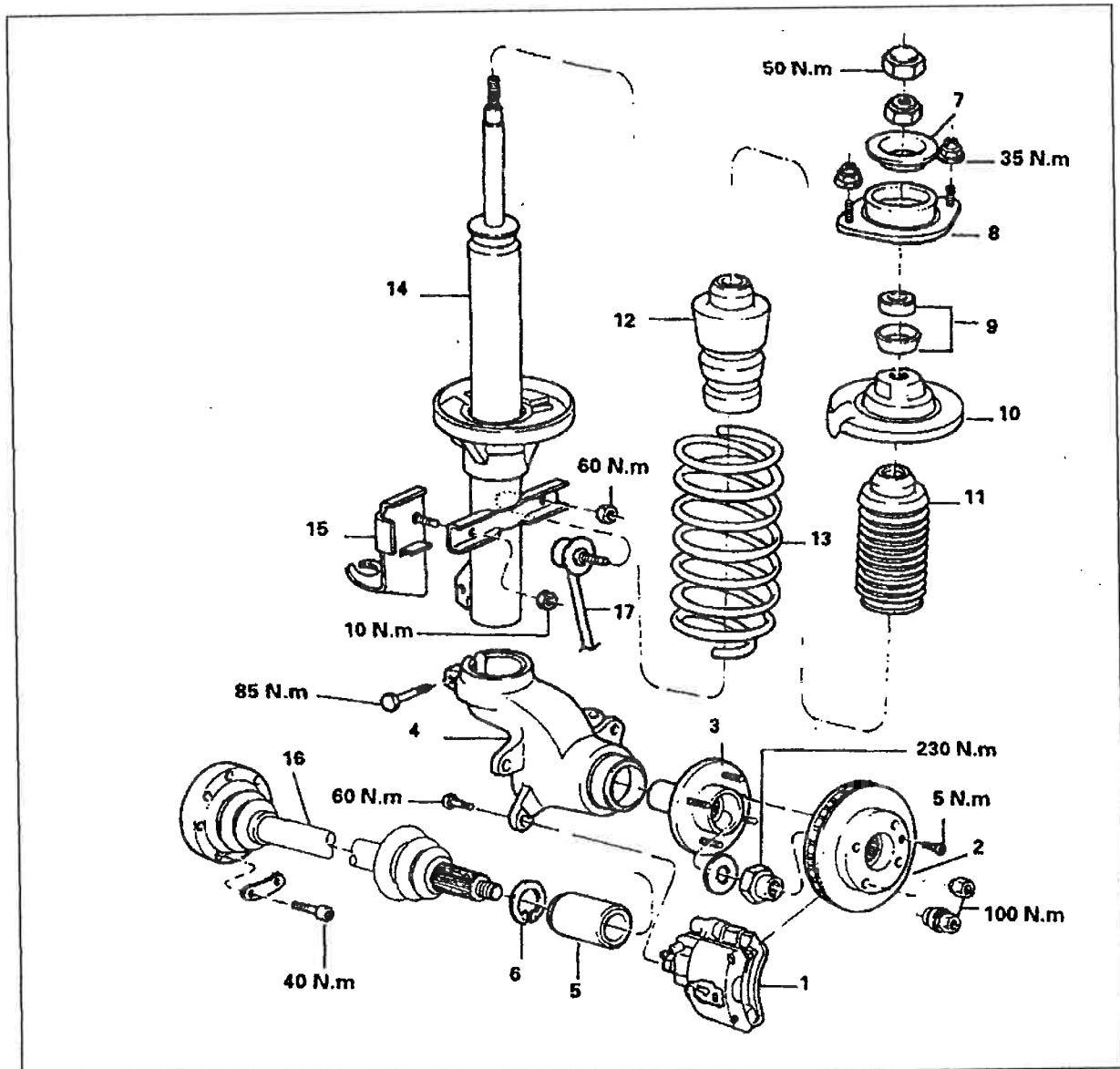
25. Plano de Controle, Cod. 01.003 - Revidado: 30/09/96 - Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda

26. Resolução de Trabalho em Equipe - 8 Disciplinas, Cod. 0004 - Fundição Osasco da Ford Brasil Ltda, 1994

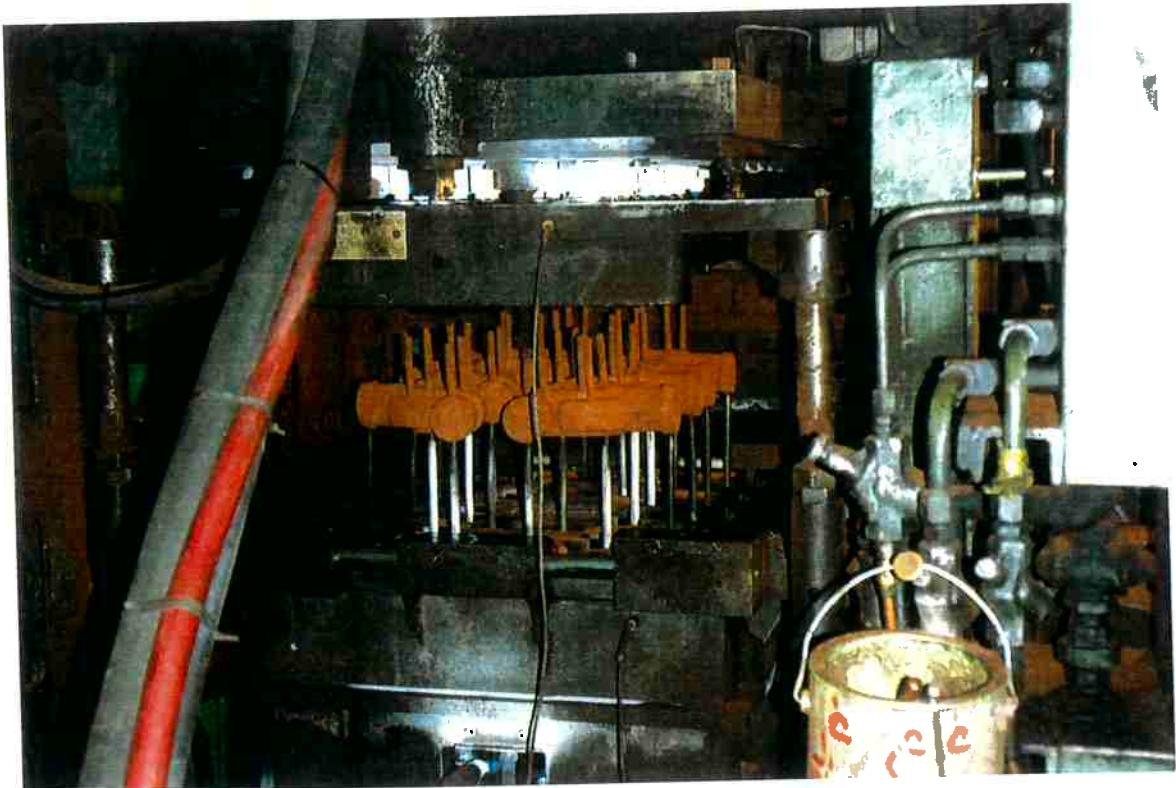
7. Anexos



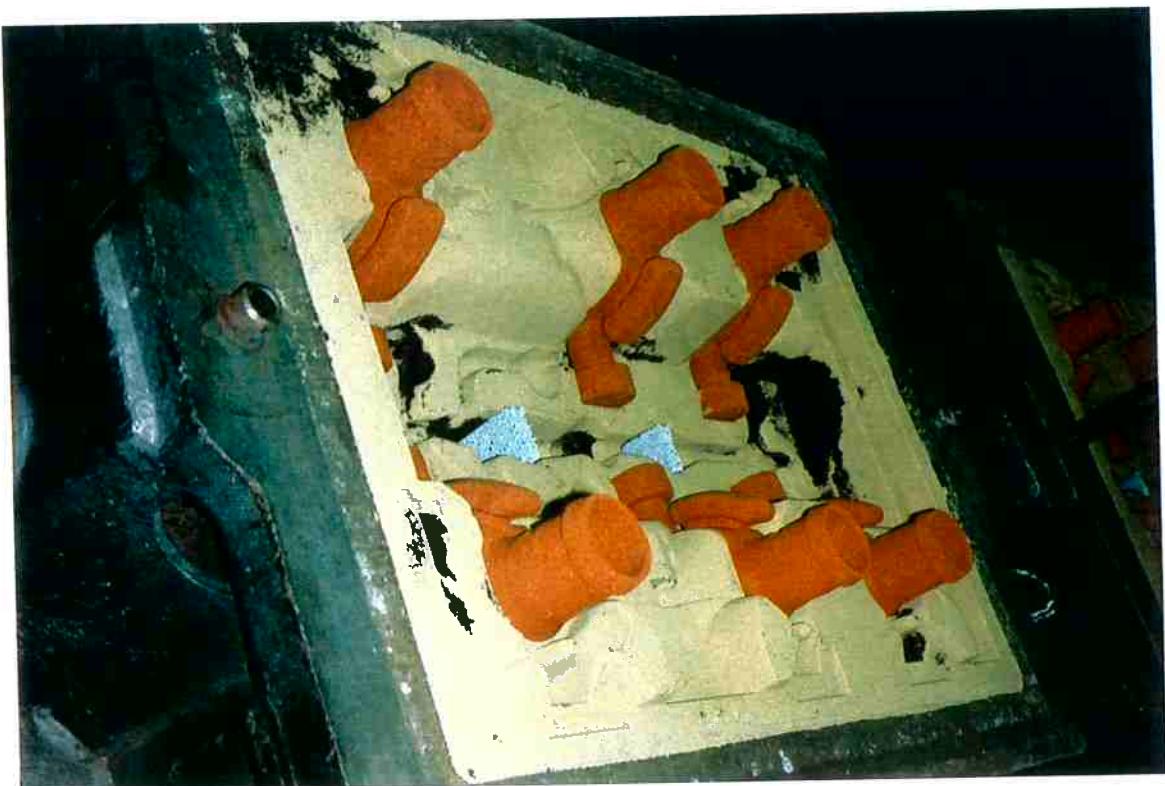
Anexo 1 - Suporte Ponta de Eixo - Knuckle



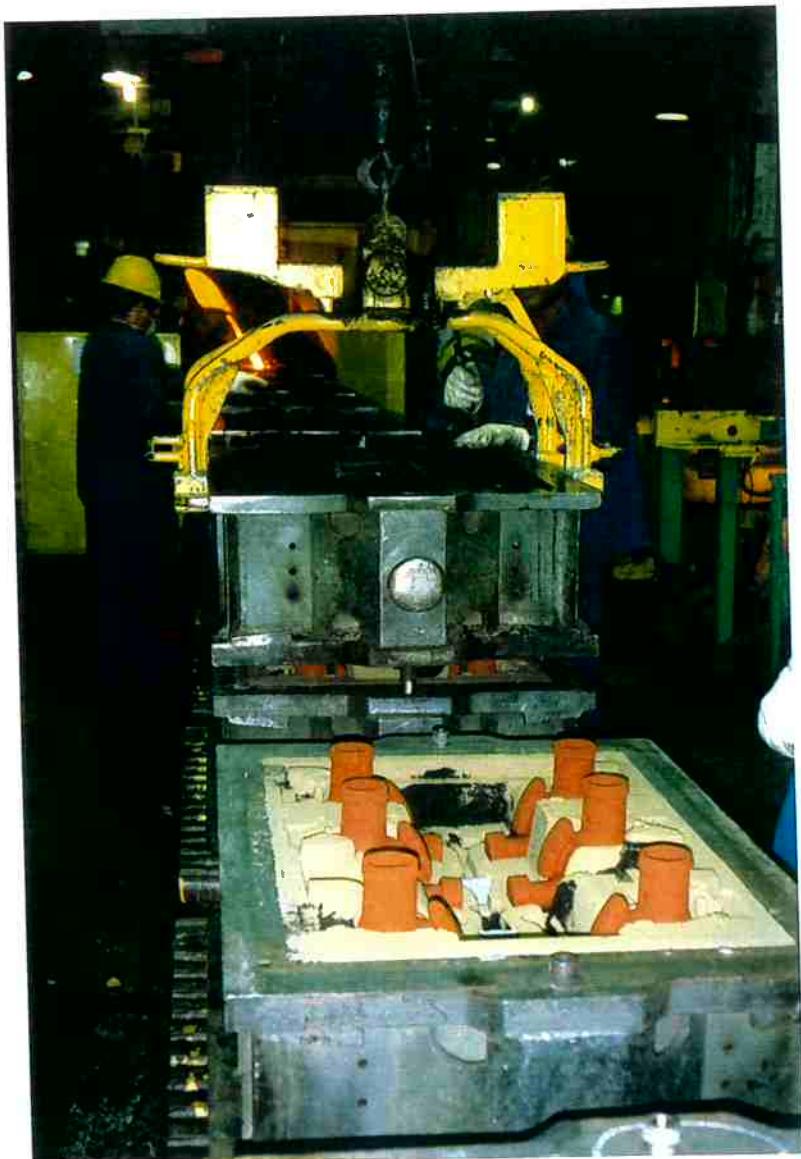
Anexo 2 - Suporte Ponta de Eixo - Knuckle (4)



Anexo 3 - Macharia - Sutter Hot Box



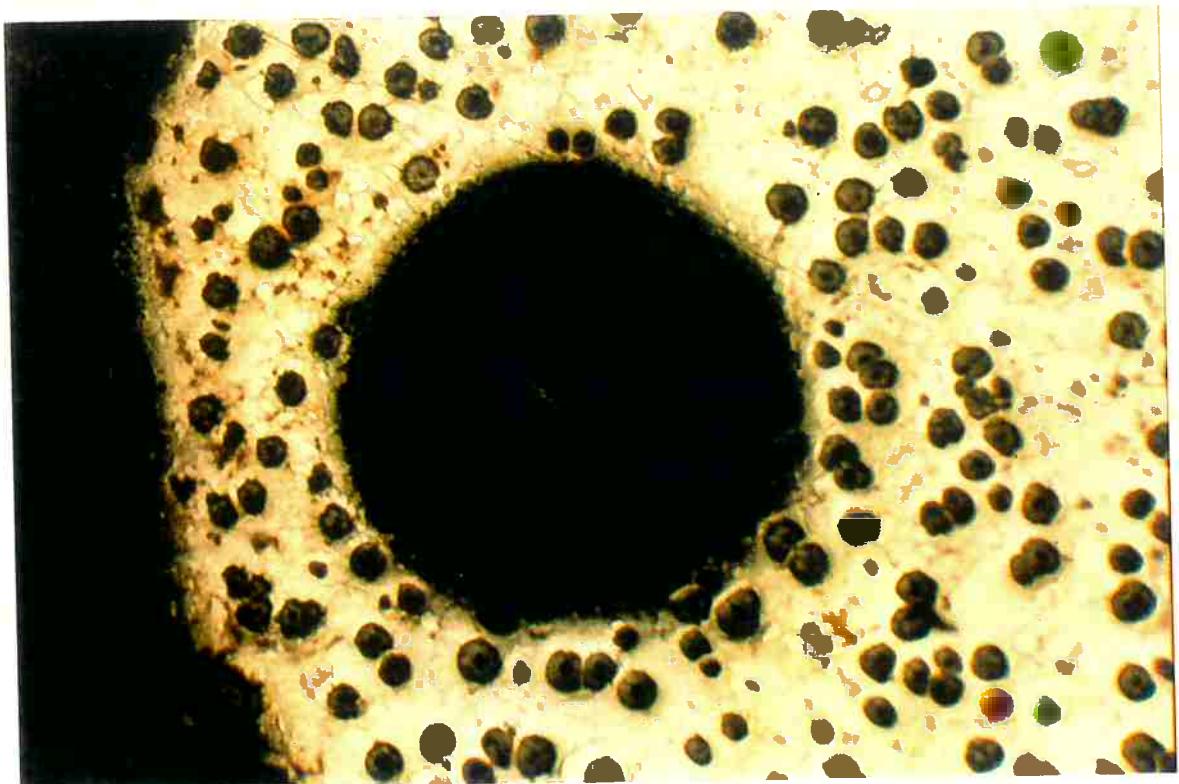
Anexo 4 - Moldagem SPO -
Caixa de moldagem fundo com machos e filtros



**Anexo 5 - Moldagem SPO -
Fechamento da Caixa de Moldagem**



Anexo 6 - Conveyor Aéreo - Moldagem SPO



**Anexo 8 - Pinhole observado com aumento de 100x
na matriz nodular ferrítica do Knuckle**



**Anexo 9 - Aspecto de Inclusão de Areia com
aumento de 10X**