

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS

Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica  
e de Materiais



## Resinas de caixa-fria modificadas

**Realizado por:** Pedro Miguel Cirurgião Leite de Vilhena

**Orientador :** Prof. C A Silva Ribeiro

Porto, Julho de 2009

Pedro Miguel Cirurgião Leite de Vilhena

# Resinas de caixa-fria modificadas estruturalmente com propriedades técnicas e meio ambientais melhoradas - Sistema BioDiesel

Dissertação submetida à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para conclusão  
do Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais sob a orientação de

**Prof. Doutor Carlos Alberto Silva Ribeiro**

Em colaboração com:

**FUNDIPOR, Produtos para Fundição, Lda.  
SAKTHI Portugal, S. A.  
HÜTTENES-ALBERTUS GMBH**



**Universidade do Porto**

**Faculdade de Engenharia**

**FEUP**

Julho de 2009

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de exprimir o meu profundo agradecimento ao meu orientador Prof. Silva Ribeiro pelo incentivo, por partilhar os seus conhecimentos e conselhos dados.

À FUNDIPOR, Produtos para Fundição, pela oportunidade e colaboração.

À SAKTHI PORTUGAL S.A., pela oportunidade de colaboração, em especial ao Sr. David Monteiro e Eng.º. António Pinto pela disponibilidade.

À HÜETTENES-ALBERTUS GMBH, pela oportunidade de colaboração em especial ao Sr. Serghini Amine, pela disponibilidade e informação fornecida.

Ao Sr. Alex Zaloetxebarria da empresa AISA-ILARDUYA S.A. pela colaboração e disponibilidade.

Finalmente, mas de uma forma bem especial, à minha noiva Michele Hallai pela ajuda e paciência nestes meses, e aos meus queridos pais José Manuel Vilhena e Maria Isabel Cirurgião por tudo o que me proporcionaram até hoje.

"O conhecimento torna a alma jovem e diminui a amargura da velhice. Colhe, pois, a sabedoria. Armazena suavidade para o amanhã."

Leonardo da Vinci

## RESUMO/PRÓLOGO

O objectivo desta dissertação consistiu em comprovar as melhorias técnicas e meio-ambientais da nova geração de resinas de caixa-fria sistema Biodiesel utilizadas no processo de fabrico de machos em areia.

Assim, numa primeira introdução são apresentadas as entidades envolvidas neste processo bem como são definidos claramente os objectivos do trabalho.

O estado da arte relativo ao processo de fabrico de machos por aglomeração de areias e nomeadamente com recursos a gaseamento de amina (caixa-fria) é descrito numa forma pormenorizada para que se entendam as melhorias que o sistema de resinas Biodiesel exerce relativamente ao sistema Clássico.

O sistema Biodiesel apresenta vantagens em termos de uma maior reactividade e consequente diminuição da quantidade de amina utilizada, aumento das resistências mecânicas dos machos e portanto possibilidade de diminuição das adições de resinas (parte 1 + parte 2), menor aderência às caixas de machos diminuindo assim as paragens para limpeza, uma maior estabilidade térmica e a redução das emissões de gases BTX, bem como do odor.

Foram realizados vários ensaios laboratoriais com a areia da fundição para que se chegasse à formulação mais adequada à qualidade da areia em causa, com o intuito de se poderem obter os resultados esperados em condições de produção industrial. Após estar definida essa formulação foram realizados os ensaios industriais para validação das melhorias técnicas e meio-ambientais.

Os resultados dos ensaios industriais foram bastante positivos tendo-se conseguido comprovar na generalidade as vantagens técnicas e meio-ambientais deste processo, pelo que pensamos que este é o caminho a seguir pelo sector da fundição para o fabrico de machos com recursos a gaseamento de amina.

## LISTA DE ACRÓNIMOS

AFS - American Foundrymen´s Society  
BTX - Benzeno, Tolueno, Xileno  
COV - Compostos orgânicos voláteis  
DMEA - Dimetiletilamina  
DMIA - Dimetil-isopropilamina  
GIFA - Internationale Giesserei-Fachmesse  
TEA - Trietilamina  
TMA - Trimetilamina

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO/PRÓLOGO .....	ii
LISTA DE ACRÓNIMOS .....	iii
ÍNDICE .....	1
CAPÍTULO 1 .....	3
INTRODUÇÃO .....	3
1.1 Apresentação das entidades envolvidas no processo: .....	3
1.2 Considerações Gerais .....	3
1.3 Objecto e organização da presente dissertação .....	4
Referências .....	5
CAPÍTULO 2 .....	6
ESTADO DA ARTE - Aglomerantes químicos para areias .....	6
2.1 As resinas e a sua polimerização .....	6
2.2 Classificação das resinas de fundição .....	7
2.3 Selecção do processo químico apropriado para aglomeração de areias .....	7
2.3.1 Requisitos dos processos químicos para aglomeração de areias .....	8
2.4 Processos de fabrico de machos .....	11
2.4.1 Processos de aglomeração de areias polimerizadas com gás ou com recurso a calor .....	11
2.4.2 Parâmetros que afectam a produtividade no fabrico de machos .....	13
2.4.2.1 Machos partidos devido a baixa resistência .....	13
2.4.2.2 Aderência à caixa de machos .....	14
2.4.2.3 Desmoldação .....	14
2.4.3 Defeitos nas peças causados pelos machos .....	14
2.4.3.1 Veining .....	14
2.4.3.2 Penetrações .....	14
2.4.3.3 Desprendimentos .....	15
2.4.3.4 Gases .....	15
2.5 Processo Fenólico-uretânico curado através de gasagem á temperatura ambiente (Caixa-Fria) .....	15
2.5.1 Características gerais dos processos de areias de fundição aglomeradas com ligantes químicos, curadas através de gaseamento à temperatura ambiente - caixa fria (cold-box) .....	16
2.5.2 Areias aglomeradas com resinas fenólico-uretânicas curadas por gaseamento com amina (na forma de aerossol) - Sistema Clássico .....	18
2.5.3 Constituintes das areias aglomeradas com resinas fenólico-uretânicas gaseadas com amina .....	19
2.5.3.1 Areias de fundição .....	19
2.5.3.2 Areia base .....	20
2.5.3.2.1 Humidade .....	20
2.5.3.2.2 Impurezas .....	22
2.5.3.2.3 Temperatura da areia base .....	22
2.5.3.2.4 Quantidade de material ácido/básico .....	23
2.5.3.2.5 pH .....	23
2.5.3.2.6 Forma, tamanho e estrutura do grão .....	24
2.5.3.2.7 Teor em finos .....	25

2.5.3.3 Aglomerante - resinas sistema Clássico.....	26
2.5.3.4 Agente de cura.....	28
2.5.4 Preparação da mistura e referência de composição.....	29
2.5.5 Características de utilização do processo, vantagens, desvantagens e defeitos característicos.....	30
2.5.5.1 Veining.....	32
2.5.5.2 Inclusões de carbono lustroso.....	32
2.5.5.3 Escamas.....	33
2.5.5.4 Pinholes.....	33
2.5.5.5 Aderência na caixa de machos.....	34
2.5.5.6 Empenamento.....	34
2.6 Novos sistemas de caixa-fria modificados estruturalmente com propriedades melhoradas.....	34
2.6.1 - Vantagens do novo sistema Biodiesel face ao sistema Clássico.....	36
2.6.1.1 - Reactividade e diminuição de quantidade de amina necessária para a cura.....	37
2.6.1.2 - Resistências mecânicas dos machos.....	38
2.6.1.3 - Aderência às caixas de machos.....	39
2.6.1.4 - Estabilidade térmica.....	39
2.6.1.5 - Emissões Poluentes e odor.....	40
Referências.....	42
CAPÍTULO 3.....	43
METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	43
3.1 Ensaaios laboratoriais.....	43
3.1.1 - Ensaaios comparativos de areias de sílica.....	43
3.1.2 - Ensaaios de resistência à flexão com diferentes areias, sistemas de resinas Biodiesel standard e o sistema Clássico utilizado habitualmente.....	44
3.1.3 - Ensaaios de resistência à flexão e profundidade de penetração comparativos entre o sistema Clássico, utilizado habitualmente, e o novo sistema Biodiesel modificado.....	46
3.2 - Ensaaios industriais.....	47
CAPÍTULO 4.....	49
RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO.....	49
4.1 Resultados e discussão dos ensaios laboratoriais.....	49
4.1.1 - Resultados e discussão dos ensaios comparativos de areias de sílica.....	49
4.1.2 - Resultados e discussão dos ensaios de resistência à flexão com diferentes areias, sistemas de resinas Biodiesel standard e o sistema Clássico utilizado habitualmente (cada valor é a média de 10 provetes).....	51
4.1.3 - Resultados e discussão dos ensaios de resistência à flexão e profundidade de penetração comparativos entre o sistema Clássico utilizado habitualmente e o novo sistema Biodiesel modificado.....	53
4.2 - Ensaaios industriais.....	54
4.2.1 - Resultados e discussão do 1º ensaio de um dia de produção (cerca de 1000 machos produzidos).....	54
4.2.2 - Resultados e discussão do 2º ensaio industrial de um mês de produção (cerca de 20 a 30 mil machos produzidos).....	55
CAPÍTULO 5.....	60
Conclusões e perspectivas futuras.....	60
5.1 Conclusão.....	60
5.2 Perspectivas futuras.....	61

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Apresentação das entidades envolvidas no processo:

Neste trabalho estiveram envolvidas as seguintes entidades: FUNDIPOR, HÜTTENES-ALBERTUS GMBH e SAKTHI PORTUGAL.

A FUNDIPOR - Produtos para Fundição, Lda. foi fundada em 1979 e é um fornecedor de referência para o mercado da Fundição nacional;

“ A FUNDIPOR sempre centrou a sua actividade em fornecer ao mercado produtos com tecnologia adequada e condições competitivas.” [1]

Desde a sua fundação que a sua associação com a empresa espanhola AISA-AUXILIAR INDUSTRIAL SA, (ILARDUYA), foi um factor preponderante para o seu desenvolvimento.

A participação na AISA por parte da gigante alemã HÜTTENES-ALBERTUS GMBH - “Líder internacional na produção de produtos químicos para a indústria da Fundição” [2] e detentora das mais avançadas tecnologias nesta área, actuando a nível global em mais de 45 países permite à FUNDIPOR o acesso à mais recente tecnologia e dessa forma e em parceria com os seus clientes implementar nos seus processos produtivos as melhores técnicas e produtos disponíveis em termos de avanços tecnológicos e ambientais.

A SAKTHI PORTUGAL, S.A. é uma fundição de renome no mercado nacional e internacional produzindo peças para a indústria automóvel em ferro fundido nodular com uma capacidade instalada de cerca de 70 mil toneladas/ano.

### 1.2 Considerações Gerais

A SAKTHI PORTUGAL seguindo o seu caminho de melhoria contínua pretendeu homologar resinas de processo caixa-fria tecnologicamente e ambientalmente mais avançadas, que as duas fábricas do grupo SAKTHI na Alemanha já utilizavam. Sendo o fornecedor destas resinas a HÜTTENES-ALBERTUS GMBH foi feito o contacto com a FUNDIPOR para que fosse iniciado o processo de homologação.

Os objectivos deste trabalho foram previamente definidos com o acordo de todas as partes, sendo eles os seguintes:

- Melhoria do ambiente de trabalho através da redução do intenso odor a resinas e amina.
- Redução do consumo de resinas (Parte 1 + Parte 2)
- Redução do consumo de amina
- Redução das paragens por aderência às caixas de machos
- Redução de emissão de gases tóxicos

É de salientar que neste processo não é possível aplicar directamente uma referência de resinas já utilizadas nas fábricas alemãs visto que a variável que mais condiciona o sucesso dos resultados pretendidos para este tipo de resinas é a qualidade da areia utilizada para a produção dos machos. Assim, como será descrito durante esta dissertação foi necessário realizarem-se estudos prévios da areia e das formulações das resinas utilizadas (que por interesses da HÜTTENES-ALBERTUS GMBH não poderão ser aqui reveladas).

### **1.3 Objecto e organização da presente dissertação**

O objectivo desta dissertação consistiu na adequação do sistema de fabrico de machos ao processo de fabrico de machos pelo processo caixa-fria com utilização da nova geração de resinas do sistema Biodiesel.

Estas resinas são em termos económicos mais caras do que as do sistema Clássico pelo que a sua implementação no processo de fabrico da SAKTHI estava pendente da verificação do seu potencial e das vantagens que poderia oferecer.

Com efeito, após a presente introdução, segue-se a apresentação, no Capítulo 2, do estado da arte relativamente aos aglomerantes químicos para areias. Neste segundo capítulo é feita referência aos processos de fabrico de machos focando-se essencialmente o processo fenólico-uretânico com gaseamento de amina (caixa-fria), bem como os novos sistemas de caixa-fria modificados estruturalmente com propriedades melhoradas.

No Capítulo 3 descrevem-se os métodos experimentais utilizados, como foram realizados e controlados os ensaios com vista à validação dos objectivos propostos.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos dos ensaios realizados e realiza-se uma discussão desses mesmos resultados.

Finalmente, no Capítulo 5, sumarizam-se as conclusões do trabalho e apresentam-se algumas perspectivas futuras para o sector da fundição relativamente a este processo de fabrico de machos.

## Referências

- [1] [www.fundipor.pt](http://www.fundipor.pt), A Fundipor, acedido em 07/05/2009
- [2] [www.huettene-albertus.de](http://www.huettene-albertus.de), About us, acedido em 07/05/2009

## CAPÍTULO 2

### ESTADO DA ARTE - Aglomerantes químicos para areias

O consumo de aglomerantes químicos nas fundições cresceu notavelmente durante os últimos 50 anos. Este aumento deve-se às enormes vantagens existente na utilização de técnicas químicas de endurecimento de areias. Os processos químicos de aglomeração permitem ao fundidor produzir todo o tipo de moldações e machos em areia. Actualmente existem no mercado diferentes processos pelo que antes da decisão por um ou outro processo, o fundidor deve ter em atenção as propriedades que caracterizam cada um desses processos [1]:

- Produtividade do processo.
- Facilidade da preparação e utilização de placas-molde e/ou caixas de machos.
- Pouca reactividade dos aglomerantes com as impurezas presentes na areia.
- Suficiente vida em bancada da areia preparada.
- Emissões gasosas menos perigosas para o ambiente de trabalho (na produção de machos e moldações, durante o vazamento e na desmoldação).
- Facilidade de desmoldação e limpeza das placas-molde e/ou caixas de machos.
- Facilidade e duração do armazenamento das moldações e machos.
- Suficiente permeabilidade para a evacuação dos gases.
- Características mecânicas em frio.
- Possíveis reacções da moldação, ou dos machos, com o metal vazado.
- Facilidade de recuperação da areia, tanto mecânica, como termicamente.
- Ausência de problemas meio-ambientais.

#### 2.1 As resinas e a sua polimerização

As resinas para fundição são compostos orgânicos, normalmente líquidos, e têm moléculas que maioritariamente consistem em átomos de carbono, oxigénio, hidrogénio e azoto. Estas moléculas, chamadas de monómeros, são moléculas simples que podem ser comparadas a anéis. Na fase de produção da resina são formados centros activos e as moléculas juntam-se em correntes bidimensionais longas, sob a acção combinada do calor e de um catalisador. Durante a fase de aplicação das resinas nos processos produtivos a reacção continua devido à adição dum segundo catalisador e uma formação de correntes tridimensionais é conseguida resultando numa rígida e densa rede de moléculas. A macro molécula formada tem um peso molecular muito elevado designando-se por polímero (se

for formado por moléculas idênticas) ou copolímero (se for formado por diferentes tipos de moléculas). Quando esta reacção se dá numa areia, a rede formada mantém os grãos de areia unidos, pela formação dum esqueleto rígido. A reacção que dá lugar à formação de correntes de monómeros como descrito acima é chamada de polimerização [2].

## **2.2 Classificação das resinas de fundição**

As resinas mais populares usadas em fundição podem-se classificar em três grupos distintos:

- O primeiro grupo de resinas é composto por resinas catalisadas por ácidos como por exemplo as resinas furânicas, fenólicas, misturas de resinas fenólicas com furânicas e ainda ureia-fenol.
- O segundo grupo é formado por isocianatos, que polimerizam por adição com poli-álcoois formando poliuretanos.
- O terceiro grupo de resinas consiste de resinas fenólicas alcalinas. Este último grupo de resinas completa a gama de resinas mais usadas em fundição onde é possível usar qualquer tipo de areia incluindo areia de olivina que devido à sua origem natural e pH básico não pode ser usada com resinas catalisadas por ácidos.

## **2.3 Selecção do processo químico apropriado para aglomeração de areias**

A decisão de qual processo químico a ser utilizado por uma fundição para moldações e machos é baseada numa avaliação de vários factores. Alguns desses factores a serem considerados são a produtividade, custos operativos, nível de qualidade, impacto ambiental, formação dos operadores, equipamento existente ou necessário, tipo de areia disponível no mercado, etc. Cada fundição deve desenvolver a sua própria lista de factores a ter em conta ao fazer a decisão de qual processo utilizar. O objectivo subjacente no processo de tomada de decisão é produzir fundidos de qualidade ao mínimo custo com os recursos disponíveis.

Os custos operacionais são difíceis de determinar devido às várias variáveis envolvidas. Os custos operativos não só incluem materiais (resinas, areia, aditivos), energia, mão-de-obra, manutenção associada aos moldes e caixas de machos, mas também as despesas de processamento dos fundidos (limpeza, inspecção, reparação, manipulação). Custos operativos adicionais ocorrem devido a peças rejeitadas.

Para fundições novas, as despesas de investimento com os processos químicos a serem utilizados são geralmente baixos. Renovações ou programas para aumento da capacidade devem ser bem analisados de forma a serem calculados todos os custos envolvidos. A maior parte dos processos químicos utilizados são capazes de produzir uma areia curada que exibe excelente resistência à temperatura ambiente. Esta resistência das moldações e machos também contribuem para uma excelente precisão dimensional e reprodutibilidade. Esta elevada resistência das areias ligadas quimicamente também permitem que a relação areia-metal seja bastante reduzida. Deve-se enfatizar que a seleção do processo químico a ser utilizado deve ser baseada na tarefa exigida para tal, e que não existe substituto para uma boa prática de fundição. Qualquer dos processos químicos utilizados permitem que os fundidos sejam de alta qualidade assim como também qualquer um destes processos está sujeito a produzir eventuais defeitos nos fundidos. A boa prática de fundição deve ser sempre seguida qualquer que seja o processo químico usado. A simplicidade dos sistemas químicos normalmente fazem com que o controlo de qualidade sejam menos complexos e os bons resultados mais reprodutíveis [3].

### **2.3.1 Requisitos dos processos químicos para aglomeração de areias**

O propósito dos processos químicos de aglomeração de areias é ligar os grãos de areia na forma desejada até que o metal solidifique obtendo-se assim o fundido desejado. Consequentemente, a primeira necessidade das resinas é que consigam desenvolver suficiente resistência na areia para que se consigam obter as moldações e machos pretendidos. As resistências obtidas, à temperatura ambiente, devem ser suficientes para a manipulação em verde de machos e moldações. Estes devem manter a sua integridade até à temperatura de solidificação do metal caso contrário a areia aglomerada pode deformar, resultando em peças fundidas com variações dimensionais não desejadas. Se as resistências dos machos e/ou moldações forem demasiado elevadas, a expansão térmica pode causar o aparecimento de pequenas fissuras, na superfície das moldações, fazendo com que o metal vazado preencha essas fissuras, causando assim os defeitos denominados por “veining”.

A taxa de produção desejada e o tamanho das moldações e/ou machos têm grande influência na seleção do processo químico a utilizar. Quando se pretendem grandes séries é necessário que as resistências dos machos, e/ou moldações, sejam desenvolvidas rapidamente e que sejam facilmente controláveis. Quando os machos, e/ou moldações, são de grandes dimensões, é necessário que o tempo de cura seja mais reduzido

permitindo que os moldes sejam cheios totalmente antes que as ligações dos grãos de areia se iniciem, ou seja, é necessário um tempo de vida em bancada suficiente.

A decomposição térmica da resina produz uma atmosfera redutora nas cavidades das moldações, inibindo assim a formação de óxidos metálicos. Os óxidos metálicos são indesejáveis porque actuam como um fluxo com os grãos de areia permitindo que o metal líquido penetre nos interstícios da massa de areia aglomerada. Quanto maior a atmosfera redutora, na cavidade das moldações, menor probabilidade de penetrações metálicas e de inclusões de areia.

A percentagem de perdas por ignição determina a quantidade de gases formados. Se forem produzidas grandes quantidades de gases, irão formar-se bolhas no banho metálico que quando se dá a solidificação dos fundidos transformar-se-ão em poros. A presença de hidrogénio e azoto, na decomposição da resina das moldações, e/ou machos, há muito tempo que é relacionada com o aparecimento de defeitos gasosos. As fundições de aço normalmente usam resinas com baixos teores em azoto e água, para prevenirem o aparecimento de “pinholes”.

Se as resinas contiverem carbono, enxofre e fósforo na sua composição é possível que estes elementos sejam absorvidos pela superfície dos fundidos. Os efeitos nas propriedades das peças fundidas variam conforme o tipo de metal que está a ser produzido.

Uma outra consideração a se ter em conta para o processo químico a ser utilizado é que deve ter uma boa colapsabilidade, após a solidificação, de forma a facilitar a remoção dos machos.

Também se deverá ter em consideração na escolha do processo químico a possibilidade de recuperação da areia. Hoje em dia, essa recuperação, é feita através de processo mecânico, térmico e por atrito pelo que é de extrema importância que o tipo de resinas utilizadas sejam compatíveis com estes processos.

As considerações finais, para a selecção das resinas mais adequadas a uma fundição deverão passar pela selecção dum processo químico que seja económico e, se possível, ecológico. A economia do processo químico deverá ser calculado tendo em conta a redução da percentagem de sucata e tempos de acabamentos quando comparados com outros

possíveis processos químicos mais baratos mas que terão estas percentagens de sucata e tempos de acabamentos muito superiores. Também o impacto ambiental na fundição, e na comunidade envolvente, é um parâmetro cada vez mais importante na decisão final de escolha [3].

Pode-se pois concluir que, cada processo químico, tem características diferentes que, dependendo da liga metálica que se vá processar, poderão influenciar a qualidade dos fundidos obtidos. Através das tabelas 2.1 e 2.2 é possível observarem-se essas diferentes variáveis que poderão dar uma ajuda preciosa na escolha do tipo de processo químico a utilizar, consoante o tipo de fundidos que se pretende produzir [1]:

Tabela 2.1 - Variação das características das moldações e machos conforme o processo químico utilizado [1].

<b>Características</b>	<b>Moldações e machos produzidos com processo:</b>				
	<b>Fenólico Cat. ácido</b>	<b>Fenólico Isocianato</b>	<b>Fenólico alcalino</b>	<b>Furânico Cat. ácido</b>	<b>Silicato éster</b>
% resina	1-1,7	0,6-1,2	1,4-2	0,8-1,5	3-4
Tipo de catalisador	Ácidos sulfónicos	Derivados de piridina	Ésteres	Ácidos sulfónicos e fosfóricos	Ésteres
% catalisador, sobre peso da resina	40-70	2-10	20-25	30-60	12-15
Tempo de desmoldação (min)	15-250	1,5-40	10-240	10-180	10-240
Facilidade em desmoldar	Má	Muito boa	Muito boa	Boa-Muito boa	Má
Produtividade	Regular	Muito boa	Boa	Regular*	Regular
% Azoto	0	3-5	0	0-10	0
Resistência com areia nova	Muito boa	Muito boa	Regular	Muito boa	Boa
Recuperação da areia	Muito boa	Muito boa	Difícil	Muito boa	Difícil
Resistência com areia recuperada	Muito boa	Muito boa	Má	Muito boa	Regular

\* Quando se utiliza areia recuperada aumenta bastante.

Tabela 2.2 - Variação de características e defeitos causados por cada processo químico nas peças fundidas [1].

Características	Peças fundidas com processo:				
	Fenólico Cat. ácido	Fenólico Isocianato	Fenólico alcalino	Furânico Cat. ácido	Silicato éster
Aspecto Superficial	Regular	Boa	Muito boa	Boa	Regular
Penetrações	Regular	Regular	Boa	Muito boa*	Boa
Arrastes de areia	Boa	Boa	Boa	Muito boa	Muito boa
Veining	Regular	Má	Muito boa	Regular	Muito boa
Tendência para o desvanecimento	Má a Boa**	Muito boa	Muito boa	Má a Boa**	Muito boa
Gases	Má a Boa***	Muito boa	Muito boa	Má a Boa***	Muito boa
Rechupes	Muito boa	Muito boa	Má	Muito boa	Regular

\* Com alto teor em álcool furfurílico

\*\* Dependendo dos catalisadores e do teor em água

\*\*\* Dependendo dos catalisadores a utilizar (%N)

## 2.4 Processos de fabrico de machos

### 2.4.1 Processos de aglomeração de areias polimerizadas com gás ou com recurso a calor.

Estes processos utilizam-se fundamentalmente para a produção de machos, os quais, após

o vazamento das peças, a sua areia é incorporada no circuito de areia verde.

Estes processos normalmente são realizados em máquinas denominadas disparadoras de machos, como representado na figura 2.1, que são máquinas de altas produções onde se podem produzir machos, e/ou moldações, até 100 litros (140 a 250 kg conforme a máquina tenha um ou dois disparos).



Figura 2.1 - Máquina disparadora de machos com capacidade de 100 litros.

Estas disparadoras são máquinas que, por meio dum forte impulso de ar comprimido (disparo), projectam uma quantidade de areia previamente preparada com os aditivos para

o interior da caixa de machos. Na figura 2.2 é possível ver a câmara interior da disparadora onde é colocada a caixa de machos.



Figura 2.2 - Câmara interior duma disparadora de machos.

Para que os machos tenham uma excelente qualidade, as caixas de machos devem sempre que possível ser cheias com um único disparo.

Na tabela 2.3 [4] é possível observar-se as variações em termos de tipo de cura, vida em bancada e tempo de cura com os diferentes sistemas de produção de machos.

Tabela 2.3 - Variações de tipo de cura, vida em bancada e tempo de cura, conforme o processo utilizado para produzir machos [4].

Sistema	Tipo de cura	Vida em bancada (horas)	Tempo de cura em segundos (macho de 5 kg)
<b>Fenólico-isocianato (caixa-fria)</b>	Gás	1-6	5
<b>Fenólico-Éster</b>	Gás	1-2	30
<b>Fenólico-CO2</b>	Gás	1-4	30
<b>Silicato de Sódio-CO2</b>	Gás	2-4	30
<b>Caixa-quente</b>	Calor	2-6	30
<b>Croning</b>	Calor	Ilimitado	30

As máquinas disparadoras automáticas realizam o ciclo de produção do macho automaticamente, ou seja, realizam em forma sequencial e contínua as operações seguintes:

- Fecho da caixa de machos.
- Enchimento da caixa de machos (disparo).
- Cura do macho (através dum gás ou com calor).
- Abertura da caixa.
- Extração do macho.
- Limpeza da caixa, caso necessário.

Na tabela 2.4 [4] são apresentadas as variações de algumas características importantes de cada um dos diferentes processos de produção de machos, que deverão ser levados em conta aquando da decisão de qual processo se deve adoptar.

Tabela 2.4 - Variação de características consoante o processo de fabrico de machos [4].

<b>Características</b>	<b>Caixa- quente</b>	<b>Croning</b>	<b>Fénolico- isocianato (caixa- fria)</b>	<b>Silicato- CO2</b>	<b>Fenólico- Éster</b>	<b>Fenólica- CO2</b>
<b>Resina (% sobre peso de areia)</b>	1,5-2,5	1,2-5	1,1-1,6*	3-4	1,5-2	2-3
<b>Catalisador (% sobre peso de areia)</b>	0,3-0,6	0,15-0,75	0,10-0,20	1-1,5	0,6-0,9	0,8-1,2
<b>Resist. Flexão (kg/cm2)</b>	40-90	40-140	20-40	10-20	10-25	10-25
<b>Pintura</b>	Possível à base de álcool	À base de álcool e água	À base de álcool e água	À base de álcool	À base de álcool e água	À base de álcool e água
<b>Recuperação</b>	Mecânica e térmica	Térmica	Mecânica e térmica	Mecânica com limitações	Mecânica e térmica com limitações	Mecânica e térmica com limitações
<b>Custo do macho</b>	Médio	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
<b>Custo de utilização</b>	Alto	Alto	Médio	Médio	Médio	Médio
<b>Risco de “pinholes”</b>	Não	Não	Sim	Não	Não	Não
<b>Risco de “veining”</b>	Baixo	Muito baixo	Médio	Médio	Muito baixo	Muito baixo
<b>Propriedades</b>	Boa desmoldação incluindo em não ferrosos	Qualitativamente os melhores machos	Boa desmoldação incluindo em alumínio	Baixas resistências iniciais	Resistência limitada, bom acabamento.	Ecológico

\* Soma dos dois componentes

## 2.4.2 Parâmetros que afectam a produtividade no fabrico de machos

### 2.4.2.1 Machos partidos devido a baixa resistência

A fraca resistência pode ser originada pela qualidade da areia (impurezas, percentagem de finos), pelos filtros mal limpos, obstruídos ou mal posicionados. Por exemplo, a temperatura do meio ambiente pode também dar origem a machos pouco resistentes. A viscosidade dum resina depende da temperatura a que a resina se encontra, que é

afectada em diferentes estações do ano. O regime de funcionamento das bombas das máquinas disparadoras depende da temperatura da resina, ou seja da sua viscosidade.

#### **2.4.2.2 Aderência à caixa de machos**

Todos os processos têm maior ou menor tendência à aderência à caixa de machos. Esta tendência é maior em machos de alta resistência, sendo o efeito mais notório quando se utiliza maior % de aglomerantes. Também quando se produzem machos com geometrias mais complexas, esta tendência aumenta, sendo necessário limpar a caixa de machos a um determinado intervalo de disparos e aplicar um desmoldante adequado ao processo utilizado.

#### **2.4.2.3 Desmoldação**

A desmoldação é a característica que permite a fácil extracção do macho, depois da solidificação da peça fundida. A facilidade de desmoldação é uma qualidade muito importante, que os machos devem ter, e que está relacionada com a produtividade e a reutilização da areia.

#### **2.4.3 Defeitos nas peças causados pelos machos**

Os seguintes defeitos que vão ser apontados têm uma maior ou menor dimensão consoante o processo de fabrico de machos utilizado.

##### **2.4.3.1 Veining**

É um defeito causado pelas diferenças de expansão dos constituintes da areia, normalmente são pequenas fendas. A maior parte das vezes aparecem em ângulos vivos dos machos criando rugosidades nas cavidades. Uma excessiva densidade do macho cria o risco deste tipo de defeito. Altas pressões de disparo, nas máquinas disparadoras e grãos muito redondos, criam machos mais densos.

##### **2.4.3.2 Penetrações**

A penetração do metal nas moldações, ou nos machos, depende principalmente da pressão metalostática a que estes são submetidos, no entanto outros factores também são de grande importância:

- granulometria da areia: quanto mais fina menos penetrações.
- densidade do macho: quanto menos densidade, maior o risco de originar penetrações.

- quando o metal está oxidado existe maior risco de penetração pois o metal está mais fluido.

### **2.4.3.3 Desprendimentos**

Apesar de não ser muito comum, machos pintados com pinturas à base de água, podem apresentar uma zona de condensação de água, como consequência duma má secagem do macho. Nestes casos, a resistência à tracção na zona húmida (Wet Tensile Strength) é muito baixa, dando origem ao desprendimento duma camada de areia. Estes desprendimentos também podem ser originados devido a pouca permeabilidade, onde a alta pressão de gás na interface metal/macho ou metal/moldação fazem saltar uma camada de areia. Como foi referido, no início deste capítulo, a areia nova é incorporada no circuito de areia verde através dos machos, pelo que os processos químicos que contêm compostos inorgânicos, como por exemplo o processo Silicato-CO<sub>2</sub> e o Fenólico-Éster, incorporam igualmente na areia sódio (Na) e potássio (K) o que faz baixar a resistência à tracção na zona húmida.

### **2.4.3.4 Gases**

Os gases que normalmente são causadores de poros, nas peças fundidas, são o hidrogénio e azoto. A dissolução do azoto no metal pode ser causado pelos machos e/ou moldações. Tanto o processo Croning como o processo Fenólico-Isocianato (Caixa-fria) contêm azoto. O processo de caixa-fria compõe-se de duas partes, a parte I não tem azoto na sua formulação mas a parte II contém. Se neste processo for usado parte I > parte II forma-se uretano que não dá lugar a poros, no entanto se parte I < parte II forma-se ureia que pode originar os poros [4].

## **2.5 Processo Fenólico-uretânico curado através de gasagem á temperatura ambiente (Caixa-Fria)**

Neste capítulo será dada especial atenção a este processo, visto ser o utilizado pela fundição SAKTHI PORTUGAL para o fabrico de machos de grande série e sobre o qual recaiu o objectivo deste trabalho que originou esta dissertação.

### 2.5.1 Características gerais dos processos de areias de fundição aglomeradas com ligantes químicos, curadas através de gaseamento à temperatura ambiente - caixa fria (cold-box)

Entende-se por processo caixa fria qualquer processo de areia de fundição aglomerada com ligantes químicos cuja cura ocorra mediante gaseamento, sem que lhe seja fornecida qualquer forma de aquecimento, à temperatura ambiente.

A cura destes processos de caixa-fria ocorre por intermédio do gaseamento, à temperatura ambiente, de massa de areia preparada com o aglomerante desejado, a qual se encontra adensada dentro duma caixa de machos, seguindo-se a passagem de ar seco para se realizar a lavagem das caixas de machos de alguns vestígios do agente de cura utilizado. Estes processos têm por principal característica uma elevada velocidade de cura.

Entende-se por gaseamento a passagem forçada, através da massa de areia do macho compactado, de um gás que funciona ele próprio como agente de cura ou como veículo para o agente de cura não-gasoso necessário à cura do ligante adicionado à areia-base. Obtém-se, assim, uma longa vida em bancada, pois, sem o gaseamento, o sistema ligante não está completo e não pode reagir [5].

A qualidade final do macho, e conseqüentemente da peça fundida, está intimamente ligada à distribuição uniforme do gás por toda a massa de areia, requerendo um projecto cuidadoso dos filtros para respiro (*vents*) das caixas de machos, pois as reacções químicas são praticamente instantâneas e dependem do escoamento da quantidade necessária de



agente de cura, bem como, que o mesmo atinja todas as regiões do macho.

O agente de cura a ser utilizado pode ser um gás, um aerossol ou um líquido gaseificado por meio de gás de transporte aquecido, que pode ser dióxido de carbono, azoto ou ar.

Na figura 2.3 pode-se observar um macho confeccionado por este processo.

Figura 2.3. Macho produzido pelo processo caixa fria.

O ponto de partida para o desenvolvimento do processo caixa-fria, foi o facto de que o equipamento para aquecimento necessário no processo caixa-quente foi considerado uma desvantagem substancial. Embora o desenvolvimento do processo Silicato-CO<sub>2</sub>, no final dos anos cinquenta viesse a dar uma resposta aos requisitos dos *experts* em fundição, que pretendiam um processo com cura à temperatura ambiente. As limitações do uso de aglomerantes inorgânicos rapidamente tornaram-se óbvias.

O processo de caixa-fria tornou-se o centro das atenções pela primeira vez no Congresso de Fundição da AFS em Cleveland /Ohio em 1968 e na GIFA em Düsseldorf nesse mesmo ano, especialmente porque em ambos os eventos foram apresentados os equipamentos técnicos para a produção dos machos com este novo processo.

No final dos anos setenta, o desenvolvimento do sistema de caixa-fria resistente à humidade contribuiu decisivamente para a possibilidade de utilização de pinturas refractárias à base de água sem qualquer problema. Finalmente desde os anos 90 que o desenvolvimento contínuo deste processo permitiu chegar a um sistema de caixa-fria termicamente mais estável. Os machos mais complicados, da indústria automóvel, que até essa altura apenas podiam ser produzidos nos processos Croning, ou caixa-quente, passaram a poder ser produzidos com este processo sem qualquer tipo de problemas. Além disso, pela primeira vez, foi possível fundir peças em ferro nodular, utilizando machos sem qualquer tipo de pintura refractária obtendo-se excelente qualidade superficial das peças [6].

Actualmente este processo é de extrema importância como se pode observar no gráfico 2.1 representando 78% da produção de machos na actualidade [7].

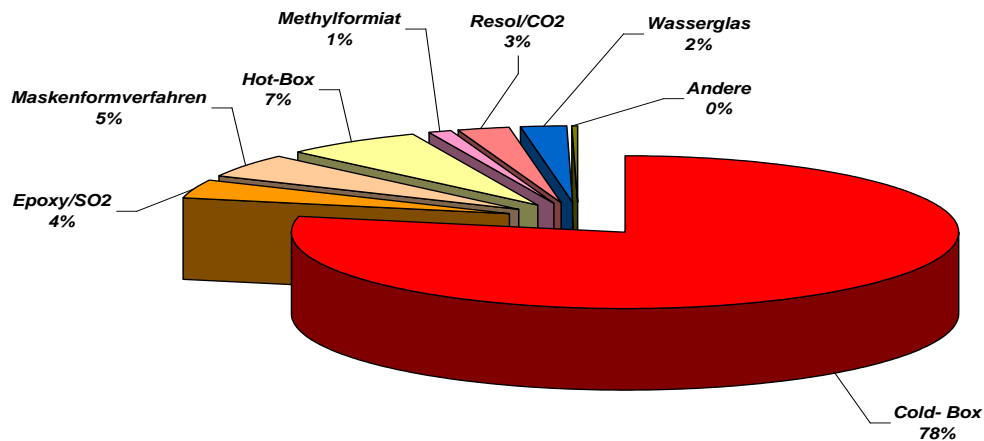


Gráfico 2.1 - Distribuição dos diferentes processos de produção de machos em 2007 (Maskenformverfahren = Croning; Wasserglas = Silicato Sódio/CO2; Andere = Outros) [7].

### 2.5.2 Areias aglomeradas com resinas fenólico-uretânicas curadas por gaseamento com amina (na forma de aerossol) - Sistema Clássico

Este processo de aglomeração, de características muito próximas ao sistema fenólico-uretânico de cura a frio, utiliza matérias-primas idênticas ou comparáveis ao processo acima descrito:

- uma resina fenólica sob a forma de resol, dissolvida em solventes orgânicos voláteis, denominada parte 1;
- um poliisocianato dissolvida com solventes orgânicos voláteis, denominada parte 2;
- uma amina terciária líquida, utilizada sob a forma de aerossol, utilizada em conjunto com um gás de transporte que deverá ser ar seco (a amina reage com a humidade).

A combinação da resina e do poliisocianato, catalisado pela amina, provoca em poucos segundos a cura e a formação de uma resina poliuretânica, conforme esquematizado na figura 2.4 .[7]

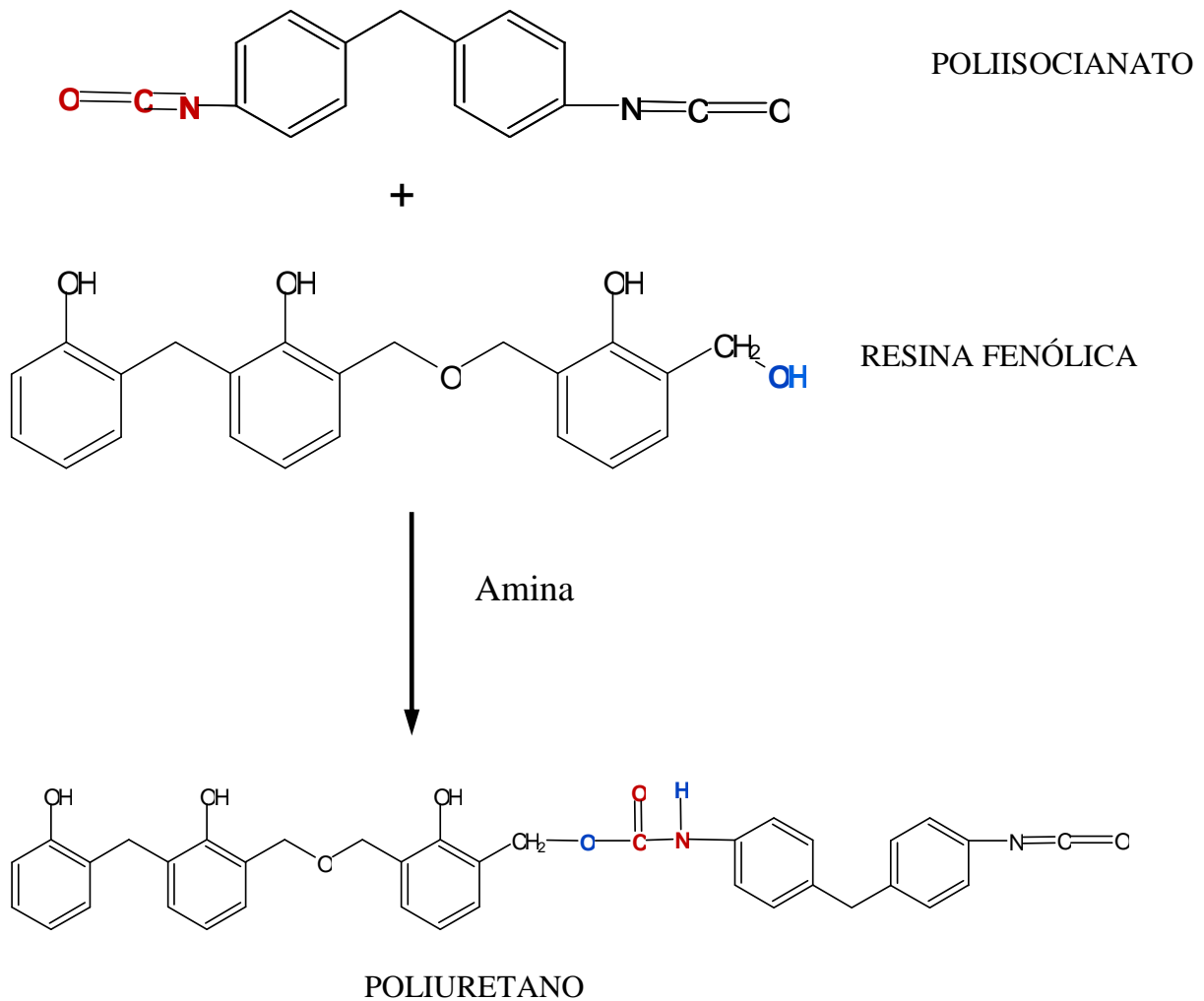


Figura 2.4 - Mecanismo de reacção do processo caixa-fria [7].

O acabamento final das peças fundidas é de excepcional qualidade, pois os próprios aglomerantes orgânicos geram uma atmosfera protectora na interface metal-moldação, conferindo bom acabamento ao fundido.

### 2.5.3 Constituintes das areias aglomeradas com resinas fenólico-uretânicas gaseadas com amina

A atenção com os constituintes deste processo, como tipo, qualidade e propriedades reflecte-se directamente na qualidade do macho produzido e da peça fundida.

#### 2.5.3.1 Areias de fundição

Uma areia de fundição é normalmente constituída pela areia-base, aglomerantes, agente de cura e aditivos, utilizada para o fabrico de moldações e machos, devendo:

- copiar ao máximo as formas das ferramentas (placa-molde ou caixa de macho);

- resistir aos esforços do banho metálico por ocasião do vazamento e durante a solidificação da peça.

Os constituintes duma areia de fundição influenciam directamente a qualidade final da massa de areia preparada e o acabamento final dos fundidos. Alguns detalhes dos mesmos, que são relacionados com a preparação de areias com ligantes químicos, são apresentados a seguir.

### **2.5.3.2 Areia base**

Material granular, utilizado na massa de areia, que confere resistência e consistência à moldação ou macho. Nos seus depósitos naturais é possível que contenha contaminação com argilas e materiais alcalinos, que podem influenciar na actuação do sistema de aglomerantes. Esses grãos possuem certa refractariedade, variando com o tipo de areia base. Tratando-se do constituinte presente em maior percentagem numa massa de areia preparada (cerca de 98%), o material granular é o principal responsável pela resistência do macho ou moldação produzido.

A areia base mais utilizada em fundição, pelas suas características e pelo preço, é a areia de sílica, que deve possuir no mínimo 99% de  $\text{SiO}_2$  ou valores próximos. Qualquer tipo de areia pode ser usada, sendo recomendada granulometria na faixa de 45 a 50 AFS, e preferencialmente distribuída por três crivos a fim de se conseguir um menor consumo de resina, melhor permeabilidade e fluidez, além da diminuição do tempo de gaseamento e lavagem.

Uma areia base, para ser utilizada com aglomerantes químicos, deve atender a algumas especificações globais:

#### **2.5.3.2.1 Humidade**

A areia base deve-se apresentar, durante a preparação de uma areia de fundição, lavada e seca, pois a humidade reduz a fluidez da mistura de areia e provoca a queda de resistências após a cura conforme se pode observar na gráfico 2.2 [8].

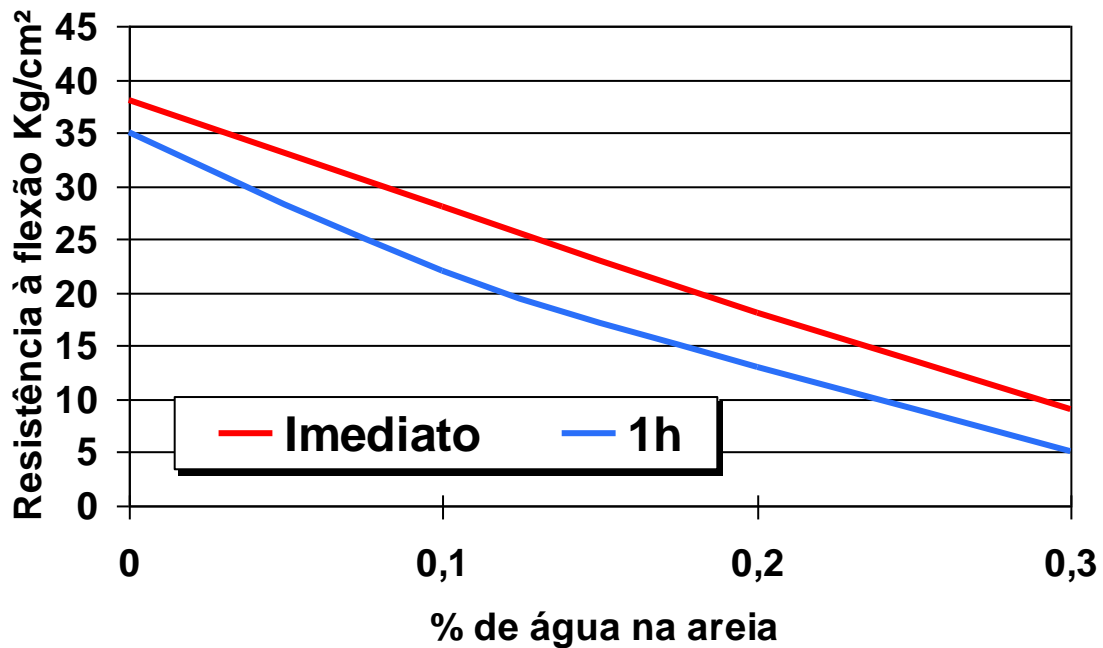


Gráfico 2.2 - Influência da % de humidade na areia na resistência à flexão obtida imediatamente a seguir à cura e após uma hora [8].

É grande a influência da humidade contida na areia tal como a contida no ar utilizado para o gaseamento e para a lavagem, sendo indicativo o valor máximo de 0,2%, a uma temperatura de 21°C, pois, se a temperatura aumentar para 32°C, o teor máximo deve ser de 0,1% para não comprometer a qualidade dos machos produzidos [5].

A influência de uma areia com 0,5% de humidade, comparada a outra com 0,2%, é observada por uma vida em bancada reduzida a um sexto da areia contendo 0,2% de água, pois cada molécula de água combina-se rapidamente a dois grupos de isocianato (parte 2), prejudicando a reacção entre as partes 1 e 2 reduzindo a resistência [3].

Desafortunadamente o grupo hidroxilo da molécula de água é mais reactivo que o da resina fenólica reagindo espontaneamente com o poliisocianato tal como está representando na figura 2.5, e a consequência é a formação de poliureia que é um composto mais débil que o poliuretano. [8]

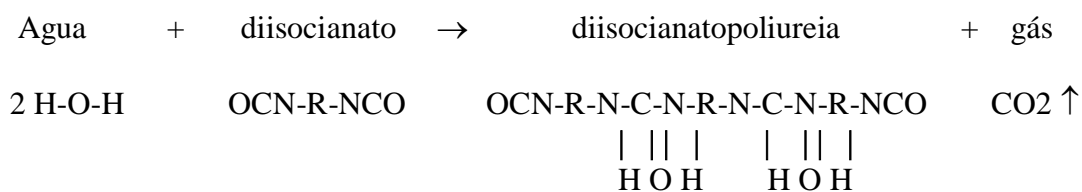


Figura 2.5 - Reacção da água com o poliisocianato [8].

Como consequência desta reacção:

- Redução da fluidez e compactação da massa de areia preparada;
- Redução da resistência;
- Deterioração mais rápida dos machos durante o armazenamento;
- Defeitos nas peças fundidas devido a gases.

### 2.5.3.2.2 Impurezas

Produtos como argila, bentonite, carbonato de cálcio, cimentos, óxidos metálicos, deterioram a qualidade da areia base afectando negativamente o desempenho do aglomerante utilizado. As impurezas impossibilitam a adesão perfeita do filme de ligante ao grão da areia base, provocando baixas resistências mecânicas após a cura, redução da vida em bancada e aumento do consumo de resinas.

### 2.5.3.2.3 Temperatura da areia base

A temperatura recomendada deve-se situar entre os 20-25 °C.

Acima dos 25° C existe maior reactividade da resina diminuindo a vida em bancada. Para além disso, poderá surgir evaporação dos dissolventes provocando assim uma redução da resistência. Na gráfico 2.3 [8] pode-se verificar a influência que a temperatura da areia base tem na vida em bancada e na resistência à flexão.

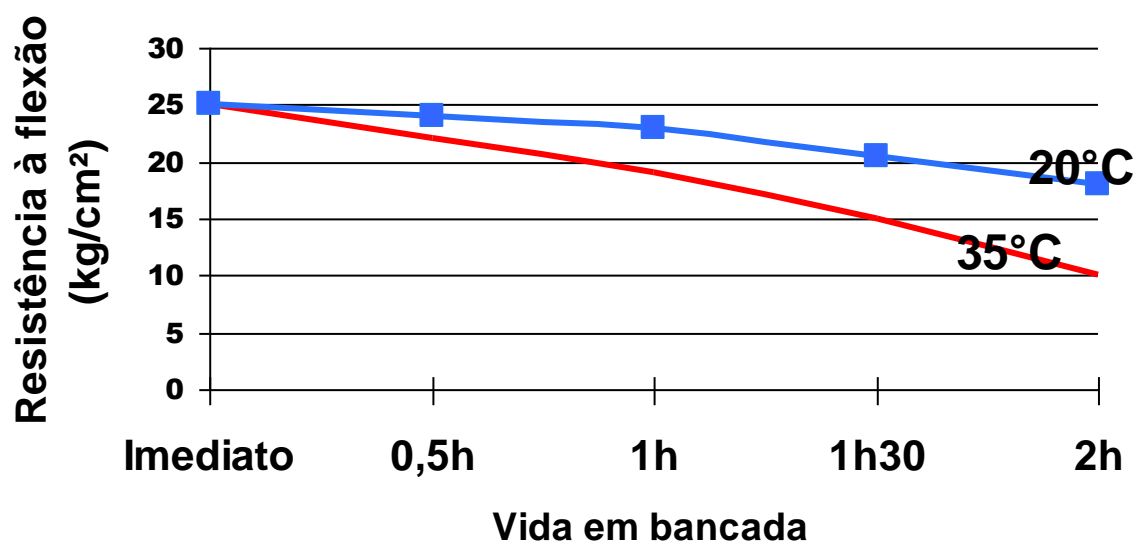


Gráfico 2.3 - Influência da temperatura da areia base na vida em bancada e resistência à flexão da massa de areia preparada [8].

Como regra geral um incremento de 10°C na temperatura da areia base aumenta para o dobro a velocidade de reacção dos aglomerantes [3].

Abaixo dos 10°C existe uma pior eficiência da mistura, maior consumo de catalisador e aumento do tempo necessário para a cura, havendo um aumento da vida em bancada. Em épocas frias, em que a temperatura da areia é mais baixa, não é recomendável aumentar o tempo de gaseamento ou a quantidade de agente de cura, pois a velocidade de cura não se altera e este teor somente proporcionará excesso de amina nos machos, aumentando o custo e a absorção de humidade durante o armazenamento [5].

#### **2.5.3.2.4 Quantidade de material ácido/básico**

Através dum ensaio específico é possível determinar-se a quantidade de material ácido ou básico, presente na massa de areia. Com as transformações térmicas sofridas pelos componentes das areias, ocorrem transformações químicas (provocadas, por exemplo, pela regeneração térmica sofrida por uma areia após a sua utilização), como por exemplo o carbonato de cálcio transformando-se em cal, modificando a acidez ou a basicidade da areia [3].

O aumento da quantidade de material ácido diminui a vida em bancada. O ideal seria a utilização de areia com pH neutro, pois a alcalinidade aumenta a velocidade de reacção entre as partes 1 e 2 diminuindo também a vida em bancada dos machos produzidos.

#### **2.5.3.2.5 pH**

Este ensaio rápido, e de menor precisão que o anterior, indica as impurezas encontradas na areia base (somente elementos solúveis em água). O pH deve ser compatível com o aglomerante utilizado, sendo recomendado geralmente por volta de 7. O processo fenólico-uretânico reage em meio básico, pelo que a utilização duma areia base ácida pode provocar maior consumo de catalisador, pois uma parte do mesmo é neutralizada pela areia [3].

### 2.5.3.2.6 Forma, tamanho e estrutura do grão



A estrutura dos grãos deve ser preferencialmente compacta, o que ocasionará menor consumo de aglomerante, pois quando o grão apresenta fissuras e rachadelas, a sua superfície específica aumenta e o ligante tende a penetrar nessas fissuras.

Figura 2.6 - Grão arredondado de areia de sílica.

Grãos arredondados conforme se observa na figura 2.6 necessitam de menor quantidade de aglomerante para serem cobertos e conferem à areia preparada elevada compactação (alta densidade) [5].

Na figura 2.7 está representado um grão com forma subangular que consome mais aglomerante do que o grão arredondado mas que tem a vantagem de absorver melhor as dilatações e contracções da areia, no entanto confere à mistura baixa permeabilidade e média densidade [5].

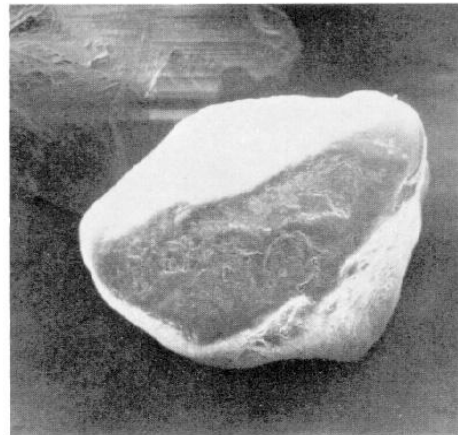
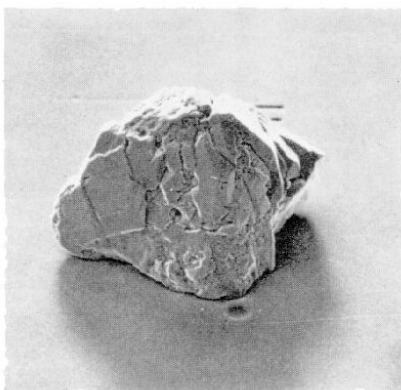


Figura 2.7 - Grão subangular de areia de sílica.



Os grãos angulares idênticos ao observado na figura 2.8 conferem baixa densidade aos machos e alta permeabilidade, mas consomem mais aglomerante devido ao aumento da superfície específica e consequentemente a fluidez da areia diminui o que faz com que a compactação também seja menor.

Figura 2.8 - Grão angular de areia de cromite.

Uma diminuição do diâmetro dos grãos de areia incrementam a sua superfície específica, aumentando assim o consumo de resina, o tempo de cura e o consumo de catalisador [8].

Areias com índices de granulometria idênticos, distribuídas num número reduzido de peneiros (em torno de três), requerem menor quantidade de aglomerante e possibilitam resistências satisfatórias, porque possuem menos superfície específica a ser coberta pela resina.

No gráfico 2.4 [8] pode-se verificar a influência do tamanho de grão, através do seu índice granulométrico e a angulosidade do grão, na superfície específica da areia.

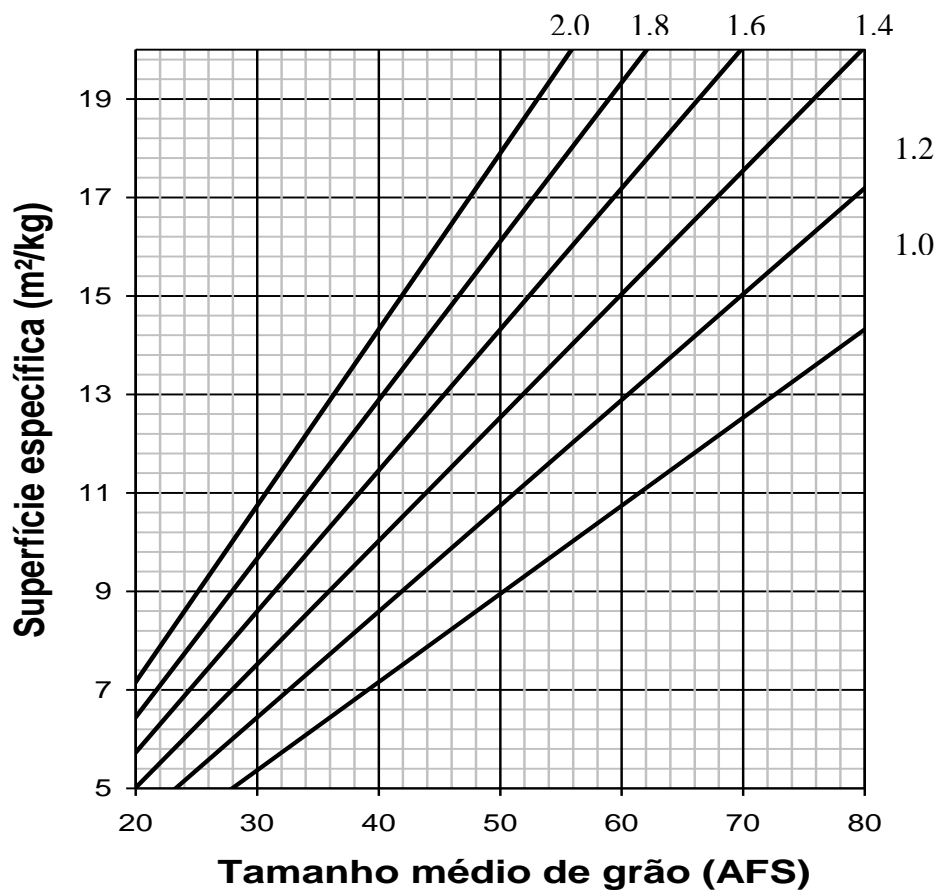


Gráfico 2.4 - Superfície específica de 1 kg de areia de sílica em função do seu tamanho médio (AFS) e o seu grau de angulosidade “K” (esfera: K = 1; areias arredondadas: K = 1,2-1,4; areias angulares: K > 1,4) [8].

### 2.5.3.2.7 Teor em finos

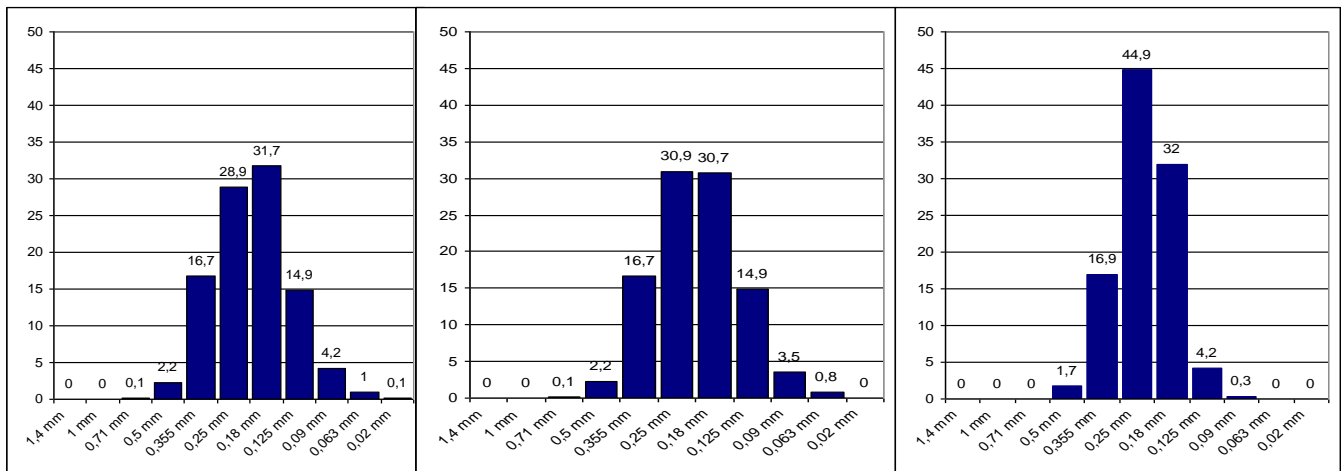
Elevados teores em finos implicam maior consumo de aglomerante e diminuição das resistências mecânicas da areia preparada conforme é possível observar no gráfico 2.5 [8].

Recomenda-se que a areia apresente um teor em finos de, no máximo, 2%.

Areia Angular

Areia Redonda

Areia Redonda sem  
finos



28 kg/cm<sup>2</sup>

36 kg/cm<sup>2</sup>

42 kg/cm<sup>2</sup>

(resistências à flexão às 24 horas, areia preparada com: 0,7 % parte 1 e 0,6 % parte 2)

Gráfico 2.5 - Influência da forma de grão e o teor de finos (< 0,125 mm) na resistência mecânica (ensaios realizados com três areias de sílica de AFS 55; a unidade do eixo dos yy dos gráficos é %)[8].

### 2.5.3.3 Aglomerante - resinas sistema Clássico

Como já foi referido o processo caixa-fria fenólico-uretânico utiliza, como sistema aglomerante, duas resinas e um agente de cura. O aglomerante do processo é composto de duas partes, conhecidas tecnicamente por parte 1 e parte 2.

A resina parte 1 é do tipo fenólica, dissolvida em solventes orgânicos voláteis (hidrocarbonetos aromáticos). A obtenção desta resina dá-se pela reacção entre formol e fenol com solventes, formando no final um resol.

A resina parte 2 é um líquido orgânico, formado por uma solução de poliisocianatos com solventes orgânicos voláteis.

Ambas as partes 1 e 2 conforme se verifica na análise do gráfico 2.6 têm também na sua composição pequenas quantidades de aditivos que ajudam na melhoria de algumas propriedades [7].

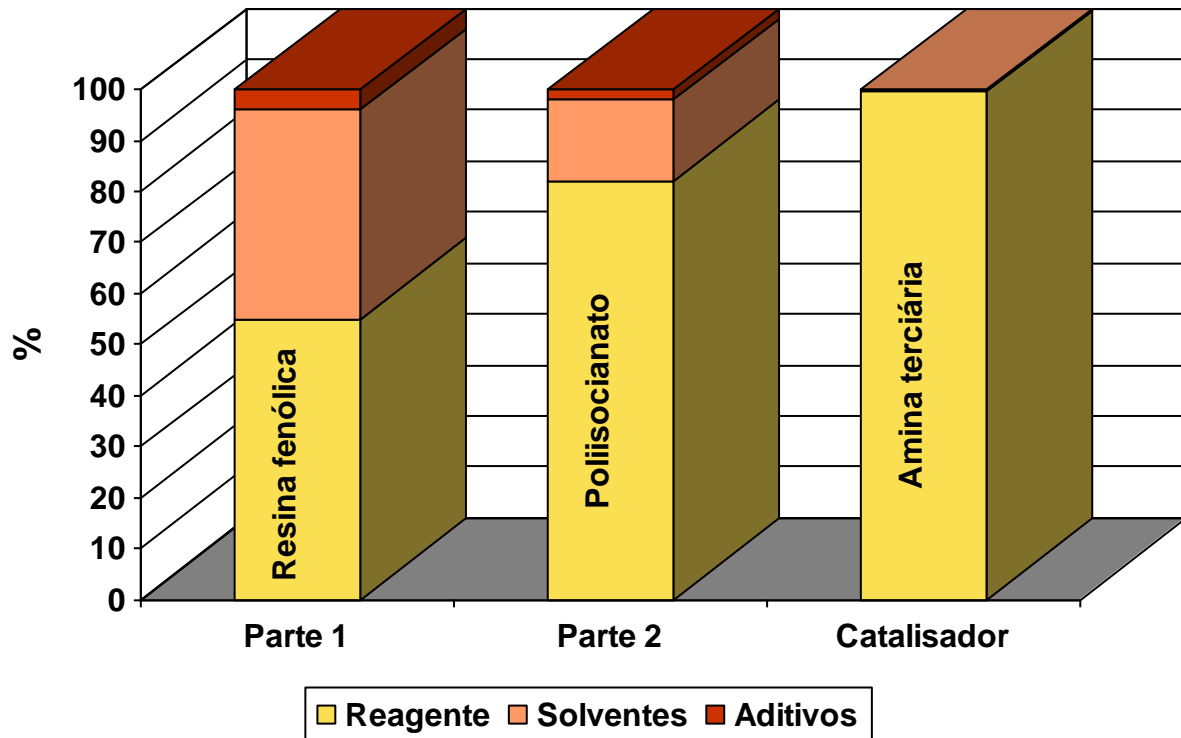


Gráfico 2.6 - Componentes das três partes do processo [7].

Seguidamente são apresentadas as funções dos diferentes componentes de cada uma das partes 1 e 2 [7]:

#### Parte 1:

- Composto fenólico para a formação do poliuretano
  - Responsável pela estabilidade térmica;
  - Influência na reactividade do sistema.
- Solvente
  - Controlo da viscosidade;
  - Influência na reactividade do sistema;
  - Influência nas resistências mecânicas;
  - Influência na aderência às caixas de machos;
  - Influência na resistência à humidade;
  - Influência no meio ambiente (odores e emissões).
- Aditivos
  - Ajuste da resistência à humidade do macho;
  - Ajuste do desenvolvimento da resistência mecânica;
  - Ajuste da aptidão à utilização de areias recuperadas.

## Parte 2:

- **Poliisocianato**
  - Reagente para a formação do poliuretano;
  - Ajuste da vida de banca;
  - Ajuste da resistência térmica;
  - Ajuste da colapsabilidade;
  - Influência no acumular de condensações.
- **Solvente**
  - Ajuste da resistência mecânica;
  - Influência no acumular de condensações;
  - Influência nas propriedades de desmoldação.
- **Aditivos**
  - Ajuste da resistência à humidade do macho;
  - Ajuste da vida em bancada da mistura de areia.

A resina parte 1 possui pequena quantidade de água, menos que 1%, e a parte 2 e o agente de cura, amina, não têm água na sua constituição. A reação de cura não produz água ou subprodutos. No sistema aglomerante podemos encontrar entre 3% e 4% de azoto, oriundo da parte 2 do processo, o isocianato.

Este sistema aglomerante (resina e catalisador), orgânico, possui alta % de carbono, o que resulta na criação duma atmosfera redutora dentro do molde durante o vazamento. Este carbono libertado tende a diminuir ou até a eliminar o aparecimento de defeitos nas paredes do fundido. Se for produzido em excesso poderá ocasionar defeitos do tipo carbono lustroso [5].

### **2.5.3.4 Agente de cura**

Os catalisadores para o processo de caixa fria são as aminas terciárias alifáticas com alto grau de vaporização, altamente inflamáveis, solúveis em água com odor amoniacal e pH básico.

Podem ser utilizados como agentes de cura as aminas seguintes:

- TEA - trietilamina;
- DMEA - dimetiletilamina;
- TMA - trimetilamina;
- DMIA - dimetil-isopropilamina.

A DMEA apresenta vantagens de utilização, como maior pressão de vapor e maior solubilidade no gás de transporte tendo uma maior produtividade do que as restantes.

#### **2.5.4 Preparação da mistura e referência de composição**

Os teores de resina parte 1 e parte 2 variam entre 0,5% e 1,0% de cada, utilizando-se normalmente teores iguais de cada parte (relação de 1:1), ou no máximo uma diferença de 10% entre os teores de cada parte. O teor em agente de cura varia de 5% a 7% sobre o peso das partes 1 e 2 juntas. Um dado prático seria utilizar 1 a 1,5 cm<sup>3</sup> de agente de cura gaseificado para cada quilo de areia misturada [3].

O uso de por exemplo, uma relação entre parte 1 e 2 de 60/40 aumenta a resistência inicial, reduz o custo e a tendência à formação de bolhas de gás, diminuindo a vida em bancada da mistura; uma relação 40/60 melhora a vida em bancada, eleva a resistência durante o armazenamento e aumenta a tendência a defeitos causados por bolhas de gás.

No gráfico 2.7 [8] é possível observar-se esquematicamente a influência que a relação entre parte 1 e 2 tem sobre a vida em bancada e a resistência mecânica da mistura.

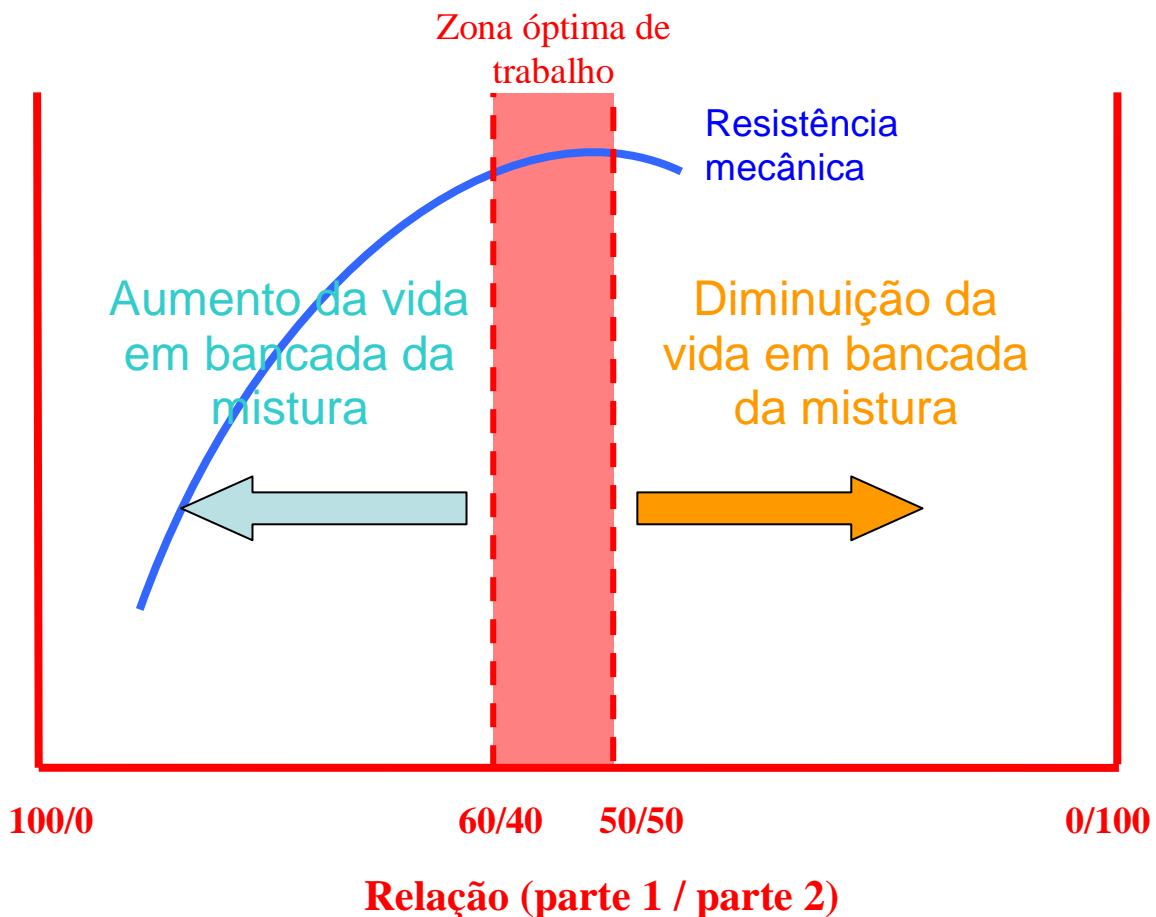


Gráfico 2.7 - Influência da relação parte 1 / parte 2 na vida de banca e resistência mecânica [8].

Na produção de machos para ligas de alumínio, podem ser utilizados teores mais baixos de aglomerante na faixa de 0,8% de parte 1 e 2 juntas.

Qualquer misturador pode ser empregue, devendo-se observar o menor tempo possível de mistura. Normalmente adiciona-se primeiro a parte 1 ao misturador já com areia e mistura-se por 1 minuto, adicionando-se de seguida a parte 2, misturando-se por mais um minuto. A mistura, já homogeneizada, deve ser utilizada o mais depressa possível após a sua preparação, visto que a reacção entre as duas partes, mesmo sem o agente de cura, inicia-se imediatamente numa forma lenta [5].

### 2.5.5 Características de utilização do processo, vantagens, desvantagens e defeitos característicos

Após a preparação da mistura, a areia tem vida útil em bancada até três a quatro horas, no entanto é recomendado ser utilizada até duas horas, principalmente na presença de ambientes quentes. A temperatura ocasiona perturbações no sistema de cura acelerando o

processo, devendo-se evitar longos ciclos de mistura. De forma a evitar-se a aderência da areia preparada nas caixas de machos, recomenda-se não utilizá-la antes de se passarem dez a quinze minutos após a sua mistura, no entanto na prática industrial é praticamente impossível implementar esta recomendação [5].

As grandes vantagens deste processo relativamente a outros processo químicos de aglomeração de areias são [3]:

- elevada resistência mecânica das moldações e machos logo após a cura;
- baixa libertação de gases;
- excelente colapsabilidade;
- elevada precisão dimensional;
- elevada produtividade;
- elevada fluidez da mistura;
- excelente acabamento superficial;
- baixa pressão de compactação;
- possibilidade de utilização de caixas de machos em vários materiais;
- dispensa armações metálicas;
- utilização imediata após extracção da caixa de machos;
- possibilidade de obtenção de machos com geometrias complexas;
- formação de carbono vítreo, podendo dispensar pinturas.

Como qualquer outro processo também este tem desvantagens que deverão ser levadas em conta [3]:

- custo elevado das resinas e agentes de cura;
- necessidade de uma areia base de elevada qualidade;
- controlo da temperatura da areia;
- ambiente de trabalho necessita de ser arejado e com exaustão;
- tempo de armazenamento de machos e moldações limitado devido à elevada higroscopia do processo;
- sistema de gaseamento caro;
- a baixa viscosidade do aglomerante pode ocasionar colagem de partes do macho na caixa de machos.

Para a obtenção de peças fundidas de boa qualidade, é necessário o conhecimento dos pontos fracos do sistema e as causas dos defeitos. Alguns dos defeitos mais comuns ao processo caixa-fria são comentados a seguir. [3]

### **2.5.5.1 Veining**

Defeito muito comum em caixa fria, têm a aparência de filamentos, pequenas rebarbas em alto-relevo, localizadas em pontos de elevada solicitação térmica,

Causas possíveis:

- alta densidade de compactação devida à fluidez da mistura;
- dilatação da sílica;
- amolecimento da ligação uretânica.

Soluções:

- uso de aditivos (óxido de ferro  $Fe_3O_4$  em teores até 6%) e tintas refractárias;
- redução do tempo e temperatura de vazamento;
- uso de areia mais grossa.

### **2.5.5.2 Inclusões de carbono lustroso**

A formação de carbono vítreo é mais forte neste processo, principalmente se forem utilizados metais ferrosos. A sua origem é explicada no elevado teor de carbono disponível na resina, no isocianato e solventes utilizados, sendo o oxigénio presente insuficiente para a oxidação total do carbono formado, ocorrendo a formação excessiva de filmes de carbono lustroso durante o vazamento e solidificação do metal.

Se a produção não for excessiva, ou seja poucos machos em cada moldação, poderá ocorrer melhoria do acabamento superficial do fundido, mas em quantidades excessivas de machos numa moldação, este carbono tem tendência a acumular-se, preferencialmente em peças de paredes finas, na superfície do metal durante o enchimento, podendo provocar interrupções nas secções. O defeito apresenta-se em forma de rugas na superfície das peças.

Causas possíveis:

- teor elevado em aglomerantes e decomposição dos mesmos;
- tempo de vazamento longo e temperatura de vazamento baixa;
- turbulência do metal;

#### Soluções:

- reduzir o teor de aglomerantes;
- elevar a temperatura e aumentar a velocidade de vazamento;
- utilizar aditivos, óxidos de ferro em teores entre 1-3 % e pinturas refractárias;
- melhorar os sistemas de gitagem, evitando esquinas vivas, evitando turbulência do metal.

#### 2.5.5.3 Escamas

São protuberâncias e/ou depressões nas superfícies das peças, normalmente associadas à presença de areia que aderiu. Existem dois tipos de escamas, por expansão ou por gás.

As escamas de expansão ocorrem em superfícies grandes e pintadas, normalmente convexas. Com a solicitação térmica nestas regiões criam-se tensões, de tracção e de compressão, que podem provocar quebra e queda de areia, por vezes grandes pedaços.

As escamas de gás resultam de pressões excessivas de gases em áreas próximas à superfície, influenciadas por elevados teores de aglomerantes, pinturas refractárias ainda húmidas ou baixa permeabilidade.

#### Causas possíveis:

- redução da resistência superficial da moldação ou macho;
- exposição a elevadas temperaturas (irradiação de calor);
- macho ou moldação danificados.

#### Soluções:

- aumentar o teor em aglomerante;
- reduzir o tempo e a temperatura de vazamento;
- não utilizar machos recuperados;
- controlar o tempo de mistura.

#### 2.5.5.4 Pinholes

Pequenas cavidades profundas na superfície das peças, comuns em ligas ferrosas. A água forma com o isocianato um derivado uretânico bastante instável, que, mediante solicitação térmica, decompõe-se e liberta azoto e água. Sem a presença de água, o azoto permanece fortemente ligado à molécula poliuretânica, não ocorrendo o defeito.

Causa possível:

- presença de água no sistema.

Soluções:

- utilizar aditivos na mistura ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  em teores até 6%);
- reduzir o teor em parte 2;
- diminuir o teor de água no sistema.

#### **2.5.5.5 Aderência na caixa de machos**

Ocorre a aderência do macho à caixa de machos, e parte do macho permanece agarrada após a extracção. Comum em regiões próximas a bicos de sopro e de menores espessuras.

Causas possíveis:

- falta de desmoldante;
- elevado teor em aglomerante;
- falhas de projecto da caixa de machos;
- superfície irregular da caixa de machos;
- pressão elevada de sopro.

Soluções:

- utilizar desmoldante adequado;
- reduzir o teor em aglomerante;
- verificar a superfície da caixa de machos;
- controlar a pressão de gaseamento.

#### **2.5.5.6 Empenamento**

Pode ser provocado por cura incompleta. Deve-se controlar as variáveis do processo e melhorar o projecto das caixas de machos, nomeadamente em termos da colocação dos “vents” para que exista uma cura eficaz dos machos.

### **2.6 Novos sistemas de caixa-fria modificados estruturalmente com propriedades melhoradas**

O aumento da complexidade no design, e no fabrico dos fundidos, nos últimos anos levou inevitavelmente à melhoria contínua das propriedades dos aglomerantes utilizados para a produção de machos. Foi necessário, por exemplo, adaptar o processo de cura química de forma a corresponder aos curtos ciclos exigidos nos processos produtivos e de forma a se atingirem resistências mecânicas cada vez mais elevadas. Paralelamente tornou-se

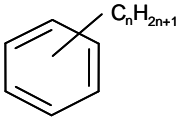
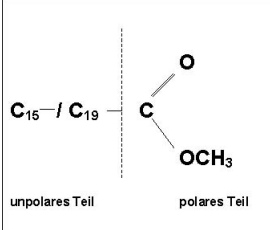
também muito importante melhorar o impacto ambiental destes aglomerantes, o que levou a uma verdadeira revolução e avanço tecnológico nos modernos aglomerantes orgânicos, nomeadamente no processo de caixa fria [9].

Este processo é baseado na formação de poliuretano debaixo do efeito catalítico duma amina terciária. Os dois componentes do processo (parte 1 + parte 2), contêm ambos aditivos e uma considerável quantidade de solventes.

Tais solventes não só servem como um veículo para a resina viscosa de polioli, mas também exercem um efeito significativo no progresso da reacção química, e nas propriedades da areia preparada, e conseqüentemente nos machos produzidos com essa mistura. Estes solventes são responsáveis pelo controlo de propriedades tecnológicas tais como a vida de banca da areia, possibilidade de utilização pinturas refractárias à base de água, resistência dos machos à humidade, colapsabilidade e demais características [9].

As melhorias fundamentais nas propriedades tecnológicas e ambientais do processo de caixa fria nos últimos anos focaram-se no uso de diversos solventes e suas modificações. Assim pode-se observar na tabela 2.5 os três principais tipos de solventes utilizados [9].

Tabela 2.5 - Solventes utilizados no processo caixa fria [9].

<b>Sistema Clássico – Solventes à base Hidrocarbonetos aromáticos</b>	<b>Sistema Biodiesel – Solventes à base de compostos alifáticos</b>	<b>Sistema “TES” – Solventes à base de Silicato de etilo</b>
 <p style="text-align: center;"><math>n = 3 \text{ bis } 14</math></p>		$\begin{array}{c} \text{OR} \\   \\ \text{RO} - \text{Si} - \text{OR} \\   \\ \text{OR} \end{array}$

No seguimento desta dissertação iremos nos concentrar no sistema Biodiesel por ter sido o objecto deste trabalho.

A substituição dos solventes aromáticos pelos compostos alifáticos (ésteres metílicos de ácidos gordos de óleo de plantas) trouxeram inúmeras vantagens tecnológicas para o processo de caixa fria.

A razão principal para a superioridade tecnológica destes ésteres metílicos, sobre os solventes aromáticos, encontra-se na diferente polaridade destes ésteres metílicos. Na molécula dos ácidos gordos é possível encontrar-se uma combinação perfeita entre partes polares e apolares. Esta polaridade tem um efeito marcante nas propriedades dos machos num sistema de caixa fria [9].

A polaridade dum sistema de aglomerantes é principalmente determinado pela polaridade dos solventes utilizados. Esta propriedade controla os processos tais como a difusão da amina através do macho, assim como também afecta a reactividade, quantidade de amina necessária para a cura e o aumento da resistência. A polaridade influencia também na resistência ao armazenamento dos machos em ambientes húmidos e na sua estabilidade quando são aplicadas pinturas refractárias à base de água. Todos estes parâmetros são afectados positivamente quando os ésteres metílicos dos ácidos gordos de plantas são usados como solventes [10].

### **2.6.1 - Vantagens do novo sistema Biodiesel face ao sistema Clássico**

O sistema Clássico, com solventes à base de hidrocarbonetos aromáticos, tem as vantagens de serem componentes de baixo preço, com boa harmonia com a resina fenólica e o isocianato e com relativas boas resistências mecânicas. No entanto, tem os graves inconvenientes de libertação de COV, medíocre resistência térmica e altas emissões de BTX.

Com a utilização do sistema Biodiesel, à base de solventes de alifáticos de origem vegetal, existem significativas melhorias nas resistências obtidas, aumento da reactividade e consequente redução do consumo de catalisador (amina), redução da aderência às caixas de machos, bem como, aumento da estabilidade térmica e redução das emissões de BTX e igualmente significativo abaixamento do odor durante a produção dos machos.

### 2.6.1.1 - Reactividade e diminuição de quantidade de amina necessária para a cura

A reactividade dum sistema de caixa fria tem haver com a quantidade de amina e com o tempo de gaseamento necessário para a cura duma certa quantidade de areia preparada. Assim, a quantidade de catalisador necessário para a cura pode ser bastante reduzido com a utilização destes sistemas de compostos alifáticos conforme se verifica pela análise do gráfico 2.8 [9].

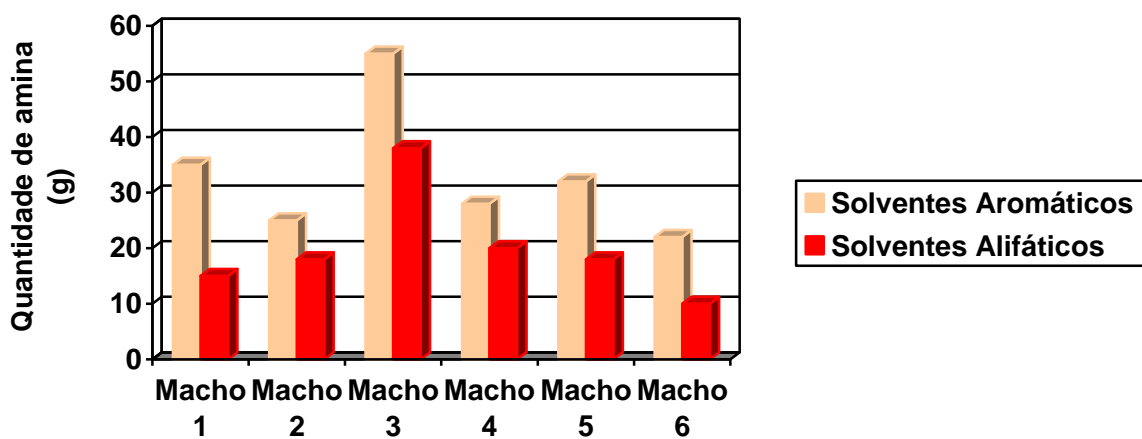


Gráfico 2.8 - Comparação entre a quantidade de amina usada em machos idênticos quando utilizados os processos de caixa fria com solventes aromáticos (sistema Clássico) e alifáticos (sistema Biodiesel) [9].

Também o tempo de gaseamento, conforme se pode observar no gráfico 2.9 [10] pode ser reduzido e consequentemente existe um aumento da produtividade.

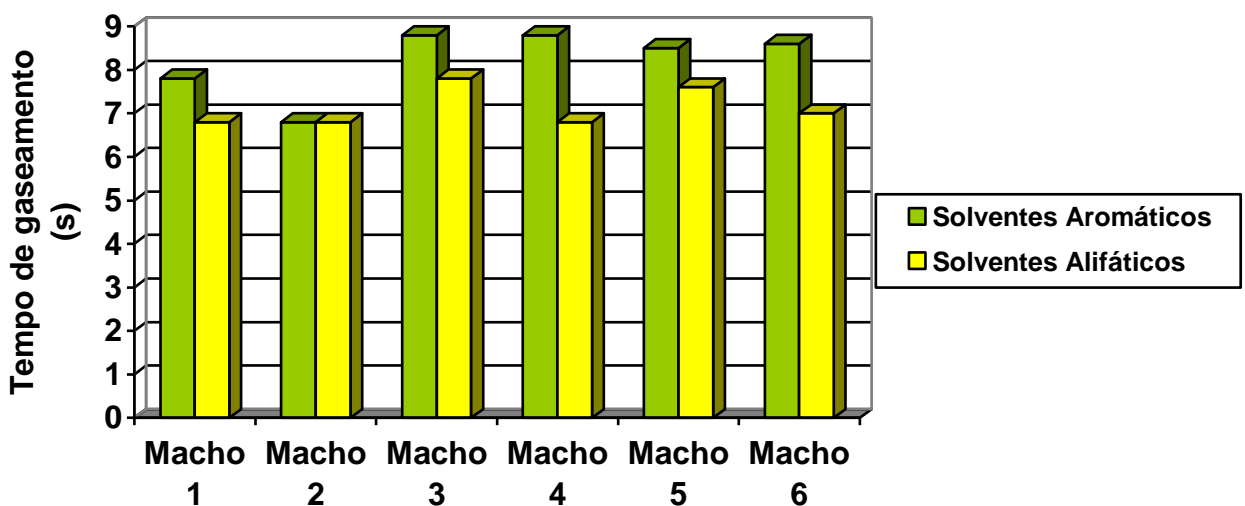


Gráfico 2.9 - Comparação do tempo de gaseamento em machos idênticos quando utilizados os processos de caixa fria com solventes aromáticos e alifáticos [10].

### 2.6.1.2 - Resistências mecânicas dos machos

A resistência mecânica após extracção da caixa de machos é um parâmetro muito importante nos sistemas de aglomerantes poliuretânicos. A resistência à flexão determina a possibilidade da utilização no imediato dos machos produzidos, propriedade muito importante principalmente para a indústria automóvel, onde muitas vezes são colocados robots à saída das máquinas para a sua manipulação e eventual pintura por imersão. Na tabela 2.6 [11] é possível verificar-se como a utilização de solventes alifáticos conduz a um aumento da resistência à flexão. Este nível de resistências mantém-se mesmo após uma longa vida em bancada da mistura de areia.

Tabela 2.6 - Comparação da resistência à flexão obtida entre os processo de caixa fria Clássico e Biodiesel (Mistura de areia: Areia C-55, parte 1:0,7%, parte 2:0,7%; Pressão de disparo 3 atm.; DMEA: 0,5 c.c. / 2 provetes = 9,3% sobre a soma das resinas; Ar varrido: 20 segundos com ar seco a 1,5 atm) [11].

Sistema utilizado	Resistência à flexão (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Imediato	1 hora	24 horas
Clássico	9	19	28
Biodiesel	17	27	30

O gráfico 2.10 [9] apresenta como a resistência à flexão, em ambientes húmidos, é também consideravelmente melhor com a utilização do novo processo de caixa fria.

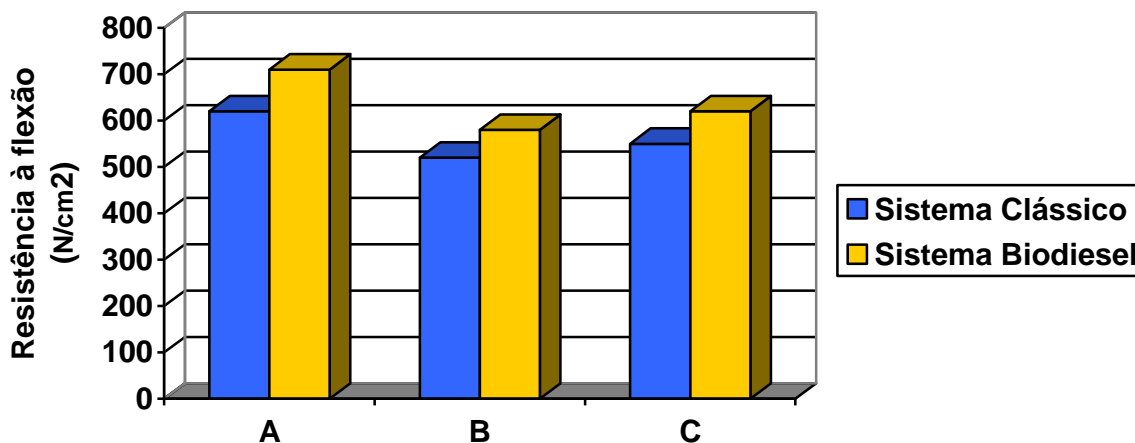


Gráfico 2.10 – Comparação da resistência à flexão em ambientes húmidos entre os sistemas Clássico e Biodiesel (Mistura de areia: Areia 100 GT H32, parte 1:0,7%, parte 2:0,7%; A – machos mergulhados 0 horas em pintura refractária à base de água, secos numa estufa a 150 °C e testados após arrefecimento; B – machos mergulhados 24 horas em pintura refractária à base de água, secos numa estufa a 150°C e testados após arrefecimento; C – machos armazenados durante 48 horas com humidade relativa de 99% [9].

### 2.6.1.3 - Aderência às caixas de machos

Durante o enchimento das caixas de machos, o disparo faz com que os grãos de areia aglomerados com resina adiram à superfície da caixa de machos. Isto provoca um acumular de depósito de resina na caixa de machos, que aumenta a dificuldade de desmoldação.

A utilização das novas resinas à base de solventes vegetais (sistema Biodiesel) proporciona uma excelente separação entre o macho e a superfície do molde conseguindo-se um menor consumo de desmoldante bem como maior produtividade devida à diminuição dos tempos mortos para a sua aplicação. Conforme se verifica no gráfico 2.11 existe um significativo

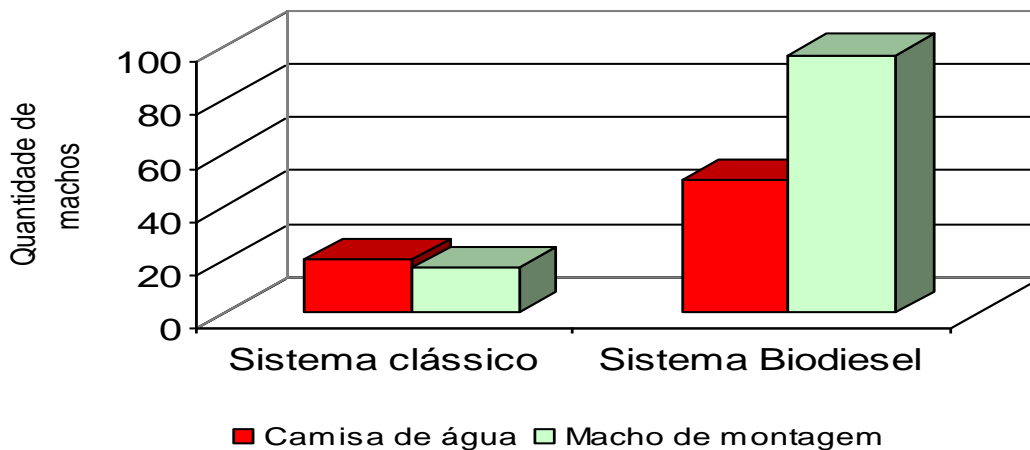


Gráfico 2.11 – Comparação do número de machos produzidos entre cada nova aplicação de desmoldante quando utilizados diferentes sistemas de caixa-fria numa fundição de ferro da indústria automóvel [12].

aumento de produção de machos entre cada nova aplicação de desmoldante na caixa de machos [12].

### 2.6.1.4 - Estabilidade térmica

Comparativamente com outros processos de produção em série de machos, como por exemplo o processo caixa quente (*hot-box*) e a areia prerevestida, o sistema clássico de caixa fria apresenta maior perda de resistências durante o vazamento. O fundamento da perda de resistência em quente deve-se à migração dos solventes aromáticos das zonas mais quentes do macho para as zonas mais frias. Estes solventes vaporizados que se condensam nas zonas frias, debilitam as pontes de poliuretano que unem os grãos de areia, podendo dar origem a erosões, desprendimentos, veining e variações dimensionais.

No sistema Biodiesel, a temperatura polimeriza os ésteres metílicos presentes na formulação, os quais estabilizam as pontes de poliuretano e aumentam as resistências nas zonas com alta solitação térmica. A prática tem demonstrado o excelente comportamento térmico que apresentam as resinas baseadas nesta tecnologia, não tendo havido evidências de erosões e desprendimentos, e a tendência para a formação de veining é consideravelmente menor. Comparativamente com os sistemas baseados em solventes aromáticos consegue-se uma maior precisão dimensional devido à baixa deformação que apresentam os machos durante o vazamento e solidificação das peças [9].

### 2.6.1.5 - Emissões Poluentes e odor

Em conjunto com as várias vantagens técnicas, os ésteres metílicos (solventes alifáticos) também proporcionam melhorias ambientais consideráveis quando comparados com os compostos aromáticos tradicionais. Em contraste com os hidrocarbonetos aromáticos, os ésteres metílicos são líquidos de baixo odor com ponto de ebulição mais alto (cerca de 300 °C) e de inflamação. As pressões dos vapores criados pelos ésteres metílicos são também bastante baixos, e por esta razão, o índice de vaporização destes solventes durante a produção e armazenamento de machos é tão baixo que praticamente não se detecta qualquer tipo de odor. No gráfico 2.12 é possível comparar-se as emissões de odores de diferentes processos usados para a produção de machos [9].

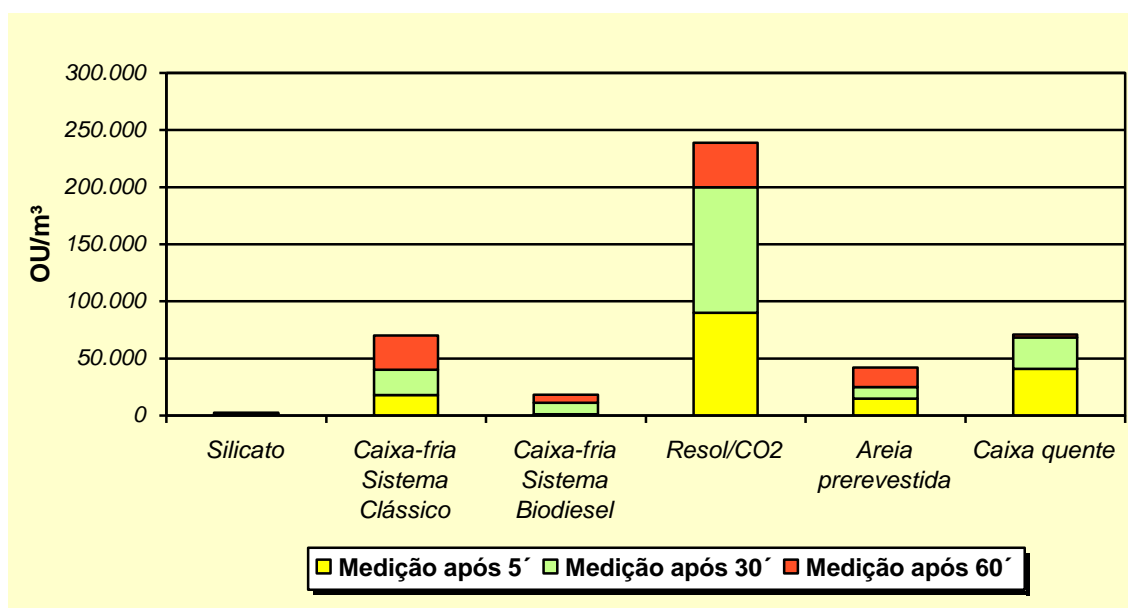


Gráfico 2.12 – Comparação de emissões de odores com machos idênticos produzidos por diferentes processos de aglomeração de areias [9].

O uso destes novos solventes alifáticos em vez dos solventes tradicionais diminui o alto nível de compostos voláteis para cerca de metade, e simultaneamente a redução da quantidade de catalisador devido á maior reactividade deste novo sistema de caixa fria. O somatório destes dois efeitos conduz a uma melhoria radical do ambiente das macharias.

A exposição ao calor durante o processo de vazamento leva à formação de produtos degradados. Deve-se ter uma especial atenção aos gases BTX pois estes são libertados para a atmosfera devido à sua relativa alta pressão de vaporização. Através dum grande número de pirólises e de medições em fundições verificou-se que o uso de solventes vegetais (ésteres metílicos de ácidos gordos) nas resinas parte 1 e 2 do processo de caixa fria denominado por Biodiesel levam a uma acentuada redução das emissões de gases poluentes, tanto em fundições de alumínio como de ferro como se pode constatar através do gráfico 2.13 [9].

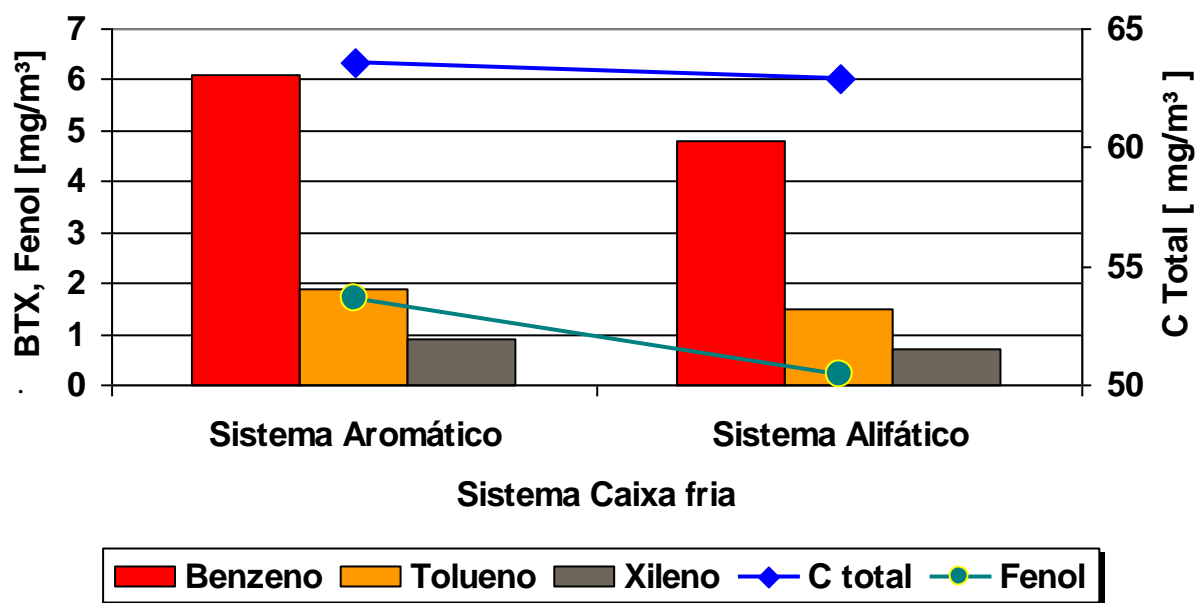


Gráfico 2.13 – Medições típicas de emissões de BTX, Fenol e C total na grelha de desmoldação numa fundição de ferro para a indústria automóvel [9].

## Referências

- [1] AISA - Auxiliar Industrial, S.A. - Ilarduya, Informacion Técnica - Aglomerantes químicos para arenas, 2001.
- [2] Gabriele Galante, Ovidio Michilli, Ruggero Maspero, No-Bake as we see it, Volume 1, IMF Luino, 1997.
- [3] AFS - American Foundry Society, Chemically bonded Cores & Molds - an operator´s manual for the use of chemically bonded, self-setting sand mixtures, 2000.
- [4] AISA - Auxiliar Industrial, S.A. - Ilarduya, Informacion Técnica - Aglomerantes químicos para arenas, 2001.
- [5] Fernandes, Deilon Lopes, Areias de fundição aglomeradas com ligantes fenólico-uretânicos - caixa fria., Itaúna, SENAI-DR.MG, 2004.
- [6] [www.huttenes-albertus.co.uk](http://www.huttenes-albertus.co.uk), Cold Box, acedido em 12/05/2009.
- [7] Serghini Amine, Polyurethan Col-Box - Chemistry of the process and improvement of the last years, Hüttenes-Albertus Chemische Werke GmbH, 2007.
- [8] AISA - Auxiliar Industrial, S.A. - Manual de Instrucciones - Caja Fría, 2007.
- [9] Serghini Amine, Structurally Modified Cold-Box Systems with Improved Properties, Hüttenes-Albertus Chemische Werke GmbH, 2006.
- [10] Dr. rer. nat. M. Torbus, G. Ladégourdie, W. Schuh, Betriebserfahrungen mit Cold-Box Systemen der Neuen Generation, Düsseldorf - GIFA 1999.
- [11] AISA - Auxiliar Industrial, S.A. - Nuevos productos para Caja Fría - Visión de los tipos de aglomerantes actuales, 2007.
- [12] Dr. Chem. U. Pohlmann, Grenzen einer möglichen Geruchsminimierung im Vergleich der verschiedenen Kernherstellungsverfahren, Moulding Matrix Symposium, 2004.

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

Conforme já foi referido nesta dissertação, de forma a se conseguirem atingir os objectivos propostos, e visto que uma das variáveis com maior importância para o processo é a areia de base utilizada, optou-se por uma primeira fase de ensaios laboratoriais para caracterização da areia, de forma a se conseguir definir qual a formulação ideal das resinas a serem utilizadas no ensaio pratico industrial.

Todos os resultados experimentais destes ensaios serão apresentados e discutidos no próximo capítulo servindo este para fazer referência à forma como esses ensaios foram realizados e controlados, bem como os cuidados técnicos e científicos usados durante estes processos.

### **3.1 Ensaios laboratoriais**

#### **3.1.1 - Ensaios comparativos de areias de sílica**

Foram recolhidas amostras da areia de sílica base utilizada na SAKTHI, durante vários dias, de forma a se garantir uma homogeneização da amostra (num total de 200 kg). Foram ainda recolhidas amostras das resinas parte 1 + parte 2 (durante 5 dias recolheu-se 1 kg de cada parte, totalizando uma amostra de 5 kg de cada parte) do sistema Clássico que a fundição usava habitualmente. Ambas as amostras, de areia e das resinas, foram misturadas com equipamentos apropriados para se garantir a sua homogeneização.

Todos os ensaios laboratoriais à areia foram realizados com equipamentos devidamente calibrados e homologados para o efeito.

Numa primeira fase foi analisada a areia utilizada: granulometria, tamanho médio de grão, superfície específica, condutividade eléctrica, pH, teor em finos, perdas à calcinação, teor em óxido de ferro e humidade. Para facilitar iremos passar a designar a areia base de sílica utilizada como AS60.

Nesta primeira fase compararam-se os valores obtidos com a areia AS60, que é utilizada pela fundição com duas outras referências de areias padrão de qualidade elevada que habitualmente são utilizadas para comparação de ensaios e cujas denominações são areia

de sílica H32 e areia de sílica B056. É possível observar os valores encontrados nos três diferentes tipos de areias no Anexo 1.

### 3.1.2 - Ensaios de resistência à flexão com diferentes areias, sistemas de resinas Biodiesel standard e o sistema Clássico utilizado habitualmente

O cruzamento dos resultados obtidos da análise das areias, com os valores resultantes dos ensaios de resistência à flexão permitiram comprovar a influência que a qualidade da areia base utilizada tem sobre a resistência dos machos. Por outro lado, também ajudaram na definição das modificações de formulação das resinas, realizadas pelo fabricante HÜETTENES-ALBERTUS, necessárias para que os objectivos iniciais propostos fossem alcançados.

Os provetes utilizados nos ensaios de resistência à flexão foram produzidos com as diferentes areias de sílica misturadas durante 60 segundos num misturador com 0,8% de resina parte 1 + 0,8% de resina parte 2. Estes provetes foram produzidos numa disparadora de machos laboratorial idêntica à da figura 3.1.



Os provetes foram produzidos com os seguintes parâmetros:

- Pressão de disparo: 4 bar.
- Pressão de gaseamento: 4 bar.
- Tempo de gaseamento: 10 s.
- Catalisador: 0,5 ml DMIA por cada 2 provetes (2 machos/provetes por caixa de machos).
- Humidade do ar do laboratório : 44%.
- Temperatura do laboratório: 21 °C.

Figura 3.1 - Máquina disparadora de machos laboratorial.



Os provetes foram então ensaiados numa máquina universal de ensaios de areia computadorizada como se pode observar na figura 3.2, utilizando-se uma mordaza própria de sustentação de provetes de areia para serem efectuados os ensaios de resistência à flexão conforme também se pode observar na figura 3.3.

Figura 3.2 - Máquina universal de ensaios de areia computadorizada.

Nesta fase prepararam-se quatro diferentes misturas, com o objectivo de se saber a influência da areia base nos resultados dos ensaios de resistência à flexão:



Figura 3.3 - Mordaza de sustentação de provetes para ensaios de resistência à flexão.

- areia AS60 + (0,8% parte 1 + 0,8% parte 2) sistema Clássico utilizado habitualmente
- areia AS60 + (0,8% parte 1 + 0,8% parte 2) sistema Biodiesel standard
- areia H32 + (0,8% parte 1 + 0,8% parte 2) sistema Biodiesel standard
- areia BO 56 + (0,8% parte 1 + 0,8% parte 2) sistema Biodiesel standard

Produziram-se 110 provetes de cada mistura (os resultados apresentados no Anexo 2 são a média de 10 provetes testados para cada ensaio) e realizaram-se ensaios de resistência à flexão utilizando a areia logo após a sua mistura, passado uma hora de ter sido feita a mistura e ainda em ambientes húmidos conforme se pode verificar no Anexo 2. Foi garantido que os tempos de vida em bancada das misturas preparadas foram sempre iguais.

### **3.1.3 – Ensaios de resistência à flexão e profundidade de penetração comparativos entre o sistema Clássico, utilizado habitualmente, e o novo sistema Biodiesel modificado.**

Após se terem feito as alterações necessárias na formulação do sistema Biodiesel standard, com o intuito de melhorar a resistência, fizeram-se novos ensaios de resistência à flexão e fez-se um novo ensaio que nos indica o valor da profundidade de penetração. Este segundo ensaio não é habitual ser feito em laboratório, no entanto, sendo a forma como a fundição controla as resistências dos machos durante a sua produção, foi decidido efectuar-se com o intuito de se obterem resultados o mais aproximados possíveis da realidade industrial. Para ambos os ensaios foram utilizados provetes produzidos com areia imediatamente após a mistura, e provetes com areia com uma hora de armazenamento após mistura.

Ambos os ensaios foram efectuados com provetes produzidos com os seguintes parâmetros:

- Pressão de disparo: 4 bar.
- Pressão de gaseamento: 4 bar.
- Tempo de gaseamento: 10 s.
- Catalisador: 0,5 ml DMIA por cada 2 provetes (2 machos/provetes por caixa de machos).
- Humidade do ar do laboratório: 44%.
- Temperatura do ar do laboratório: 21 °C.



Figura 3.4 - Durómetro de machos.

O ensaio de profundidade de penetração, ou também chamado de dureza do macho, é efectuado recorrendo-se a um equipamento específico designado por durómetro de machos, conforme se pode verificar na figura 3.4. A dureza do macho é determinada ao mover-se cinco vezes para a frente e para trás a fresa do aparelho, numa superfície plana do macho, obtendo-se assim a profundidade de penetração em milímetros.

Neste ensaio, quanto menor for a profundidade de penetração, maior é a dureza superficial dos machos e ou provetes.

No Anexo 3 encontra-se descrito o procedimento correcto utilizado na SAKTHI e nos ensaios efectuados para obtenção da profundidade de penetração conforme se pode observar no Anexo 4.

### **3.2 - Ensaio industriais**

Numa primeira abordagem fez-se um ensaio de apenas um dia de produção (com a produção de cerca de 1000 machos) de forma a validar os resultados esperados e assim poder-se avançar para um ensaio mais prolongado e que no caso foi de um mês de produção.

Numa forma sucinta passamos a explicar o processo produtivo da macharia da SAKTHI.

A macharia tem seis máquinas disparadoras de machos, de diferentes marcas, e com diferentes capacidades produtivas, o que garante a possibilidade de efectuarem uma gama de machos bastante variada, desde algumas poucas centenas de gramas até machos com cerca de 30 kg.

A preparação da areia é feita através dum sistema automático em linha que alimenta todas as máquinas. Para este efeito é usado um misturador descontínuo onde é preparado um dos três diferentes “*batches*” de areia (50, 100 ou 125 kg). A escolha do “*batch*” é feita pelo operador de cada máquina seguindo a indicação da folha de trabalho de cada referência de macho que irá ser produzida. Conforme a melhor pratica indica os “*batches*” são escolhidos dependendo do peso de cada macho e da quantidade de machos em cada caixa de machos de forma a que a mistura de areia seja gasta o mais depressa possível. Seguidamente são introduzidas as resinas parte 1 + parte 2 através de bombas volumétricas para serem misturadas, existindo três programas diferentes de adição consoante o “*batch*” de areia a ser produzido.

Após a mistura ter sido feita é descarregada nos funis de carga das máquinas, sendo então produzidos os machos. Cada macho tem parâmetros específicos definidos nas folhas de trabalho de cada um, e que são controlados pelas máquinas disparadoras. Estes parâmetros

são a pressão de disparo, pressão do gaseamento, tempo de gaseamento (introdução de amina), tempo de ar “*varrido*” \* (cura) e nalgumas máquinas a temperatura da amina.

Após a sua produção os machos são retirados das caixas de machos e quando especificado pintados com uma tinta refractária à base de álcool. De seguida, é feito o seu armazenamento até virem a ser utilizados na linha de moldação.

Em ambos os ensaios existiram parâmetros que foram devidamente controlados.

Assim, antes de cada ensaio, foi verificado o sistema de débito de areia, seguindo o procedimento interno conforme se pode observar no Anexo 5, e o procedimento de débito de resinas, conforme o Anexo 6, para cada “batch”. Esta prática já é utilizada regularmente pela fundição mas, no entanto, na realização dos ensaios, e nomeadamente no caso do débito de resinas, os valores de débito foram alterados dado que se pretendia fazer a redução da percentagem total de adição da parte 1 + parte 2.

Foram também controlados e melhorados, os tempos de gaseamento (introdução de amina) e tempo de ar “*varrido*”, através dos sistemas electrónicos de cada uma das máquinas.

Por fim, foram controladas as durezas superficiais dos machos, ou também referido como ensaio de profundidade de penetração, seguindo o procedimento interno conforme já referido e que se pode observar no Anexo 3.

\* tempo de ar “*varrido*”, é o tempo associado ao ar que é injectado nas caixas de machos de forma a que a amina cure a areia previamente injectada.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

#### 4.1 Resultados e discussão dos ensaios laboratoriais

##### 4.1.1 - Resultados e discussão dos ensaios comparativos de areias de sílica

No gráfico 4.1 é possível observarem-se as distribuições granulométricas das areias AS60, H32 e BO56. Através da análise da distribuição granulométrica das areias conclui-se que a areia AS60 utilizada na SAKTHI tem uma boa distribuição granulométrica em torno de três peneiros, tal como as outras duas referências. A areia AS60 apresenta inclusivamente uma % menor de grãos de areia <0,125 mm relativamente às areias padrão. Assim e conforme referido no ponto “4.3.2.6 Forma, tamanho e estrutura de grão” este tipo de distribuição requer menor quantidade de aglomerantes e possibilitam resistências satisfatórias pois possuem menos superfície específica a ser coberta pela resina.

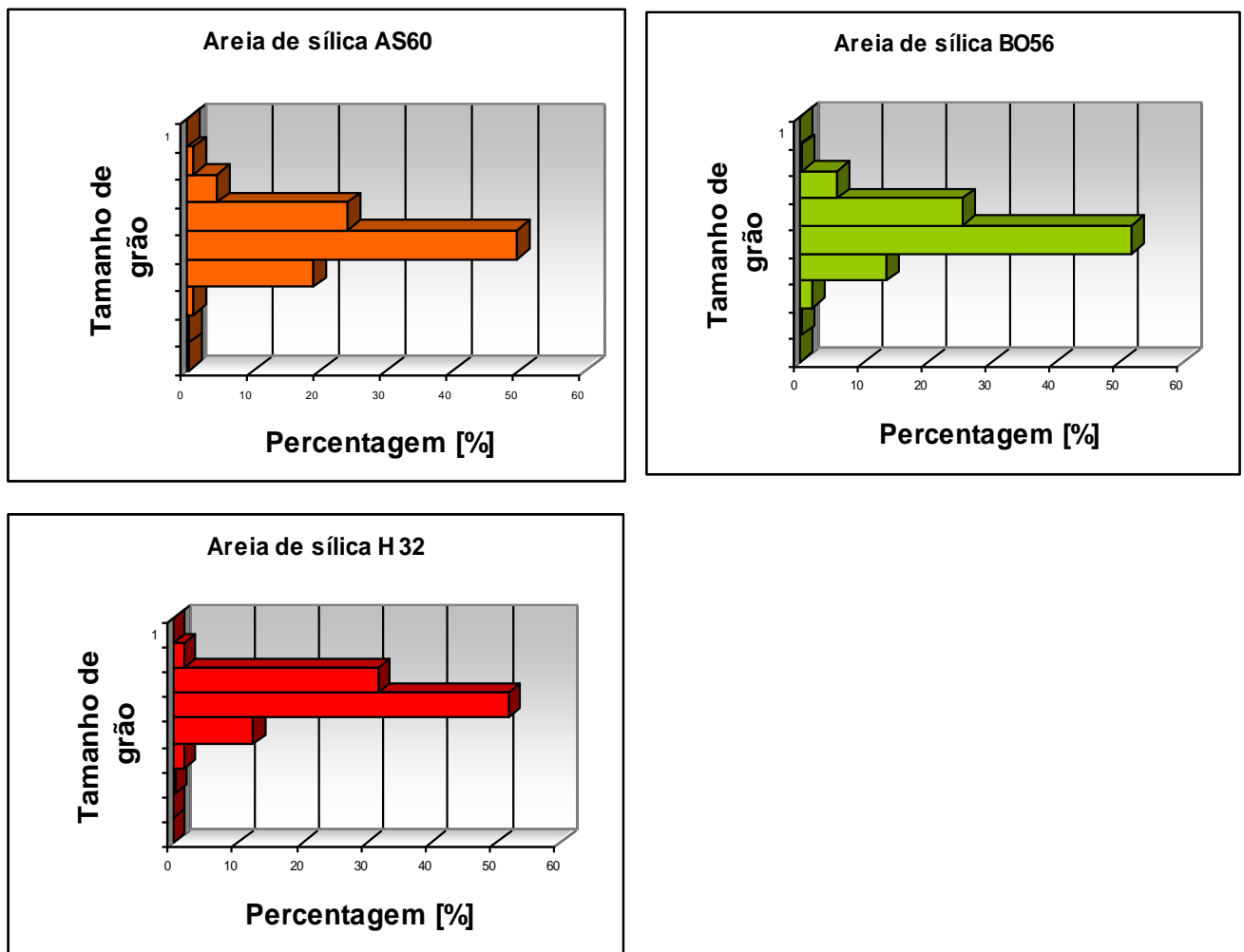


Gráfico 4.1 - Distribuição granulométrica das três areias de sílica ensaiadas.

No entanto, na análise dos resultados apresentados na tabela 4.1, relativos a outros parâmetros importantes que influenciam a qualidade da areia utilizada, encontramos valores da areia AS60 que, quando comparados com as outras duas areias padrão, nos indicam que estamos perante uma areia com uma qualidade inferior pelo que os resultados de resistências serão inferiores conforme se verificará mais adiante. Destes valores, que influenciam negativamente, gostaríamos de dar especial atenção ao pH, finos e humidade, por serem aqueles em que as diferenças encontradas são maiores.

Tabela 4.1 - Resultados de vários parâmetros analisados das areias AS60, BO56 e H32.

<b>Parâmetros</b>	<b>Areia de sílica SAKTHI AS60</b>	<b>Areia de sílica BO56</b>	<b>Areia de sílica H32</b>
<b>Índice AFS</b>	60,5	59,6	44,5
<b>Tamanho médio de grão (mm)</b>	0,232	0,235	0,327
<b>Superfície específica</b>	106,1	109,0	73,3
<b>Condutividade eléctrica (µS/cm)</b>	81	2,8	3,4
<b>pH</b>	4,6	7,1	7,1
<b>Perdas por ignição (%)</b>	0,36	0,14	0,09
<b>Finos (%)</b>	0,28	0,08	0,18
<b>Óxido de ferro (%)</b>	< 0,05	-	-
<b>Humidade (%)</b>	0,30	0,08	0,02

No caso do valor de pH verificamos que contrariamente às areias BO56 e H32, que têm valores neutros, a areia AS60 é uma areia ácida. Conforme referido no ponto “2.5.3.2.5 pH” o processo fenólico-uretânico reage em meio básico, logo poderá esperar-se um maior consumo de catalisador pois uma parte deste será neutralizada pela areia ácida.

Relativamente ao teor de finos, ver ponto “2.5.3.2.7 Teor de finos”, apesar de não ser um valor exagerado, é cerca do dobro do que qualquer uma das outras duas areias pelo que implica um maior consumo de aglomerantes e diminuição das resistências mecânicas.

Finalmente, e no que se refere à percentagem de humidade, verifica-se que os 0,30% são um valor demasiado elevado, que originará a redução da fluidez da areia provocando a queda das resistências após a cura. Também a vida em bancada é menor conforme foi comentado no ponto “2.5.3.2.1 Humidade”.

No Anexo 1 encontram-se pormenorizadamente todos os resultados obtidos para poderem ser consultados.

#### 4.1.2 - Resultados e discussão dos ensaios de resistência à flexão com diferentes areias, sistemas de resinas Biodiesel standard e o sistema Clássico utilizado habitualmente (cada valor é a média de 10 provetes)

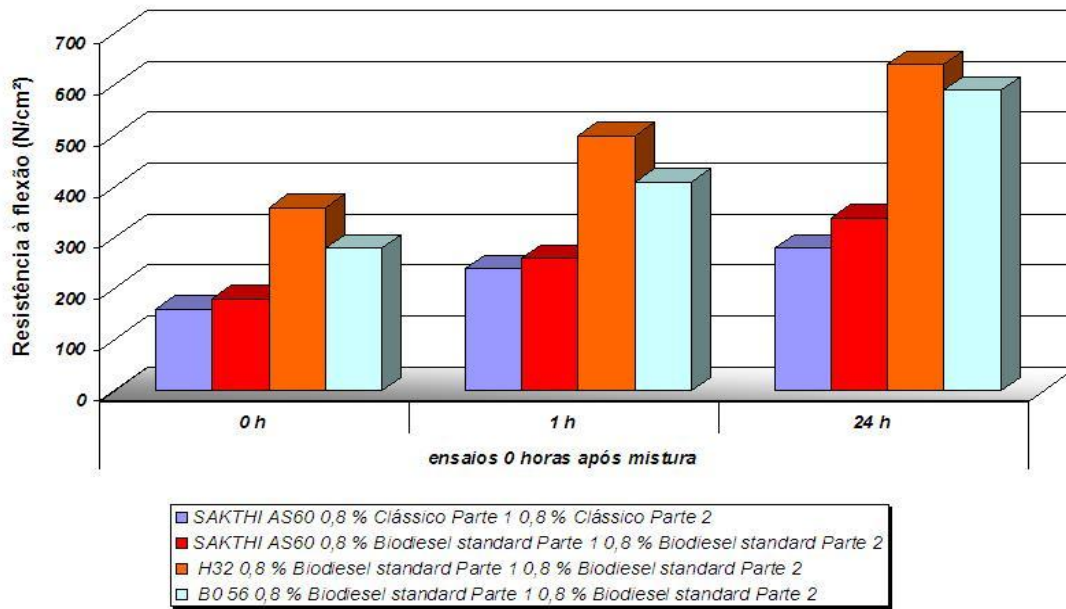


Gráfico 4.2 - Ensaio de resistência à flexão logo após a mistura, de quatro misturas diferentes.

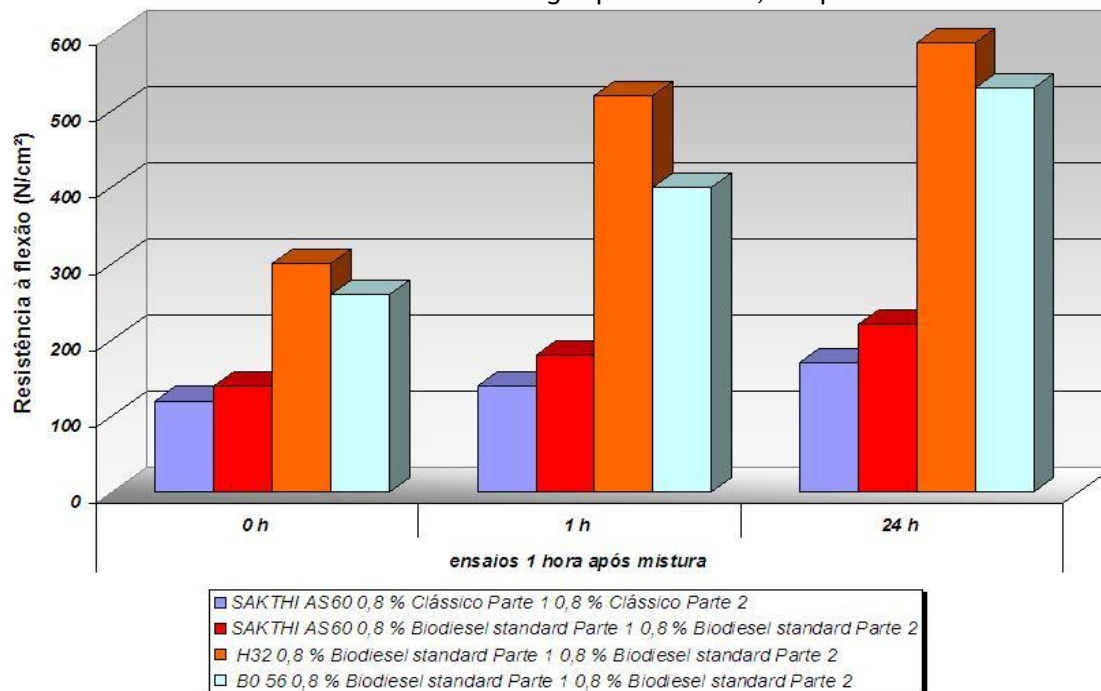


Gráfico 4.3 - Ensaio de resistência à flexão após uma hora de mistura, de quatro misturas diferentes.

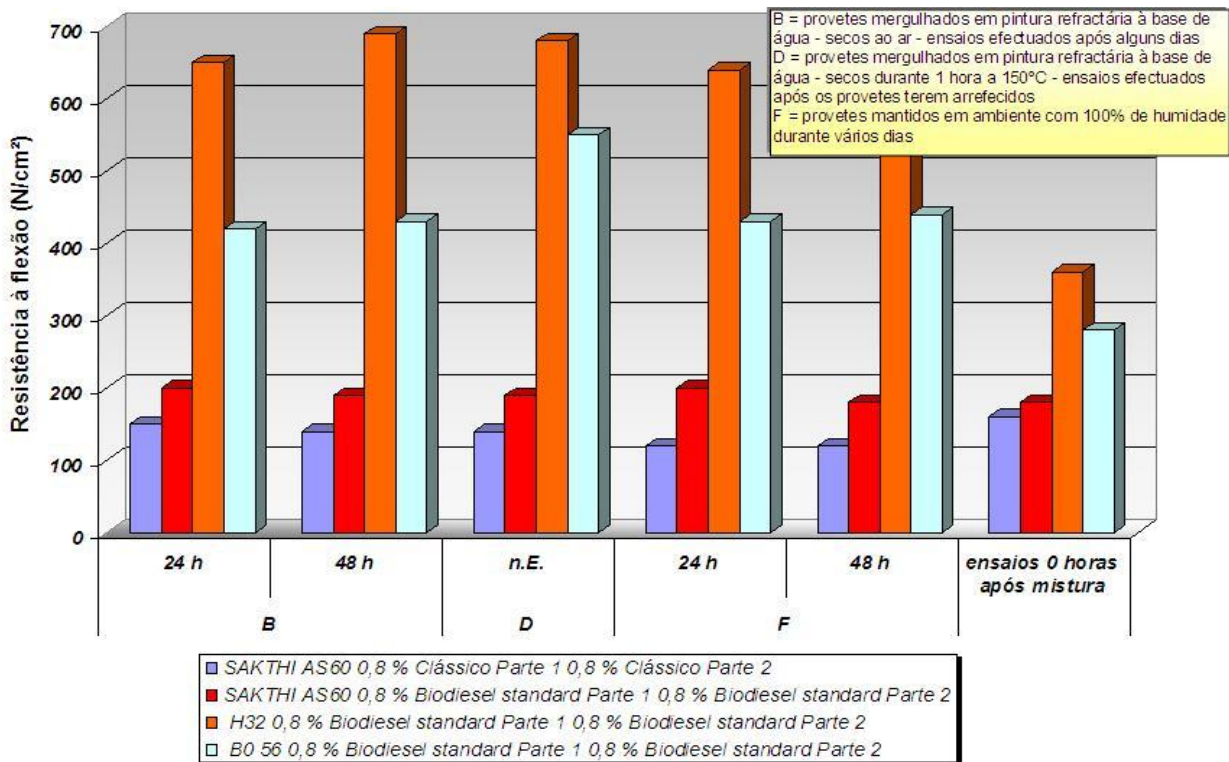


Gráfico 4.4 - Ensaio de resistência à flexão em ambientes húmidos das quatro diferentes misturas.

Através da análise dos gráficos 4.2, 4.3 e 4.4, onde estão representados os valores obtidos dos ensaios de resistência à flexão, e que também podem ser consultados pormenorizadamente no Anexo 2, é de fácil percepção que a qualidade da areia AS60 utilizada pela SAKTHI tem uma influência muito grande nos resultados obtidos. Como se verifica, os valores de resistência à flexão encontrados para as três diferentes situações, quando utilizada a areia AS60 com as resinas Biodiesel standard são ligeiramente superiores aos valores encontrados para a mistura com a mesma areia AS60 e as resinas do sistema Clássico, que habitualmente é usada em termos produtivos. No entanto, quando utilizadas as outras duas referências de areias H32 e B056, com as resinas Biodiesel, os valores são bastante superiores (entre duas a três vezes superiores). Desta forma e tendo em atenção os ensaios efectuados à areia AS60, concluiu-se que seria necessário fazerem-se alguns ajustes na formulação das resinas Biodiesel de forma a compensar a influência negativa de alguns parâmetros da areia AS60, com o intuito de se poderem melhorar os valores de resistência e assim conseguirem-se satisfazer alguns dos objectivos iniciais propostos.

#### 4.1.3 – Resultados e discussão dos ensaios de resistência à flexão e profundidade de penetração comparativos entre o sistema Clássico utilizado habitualmente e o novo sistema Biodiesel modificado.

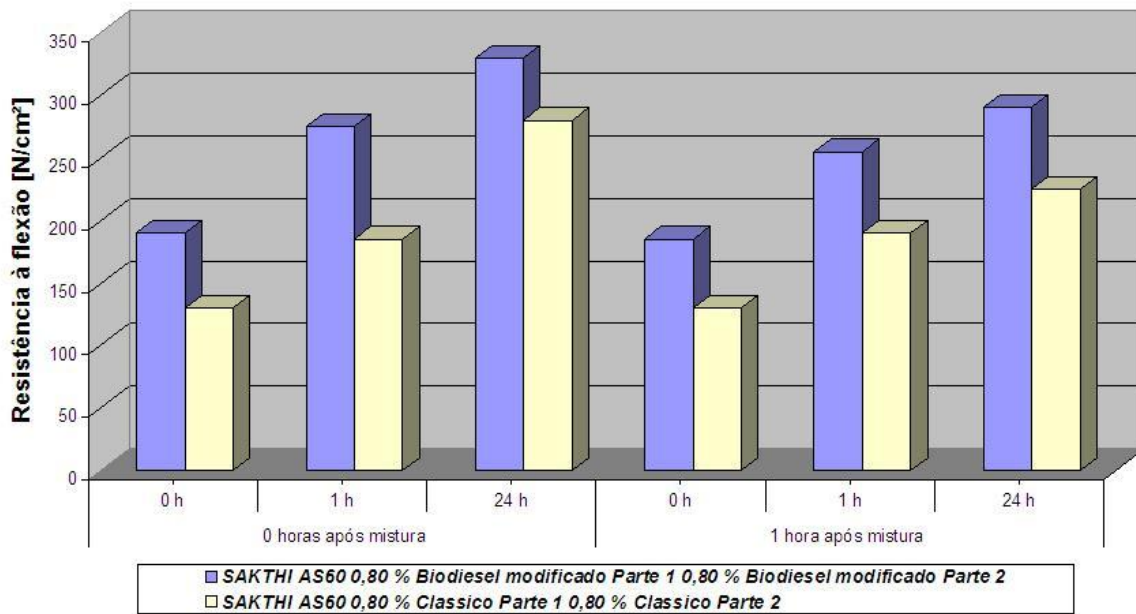


Gráfico 4.5 - Ensaio de resistência à flexão entre o sistema Biodiesel modificado e o sistema Clássico.

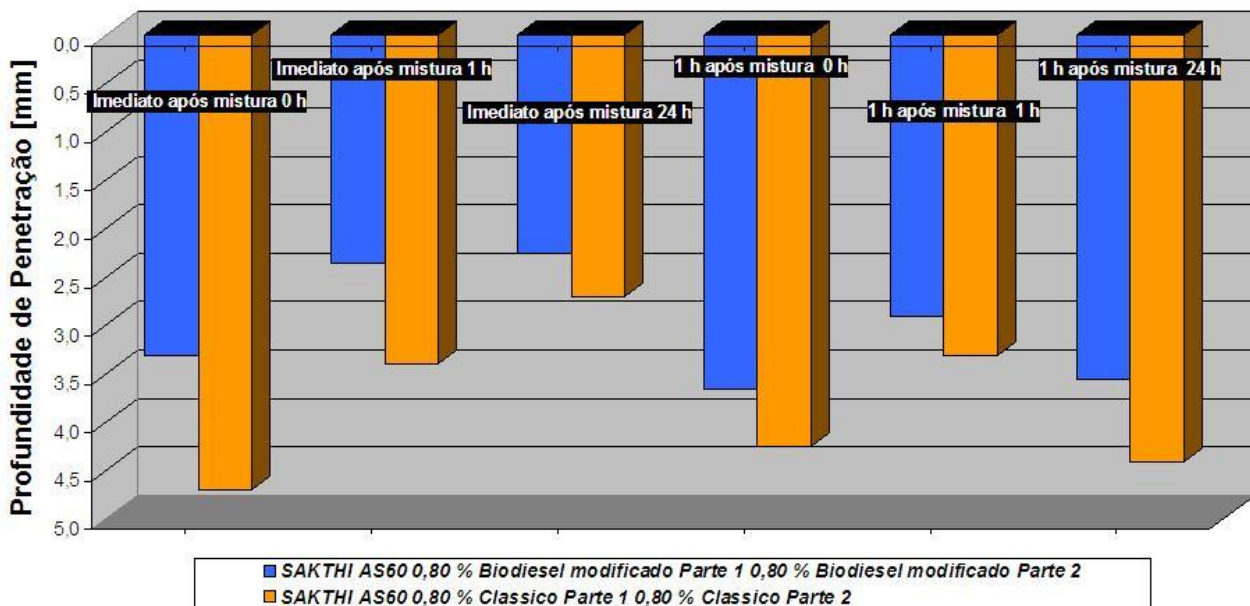


Gráfico 4.6 - Ensaio de profundidade de penetração entre o sistema Biodiesel modificado e o sistema Clássico (o gráfico encontra-se invertido de forma a se associar a profundidade de penetração medida, quanto maior a penetração menor a dureza do macho)

Através da análise dos gráficos 4.5 e 4.6, onde estão representados respectivamente os resultados obtidos dos ensaios de resistência à flexão e de profundidade de penetração, entre os sistema Biodiesel modificado e o sistema Clássico usado, e que também podem ser consultados pormenorizadamente no Anexo 4, verifica-se que a nova formulação da resina Biodiesel permite atingir valores superiores de resistência à flexão e de dureza superficial que variam entre 15-30%, esperando-se pois que estes valores se confirmem em termos industriais de forma a se atingirem os objectivos propostos.

## 4.2 - Ensaio industriais

### 4.2.1 - Resultados e discussão do 1º ensaio de um dia de produção (cerca de 1000 machos produzidos)

Tabela 4.2 - Resultados obtidos no primeiro ensaio industrial de um dia de produção.

Referência do macho	% adição total de resinas	Tempo de gaseamento (s)		Redução do tempo de gaseamento (%)	Tempo de ar “varrido” (cura) (s)		Redução do tempo de ar “varrido” cura (%)	Redução total do ciclo (%)
		Método Fabrico	Optimização		Método Fabrico	Optimização		
3314	1.6	6,0	3,0	50	17,0	14,0	18	26,0
3304	1.6	1,8	1,5	17	22,0	22,0	0	1,2
4120	1.6	1,0	0,5	50	19,0	8,0	58	57,5
3315	1.6	5,0	3,3	34	35,0	22,0	37	36,7

Dos resultados deste primeiro ensaio industrial, e como era de apenas um dia de produção, foi decidido manterem-se os valores de adição de resina em 1,6% (parte 1 + parte 2) conforme habitualmente é utilizada na fundição (ver Anexo 8). Conforme se pode verificar através da análise da tabela 4.2, foram atingidas reduções importantes em termos de consumo de amina (tempo de gaseamento), que variaram entre 17% e 50%, e do tempo de ar “varrido” cura com importantes aumentos de produtividade através da redução dos ciclos de produção de cada macho.

Todos estes valores foram obtidos sem que as durezas dos machos fossem afectados, conforme se verifica através da análise da figura 4.1, onde estão apresentadas as durezas superficiais (profundidade de penetração) obtidas durante este ensaio. Como se pode observar existem apenas dois valores assinalados a amarelo (valores próximos dos limites), que são valores que ainda então dentro dos limites definidos internamente pela SAKTHI

para cada macho. Quando os valores saem fora das especificações são assinalados a vermelho.

Deveremos ainda referir que conforme se pode verificar no Anexo 7, neste ensaio a tendência de desmoldação dos machos foi melhor, tendo também havido uma redução na aderência da resina às caixas de machos. Para além destas situações foi ainda constatado (pelos colaboradores da SAKTHI) que existia um odor menor e menos intenso a resina e a amina.

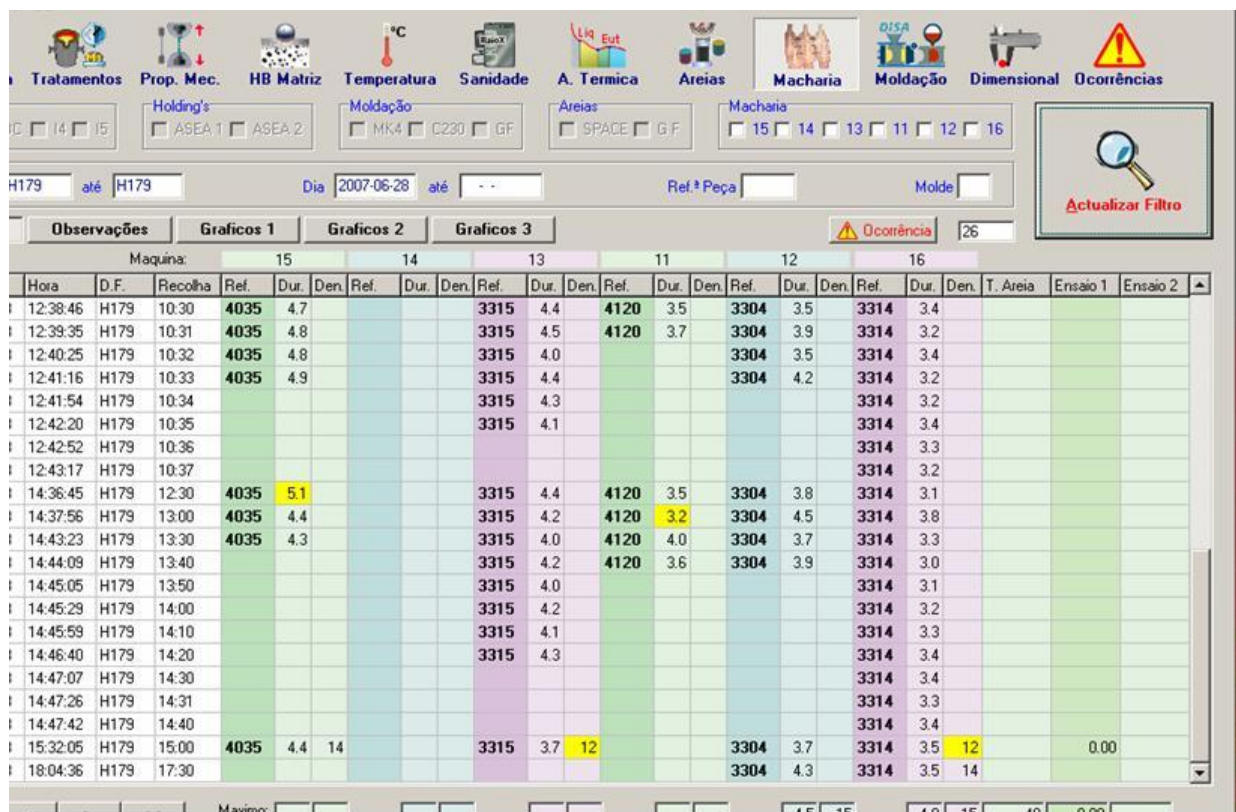


Figura 4.1 – Resultados dos ensaios de dureza superficial dos machos do 1º ensaio industrial de um dia de duração.

#### 4.2.2 – Resultados e discussão do 2º ensaio industrial de um mês de produção (cerca de 20 a 30 mil machos produzidos)

Este ensaio foi efectuado durante duas fases. Uma primeira entre 24/09/08 e 10/10/08 e a segunda entre 05/11/08 e 11/11/08.

Tabela 4.3 - Resultados obtidos no segundo ensaio industrial de um mês de produção, equivalente a uma produção entre 20 a 30 mil machos.

Referência do macho	% adição total de resinas	Tempo de gaseamento (s)		Redução do tempo de gaseamento (%)	Tempo de ar “varrido” (cura) (s)		Redução do tempo de ar “varrido” (cura) (%)	Redução total do ciclo (%)
		Método Fabrico	Optimização		Método Fabrico	Optimização		
3338	1.6	3,2	2,5	22	30	20	33,3	32
3330	1.6	2,5	2,0	20	20	15	25	24
4179/80	1.6	1,2	0,7	41,6	15	15	0	3
4035/36	1.6	0,6	0,6	0	15	12	20	19
3300	1.6	3,2	2,7	15,6	30	25	16,6	17
3305	1.6	3,2	2,0	37,5	30	20	33,3	34
4099/100	1.6	0,5	0,3	40	15	15	0	1,3
3300	1.5	3,2	2,7	15,6	30	25	16,7	17
3310/11	1.5	2,9	2,5	13,8	25	25	0	1,5
4179/80	1.4	1,5	1,3	13,3	20	20	0	1
4077/78	1.4	0,5	0,4	20	15	14	7	7
3314/3291	1.4	5	3,2	36	15	12	20	24
4196	1.4	0,5	0,4	20	15	14	7	7

A interrupção deveu-se a problemas nos sensores das bombas volumétricas que fazem a dosagem da adição de resina conforme se pode constatar no Anexo 8.

Na tabela 4.3 são apresentados os valores médios finais que se conseguiram alcançar durante este ensaio de um mês de produção.

Numa primeira fase de cerca de 3 semanas entre 24/09/08 a 10/10/08 conforme se pode observar no Anexo 8 a adição habitual de 1.6% de resina (parte 1 + parte 2) foi mantida, tendo-se otimizado com reduções significativas o consumo de amina (tempo de gaseamento) e de tempo de ar “varrido” (cura). No gráfico 4.7 pode-se observar, como exemplo, a variação durante este período de tempo das durezas superficiais do macho referência 3314, onde os valores da dureza estão dentro dos valores limites definidos.

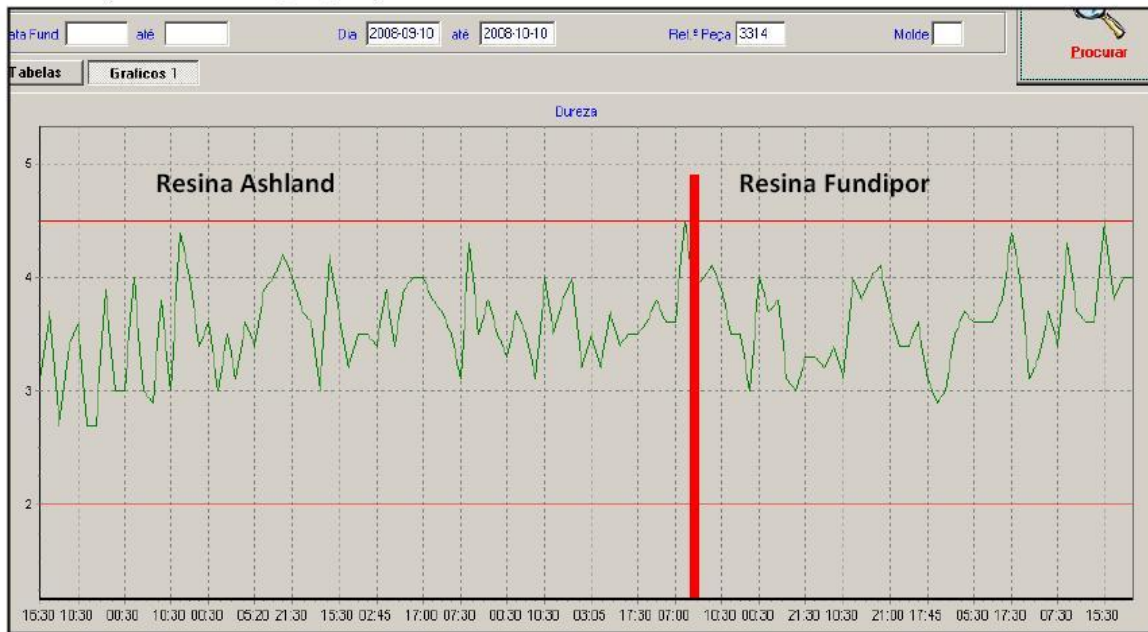


Gráfico 4.7 - Resultados dos ensaios de dureza do macho ref. 3314 entre 10/09/08 e 10/10/08 com uso de resina sistema Clássico (Resina Ashland) e resina sistema Biodiesel (Resina Fundipor).

Na segunda fase do ensaio, reduziram-se as adições de resina (parte 1 + parte 2) de 1.6% para 1.4% passando-se por uma fase intermédia de 1.5% conforme os resultados da tabela 4.3. Nestas fases de redução da adição de resina também se optimizaram os consumos de amina e de tempo de ar “*varrido*” (cura).

No gráfico 4.8 pode-se observar a variação da dureza superficial do macho, referência 3314, em função da variação da adição de resina Biodiesel. Conforme se verifica, tanto com a redução para 1.5% como para 1.4% as durezas mantêm-se dentro dos limites definidos.

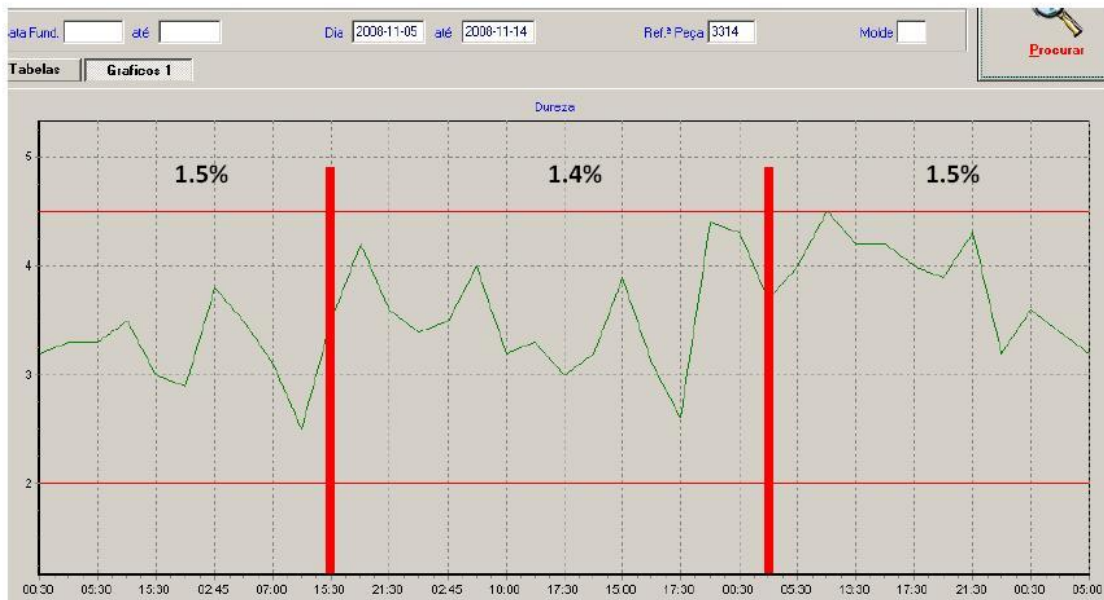


Gráfico 4.8 - Variação da dureza superficial do macho referência 3314 em função da variação da adição de resina (parte 1 + parte 2) sistema Biodiesel.

No gráfico 4.9 é possível observar-se a variação da dureza superficial do macho referência 4077 em função da variação da adição de 1.6% resina sistema Clássico e da adição de 1.4% resina sistema Biodiesel. Como se observa, apesar da redução de adição de resina, os valores de dureza superficial continuam dentro dos limites definidos. Idêntica situação se verifica no gráfico 4.10 para o macho referência 4179.



Gráfico 4.9 - Variação da dureza superficial do macho referência 4077 em função de adição de resina (parte 1 + parte 2) sistema Clássico (resina Ashland) e da resina sistema Biodiesel (resina Fundipor).

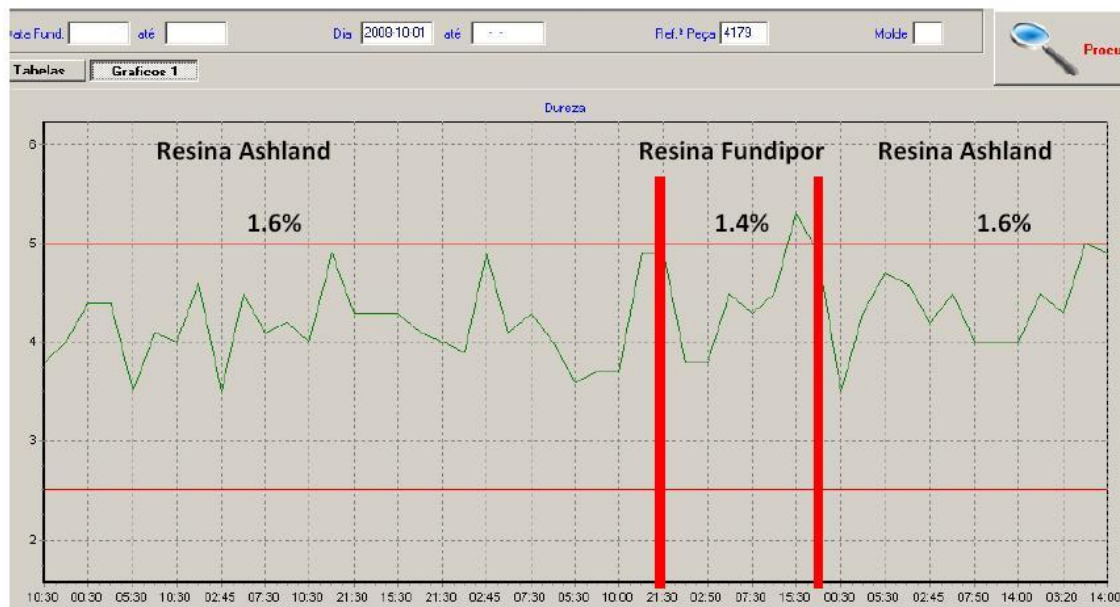


Gráfico 4.10 - Variação da dureza superficial do macho referência 4179 em função da variação de adição de resina (parte 1 + parte 2) sistema Clássico (resina Ashland) e da resina sistema Biodiesel (resina Fundipor).

Devemos referir que no caso do macho referência 3314 a redução para 1.4%, de adição de resina, fez com que houvesse um aumento de refugo desta referência, tendo que se optar pela redução para apenas 1.5%. No entanto em todos os outros machos ensaiados, conforme se constata no Anexo 8 a redução para 1.4% de adição de resina permitiu produzir machos de qualidade com resistências dentro dos limites definidos.

É ainda de salientar que o ambiente no sector da macharia melhorou significativamente em termos de redução de odores de resinas e de amina conforme está referido no relatório de ensaio no Anexo 8.

## CAPÍTULO 5

### Conclusões e perspectivas futuras

#### 5.1 Conclusão

Após a realização deste trabalho e tendo em conta os objectivos previamente definidos e que estão referidos na página 6 desta dissertação podemos concluir que:

- O sistema Biodiesel permite uma melhoria do ambiente de trabalho através da redução do intenso odor a resinas e amina conforme referido nas páginas 56 e 59 desta dissertação.
- A redução do consumo de resinas parte 1 + parte 2 também se confirmou conforme se pode constatar através dos resultados apresentados nas páginas 56 a 59. Foi possível reduzir-se na maior parte dos casos de 1.6% para 1.4% do total de consumo de resinas, o que equivale a uma redução de 12,5%.
- A redução do consumo de amina devido à maior reactividade do sistema foi amplamente comprovado conforme se constata nas tabela 4.2 da página 54 e tabela 4.3 da página 56, existindo uma redução média de 20%.
- Redução das paragens, por aderência da resina às caixas de machos não foi comprovada tão facilmente conforme as anteriores situações pois habitualmente a limpeza das caixas de machos é feita sempre que a caixa de machos é trocada. No entanto, foi referido por um colaborador da fundição, que a aderência da resina às caixas de machos era menor conforme se pode observar na página 55 e no Anexo 7.
- A redução das emissões de gases tóxicos não foi possível de ser confirmado pois a fundição não fez as análises que tinham sido sugeridas. No entanto conforme é referido na página 41 e 42 os estudos existentes e comprovados podem-nos garantir reduções entre 25 a 30% da emissão de gases BTX.

Será também importante referir, que conforme se constata no Anexo 8 só em termos da redução do consumo de amina existe uma poupança equivalente a cerca de 15.000 euros anuais. Para além disso, e apesar, das resinas Biodiesel terem um custo de aquisição mais elevado do que as do sistema Clássico, no final, sendo levado em consideração a redução de consumo de amina, redução de consumo das próprias resinas e ainda o aumento de produtividade devido à redução dos ciclos totais de produção de cada macho, os custos por tonelada de areia preparada serão idênticos ou mesmo inferiores aos actuais.

## 5.2 Perspectivas futuras

O sector da fundição, no seu trabalho contínuo para procurar a melhoria das condições meio-ambientais, são obrigadas a controlar cada vez mais diferentes tipos de emissões. Também a proximidade geográfica de algumas fundições a zonas residenciais, assim como o maior interesse e consciencialização da população acerca do meio-ambiente, criaram uma maior sensibilidade acerca de ruídos e sobretudo odores.

Com o objectivo de que as fundições sejam aceites socialmente, o fundidor deve ser cada vez mais rigoroso em questões de emissões e segurança laboral.

A utilização das novas gerações de resinas sistema Biodiesel, que foram profundamente analisadas e testadas neste trabalho, bem como a última geração de sistema de Silicato de Etilo, que para a sua utilização necessita que seja garantida ausência total de humidade na areia e no ar das máquinas disparadoras de machos, além de permitirem uma drástica redução de emissões nocivas, odores e fumos, oferecem também importantes vantagens técnicas (melhores resistências, redução de consumos de resina e amina, menor aderência às caixas de machos, melhor estabilidade térmica), que deverão compensar o seu maior custo quando comparado com o sistema Clássico.

Estes novos sistemas de caixa-fria oferecem também vantagens para as fundições certificadas ou que estejam em processos de certificação ambiental, visto reduzirem substâncias nocivas em focos gasosos e nas areias residuais.

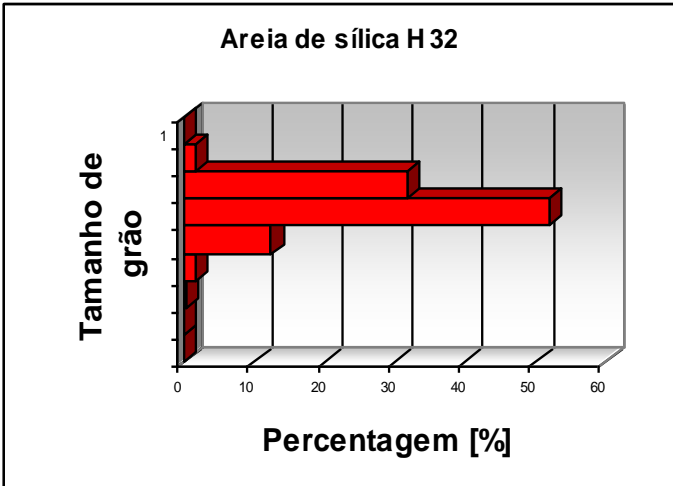
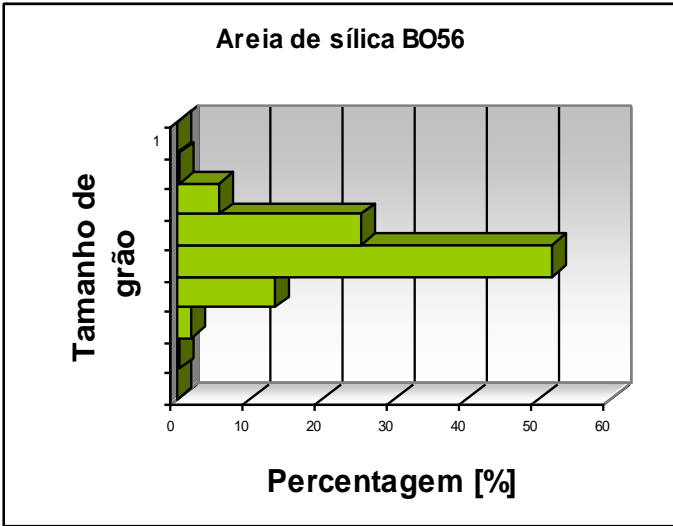
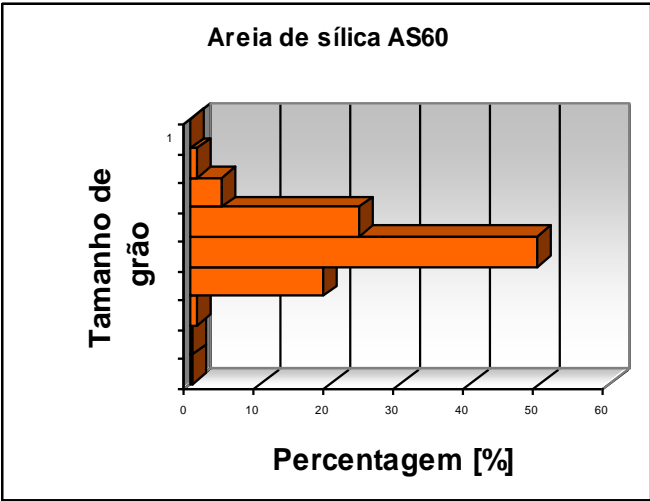
## **Anexo 1 – Ensaaios de areias de sílica**

## RELATÓRIO DE ANÁLISES

### ANÁLISE DE PENEIROS - DIN 3310

Tamanho de grão (mm)	Amostra 1 AS60	Amostra 2 H32	Amostra 3 BO 56	
1,000 - 0,710 [%]	0,2	0,00	0,02	
0,710 - 0,500 [%]	0,92	1,67	0,28	
0,500 - 0,355 [%]	4,55	31,78	5,70	
0,355 - 0,250 [%]	24,06	51,99	25,54	
0,250 - 0,180 [%]	49,69	12,38	52,02	
0,180 - 0,125 [%]	19,02	1,69	13,57	
0,125 - 0,090 [%]	1,10	0,38	2,14	
0,090 - 0,063 [%]	0,36	0,02	0,48	
< 0,063	0,28	0,08	0,18	
Índice AFS	60,5	44,5	59,5	
Tamanho médio do grão (mm)	0,232	0,327	0,235	
Superfície específica	106,1	73,3	109,0	

Parâmetros				
Condutividade eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	81	3,4	2,8	
pH	4,6	7,1	7,1	
Perdas por ignição (%)	0,36	0,09	0,14	
Finos (%)	0,4	0,18	0,12	
Óxido de Ferro [%]	<0,05			
Humidade [%]	0,3	0,02	0,08	



**Anexo 2 – Ensaio de resistência à flexão das  
várias areias com sistema Biodiesel standard e  
sistema Clássico utilizado na fundição**

## RELATÓRIO

- Pressão de disparo: 4 bar;
- Pressão de gaseamento: 4 bar;
- Tempo de gaseamento: 10 s;
- Catalisador: 0,5 ml DMIA por cada 2 provetes (2 machos/provetes por caixa de machos);
- Humidade do ar do laboratório : 44%;L
- Temperatura do laboratório: 21 °C;
- Reprodutibilidade: média de 10 provetes testados para cada ensaio.

### *Resistência à flexão( N/cm<sup>2</sup>)*

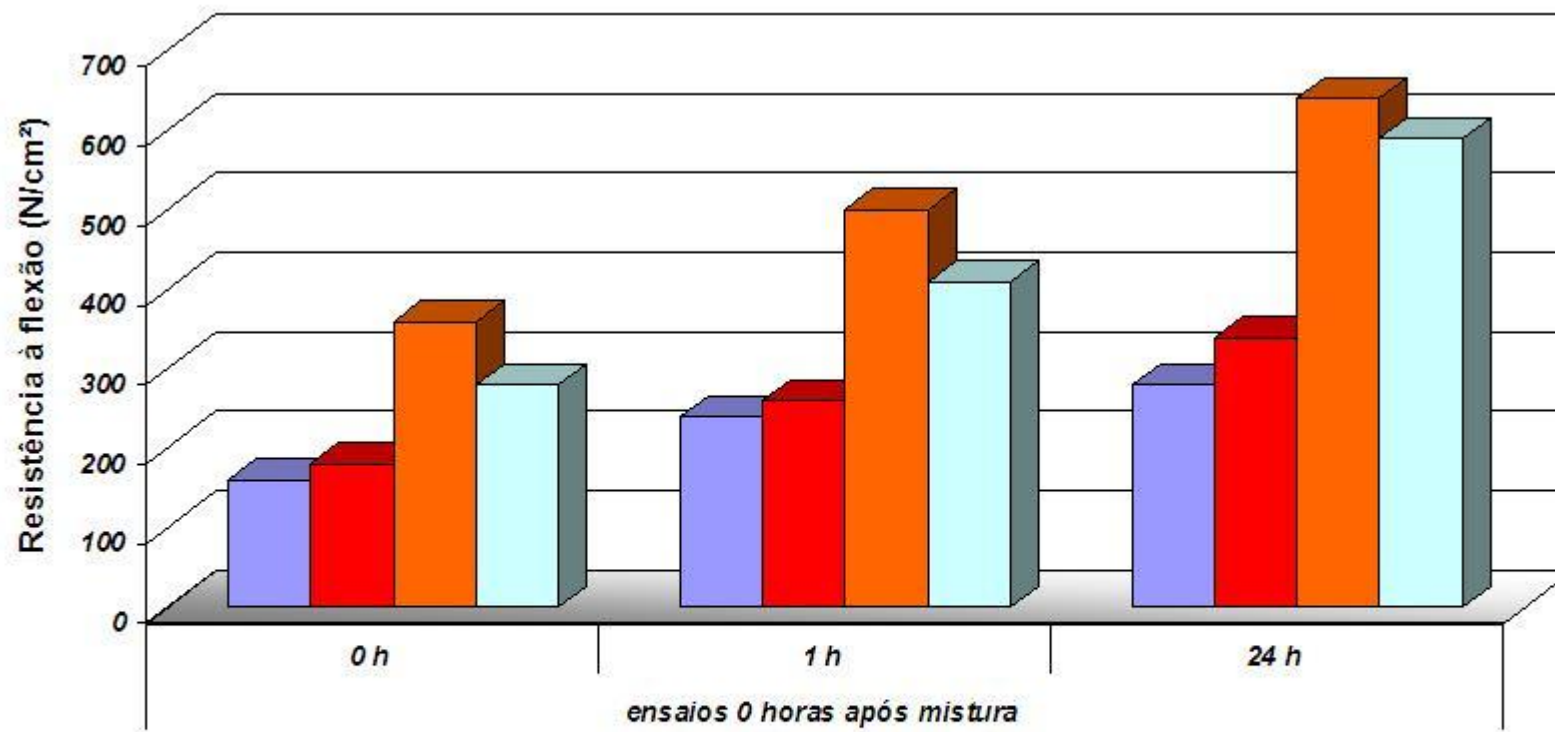
Areias	SAKTHI AS60	SAKTHI AS60	H32	B0 56
Parte 1	0,8 % Clássico	0,8 % Biodiesel standard	0,8 % Biodiesel standard	0,8 % Biodiesel standard
Parte 2	0,8 % Classico	0,8 % Biodiesel standard	0,8 % Biodiesel standard	0,8 % Biodiesel standard

0 h após mistura	0 h	160	180	360	280
	1 h	240	260	500	410
	24 h	280	340	640	590
1 h após mistura	0 h	120	140	300	260
	1 h	140	180	520	400
	24 h	170	220	590	530

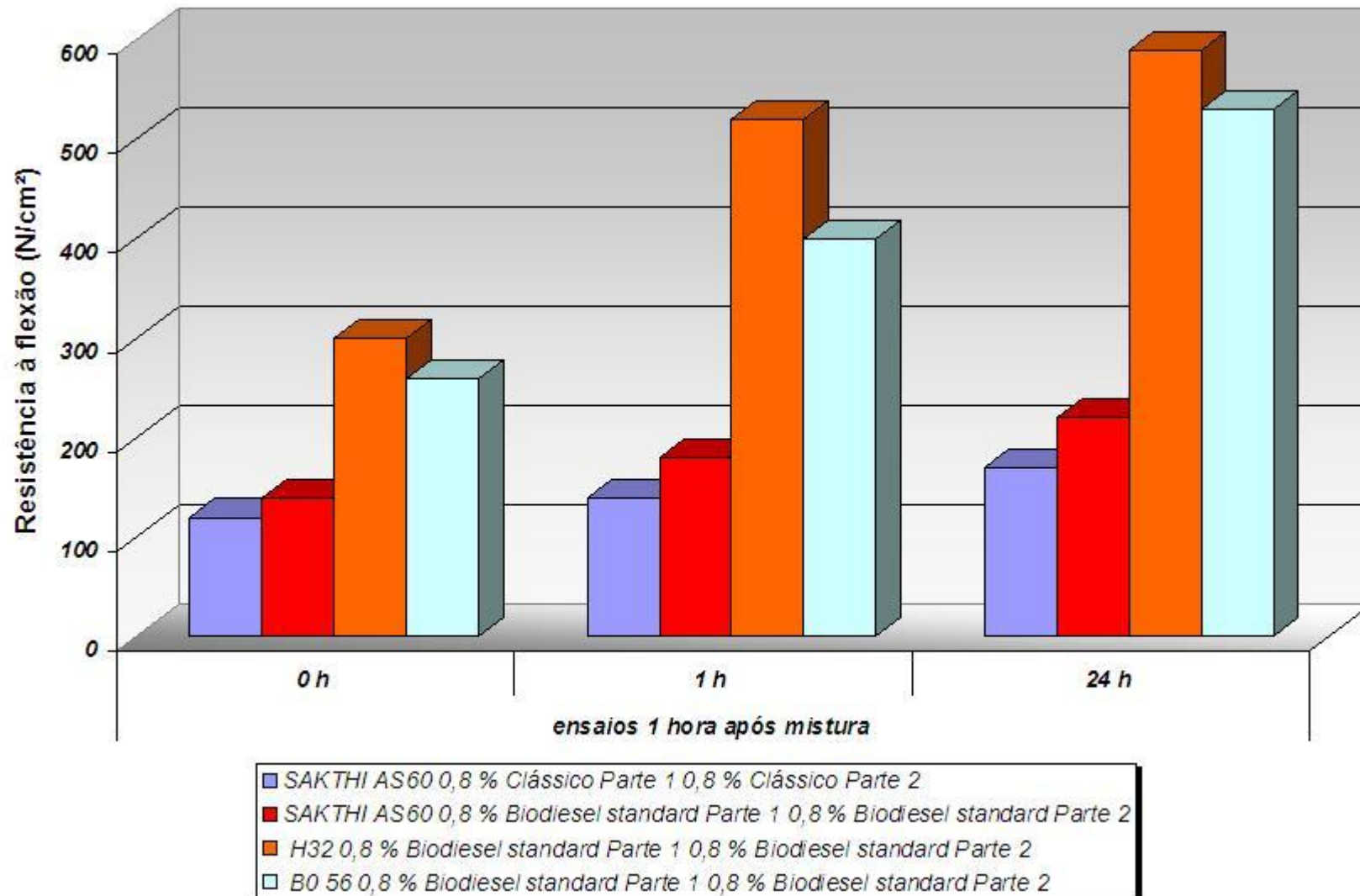
A	24 h				
	48 h				
B	24 h	150	200	650	420
	48 h	140	190	690	430
C	n. E				
D	n.E.	140	190	680	550
E	24 h				
	48 h				
F	24 h	120	200	640	430
	48 h	120	180	660	440

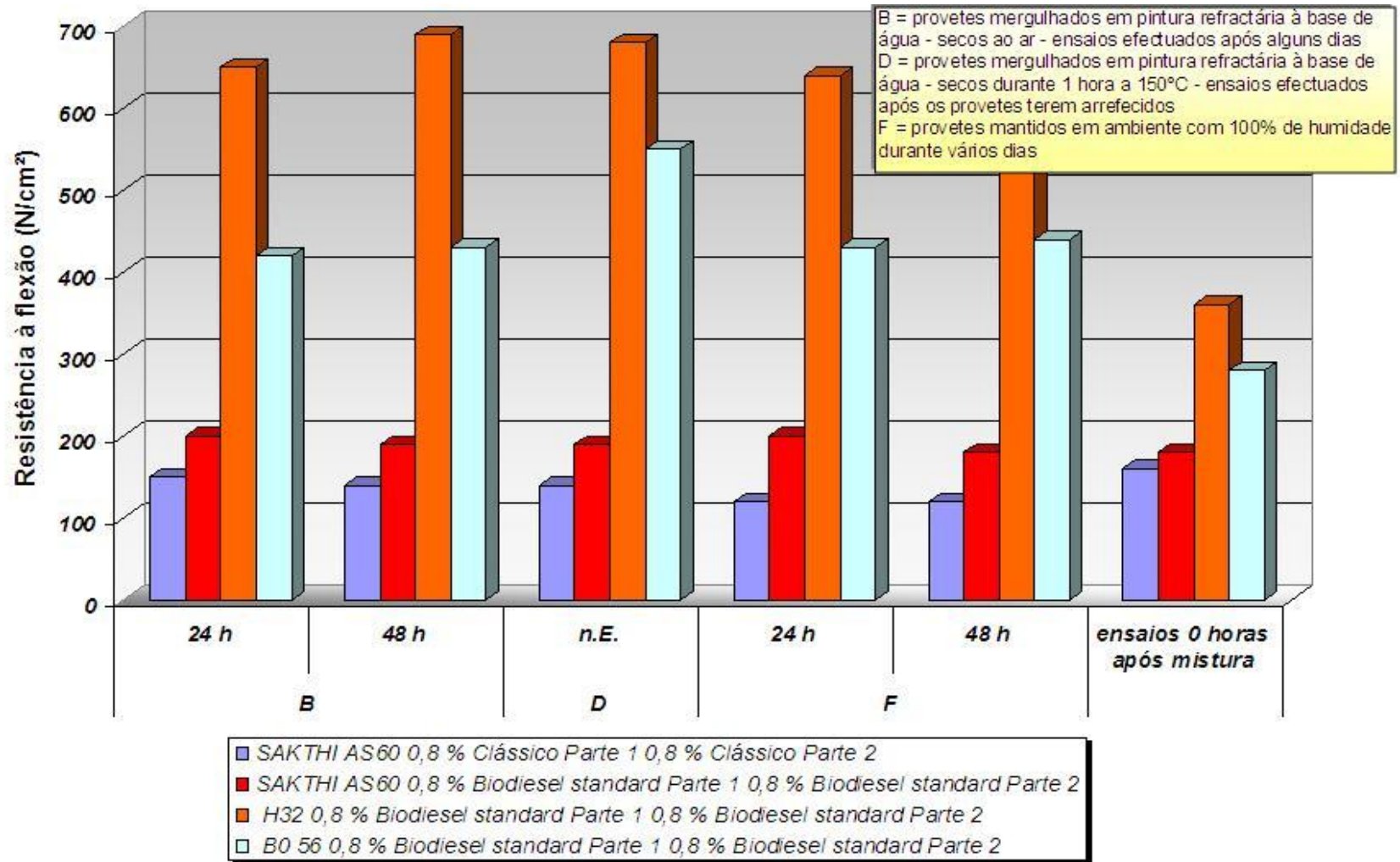
## Legenda

A -	provetes armazenados um dia no laboratório. No dia seguinte , mergulhados numa tinta refractária à base de água – secos ao ar – ensaios após alguns dias
B -	provetes mergulhados em pintura refractária à base de água - secos ao ar - ensaios efectuados após alguns dias
C -	provetes armazenados um dia no laboratório. No dia seguinte , mergulhados numa tinta refractária à base de água. Secos durante 1h a 150°C numa estufa. Provetes ensaiados após terem arrefecido.
D -	provetes mergulhados em pintura refractária à base de água - secos durante 1 hora a 150°C - ensaios efectuados após os provetes terem arrefecidos
E -	provetes armazenados 1 dia no laboratório. No dia seguinte armazenados em ambiente com 100% de humidade . Ensaios após alguns dias.
F -	provetes mantidos em ambiente com 100% de humidade durante vários dias
n.E. -	após os provetes terem arrefecido até à temperatura ambiente da sala



- SAKTHI AS60 0,8 % Clássico Parte 1 0,8 % Clássico Parte 2
- SAKTHI AS60 0,8 % Biodiesel standard Parte 1 0,8 % Biodiesel standard Parte 2
- H32 0,8 % Biodiesel standard Parte 1 0,8 % Biodiesel standard Parte 2
- B0 56 0,8 % Biodiesel standard Parte 1 0,8 % Biodiesel standard Parte 2





## **Anexo 3 – Instrução de trabalho do durómetro de machos**

	<b>INSTRUÇÕES DE TRABALHO</b>	
	<b>Verificação da dureza dos machos</b>	

## INSTRUÇÕES:



1. Botão de Stop
2. Fresa
3. Escala de Medição (mm)
4. Botão de giro, local onde é aplicado o movimento de rotação

- 1 – Verificar se o aparelho está desbloqueado e se o botão de giro está na posição de stop.
- 2 – Ajustar o aparelho firmemente contra o núcleo de uma superfície plana no macho (ver o local exacto nas folhas pedagógicas de dureza para cada tipo de macho), rodando de seguida o botão 5 vezes para a frente e para trás de forma à fresa penetrar no núcleo do macho.
- 3 – De seguida bloqueia-se o aparelho com o botão de stop
- 4 – Lê-se a profundidade da penetração em mm na intersecção da escala (espiral de medição) com a periferia (zona inferior) do botão de giro.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Anexo 4 – Ensaio de resistência à flexão e profundidade de penetração com areia AS60 e resinas Biodiesel modificada e resina Clássica**

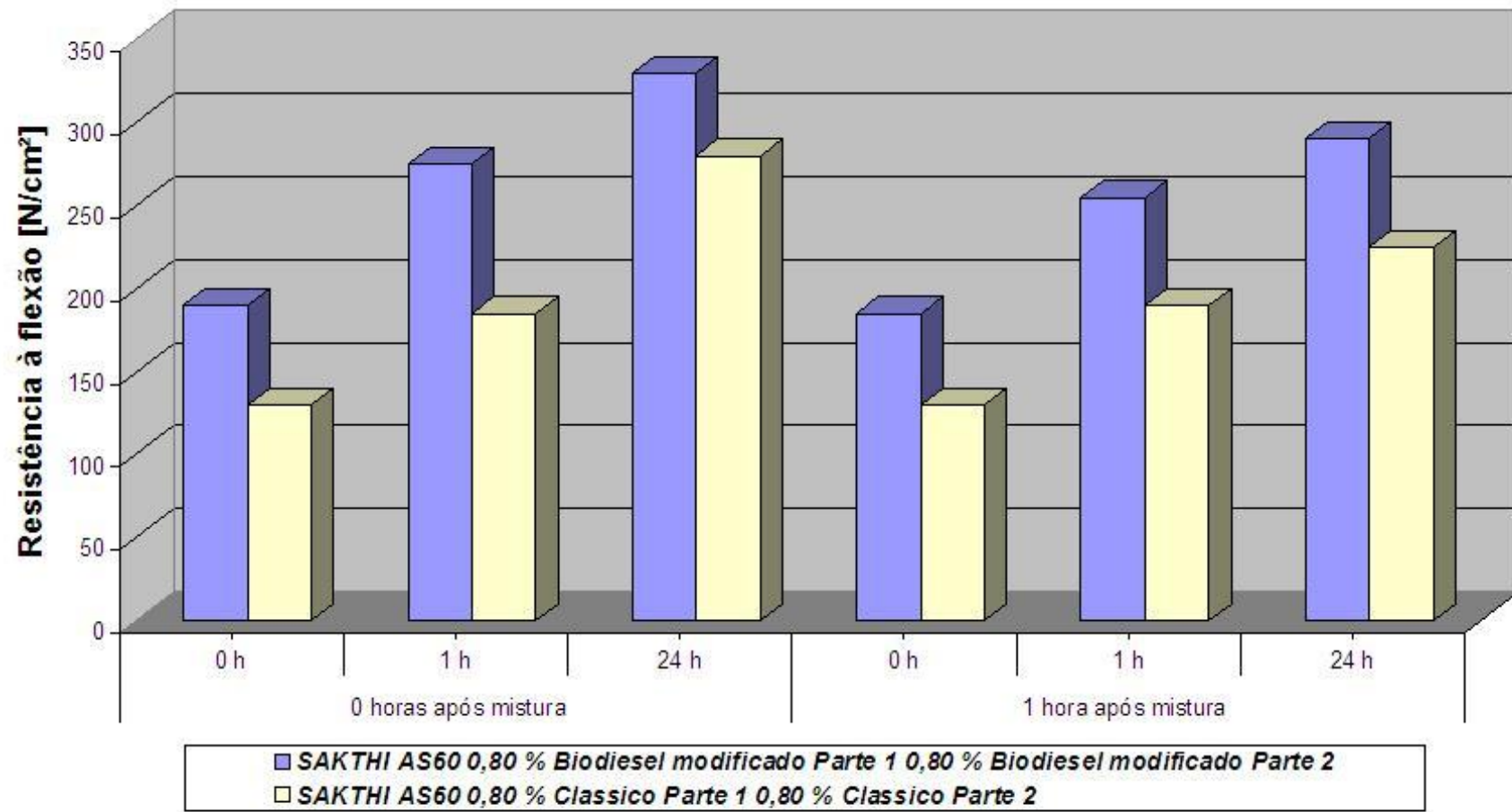
## RELATÓRIO

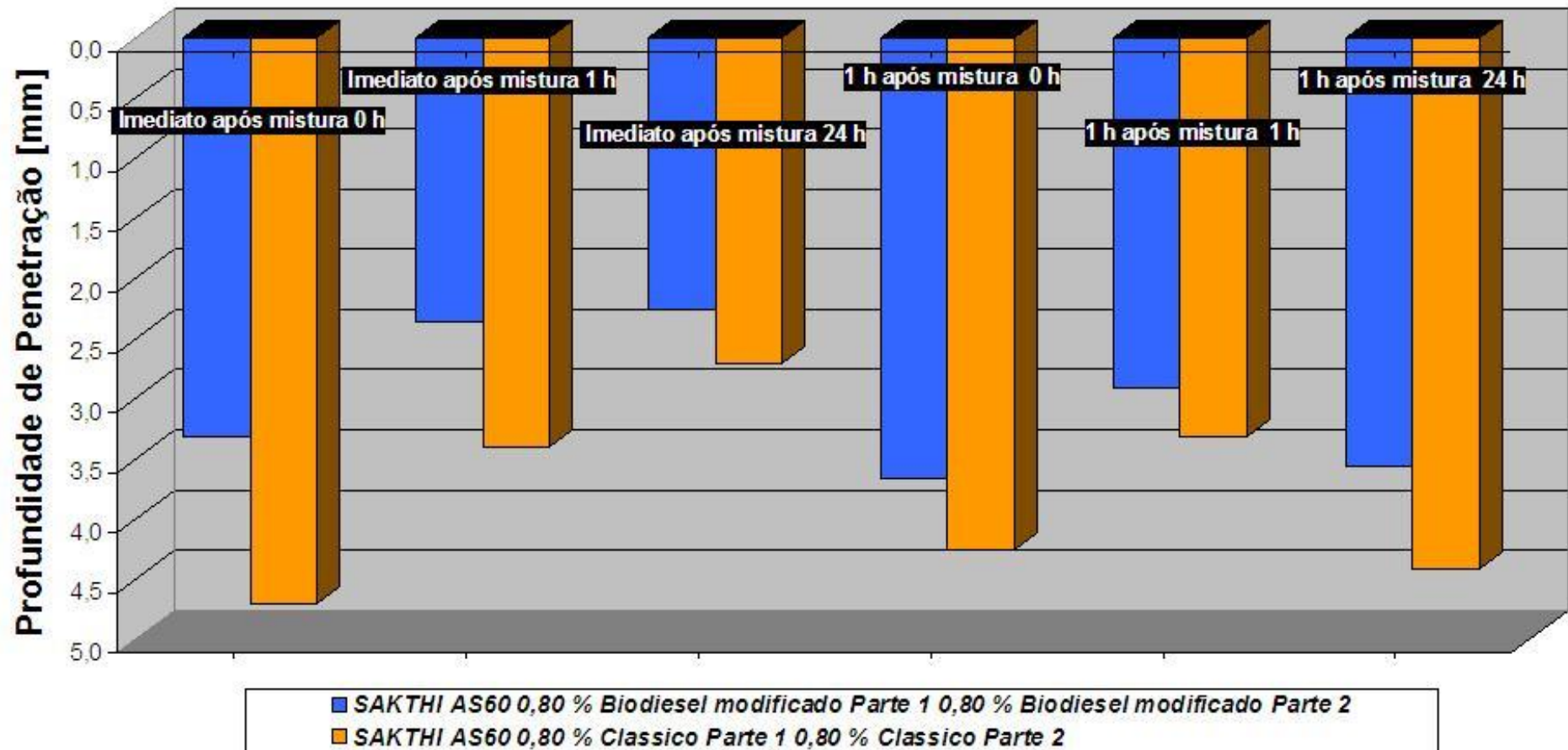
- Pressão de disparo: 4 bar.
- Pressão de gaseamento: 4 bar.
- Tempo de gaseamento: 10 s.
- Catalisador: 0,5 ml DMIA por cada 2 provetes (2 machos/provetes por caixa de machos).
- Humidade do ar do laboratório: 44%.
- Temperatura do ar do laboratório: 21 °C.
- Reprodutibilidade: média de 10 provetes testados para cada ensaio

***Profundidade de penetração  
(mm)***

***Resistência à flexão (N/cm<sup>2</sup>)***

Areia		SAKTHI AS60	SAKTHI AS60	SAKTHI AS60	SAKTHI AS60
Parte 1		0,80 % Biodiesel modificado	0,80 % Clássico	0,80 % Biodiesel modificado	0,80 % Clássico
Parte 2		0,80 % Biodiesel modificado	0,80 % Clássico	0,80 % Biodiesel modificado	0,80 % Clássico
0 h após mistura	0 h	3,3	4,7	190	130
	1 h	2,35	3,4	275	185
	24 h	2,25	2,7	330	280
1 h após mistura	0 h	3,65	4,25	185	130
	1 h	2,9	3,3	255	190
	24 h	3,55	4,4	290	225





## **Anexo 5 – Procedimento para débito de areia**

	MANUAL DE PROCEDIMENTOS DE CALIBRAÇÃO / VERIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	Cap. :	Secção:
		Pag.:	
	Débito de areia	Versão:	Data:
	GARANTIA DA QUALIDADE Distribuição: Lab. Met. ,	Prep.por.:	Aprov.. por:

## 1. OBJECTIVO

O objectivo deste procedimento é descrever o modo de proceder para a verificação do Equipamento de Débito de areia na Macharia.

## 2. ÂMBITO

Este procedimento aplica-se ao sistema de débito de areia existente na **Macharia** e que consta da listagem geral de equipamentos de medida.

## 3. RESPONSABILIDADES

Lab. Met. – Pela elaboração do procedimento

Lab. Met. – Pela verificação periódica do equipamento

G. Qualidade – Pelo arquivo, manutenção e actualização da **BASE DE DADOS**

Sector Utilizador – Pela manutenção e limpeza do equipamento

## 4. PROCEDIMENTO

➡ A verificação deste tipo de equipamentos deve ser efectuada Semanalmente.

A verificação do equipamento consiste efectuar uma verificação do débito de areia, através de pesagem. O operador deve dirigir-se ao encarregado de turno da macharia para este efectuar o ensaio.

O operador de laboratório apenas regista os valores de pesagem, verificando se o sistema está ou não a debitar a quantidade especificada. Existem três programas a verificar, correspondendo cada um deles a batchs de areia diferentes.

Os valores de débito são:

Programa 1 (Batch 50 kg) –  $50 \pm 5$  Kg

Programa 2 (Batch 100 kg) –  $100 \pm 10$  Kg

Programa 3 (Batch 125 kg) –  $125 \pm 12.5$  Kg

Após a verificação ser efectuada, deve-se informar o responsável da macharia de forma a este possa, se necessário efectuar alguma correcção ao sistema.

Os resultados das leituras efectuadas são registados no Modelo SGEM – 006 que é entregue pela Garantia da qualidade. Este modelo tem que ser devolvido no final da semana, devidamente preenchido e assinado.


## **Anexo 6 – Procedimiento para débito de resina/endurecedor**

	MANUAL DE PROCEDIMENTOS DE CALIBRAÇÃO / VERIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	Cap. :	Secção:
		Pag.:	
	Débito de resina/Endurecedor	Versão:	Data:
	GARANTIA DA QUALIDADE Distribuição: Lab. Met.	Prep.por.:	Aprov.. por:

## 1. OBJECTIVO

O objectivo deste procedimento é descrever o modo de proceder para a verificação do Equipamento de Débito de resina e endurecedor na Macharia.

## 2. ÂMBITO

Este procedimento aplica-se ao sistema de débito de aditivos (resina + endurecedor) existente na **Macharia** e que consta da listagem geral de equipamentos de medida.

## 3. RESPONSABILIDADES

Lab. Met. – Pela elaboração do procedimento

Lab. Met. – Pela verificação periódica do equipamento

G. Qualidade – Pelo arquivo, manutenção e actualização da **BASE DE DADOS**

Sector Utilizador – Pela manutenção e limpeza do equipamento

## 4. PROCEDIMENTO

A verificação deste tipo de equipamentos deve ser efectuada Mensalmente.

A verificação do equipamento consiste em efectuar uma verificação do débito de aditivos (resina + endurecedor), através de pesagem. O operador deve dirigir-se ao encarregado de turno da macharia para este efectuar o ensaio.

O operador de laboratório apenas regista os valores de pesagem, verificando se o sistema está ou não a debitar a quantidade especificada. Existem três programas a verificar, correspondendo cada um deles a batchs de areia diferentes.

Os valores de débito são:

$$\text{Resina: } ((1.6\% \pm 0.05\%) \times \text{Peso do batch areia}) * 0.55.$$

$$\text{Endurecedor: } ((1.6\% \pm 0.05\%) \times \text{Peso do batch areia}) * 0.45.$$

Programa 1 (Batch 50 kg) – Alvo  $\pm$  25 g

Programa 2 (Batch 100 kg) – Alvo  $\pm$  50 g

Programa 3 (Batch 125 kg) – Alvo  $\pm$  62.5 g

Após a verificação ser efectuada, deve-se informar o responsável da macharia de forma a este possa, se necessário efectuar alguma correcção ao sistema.

Os resultados das leituras efectuadas são registados no Modelo SGEM – 006 que é entregue pela Garantia da qualidade. Este modelo tem que ser devolvido no final da semana, devidamente preenchido e assinado.


**Anexo 7 – Relatório do primeiro ensaio industrial  
de um dia de produção (equivalente a cerca de  
1000 machos)**

***Relatório de Ensaio com Resinas processo caixa fria sistema Biodiesel.***

***Resinas: Gasharz CB 3370 (n.º lote – KHO 070687) + Aktivator CB 1250 (n.º lote AKD 070321).***

Mistura: 100% Areia Nova AS60  
0,80% Gasharz CB 2270  
0,80% Aktivator CB 1250

O Ensaio foi realizado em todas as máquinas durante um período de  $\pm 24$  horas (equivalente a mais de 1000 machos produzidos de todas as referências) e a optimização focou apenas quatro máquinas devido ao tempo disponível.

**a) Máquina 16, ref.<sup>a</sup> macho 3314**

Tempo gazeamento – 6,0 segundos  
Tempo ar varrido (cura) – 17,0 segundos  
Temperatura amina – 10,2 °C

Macho 1 – penetração imediato, 2,9 m/m  
Após 1 hora, 1,5 m/m  
Macho 2 – penetração imediato, 3,0 m/m  
Após 1 hora, 2,8 m/m

Fizeram-se as seguintes alterações;  
Tempo de gazeamento reduziu-se para 3,0 segundos (- 50%)  
Tempo de ar varrido (cura) reduziu-se para 14,0 segundos (-18%)

Macho 1 – penetração imediato, 3,0 m/m  
Após 1 hora, 2,0 m/m

**b) Máquina 12, ref.<sup>a</sup> macho 3304**

Tempo gazeamento – 1,8 segundos  
Tempo ar varrido (cura) – 22 segundos  
Temperatura amina – não estava a funcionar

Macho 1 – penetração imediato, 3,5 m/m  
Após 1 hora, 3,0 m/m  
Macho 2 – penetração imediato, 3,5 m/m  
Após 1 hora, 2,5 m/m

Fizeram-se as seguintes alterações;  
Tempo de gazeamento reduziu-se para 1,5 segundos (- 17%)  
Tempo de ar varrido (cura) não se alterou.

Macho 1 – penetração imediato, 3,5 m/m  
Após 1 hora, 2,0 m/m

**c) Máquina 11, ref.<sup>a</sup> macho 4120**

Tempo gazeamento – 1,0 segundos  
Tempo ar varrido (cura) – 19,0 segundos  
Temperatura amina – não funcionava

Macho 1 – penetração imediato, 4,5 m/m  
Após 1 hora, 5,0 m/m  
Macho 2 – penetração imediato, 5,0 m/m  
Após 1 hora, 5,0 m/m

Fizeram-se as seguintes alterações;  
Tempo de gazeamento reduziu-se para 0,5 segundos (- 50%)  
Tempo de ar varrido (cura) reduziu-se para 8,0 segundos (-58%)

Macho 1 – penetração imediato, 4,0 m/m  
Após 1 hora, 4,0 m/m

**d) Máquina 13, ref.<sup>a</sup> macho 3315**

Tempo gazeamento – 5,0 segundos  
Tempo ar varrido (cura) – 35,0 segundos  
Temperatura amina – não funcionava

Fizeram-se as seguintes alterações;  
Tempo de gazeamento reduziu-se para 3,3 segundos (- 34%)  
Tempo de ar varrido (cura) reduziu-se para 22,0 segundos (-37%)

Macho 1 – penetração imediato, 4,0 m/m  
Após 1 hora, 3,5 m/m

## ***Conclusões / Observações***

- 1 – Todas as medições foram realizadas pelo Chefe do Turno 1 da macharia da SAKTHI.
- 2 – Não surgiram questões/problemas durante o ensaio.
- 3 – Segundo os trabalhadores e pessoas envolvidas o cheiro é menor e menos intenso.
- 4 – A tendência de desmoldação dos machos é melhor.
- 5 – Existe menor quantidade de resina colada às caixas de machos não sendo necessário limpar muitas vezes as caixas e os filtros. A Chefia Ruivinho informou que na ref. 3314 fazem em situação normal limpeza a caixa machos às 11/12 horas e no dia do ensaio essa limpeza não foi realizada, porque não havia obstrução dos filtros.
- 6 – Segundo indicação do Chefe de Turno e dos Operadores a pele dos machos era menos rugosa (melhor).
- 7 – Esperam-se reduções de 20 a 30 % das emissões de Benzeno, Tolueno e Xileno (gases tóxicos). Os solventes usados são a base de biodiesel.
- 8 – Redução evidente das % usadas na amina e tempos de cura, diminuindo os tempos de ciclo.

É de realçar que se poderão otimizar ainda mais as reduções de tempo de cura e % de amina usada, aumentando-se assim a produção.

- 9 – Os resultados obtidos nas peças fundidas, produzidas com os machos em questão tiveram resultados normais.
- 10 – Espera-se melhorias no acabamento superficial das peças (pele).
- 11 – Em anexo valores registados no Data-Pró, relativos ao ensaio.
- 12 – Mediante os resultados proponho fazermos um ensaio industrial alargado, mínimo de um mês, tendo em vista conclusões finais.
- 13 – É necessário que o nosso Departamento de Aprovisionamentos contacte a Fundipor para que do ponto de vista económico se possa avaliar a matéria-prima ensaiada.

**DataPro**

Ficheiro Dados Sair

C. Química
 Tratamentos
 Prop. Mec.
 HB Matriz
 Temperatura
 Sanidade
 A. Termica
 Areias
 Macharia
 Moldação
 Dimensional
 Ocorrências

Fusão:  A  BBC  I4  I5
 Holding's:  ASEA 1  ASEA 2
 Moldação:  MK4  C230  GF
 Areias:  SPACE  G F
 Macharia:  15  14  13  11  12  16

Data Fund.  até  Dia  até  Ref.ª Peça  Molde

Tabelas Observações Graficos 1 Graficos 2 Graficos 3 Ocorrência 26

Maquina: 15 14 13 11 12 16

Data	Hora	D.F.	Recolha	Ref.	Dur.	Den.	Ref.	Dur.	Den.	Ref.	Dur.	Den.	Ref.	Dur.	Den.	Ref.	Dur.	Den.	T. Areia	Ensaio 1	Ensaio 2	
2007-06-28	12:38:46	H179	10:30	4035	4.7					3315	4.4		4120	3.5		3304	3.5		3314	3.4		
2007-06-28	12:39:35	H179	10:31	4035	4.8					3315	4.5		4120	3.7		3304	3.9		3314	3.2		
2007-06-28	12:40:25	H179	10:32	4035	4.8					3315	4.0					3304	3.5		3314	3.4		
2007-06-28	12:41:16	H179	10:33	4035	4.9					3315	4.4					3304	4.2		3314	3.2		
2007-06-28	12:41:54	H179	10:34							3315	4.3								3314	3.2		
2007-06-28	12:42:20	H179	10:35							3315	4.1								3314	3.4		
2007-06-28	12:42:52	H179	10:36																3314	3.3		
2007-06-28	12:43:17	H179	10:37																3314	3.2		
2007-06-28	14:36:45	H179	12:30	4035	5.1					3315	4.4		4120	3.5		3304	3.8		3314	3.1		
2007-06-28	14:37:56	H179	13:00	4035	4.4					3315	4.2		4120	3.2		3304	4.5		3314	3.8		
2007-06-28	14:43:23	H179	13:30	4035	4.3					3315	4.0		4120	4.0		3304	3.7		3314	3.3		
2007-06-28	14:44:09	H179	13:40							3315	4.2		4120	3.6		3304	3.9		3314	3.0		
2007-06-28	14:45:05	H179	13:50							3315	4.0								3314	3.1		
2007-06-28	14:45:29	H179	14:00							3315	4.2								3314	3.2		
2007-06-28	14:45:59	H179	14:10							3315	4.1								3314	3.3		
2007-06-28	14:46:40	H179	14:20							3315	4.3								3314	3.4		
2007-06-28	14:47:07	H179	14:30																3314	3.4		
2007-06-28	14:47:26	H179	14:31																3314	3.3		
2007-06-28	14:47:42	H179	14:40																3314	3.4		
2007-06-28	15:32:05	H179	15:00	4035	4.4	14				3315	3.7	12				3304	3.7		3314	3.5	12	0.00
2007-06-28	18:04:36	H179	17:30													3304	4.3		3314	3.5	14	

Maximo:                        
  
 Minimo:

Atualização Automática

Iniciar | PC-Duo Client | As minhas imagens | Itens enviados - ... | DataPro - Cons... | Documento1 - Mi... | Hiperligações | 12:07

**Anexo 8 – Relatório de ensaio industrial dum mês  
de produção (equivalente a cerca de 30 000  
machos)**

## Relatório Resinas Fundipor:

1 – ensaio foi efectuado com Qd de 5 + 5 Contentores de Material.

### Condições de ensaio

% Adição inicial (antes ensaio) – 1.6% Resina aromáticas Ashland

% Resina parte 1 – 55%

% Resina parte 2 – 45%

### Resultados:

1- Ensaio efectuado de 24/09/08 a 10/10/08

2- Ensaio efectuado de 05/11/08 a 11/11/08

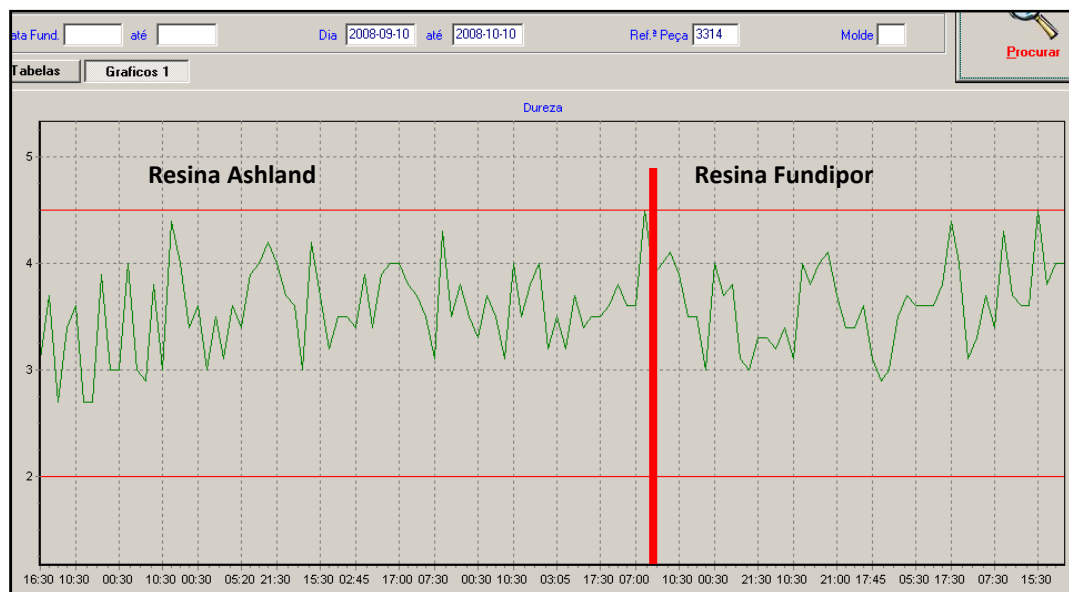
1 – Foram reduzidos tempos nas máquinas (Amina e ciclo)

2 – Foram reduzidos consumos resinas. (mantendo os tempos ponto 1)

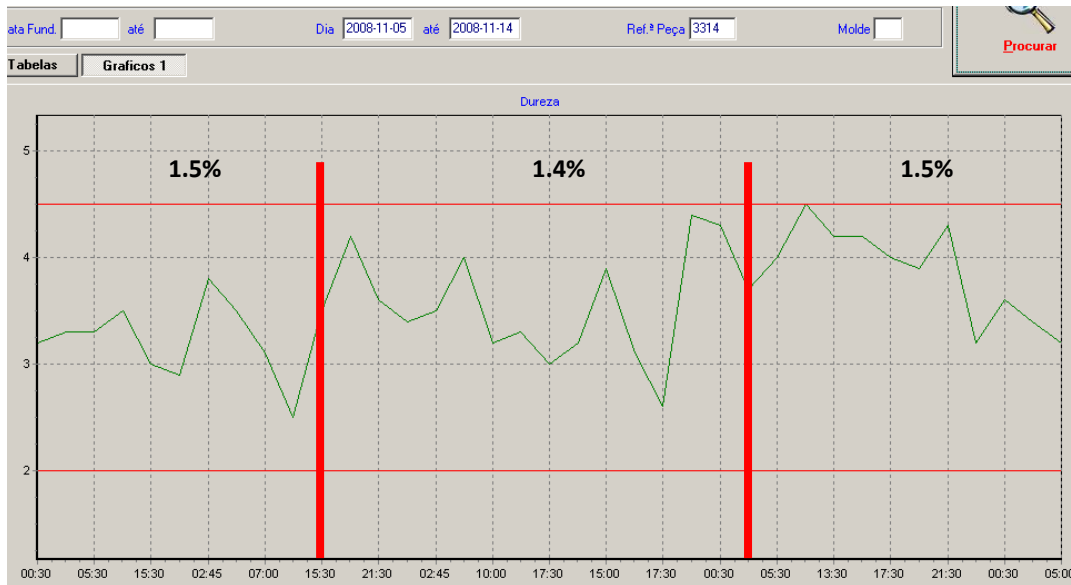
Refª	% Adição	Máquina	Tempos Amina		Tempo ar varrido	
			MF	Actual	MF	Actual
3338	1.6	13	3.2	2.5	30	20
3330	1.6	13	2.5	2	20	15
4179/80	1.6	11	1.2	0.7	15-20	15
4035/36	1.6	15	0.6	0.6	15-20	12
3300	1.6	13	3-3.5	2.7	30	25
3305	1.6	12	3-3.5	2	30	20
4099/100	1.6	15	0.5	0.3	15	15
3300	1.5	13	3-3.5	2.7	30	25
3310/11	1.5	12	2.9	2.5	25	25
4179/80	1.4	13	1.5	1.3	20	20
4077/78	1.4	15	0.5	0.4	15	14
3314/3291	1.4	16	5	3.2	15	12
4196	1.4	15	0.5	0.4	15	14

2- Durezas

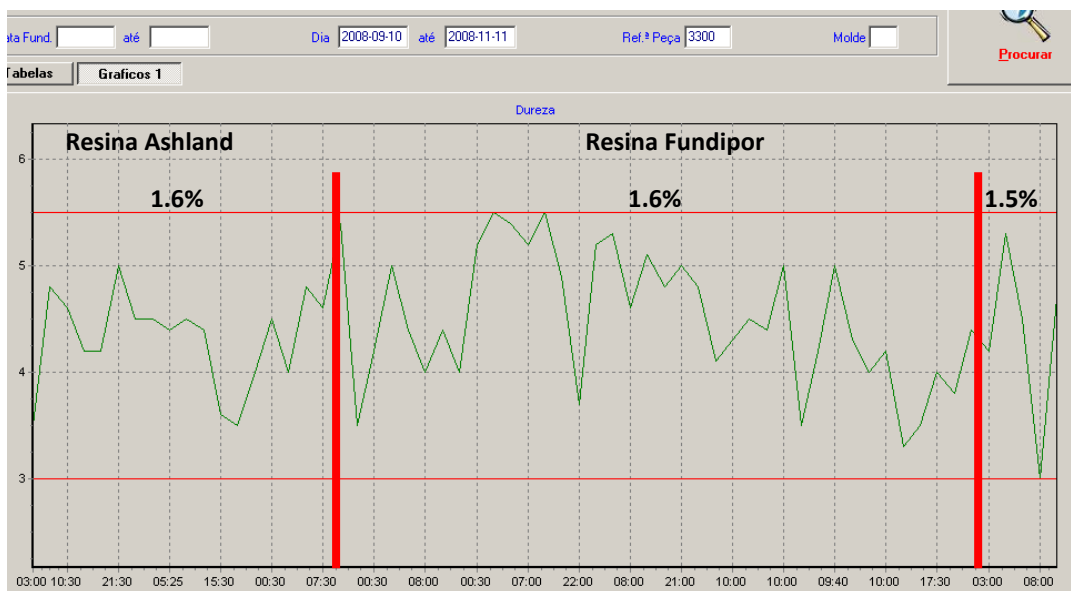
3314 – (10-09-08 a 10/10/08)



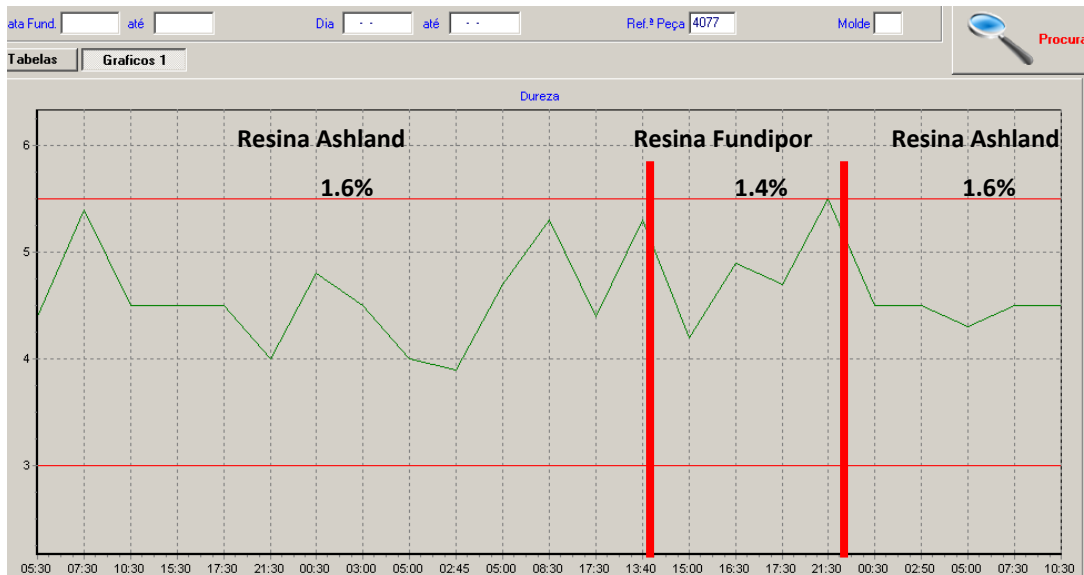
3314 – (05-11-08 a 14/11/08)

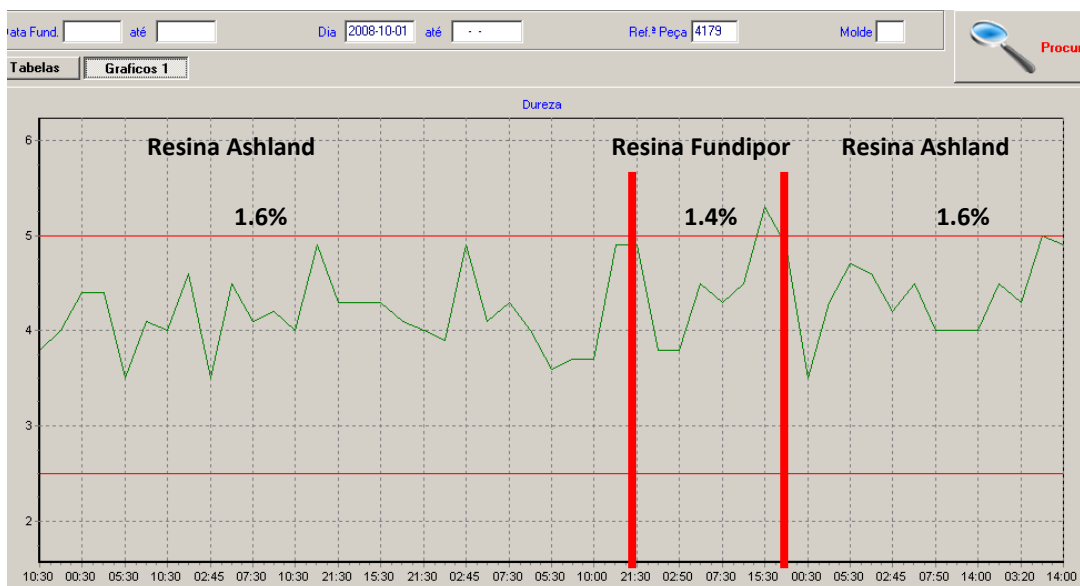


3300 – (10-09-08 a 11-11-08)



4077/78 – (01-08-08 a 21-11-09)





### % Reduzidas (Amina e Tempos gaseio)

Refª	% Adição	Tempos Amina		Redução	Tempo ar varrido		Redução	Redução Ciclo
		MF	Actual		MF	Actual		
3338	1.6	3.2	2.5	22%	30	20	33.3%	32%
3330	1.6	2.5	2	20%	20	15	25%	24%
4179/80	1.6	1.2	0.7	41.6%	15	15	0	3%
4035/36	1.6	0.6	0.6	0	15	12	20%	19%
3300	1.6	3.2	2.7	15.6%	30	25	16.6%	17%
3305	1.6	3.2	2	37.5%	30	20	33.3%	34%
4099/100	1.6	0.5	0.3	40%	15	15	0	1.3%
3300	1.5	3.2	2.7	15.6%	30	25	16.7%	17%
3310/11	1.5	2.9	2.5	13.8%	25	25	0	1.5%
4179/80	1.4	1.5	1.3	13.3%	20	20	0	1%
4077/78	1.4	0.5	0.4	20%	15	14	7%	7%
3314/3291	1.4	5	3.2	36%	15	12	20%	24%
4196	1.4	0.5	0.4	20%	15	14	7%	7%

### Considerações

Relativamente aos ensaios de redução de resinas, constatamos que a redução para a gama de 1.4% na refª 3314/3291, deparamo-nos com problemas nos machos que originaram um incremento na % refugo final por **macho partido**. Perante esta situação tivemos que passar a adição para 1.5%, situação que se manteve até ao final do ensaio, sem que este problema tivesse ocorrido mais. De referir que nas outras refªs não foi detectada nenhuma anomalia nos refugos com todas as gamas de trabalho ensaiadas.

## Situação Ambiental

Este tipo de material não apresenta uma identificação de “tóxico” (ver ficha de Segurança).

- Ambiente na Macharia

A situação ambiental no sector melhorou, fruto do tipo de resina utilizada no ensaio (Biodiesel com valores de BTX inferiores às resinas aromáticas Ashland), assim como da redução % amina conseguida no decurso do ensaio (cerca de 20%).

- Ambiente na Moldação

Relativamente ao ambiente na moldação, relativamente a fumos não existe nenhum feedback negativo. Relativamente às emissões de BTX não foi possível efectuar esta avaliação no decurso do ensaio.

## **% Refugo Macharia / Moldação**

Relativamente a refugos, macharia e Moldação, não foi detectado nenhum incremento no decurso dos ensaios, à excepção da refª 3314/3291 que, com 1.4% de adição nos causou problemas de macho partido nos acabamentos (referido anteriormente).

## **Problemas encontrados durante o ensaio**

### 1 – Cargas de areia seca

Devido a problemas/Falhas nos sensores das bombas volumétricas vimo-nos obrigados a suspender o ensaio por 3 semanas.

2 – Limitação do nosso equipamento de mistura / doseamento pois não nos permite trabalhar com níveis de adição diferentes, isto é, neste momento não é possível trabalhar com 100 Kg areia e 1.4 adição M15 e 100Kg areia e 1.5 adição M16.

Este factor é determinante para reduzir ainda mais as adições de resina.

## **Conclusões:**

Relativamente ao ensaio efectuado podemos concluir:

1. Reduziu-se adição de 1.6 para 1.5 sem qualquer tipo de problemas.
2. Trabalhou-se com 1.4 adição em várias ref<sup>as</sup> sem qualquer tipo de problemas (4196; 4077; 4078; 4179; 4180), no entanto na ref<sup>a</sup> 3314/3291 os resultados não foram positivos devido ao elevado refugo por macho partido detectado nos acabamentos.
3. Com células de carga é possível trabalhar na maioria das ref<sup>as</sup> com 1.4 adição em mais de 60% das ref<sup>as</sup>.
4. Reduziu-se em cerca de 20% a adição de amina nas ref<sup>as</sup> ensaiadas, o que representa uma poupança de **14784 euros/Ano**.
5. Reduziu-se ciclo máquina em todas as ref<sup>as</sup> ensaiadas, de 1% (4179/80) a 34% (3304), estando em média  $\pm 15\%$ .
6. Ambientalmente é um material menos agressivo (tóxico).
7. Opinião geral que o odor sentido no decurso ensaio é menor que situação anterior (derivado à composição do produto e à redução substancial de amina).
8. Relativamente à moldação não existe nenhum feedback negativo.

## **Nota:**

No seguimento da formação dada pela FUNDIPOR, foi possível efectuar uma série de melhorias no nosso processo "Cold-Box", nomeadamente na Parametrização máquina, tendo desta forma conseguido melhorias consideráveis em débitos de amina (-20%) e reduções ciclo máquina (Aprox. 15%).

Estas melhorias conseguidas são consistentes e encontram-se em curso no processo actual de fabrico.