

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS, METALÚRGICA E
DE MATERIAIS**

**PERFIL AMBIENTAL DOS PROCESSOS DE FUNDIÇÃO FERROSA QUE UTILIZAM
AREIAS
NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Roseane Gonçalves Adegas

Porto Alegre, 2007

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração Materiais e aprovada em sua forma final, pela Orientadora e pela Banca Examinadora.

Porto Alegre, 12 de setembro de 2007.

Orientadora: Prof. Dra Andrea Moura Bernardes

BANCA EXAMINADORA:

- Prof. Dr. Luis Felipe Nascimento – Escola de Administração - UFRGS
- Prof. Dr. Ivo Andre Schneider - Departamento de Metalurgia – Escola de Engenharia – UFRGS
- Prof. Dr. Álvaro Meneguzzi - Departamento de Materiais – Escola de Engenharia - UFRGS
- Prof. Dr. Carlos Bergmann - Coordenador do PPGEM

AGRADECIMENTOS

À minha família, pela compreensão e paciência

Aos colegas da FEPAM, pelo apoio e incentivo

À Professora Dra. Andrea Moura Bernardes, pela condução da orientação do presente trabalho

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo traçar um panorama do gerenciamento dos processos das indústrias de fundição ferrosa no estado do Rio Grande do Sul que utilizam areias de fundição, com ênfase nas alternativas buscadas por estas empresas quanto à minimização, recuperação e destinação final dada às areias usadas. Esta avaliação foi feita enfocando desde a recepção das areias virgens, armazenamento, preparação da mistura para fabricação dos moldes e machos, até o descarte nos setores de desmoldagem e retirada dos fundidos, recuperação e reutilização das areias no próprio processo ou descarte, e a procura de possibilidades de reuso em outros processos. No gerenciamento dos processos foram abordadas ainda, questões relativas às emissões geradas durante o manuseio, armazenamento, mistura, operações de moldagem e macharia, bem como no resfriamento e desmoldagem.

Procurou-se relacionar o gerenciamento ambiental adequado dos processos acima mencionados ao licenciamento ambiental e à existência de certificação ambiental.

O trabalho iniciou com pesquisa no Banco de Dados da FEPAM, sendo verificado o número de fundições no estado, elaborados e enviados questionários para essas empresas, utilizando-se o método *survey*. Os resultados obtidos possuem uma boa representatividade, considerando resposta de 85% dos mesmos.

Através dos resultados verificou-se que, apesar de 81% das empresas descartarem as areias geradas em aterros industriais licenciados pelo FEPAM, somente uma delas está procurando alternativas de reuso das areias geradas. Também verificou-se que não há uma preocupação com a minimização da geração desses resíduos. O licenciamento ambiental no Rio Grande do Sul é hoje a única ferramenta através da qual é possível exigir das empresas a adequação de suas atividades de forma a não impactar o meio ambiente. Quanto às demais questões ambientais relacionadas aos processos envolvendo areias, a percepção das empresas ainda é bastante incipiente.

Palavras-chave: fundição. gerenciamento ambiental. areia de fundição. recuperação de areias. reuso. descarte. licenciamento ambiental. certificação ambiental.

ABSTRACT

This work aimed to present a preliminary evaluation of foundry sand processes management in Rio Grande do Sul state, Brazil, with emphasis in alternatives related to sand reduce, regeneration e final destination. This evaluation was made with focuse since sands reception, their storage and preparation, till the discharge in the shakeout system, regeneration e their reuse. It also aims to relate the proper waste management to environmental license as well to the existence of environmental certification. Attempt was made to verify if the companies, in regard of their costs with new sand and molding sand disposal in specialized landfills, as well as to the requirements of environmental agency, are working in sense of seeking and implant new recycling technologies and reuse of used sands. In addition to that, it was verified if it would exist a relation between environmental license and/or certification with the sand used correct management and proper foundry sand destination. Or still, within the approach of cleaner technologies and best available techniques if the alternatives for recycling sand into their own processes or reuse in other process are being pursued. Within the sand management, it was still approached questions related to emissions generated during handling, storage, mixing, molding and coremaking, as well as cooling and shaking. This work was developed inicialmente through research on FEPAM, the environmental state agency, database, where it was verified the number of foundry industries in Rio Grande do Sul state, being elaborated and sent to the companies, questionnaires using the survey method. The gotten results have good representation considering that 85% of the questionnaires had been answered. Through the gotten results it was verified that, although 82% of the companies discharge used sands in licensed landfills, in accord with regulamentation, only one of them is seeking for reuse alternatives out of the process. It also was verified that there isn't any concernig about reducing the sand generation. The environmental licence here in Rio Grande do Sul is in fact, the only way to make the companies adequate their installations aiming at environmental protection. To the other questions related to the processes using sands, the companies perception are very incipient.

Key-words: foundry. foundry sand. sand disposal. sand recycle. reuse. environmental license. environmental certification. management

SUMÁRIO

Lista de Abreviaturas	viii
Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xii
1. Introdução	1
2. Objetivos	4
3. Revisão Bibliográfica	5
3.1. Fundição – Aspectos Gerais	5
3.2. Produção de Moldes e Machos	9
3.2.1. Moldagem com areias ligadas com argilas (moldagem por areia verde)	14
3.2.2. Moldagem e fabricação de machos com areias ligadas quimicamente	15
3.2.2.1. Processos cura a frio	16
3.2.2.2. Processos cura a gás	17
3.2.2.3. Processos cura a quente	19
3.2.3. Processo por modelos descartados	22
3.3. Emissões geradas e níveis de consumo em fundições	22
3.3.1. Produção de moldes e machos	23
3.3.2. Vazamento, resfriamento e desmoldagem	26
3.4. Areias de fundição usadas	29
3.5. Técnicas a serem consideradas na determinação de <i>BAT (Best Available Techniques)</i> para fundições	29
3.5.1. Produção de moldes e machos, incluindo preparação da areia	31
3.5.1.1. Moldagem com areias ligadas com argilas (moldagem com areia verde)	31
3.5.1.2. Moldagem e fabricação de machos com areias ligadas quimicamente	32
3.5.2. Métodos Alternativos de Fabricação de Moldes e Machos	34
3.5.3. Areias: regeneração, reciclagem, reúso e disposição	36
3.5.3.1. Regeneração primária de areias verdes	39
3.5.3.2. Regeneração mecânica simples de areia cura fria	40
3.5.3.3. Regeneração térmica	42
3.5.3.4. Regeneração combinada (mecânica-térmica-mecânica) para areias mistas orgânica-bentonita	42
3.5.3.5. Regeneração úmida	43
3.5.3.6. Reúso interno das areias de machos não curadas	44
3.5.3.7. Reúso dos pós do circuito de areias verdes no setor de moldagem	45

3.5.3.8. Reúso externo de areias usadas	45
3.6. Melhores técnicas disponíveis para fundições por moldes perdidos	47
3.6.1. Moldagem por areia verde	48
3.6.2. Moldagem e macharia com areias ligadas quimicamente	48
3.6.3. Vazamento, resfriamento e desmoldagem	50
4. Metodologia	51
5. Resultados e discussão	53
5.1. Dados gerais das empresas de fundição ferrosas	55
5.2. Dados gerais da moldagem/macharia	62
5.3. Fontes geradoras de efeitos ambientais	64
5.4. Emissões atmosféricas	75
5.5. Controle de qualidade da areia e minimização no consumo de resinas	76
5.6. Recuperação e destinação de areias	77
5.7. Sistemas de gestão da qualidade e gestão ambiental	81
6. Considerações finais	88
7. Conclusões	91
8. Sugestões de novos trabalhos	93
9. Referências bibliográficas	94
10. Anexo	98

LISTA DE ABREVIATURAS

- ABIFA – Associação Brasileira das Indústrias de Fundição
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AFS – American Foundry Society
- AR – Aviso de Recebimento dos Correios
- BAT – Best Available Techniques
- BTEX – Benzeno Tolueno Etilbenzeno e Xileno
- COREDE – Conselho Regional de Desenvolvimento Econômico
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- COV – Composto Orgânico Volátil
- DMEA - Dimetiletanolamina
- EPS – Expanded Polystyrene (Poliestireno expandido)
- EPA – Environmental Protection Agency (USA)
- FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
- IPPC – Integrated Prevent Pollution and Control (Controle Integrado de Prevenção da Poluição)
- ISO – International Organization for Standardization
- MDI - Difenilmetanodiisocianato
- MERCOSUL – Mercado Comum do Sul
- NBR – Norma Brasileira
- PAH – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
- PMMA – Polimetilmetacrilato
- PGQP – Programa Gaúcho de Qualidade e Produtividade

SEBRAE – Serviço de Apoio à Pequena e Média Empresa

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

TCE - Tricloroetileno

TEA - Trietanolamina

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processo de fundição	7
Figura 2 – Distribuição regional das indústrias de fundição ferrosa no Brasil em 2006	8
Figura 3 – Distribuição das empresas de fundição que não utilizam areia em seus processos por tipo de metal fundido	54
Figura 4 – Distribuição das empresas de fundição que utilizam areia em seus processos por tipo de metal fundido	54
Figura 5 – Distribuição das empresas de fundição ferrosa de acordo com o número de funcionários	55
Figura 6 – Faturamento anual em reais	57
Figura 7 - Distribuição das empresas de acordo com os portes, segundo classificação da FEPAM	58
Figura 8 - Distribuição das empresas por região do COREDE	59
Figura 9 - Capacidade instalada das empresas em t/mês de metal produzido	60
Figura 10 - Distribuição da produção de fundidos no ano de 2005 de acordo com os vários segmentos produtivos	61
Figura 11 – Distribuição das empresas de acordo com os processos de fundição utilizados	62
Figura 12 - Distribuição percentual das empresas com relação à percepção quanto aos efluentes líquidos	65
Figura 13 – Distribuição das empresas de acordo com a percepção relativa à geração de material particulado	65
Figura 14 - Distribuição das empresas ferrosas que não utilizam resinas em seus processos, de acordo com suas percepções relativas aos gases gerados nas etapas de macharia e moldagem	67
Figura 15 - Distribuição das indústrias de fundição ferrosas que utilizam resinas em seus processos, de acordo com suas percepções relativas aos gases gerados nas etapas de macharia e moldagem	68
Figura 16 - Distribuição percentual das empresas conforme a preocupação com a geração de resíduos	70
Figura 17 - Distribuição percentual das empresas conforme a preocupação com o consumo de areia	72

Figura 18 - Distribuição percentual das empresas de acordo com os cuidados existentes na área de estocagem de produtos químicos e insumos	74
Figura 19 – Distribuição das empresas de acordo com a destinação final das areias geradas	80
Figura 20 – Distribuição das empresas de acordo com a existência de sistema de qualidade	81
Figura 21 – Distribuição das empresas de acordo com a certificação de qualidade	82
Figura 22 – Distribuição das empresas com certificação de qualidade de acordo com o número de funcionários	83
Figura 23 - Distribuição das empresas de acordo com a existência de sistema de gestão ambiental -SGA	84

LISTA DE TABELAS

TABELA I – Levantamento dos vários tipos de resinas e suas aplicações	13
TABELA II – Impactos ambientais de acordo com os sistemas ligantes usados	24
TABELA III – Impactos ambientais de sistemas de ligantes com base no vazamento, desmoldagem e resfriamento	28
TABELA IV – Aplicabilidade das técnicas de recuperação de areias por tipos de areias	39
TABELA V – Sumário das aplicações de reúso externo para as areias de fundição	47
TABELA VI – Emissões atmosféricas associadas ao uso de <i>BAT</i> em fundições utilizando o processo por moldes perdidos	50
TABELA VII – Classificação do porte de indústrias segundo RES GMC 59/98	56
TABELA VIII – Classificação do porte das indústrias segundo a Lei 9.841 de 1999	56
TABELA IX – Classificação do porte das empresas segundo a Secretaria da Fazenda do estado do Rio Grande do Sul	57
TABELA X – Classificação por portes da FEPAM	58
TABELA XI - Emissões de material particulado em setores de moldagem e macharia	66

1. INTRODUÇÃO

A indústria da fundição é de importância básica ao desenvolvimento industrial, sendo um dos pedestais da industrialização de um país. Sem esta estar estabelecida em bases sólidas e de acordo com recursos regionais, não poderá haver desenvolvimento racional na produção de utensílios, máquinas e equipamentos¹.

O Brasil ocupa a sétima posição no ranking dos maiores países produtores de fundidos do mundo². No período de 2003 a 2004 houve um salto no crescimento de 25,8%, sendo o maior registrado entre os dez primeiros colocados do ano de 2004, superando dois adversários históricos, França e Itália. Em dez anos, de 1994 a 2004, o país teve um crescimento na produção de 60,4%. No período de 2004 a 2005 o crescimento foi de 4,9%. A indústria de fundição é um segmento da economia com potencial significativo, empregando no Brasil em torno de 57 mil trabalhadores, e respondendo por um faturamento de 2,9 bilhões de dólares em 2005. O setor é constituído por um número superior a 1.200 empresas em todo o Brasil, em sua maioria de pequenas e microempresas e de capital nacional³.

O advento da indústria mecânica, e sobretudo da automobilística, criou a demanda para a indústria da fundição no Brasil. Em constante evolução, o setor de fundidos vem ampliando sua produção a partir da década de 70.

No Rio Grande do Sul, de acordo com os resultados obtidos com a pesquisa realizada para elaboração do presente trabalho, existem aproximadamente 110 empresas do ramo de fundição, empregando um número superior a 5.000 trabalhadores e com um faturamento anual acima de R\$ 60.000.000,00 no ano de 2005.

Apesar da indústria da fundição utilizar como matéria-prima prioritariamente sucata de metais, evitando desta forma a extração do metal, e com isto traduzindo uma economia de recursos naturais, ela necessita como um de seus insumos principais, para a moldagem e fabricação de machos, areia industrial. O termo areia industrial é definido como material de granulometria variada, composto essencialmente de sílica e que passou por um processo de beneficiamento⁴.

Estas areias constituem um dos principais excedentes do processo de fundição, podendo ser classificadas segundo a NBR 10.004, 2004⁵, da ABNT, como resíduos classe I ou classe II-A, conforme os insumos utilizados na mistura⁶.

As areias são extraídas de várias jazidas, sendo São Paulo o estado onde se encontram as principais reservas e empresas extrativas de areia industrial do país⁴.

Apesar das reservas de areia industrial no estado de São Paulo e nos estados da região Sul ultrapassarem 1.400 milhões de toneladas, o que garante um abastecimento do mercado por mais 200 anos, as indústrias da fundição vêm apresentando uma preocupação no sentido de implantar sistemas de recuperação das areias, fazendo com que boa parte seja utilizada em seu próprio processo industrial, diminuindo o consumo dessas areias, bem como o descarte das mesmas no meio ambiente.

O setor de fundição no Brasil começa a dar passos mais firmes para reduzir os impactos negativos de sua atividade sobre o meio ambiente. A crescente preocupação com a ecologia tem aumentado os custos de produção relacionados com a disposição de resíduos de acordo com a legislação, tratamento de resíduos, monitoramento, transporte e multas ocasionais. De outro lado, a reciclagem reduz os custos de compra de matérias-primas⁷.

É claro que os esforços nesse sentido decorrem em boa parte da legislação ambiental, que prevê punições severas, mas sem dúvida também estão relacionados com uma nova visão dos empresários acerca dos cuidados para com o meio ambiente. De modo crescente um número de empresas, dos mais variados setores, procura como parceiros, empresas que tenham ações concretas no âmbito da responsabilidade social, e aí estão incluídas questões que abrangem os cuidados com a preservação do meio ambiente. Outro componente que estimula as fundições no Brasil a buscarem meios de regenerar a areia que utilizam em seus processos de fabricação consiste no elevado custo de descarte que gira em torno de R\$ 70,00/tonelada. Todo ano são descartadas cerca de 2 milhões de toneladas, equivalentes a uma pirâmide de 200 metros de altura. Além do impacto visual, outro problema decorrente do descarte da areia usada pelas fundições é a provável contaminação com resinas fenólicas, metais e não metais. Quando a mesma é submetida a intempéries esses componentes se dissolvem e podem atingir os lençóis freáticos⁸.

Existe ainda o fato de que a responsabilidade dos geradores dos resíduos não cessa com a disposição dos mesmos em aterros, tornando-se solidária à responsabilidade dos gerenciadores dos aterros, conforme Art. 8º, § 1º do Decreto Estadual 38.356, de 01.01.1998⁹, em caso de operação inadequada do aterro, sendo mais uma preocupação e custo para as empresas.

Desta forma, os custos da utilização de areia nova nas indústrias de fundição, afetados principalmente pelo frete e pelas taxas cobradas para disposição em aterros, somados aos anseios dos órgãos ambientais para redução da deposição de resíduos em aterros e geração de descartes não nocivos ao meio ambiente, têm levado as fundições e os fornecedores de matérias-primas, tecnologia e equipamentos, a estudar novos processos de reciclagem de areia¹⁰.

A possibilidade de reaproveitamento adequado das areias de fundição, além de reduzir ou eliminar a necessidade de sua disposição em aterros industriais, diminuindo o risco de acidentes ambientais, gera economia com a substituição parcial da matéria-prima no processo, com a redução da demanda de energia para a sua extração e com a redução dos custos com o transporte desde a sua extração até a indústria.

A partir da verificação das alternativas buscadas pelas indústrias de fundição ferrosas no Rio Grande do Sul com relação às areias geradas deverá ser estimulada a elaboração de norma ou exigência nos licenciamentos realizados pelo órgão ambiental do estado visando o reúso das areias, promovendo desta forma um desenvolvimento sustentável por essas empresas.

2.OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho foi traçar um perfil ambiental dos processos de fundição ferrosos que utilizam areias no estado do Rio Grande do Sul.

Os objetivos específicos estão divididos de acordo com os itens abaixo:

1. avaliação do gerenciamento ambiental dos processos de fundição ferrosa, nas etapas envolvendo areias, com relação aos problemas relativos às emissões atmosféricas e, principalmente às areias de fundição geradas;
2. identificação das alternativas de reuso do resíduo areia de fundição e verificação da viabilidade de implantação das mesmas no Rio Grande do Sul;
3. verificação da relação entre o gerenciamento ambiental adequado das etapas envolvendo areias, principalmente quanto à destinação das areias geradas, com o licenciamento ambiental e a certificação ambiental.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão conhecidos os conceitos relativos à atividade de Fundição, as etapas do processo, os tipos de processo de moldagem, os insumos utilizados, os impactos relacionados ao manuseio das areias de fundição, bem como as melhores técnicas disponíveis para o processo de Fundição, visando um gerenciamento ideal das areias, desde a redução no consumo das areias virgens, minimização das emissões atmosféricas geradas nas etapas envolvendo areias, técnicas de recuperação das areias e posterior reutilização no próprio processo industrial, e ainda as possibilidades de reuso das areias que existem hoje, no caso de não se conseguir reutilizá-las no próprio processo.

3.1. Fundição – Aspectos Gerais

Fundição é um processo industrial realizado com o objetivo de obter peças através do vazamento de ligas líquidas de metais ferrosos ou não ferrosos em cavidades de recipientes denominados moldes, nos formatos desejados, deixando-se o material solidificar por resfriamento. Desta forma, peças simples ou complexas são produzidas a partir de qualquer metal que possa ser fundido¹¹.

A fundição é uma das indústrias mais antigas no campo de trabalho dos metais, sendo 4.000 AC o ano aproximado de seu início. Desde essa época, vêm sendo empregados vários métodos para obtenção de peças fundidas.

Entre os processos de conformação de metais, o processo de fundição é o mais versátil, pois permite produzir peças com pesos e formatos variados dentro de uma larga gama de propriedades metalúrgicas¹.

A indústria da fundição consiste em uma série ampla de instalações, de pequenas a grandes, cada uma de acordo com a combinação de tecnologias e operações unitárias selecionadas para obtenção dos tipos, tamanhos e volume de produção das peças. A organização é baseada no tipo de metal a ser fundido, com a distinção principal entre fundições de ferrosos e não ferrosos, devido principalmente à diferença de processos¹¹.

Além do tipo de metal, o *layout* de uma fundição é muito dependente do tamanho das peças a serem produzidas e do volume de produção de cada tipo de peça¹¹.

Existem ainda dois tipos de classificação para as fundições, em função da forma de trabalho: as de mercado ou independentes, e as cativas. As de mercado trabalham sob encomenda, produzindo um grande número de pedidos de vários clientes, contando entre 10 a 250 funcionários, enquanto as cativas só produzem para a própria empresa, ou são fornecedoras cativas de um ou poucos grandes clientes¹¹.

As fundições também se classificam de acordo com o processo de moldagem utilizado, o qual pode ser por moldes permanentes ou moldes perdidos. Apesar de existirem algumas combinações possíveis, usualmente as fundições de ferro utilizam o processo de moldes perdidos, enquanto as de metais não ferrosos utilizam o processo de moldes permanentes¹¹. A técnica de moldes permanentes proporciona uma melhor superfície de acabamento, o que é importante para muitas aplicações das peças de alumínio e de latão, enquanto que para produções em série e para fabricação de peças grandes, a técnica de moldagem em areia é a mais utilizada.

A fundição de uma peça pode ser resumida nas seguintes operações:

- confecção do modelo com a forma da peça
- confecção do molde – moldagem
- confecção dos machos – macharia
- obtenção do metal líquido – fusão
- enchimento do molde com metal líquido – vazamento
- retirada da peça solidificada do molde – desmoldagem
- corte de canais e rebarbas, limpeza – rebarbação e limpeza.

A figura 1 apresenta o fluxograma do processo de fundição, contemplando as operações anteriormente listadas. De acordo com as operações desenvolvidas, os vários setores dentro das indústrias de fundição são divididos conforme apresentado abaixo:

- fusão e tratamento do metal – setor de fundição
- preparação dos moldes e machos – setor de moldagem e macharia
- vazamento do metal líquido no molde, resfriamento e remoção do fundido dos moldes – setor de vazamento
- acabamento das peças fundidas – setor de acabamento¹¹.

As fundições que utilizam moldes permanentes, geralmente compram esses moldes de terceiros, mantendo um setor para manutenção eventual destes moldes.

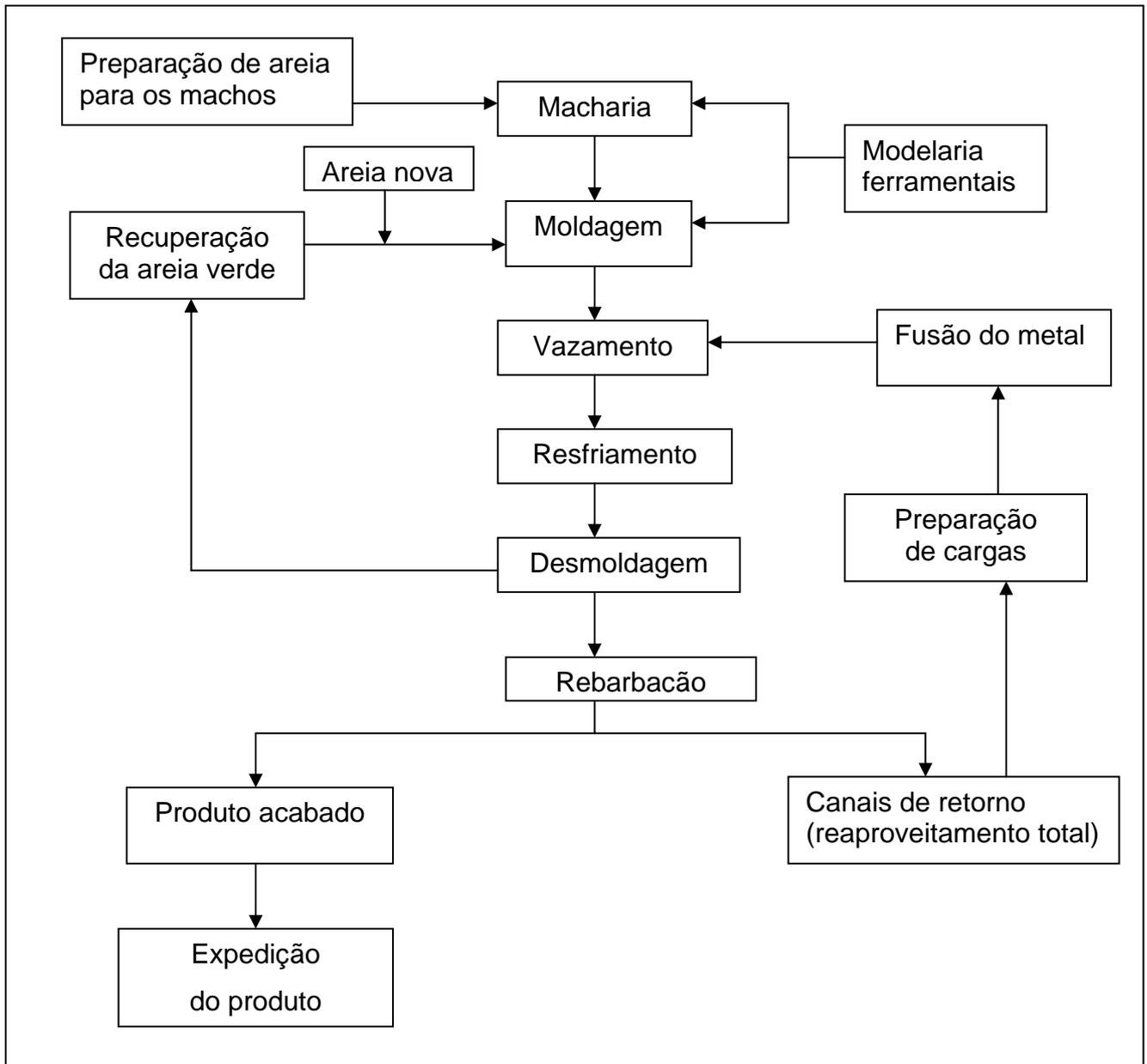


Figura 1: Fluxograma do processo de fundição ferrosa.

As fundições que utilizam o processo por moldes perdidos, geralmente compram seus modelos de moldes em madeira, plástico ou metal, e fazem com que a produção de machos, moldes e modelos perdidos façam parte de todo o processo industrial¹¹.

Os vários processos de fundição diferem primeiramente no material do molde (areia, metal, outros materiais) e no método de vazamento (gravidade, vácuo, baixa ou alta pressão). Em todos os processos o material ao se solidificar, deve ter maximizadas as suas propriedades, prevenindo simultaneamente potenciais defeitos, tais como, macro e micro rechupes, porosidades e inclusões¹².

Um dos processos mais utilizados é o da fundição em areia, sendo o mais adequado para ferro e aço, que possuem altas temperaturas de fusão. Também se utiliza este processo para o alumínio, latão, bronze e magnésio. São ainda muito utilizados, atualmente, os seguintes processos:

- moldagem em casca (*Shell Molding*)
- fundição em moldes metálicos (por gravidade ou sob pressão)
- fundição centrífuga
- fundição de precisão (cera perdida, moldes cerâmicos)¹¹.

Os principais mercados da indústria da fundição são a indústria automotiva, setor de construção e engenharia geral. A alta dependência do setor automotivo exerce uma grande influência nas atividades da indústria da fundição, envolvendo vários aspectos como economia, localização, padrões de qualidade, padrões ambientais, novas tecnologias, entre outros¹¹.

A figura 2 apresenta a distribuição das indústrias de fundição ferrosa no Brasil, por região, de acordo com a ABIFA, Associação Brasileira das Indústrias de Fundição do Brasil, 2006³.

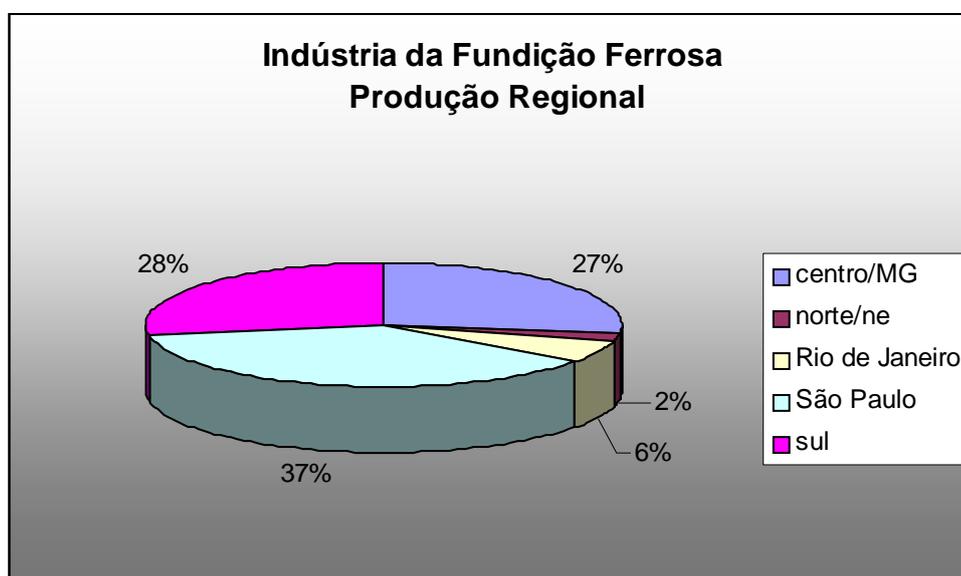


Figura 2: Distribuição regional das indústrias de fundição ferrosa no Brasil em 2006³.

As fundições de ferro utilizam ferro gusa e sucatas selecionadas de ferro, juntamente com materiais gerados internamente durante o processo industrial, como matéria – prima para obtenção de produtos fundidos, os quais posteriormente sofrerão tratamento e serão montados para produção do produto final.

Mas, apesar da indústria da fundição ser uma das maiores contribuidoras para reciclagem de metais, já que sucatas de aço, de ferro e de alumínio são refundidas em novos produtos, existem possíveis efeitos ambientais negativos, decorrentes do processo térmico e do uso de aditivos químicos. Desta forma os impactos ambientais de uma fundição estão relacionados principalmente à emissão de gases e particulados e ao descarte dos resíduos gerados¹¹.

Os principais resíduos gerados são:

- moldes
- machos vazados e não vazados
- escórias e poeiras do forno
- finos da granalha.

A maioria dos resíduos da fundição é considerada como resíduo não perigoso. No entanto, os resíduos provenientes da produção de machos (areias de cura química, machos vazados e não vazados) possuem uma composição muito diversificada proveniente da mistura de resinas e catalisadores orgânicos, que nem sempre é conhecida. Se a quantidade de resinas ligantes (fenólicas ou de poliuretano) for significativa, os resíduos apresentam um nível de toxicidade que os tornam perigosos. Além disso, em determinadas circunstâncias e condições ambientais, pode ocorrer a oxidação dos compostos sulfônicos a sulfatos que são facilmente lixiviáveis pela água¹³.

3.2. Produção de moldes e machos

A moldagem consiste em fazer um molde no qual o metal líquido possa ser vazado. Os moldes podem ser classificados em duas grandes famílias:

- moldes perdidos (uso único): feitos somente para um vazamento e destruídos após o mesmo, geralmente feitos de areia, podendo ser adicionados ligantes químicos ou argila;
- moldes permanentes (usos múltiplos): geralmente metálicos, usados principalmente em fundições por gravidade e baixa pressão, fundições centrífugas e sob pressão¹¹.

Os moldes na fundição em areias são resultantes da compactação da areia sobre o modelo, formando uma cavidade que, acrescida do sistema de alimentação e colocação de machos quando necessário, dá origem à peça após o vazamento do

metal líquido. Este tipo de molde é classificado como molde perdido, por não permitir sua reutilização¹⁴.

Os moldes devem possuir propriedades especiais para produzir fundidos de alta qualidade, tais como:

- reproduzir com exatidão e alta precisão dimensional a forma do modelo fundido;
- proporcionar uma superfície polida ao fundido de forma a evitar rebarbas excessivas;
- evitar quaisquer defeitos de fundição como trincas e pequenos furos.

Para se obter moldes com propriedades adequadas é preciso controlar a matéria-prima utilizada, saber a composição básica da areia e o grau de preparação de mistura, acompanhar o desempenho das máquinas de moldagem e o tratamento de recuperação da areia¹⁵.

Assim como o molde define a parte externa do fundido, o macho define sua parte interna, ou ao menos as partes não diretamente alcançadas pela moldagem.

Macho é o elemento de areia aglomerada confeccionado separadamente e utilizado para formar nas peças as cavidades, partes ocas, detalhes externos susceptíveis de moldagem normal, ou para permitir a passagem do sistema de alimentação fora do plano de divisão¹⁴.

Os machos usados nas fundições de ferro são quase sempre feitos de areia. A escolha do ligante a ser usado dependerá de fatores como tamanho da peça, taxa de produção, metal a ser vazado, propriedades de desmoldagem, entre outros.

Na moldagem com areia, o molde pode ser produzido manualmente ou mecanicamente, através de vibração, impacto de ar, prensa, entre outros. Quando o molde possuir rigidez suficiente, é retirado do modelo, o qual poderá ser usado para produzir um novo molde.

Geralmente os machos são produzidos pelas mesmas técnicas dos moldes, sendo que os pequenos e médios são soprados ou atomizados em caixas de machos de plástico, metal ou madeira¹¹.

As matérias-primas utilizadas na fabricação de moldes e machos podem ser classificadas em:

- materiais refratários (areias)
- ligantes e outros reagentes químicos (aditivos).

Para qualquer ligante que se utilize, as propriedades químicas e físicas do material refratário serão responsáveis pelas características e pelo comportamento dos moldes ou machos durante o vazamento do metal¹¹.

A areia utilizada deve portanto possuir boas propriedades refratárias, isto é, deve possuir capacidade de manter suas propriedades sob altas temperaturas sem fundir ou degradar¹⁶. A areia de moldagem é uma mistura de vários elementos que se combinam dando características de perfeita trabalhabilidade para formação da caixa de moldagem. Segundo Bonin *et all apud* Biolo¹⁷, para atender a este quesito, é necessário que a composição da areia tenha características próprias, tais como: maleabilidade, compatibilidade, refratariedade, coesão, resistência a esforços mecânicos como compressão e tração, expansão volumétrica, permeabilidade e perfeita desmoldagem.

O custo de cada tipo de areia leva em consideração quatro componentes principais: extração, preparação, embalagem ou empacotamento e transporte¹¹. Porém o fator determinante no custo da areia está relacionado ao tipo de areia que será utilizada. Os vários tipos de areias refratárias utilizadas em fundições são as compostas por sílica, cromita, zircônia ou olivina¹¹.

A areia composta por sílica é a mais comumente usada, principalmente por sua grande disponibilidade e seu relativo baixo custo. Ela é composta basicamente de quartzo (SiO_2), que é relativamente puro e limpo, conforme sua origem. A expansão térmica da sílica provoca, de um modo geral, uma expansão dos moldes durante o vazamento e o resfriamento. Alguns aditivos devem ser usados neste caso, principalmente na produção de machos, para prevenir defeitos nos fundidos¹¹.

Para utilização da tecnologia de moldagem através de areia verde, o controle do tamanho dos grãos é muito importante. Quanto mais finos os grãos, maior o número de grãos por grama, e conseqüentemente maior a área superficial. Isto faz com que haja maior adição de ligantes para um molde de mesmo tamanho. Tenta-se utilizar areias contendo grãos mais grosseiros, mas que ainda proporcionem um bom aspecto no acabamento superficial¹¹.

Com relação aos ligantes e reagentes químicos, os mais utilizados são: bentonitas, resinas, pó de carvão, óxidos de ferro e ligantes de cereal¹¹.

Ligantes ou aglomerantes são produtos químicos que conferem às areias a resistência necessária e suficiente para as etapas de moldagem e vazamento do metal fundido, até seu resfriamento e desmoldagem, com as dimensões características da peça a ser moldada. Quando adicionados às areias devem

proporcionar resistência suficiente aos moldes e machos utilizados nos processos de fundição¹⁸. Em geral as argilas (bentonita) possuem esta característica, porém nem sempre são suficientes para a formação de machos, conforme o sistema de fundição adotado¹¹.

Dois grupos de agentes ligantes são de interesse: os naturais, como as bentonitas e os óleos minerais e vegetais, e os sintéticos como metassilicato de sódio, resinas fenólicas, resinas uréia-formaldeído, resinas furânicas e as poliuretânicas¹¹.

A bentonita é caracterizada pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, como um mineral constituído essencialmente por silicato de alumínio hidratado, denominado argilo-mineral, que pode conter sílica livre e outras impurezas, e é o principal aglomerante da mistura na areia de moldagem, sendo responsável pela coesão da areia quando em contato com a água. Sua função coesiva permite que a resistência da caixa de moldagem seja suficiente durante o vazamento, não permitindo assim que se rompa durante o processo. Quando o vazamento ocorre, a bentonita perde suas características físicas devido ao comportamento térmico e volumétrico de sua formação mineralógica. As moléculas de água são mantidas nas camadas de argila, e pela elevação da temperatura são eliminadas. A perda de água da composição das argilas corresponde à perda das propriedades plásticas e o desenvolvimento progressivo de uma nova forma de coesão, mais frágil. Por este motivo, há necessidade de constante reposição da bentonita, sendo este um dos fatores de descarte das areias utilizadas¹⁷.

Nas últimas décadas foi desenvolvida uma grande diversidade de ligantes químicos sintéticos. Trata-se de sistemas de um único componente ou de mais de um componente, os quais são misturados com as areias de fundição, até que os grãos estejam revestidos por um filme fino. Após a mistura, ocorre uma reação de endurecimento, fazendo com que os grãos de areia se unam, desenvolvendo uma resistência para moldagem. As resinas podem ser classificadas, de acordo com o método de cura, em:

- resinas de cura a frio
- resinas de cura a gás
- resinas de cura a quente¹¹.

Na tabela I estão listados os tipos de resinas, com suas respectivas aplicações.

Tabela I: Levantamento dos vários tipos de resinas e suas aplicações.

Tipo de Cura	Tipos de Resinas	Produção de Moldes	Produção de Machos	Temperatura de Cura (°C)	Tempo de Cura	Tipos de Metais
cura a frio	furânica	média grande	pouca	0-30	10-120 minutos	ferrosos/não ferrosos
	fenólica	grande	não	0-30	10-180 minutos	ferrosos
	poliuretânica pepset/pentex	pequena média	alguma	0-30	5-60 minutos	ferrosos/não ferrosos
	resol-ester (alfaset)	pequena grande	alguma	0-30	5-400 minutos	ferrosos/não ferrosos
	alquídica	grande	alguma	10-30	50 minutos	aço
	silicatos	média grande	não	0-30	1-60 minutos	ferrosos/não ferrosos
cura a gás	fenólica/furânica	pequena	sim	10-30	<1 minuto	ferrosos/não ferrosos
	poliuretânica/ (caixa fria)	pequena	sim	10-30	<1 minuto	ferrosos/não ferrosos
	resol (betaset)	pequena	sim	10-30	<1 minuto	ferrosos/não ferrosos
	acril/epoxi (isaset)	não	sim	10-30	<1 minuto	ferrosos/não ferrosos
	silicatos	pequena	sim	10-30	<1 minuto	ferrosos/não ferrosos
cura a quente	óleo	pequena	sim	180-240	10-60 minutos	ferrosos
	caixa morna	raramente	sim	50-220	20-60 segundos	ferrosos
	caixa quente	raramente	sim	220-250	20-60 segundos	ferrosos/não ferrosos
	casca	sim	sim	250-270	120-180 segundos	ferrosos/não ferrosos

Fonte: Vito, 2001, *apud* documento de referência em BAT para as indústrias de fundição¹¹.

Além dos ligantes, outros produtos são adicionados às areias. O pó de carvão é normalmente adicionado às areias verdes para moldagem de fundidos de ferro. Em algumas fundições de não ferrosos, é utilizado em quantidades limitadas. O pó de carvão gera voláteis com grande capacidade de expansão quando aquecido com pouco ou nenhum oxigênio. O pó de carvão deve ser misturado com pequenas quantidades de resinas e produtos oleosos. Durante o vazamento, a degradação térmica produz o chamado “carbono brilhante”, o que faz com que haja uma melhoria no acabamento da superfície do fundido e nas propriedades de desmoldagem¹¹.

O pó de carvão é utilizado por três motivos, conforme abaixo:

- cria uma atmosfera inerte na cavidade do molde durante o vazamento, através da combustão de compostos orgânicos, os quais por sua vez, reduzem a oxidação do metal (diminuem a formação de escória);
- reduz a penetração do metal nos grãos de quartzo, através da deposição de um filme de grafite, que também cria uma superfície plana no fundido;
- reduz a quantidade de areia remanescente na superfície do fundido na desmoldagem¹¹.

Outros motivos para utilização de pó de carvão são o aumento da plasticidade da areia, a redução da expansão térmica da sílica e o melhor acabamento superficial da peça fundida¹¹.

Além da poeira preta e úmida causada pelo manuseio, o pó de carvão também pode gerar hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) durante o vazamento¹¹.

Os ligantes de cereais são utilizados principalmente em fundições de alumínio, com a finalidade de aumentar a resistência e a dureza das areias verdes. Existem dois tipos principais desses ligantes: amido e dextrina¹¹.

Além destes produtos, óxidos de ferro são também utilizados. Estes óxidos reagem com o quartzo a altas temperaturas, formando um composto de baixo ponto de fusão, que tem a função de aglomerar os grãos de areia, mantendo-os unidos. São utilizados principalmente na produção de machos de areia, para reduzir a formação de veios¹¹.

3.2.1. Moldagem com areias ligadas com argilas (moldagem por areia verde)

A moldagem por areia verde é o processo de moldagem mais comumente utilizado nas fundições. Este processo é responsável por mais de 70% da produção mundial de fundidos. A areia de sílica é a mais utilizada, enquanto que as areias cromita e zircônia são utilizadas em fundições de altas temperaturas. A areia é misturada com bentonita e pequena porcentagem de água, em torno de 2-5%, compactada manual ou mecanicamente, dentro do modelo desejado, podendo ou não ser seca para formar o molde¹⁹.

Praticamente todas as ligas metálicas podem ser conformadas por este método, sendo um dos poucos que podem ser usados para metais de alto ponto de

fusão, como aços, níquel e titânio. Além disso, sua versatilidade permite a fabricação de peças em uma grande variedade de tamanhos¹⁶.

Este processo não é normalmente utilizado para produção de machos. Os machos são formados através de um sistema de ligantes químicos.

São também adicionados à mistura de areia e bentonita, materiais carbonáceos, tais como, pó de carvão, produtos derivados de petróleo, farinha de madeira, entre outros. A argila e a água atuam como ligantes, mantendo os grãos de areia coesos. O material carbonáceo é queimado quando o metal líquido é vazado no molde, evitando a oxidação do metal quando este for solidificando¹¹.

O termo “verde” se refere ao fato de que o molde contém umidade no momento do vazamento, indicando que o molde não está queimado nem seco²⁰. Estes moldes possuem resistência suficiente para a maioria das aplicações, boa colapsibilidade, permeabilidade e reusibilidade, e são os moldes de menor custo¹⁶.

A moldagem por areia verde, como é demonstrado por seu uso muito difundido, apresenta inúmeras vantagens sobre outros métodos de vazamento. Entre elas podemos citar:

- pode ser usada tanto para ferrosos como para não ferrosos;
- não existem grandes limitações aos tamanhos, formas e pesos dos fundidos;
- os modelos são de baixo custo;
- é possível a adaptação a pequenas e grandes séries¹².

Este processo também apresenta a vantagem de requerer um tempo relativamente curto para produzir um molde, se compararmos com outros processos. Em compensação, a simplicidade relativa do processo faz com que seja ideal para processos mecânicos¹¹.

As desvantagens do método são as seguintes:

- baixa precisão dimensional;
- necessidade de acabamento do fundido após a remoção¹².

3.2.2. Moldagem e fabricação de machos com areias ligadas quimicamente

Para fabricação de machos, o sistema mais largamente usado é aquele quimicamente ligado. Machos requerem características físicas diferentes dos moldes, sendo por isto o sistema utilizado diferente daquele utilizado para

fabricação de moldes. Os machos devem ser fortes o suficiente para suportar o metal fundido e ter colapsibilidade suficiente para permitir sua remoção da peça fundida após o resfriamento. Geralmente os machos são extraídos por impacto¹⁶.

Isto significa que o sistema ligante utilizado deve produzir machos fortes e duros, que serão rompidos para permitir sua remoção após o endurecimento do fundido. Desta forma, os machos são tipicamente formados por sílica e fortes ligantes químicos. A mistura de areia e ligantes é realizada em uma caixa de macho, onde, após endurecer na forma desejada, é removida. O endurecimento ou cura é acompanhado por uma reação química ou catalítica, ou pela ação de calor¹¹.

Os sistemas mais largamente utilizados de produção de machos em fundições para indústrias automobilísticas são os sistemas caixa fria e caixa quente¹¹.

3.2.2.1. Processo de cura a frio

O processo de cura a frio é o processo no qual o endurecimento da mistura de areia se realiza pela reação do composto químico a ela adicionado à temperatura ambiente¹⁴. O processo inicia quando o último componente da formulação é introduzido na mistura, continuando desde alguns minutos até várias horas, dependendo do processo, da quantidade de ligantes e da intensidade de cura¹¹.

Este processo é mais utilizado para fabricar moldes do que machos, especialmente para fundidos de tamanhos médio a grande¹¹.

Os processos de cura a frio mais comuns são o furânico, alquídico, fenólico/uretânico(pepset), cimento, silicato catalisado com éster, silicato catalisado com ferrosilício, entre outros¹⁴.

As resinas furânicas catalisadas com ácidos foram introduzidas inicialmente em 1958 e são comumente utilizadas em moldagens e fabricação de machos para peças médias e grandes, e em produções em série para fundições pequenas e médias, e ainda para qualquer tipo de ligas. Este processo permite uma boa flexibilidade em aplicação e propriedades.¹¹

As resinas furânicas estão disponíveis em diferentes formulações, todas elas baseadas em álcool furfúrico, tais como: resina furânica, uréia-formaldeído-álcool furfúrico, fenol-formaldeído-álcool furfúrico e resorcinol-álcool furfúrico¹¹.

Os catalisadores utilizados podem ser ácidos sulfônicos fortes ou ácido sulfúrico ou fosfórico, usados em sua forma diluída¹¹.

As resinas fenólicas são muito utilizadas na produção de peças grandes, sendo aplicadas para vários tipos de ligas. A cura destas resinas é mais difícil e menos regular, se comparada às resinas furânicas¹¹

As resinas fenólicas tanto podem ser fenol-formaldeído ou copolímeros de uréia-formaldeído/fenol-formaldeído, ambas sendo “resóis”, em uma proporção formaldeído/fenol, maior do que um¹¹.

O processo de cura a frio com poliuretanos (isocianatos fenólicos) é utilizado em menor escala em moldagem e macharia, com restrições em fundição de aço, já que rachaduras e crostas podem ocorrer. Este processo é baseado em uma reação de poliadição entre uma resina fenólica e um isocianato (normalmente MDI) catalisada por um derivado da piridina, resultando uma estrutura de poliuretano¹¹.

O processo com resol-éster (éster fenólico alcalino curado) é mais comumente usado em produções pequenas e médias. Pode ser usado para todos os tipos de ligas, mas é de especial interesse para ligas leves, por causa da facilidade na desmoldagem¹¹.

A utilização de óleo alquídico restringe-se a pequenas fundições e para pequenos volumes de fundição em aço. A utilização de óleo alquídico proporciona uma boa superfície de acabamento e boas propriedades de resistência ao descascamento. Seu custo, entretanto é muito elevado¹¹.

O éster silicato é mais utilizado em fundições de aço, para fundidos de médio a grande porte, e pequenas séries. É um processo similar ao óleo alquídico, apresentando, no entanto, fracas propriedades de desmoldagem e resistência mecânica mais baixa que os sistemas ligados com resinas orgânicas¹¹.

Já a utilização de cimento restringe-se à produção de fundidos de porte extremamente grande. Sua aplicação é relevante em aplicações de obras públicas (tubulações, emissários, bombas). Não há geração de emissões durante as etapas de fabricação de moldes e machos¹¹.

3.2.2.2. Processo de cura a gás

O processo de cura a gás é o processo no qual o endurecimento da mistura areia/aglomerante se realiza dentro da caixa de macho ou molde, à temperatura ambiente, pela reação do aglomerante (resina fenólica, furânica ou silicato de

sódio), promovida pela passagem de um catalisador (gás ou vapor)¹⁴. Nestes processos, a cura acontece através da injeção de um catalisador ou um agente de cura sob forma gasosa. A velocidade de cura pode ser muito alta, o que permite que se atinja altas taxas de produção. É adequado para moldes e machos de tamanho limitado, em produções de média escala. Seu uso vem sendo constantemente expandido nos últimos anos¹¹.

Em função da forma gasosa dos catalisadores, as emissões geradas devem ser coletadas e tratadas¹¹.

Os agentes de cura mais utilizados são CO₂, SO₂ e amina¹⁴.

Os processos de cura a gás, de acordo com o tipo de resina utilizada, classificam-se em:

- caixa fria (resina uretânica fenólica curada com amina);
- resol-ester;
- resina alcalina fenólica curada por CO₂;
- epóxi acrílico curado por SO₂ (cura por radical livre);
- silicato de sódio curado por CO₂;
- resinas furânicas curadas por SO₂¹¹.

Segundo Maciel *apud* Biolo¹⁷, o processo caixa fria constitui-se na mistura de dois tipos de resina e areia, onde depois de soprada a areia, é feita a passagem do catalisador pulverizado juntamente com o gás, obtendo-se já em condições de uso, o macho ou mesmo o molde. Um dos componentes principais do sistema é a resina que é constituída de um sistema orgânico de duas partes que reagem entre si e curam à temperatura ambiente na presença do catalisador gasoso.

Este processo é comumente usado para fazer machos acima de 100 kg, e pequenos moldes, sendo o processo mais comumente utilizado na fabricação de machos. Este processo emprega um gás catalítico para curar os ligantes à temperatura ambiente, possuindo um pequeno tempo de cura, de aproximadamente 10 segundos, sendo muito utilizado para técnicas de produção em massa¹⁶.

Utiliza-se amina como catalisador, não sendo a mesma consumida na reação. Após a cura, a amina permanece na areia do molde ou macho, e deve ser retirada¹¹.

O processo resol-ester é relativamente novo. Suas vantagens e desvantagens são similares às do processo de cura a frio do qual é derivado. Como seu preço é elevado, este processo é mais utilizado para fabricação de machos. Apesar de algumas dificuldades em reciclar a areia usada, este processo é

largamente utilizado principalmente em função de suas propriedades de desmoldagem, da habilidade de prevenir fissuras, veios e formação de pinhoís, e também, devido à baixa emissão de odores¹¹.

A aplicação de resinas furânicas curadas por SO₂ não é de uso muito difundido, porém é adequada para uma série grande de aplicação na manufatura de moldes e machos de peças pequenas a médias, para qualquer tipo de liga¹¹.

O processo com utilização de epóxi acrílico curado por SO₂ (cura por radical livre) apresenta muitas vantagens: boa habilidade na compactação, longa vida útil da areia preparada em bancada, boas propriedades mecânicas, ausência de nitrogênio, fenol ou formaldeído, boa performance na desmoldagem, e ausência de fendas ou rachaduras. Entretanto, o custo dos constituintes dos ligantes é a maior desvantagem¹¹.

O método utilizando silicato de sódio curado por CO₂ apresenta a vantagem de ser barato, de fácil manuseio e ambientalmente limpo. Tanto para saúde dos trabalhadores, quanto para confiabilidade da operação, esta técnica apresenta vantagens em relação aquelas que utilizam ligantes orgânicos¹¹. É um processo que envolve uma mistura de areia sem argila, com até 15% de silicato de sódio, utilizada para conformar moldes e machos, sendo posteriormente endurecidos pela ação do gás carbônico¹⁶.

Seu uso entretanto, perdeu popularidade em função de razões técnicas tais como baixa capacidade de compactação e problemas relacionados com colapsibilidade, baixa resistência mecânica, sensibilidade ao esfarelamento, captação de umidade, e baixa capacidade de aproveitamento. Além do mais, o uso do silicato de sódio pode levar ao aumento dos custos de limpeza. Os machos atingem sua capacidade máxima de resistência somente após um período de secagem. Isto faz com que seja reduzida a aplicação em processos automatizados. Esta técnica encontra sua principal aplicação em fundições de pequena escala¹¹.

3.2.2.3. Processo de cura a quente

Processo de cura a quente é o processo no qual o endurecimento da mistura de areia se realiza, total ou parcialmente, dentro da caixa de macho ou molde, pela reação de polimerização de uma resina (fenólica ou furânica), sob a ação do calor, em presença ou não de um catalisador ácido¹⁴.

Os processos mais comuns são a fundição em casca e o processo caixa quente. Nestes processos a cura acontece pelo aquecimento da mistura areia-resina, ou mais freqüentemente através do contato com o equipamento aquecido do modelo. Estas duas formas proporcionam uma alta precisão dimensional, a qual somente pode ser alcançada através da utilização de modelos de alta qualidade, o que pode tornar o processo muito oneroso. Por esta razão, processos de cura a quente são usados para produção de machos de tamanhos limitados, principalmente em processos de produção em série. Seu uso, difundido por muitos anos, encontra-se em declínio nos dias atuais, sendo substituído pelos processos de cura à gás¹¹.

Os processos de cura a quente são caracterizados por problemas de emissões atmosféricas: quando aquecidas, as resinas e os catalisadores emitem gases nocivos incluindo amônia e formaldeído, os quais podem ser fontes de odores incômodos¹¹.

Os processos de cura a quente podem ser divididos, de acordo com a faixa de temperatura utilizada e constituintes químicos em:

- caixa quente (fenólicas e/ou furânicas);
- caixa morna;
- em casca;
- óleo de linhaça;
- óleo alquídico¹¹.

O processo caixa quente pode produzir machos de elevada precisão dimensional e boa resistência mecânica. Os limites do processo são determinados pelos custos, principalmente das resinas, energia e equipamentos padrão, bem como pelas baixas condições de saúde ocupacional dos trabalhadores. É normalmente utilizado na manufatura de machos de pequeno a médio porte em produções em série¹¹.

Uma ampla variedade de resinas pode ser empregada, tais como uréia-formaldeído, uréia-formaldeído-álcool furfúrico, fenol-formaldeído, fenol-formaldeído-álcool furfúrico, uréia-formaldeído-fenol-formaldeído e uréia-formaldeído-fenol-formaldeído-álcool furfúrico¹¹.

Devido a sua maior resistência a quente e custo mais baixo as resinas fenólicas ficaram muito populares, sendo estas 90% das resinas usadas no processo caixa quente¹¹.

Este processo tem sido usado em fundições altamente automatizadas na produção de fundidos de todos os tipos de metais, embora as fórmulas dos ligantes variem. Devido ao processo estar especialmente adaptado para altas produções, o seu maior uso é na indústria automotiva e na indústria de produção de torneiras e afins¹¹.

O processo caixa morna é similar ao processo caixa quente e utiliza as mesmas técnicas de produção. A diferença está no tipo de resina utilizada, permitindo que a cura aconteça em temperaturas mais baixas. No entanto, este tipo de resina é muito mais cara do que aquelas utilizadas no processo caixa quente. Desta forma, apesar de algumas vantagens, este processo não é muito difundido¹¹.

O processo em casca é o único entre os processos de moldagem e macharia que pode usar areia previamente revestida com resina, disponível diretamente dos fornecedores e pronta para o uso, apesar do pré revestimento da areia com resina poder ser realizado na própria fundição¹¹.

O processo de fundição em casca ou processo *shell* é baseado no uso de uma mistura de resina sintética com areia sobre uma placa metálica aquecida, formando uma casca de pequena espessura sobre a mesma.

A areia não curada ou não aquecida pode ser descartada, e então reutilizada. A areia curada forma uma espécie de concha, o que dá a denominação do processo (*shell*)¹¹.

Este processo proporciona uma elevada precisão dimensional e uma boa superfície de acabamento dos fundidos, boas propriedades na desmoldagem, e permite ainda um tempo indeterminado de armazenamento da areia pré-revestida. Os limites do processo são os custos da areia pré-revestida, bem como dos equipamentos padronizados (matrizes, moldes). Seu uso é restrito às produções de pequeno a médio porte¹¹.

O processo utilizando óleo de linhaça é provavelmente o processo mais antigo de obtenção de areias ligadas quimicamente. É de fácil utilização, não necessita de matrizes sofisticadas e apresenta uma boa resistência à formação de veios e fissuras. Ainda é utilizado em pequenas fundições especializadas¹¹.

O processo com utilização de óleo alquídico é similar ao processo alquídico cura a frio já descrito anteriormente, sendo a única diferença, o tratamento térmico para acelerar a cura¹¹.

3.2.3. Processo por modelos descartados

Neste processo os modelos não são removidos do molde antes do vazamento do metal. O modelo, feito de material expandido, é utilizado somente uma vez, sendo destruído quando do vazamento. Estes modelos descartáveis podem ser embutidos tanto em areias ligadas quimicamente, como em areias sem ligantes, endurecidas por vibração¹¹.

Quando os modelos são embutidos em areias sem ligantes, o processo é denominado processo espuma perdida e quando são embutidos em areias ligadas quimicamente, o processo é denominado processo molde cheio¹¹.

Ambos os processos são considerados ambientalmente corretos durante a moldagem, mas produzem emissões gasosas durante o vazamento e a desmoldagem devido à vaporização dos modelos descartados¹¹.

Entre as vantagens do processo molde cheio estão a alta precisão de tamanho, a produção de geometrias complexas, especialmente cavidades internas, a integração de várias partes em uma única peça fundida, a redução ou exclusão de arestas e a possibilidade de regeneração térmica da areia¹¹.

Apesar das técnicas “espuma perdida” e “molde cheio” serem conhecidas por longo tempo, elas ainda não são amplamente utilizadas. Isto se deve, principalmente, ao fato de que a otimização destas técnicas requer ainda muita pesquisa e desenvolvimento. As principais dificuldades são:

- definição da variação do produto: determinação de quais peças que podem ser mais facilmente obtidas, se comparadas aos métodos tradicionais;
- seleção da técnica de compactação: aplicação da areia de forma a preencher inteiramente as cavidades;
- escolha do revestimento e do tipo de areia: isto deve pressupor uma permeabilidade suficiente para permitir o escape dos gases de combustão¹¹.

3.3. Emissões geradas e níveis de consumo em fundições

Nesta seção serão avaliadas as emissões atmosféricas geradas nas etapas de produção de moldes e machos, bem como nas etapas de vazamento, resfriamento e desmoldagem.

3.3.1. Produção de moldes e machos

A produção de moldes e machos envolve mistura de areias e várias substâncias químicas, sendo em alguns casos utilizado calor. Produtos de reação gasosos ou voláteis e excesso de reagentes são emitidos¹¹.

A tabela II apresenta um levantamento das emissões e outros impactos ambientais gerados durante a mistura, montagem e armazenamento dos moldes e machos. Muitas das emissões persistem durante o vazamento do metal e no resfriamento do fundido, neste caso com a adição de produtos de pirólise.

Pelos processos de moldagem com areia verde, os insumos utilizados são areia, bentonita, pó de carvão, dextrina e água, e os resíduos gerados são moldes de areia verde e pós (finos de sílica, argilas queimadas parcialmente, pó de carvão não queimado e cinzas)¹¹.

Nos processos de moldagem e macharia com areias ligadas quimicamente, tem-se a utilização de areia, resinas, catalisadores, agentes de cura e aditivos como insumos, e a geração de moldes e machos, excesso de reagentes, produtos de reação e poeiras como resíduos¹¹.

Tabela II: Impactos ambientais de acordo com os sistemas ligantes usados.

Processo	Sistema/ Constituintes dos Ligantes	Emissões Atmosféricas Geradas durante a Mistura e a Cura	Outros Impactos Ambientais
Areia verde	argila pó de carvão água	material particulado - não ocorrem emissões significativas ao ambiente.	probabilidade de emissões fugitivas decorrentes dos derrames de areia próximos aos transportadores.
Cura a frio	fenólico - resina fenolformaldeído	formaldeído*/fenol*/ésteres	
	poliuretânico	isocianato(MDI)/formaldeído* fenol	
	furânico - resinas fenólicas,uréia, álcool furfúrico e formaldeído	formaldeído* fenol* álcool furfúrico* gás sulfídrico ácidos mistos	ácidos e resinas devem ser mantidos separados, a não ser que haja presença de areia, já que eles reagem de forma violentamente exotérmica quando em contato
	ester silicato	não há problemas de emissões	
	resol ester	emissões extremamente baixas de fenol/formaldeído não reagido	
	óleo	não há problemas de emissões	
	cimento	não há problemas de emissões	
Cura a gás	fenólico - resina fenolformaldeído alcalina – Resol	formaldeído*/fenol* metilformiato	
	caixa fria - fenólica uretânica	isocianato(MDI) amina* formaldeído* fenol	freqüência de geração de odores. quando se utiliza DMEA é necessário sistema de controle através da queima ou lavagem dos gases. na utilização de TEA o uso de lavador de gases é eficaz.
	CO ₂ – silicato de sódio	sem problemas de emissões	
	resina furânica curada por SO ₂	formaldeído, SO ₂	
	acrílico epóxi curado por SO ₂	SO ₂	
Cura a quente	óleo	acroleína* complexos orgânicos, COVs	pode ocorrer geração de odores.
	em casca - resina fenol-formaldeído	formaldeído*/fenol*/amônia* aromáticos/HCN	
	caixa quente -	formaldeído*/ácidos álcool furfúrico/fenol/amônia ácido isocianídrico metilisocianato	freqüência de geração de odores.
	caixa morna	não há presença de fenol ou amônia. Emissões mais baixas do que o processo caixa quente	
<p>Nota 1: substâncias marcadas com * são aquelas mais prováveis de gerar odores de acordo com os processos referidos</p> <p>Nota 2: os componentes dos ligantes devem merecer atenção especial quando descartados, já que apresentam risco de contaminação de solos e águas superficiais ou subterrâneas</p> <p>Nota 3: aminas e metilformiatos usados nos processos de cura a gás são extremamente inflamáveis e geradores de odores.</p> <p>Nota 4: todos os processos acima geram resíduos de areia para descarte.</p>			

Fonte: adaptação Lilja *et al*, 2000 *apud* documento de referência em BAT para as indústrias de fundição¹¹.

Nos processos de cura a frio, as emissões geradas podem ser descritas abaixo¹¹:

- fenólicas: vapores de formaldeído e fenol;
- furanos: vapores de formaldeído, fenol, álcool furfúrico e álcoois;
- poliuretano: vapores de formaldeído, fenol, isocianato e solventes aromáticos. Odores desagradáveis podem ser gerados na área de moldagem, mas não a ponto de provocar incômodos externos.

Os vapores de formaldeído, fenol, álcool furfurílico, isocianato e solventes aromáticos podem ser gerados em função de suas pressões de vapor, mas como a polimerização ocorre à temperatura ambiente a determinadas taxas de consumo, as emissões geradas são insignificantes.

- resol-éster: a resina contém fenol e formaldeído não reagido, mas suas emissões são extremamente baixas e ambientalmente insignificantes;
- óleo alquídico: durante a produção de moldes e machos não ocorrem problemas de emissão, a não ser que haja cura por calor, sendo que neste caso pode ocorrer geração de odores;
- ester silicato: este processo não apresenta qualquer tipo de problemas de emissões.

Nos processos cura a gás, as emissões geradas são as seguintes¹¹:

- caixa fria: vapores de formaldeído, fenol, isocianato e solventes aromáticos são emitidos em baixas quantidades, apesar de suas baixas pressões de vapor. Emissões de solventes aromáticos são geradas em maior quantidade durante a purga. A emissão mais significativa é aquela proveniente das aminas;
- resol éster: a resina contém fenol e formaldeído não reagido, mas seus níveis de emissão, mesmo durante os períodos de passagem do gás e da purga do mesmo, são muito baixos. Metilformiato não é tóxico, não apresenta um odor incômodo e seus valores limites de exposição são relativamente altos;
- resol-CO₂: a resina contém baixas quantidades de fenol e formaldeído não reagidos, e suas emissões, mesmo durante os períodos de passagem do gás e da purga, são muito baixas;
- resinas fenólicas e furânicas curadas por SO₂: a resina e as areias preparadas geram emissões formaldeídicas. O maior problema é causado pelo dióxido de enxofre, que é muito perigoso;

- acrílico/epóxi curado por SO₂: mínimas emissões são geradas durante o processo de macharia, sendo o único problema a emissão de dióxido de enxofre, que deverá ser controlada;

- CO₂/silicato: este processo não gera qualquer problema de emissões durante a moldagem e macharia.

As emissões geradas nos processos de cura a quente são as descritas abaixo:

- caixa quente: os modelos são geralmente aquecidos por queimadores à gás por maçaricos, produzindo emissões da combustão. Este gás pode conter fenol, amônia, formaldeído e monoisocianatos (se a resina contiver nitrogênio);

- caixa morna: comparadas com as emissões geradas no processo caixa quente, estas são significativamente mais baixas. As emissões não contém fenol ou amônia, e as emissões de formaldeído são diminuídas em um fator de 4. Assim, como a temperatura dos modelos é também baixa, se comparada, com aquela usada nos processos caixa quente, as condições de trabalho são melhores. O impacto ambiental é considerado relativamente baixo;

- em casca: comparado ao processo caixa quente, o consumo de areia curada é muito baixo. No entanto, a areia pré revestida contém de 2 a 3 vezes mais resina, mas como a temperatura dos modelos é aproximadamente a mesma, os impactos nas condições de trabalho são similares;

- óleo de linhaça: como os óleos geralmente estão em solução de solventes orgânicos, como nafta ou querosene, são geradas grandes quantidades de Compostos Orgânicos Voláteis – COVs - durante a cura, que podem gerar odores incômodos externos. Este problema é mais persistente durante o vazamento. Estes problemas, assim como a baixa produtividade são algumas das razões para redução do interesse no uso deste processo¹¹.

3.3.2. Vazamento, resfriamento e desmoldagem

Os seguintes tipos de emissões podem ocorrer durante o vazamento:

- componentes termicamente degradáveis, reagindo com fumos e/ou vapores liberados,

- compostos químicos provenientes dos ligantes e de alguns sistemas de enegrecimento podem ser liberados, como resultado de degradação térmica

e/ou volatilização, por exemplo, gases de combustão, vapor d'água, e compostos orgânicos voláteis. Alguns dos produtos de degradação podem gerar odores¹¹.

Experiências mostram que o máximo de emissões relacionadas ao carbono total somente ocorre após 10 minutos ou mais do vazamento. CO é o principal componente, sendo o nível de CO o indicativo da emissão dos outros componentes¹¹.

Durante o resfriamento e a desmoldagem, o processo de decomposição térmica continua e compostos voláteis são gerados, sendo principalmente controlados por difusão e taxas de evaporação¹¹.

A remoção dos fundidos dos moldes e machos de areia é um procedimento de intensa geração de poeiras, já que os moldes, ao menos parcialmente, devem ser rompidos.

A segunda etapa de resfriamento libera somente vapor d'água naquelas plantas onde se utiliza jatos de água como coadjuvante do resfriamento.

O tipo de emissão gerada durante a fundição depende do tipo de ligante usado. As emissões são comparáveis àquelas geradas durante o estágio de mistura, com a adição de produtos de pirólise que ocorrem em função do contato com o metal quente. A tabela III apresenta os resultados de um levantamento qualitativo de emissões associadas com vários tipos de ligantes¹¹.

Os níveis de emissão durante o vazamento, resfriamento e desmoldagem, para um sistema de areias misturadas, foram determinados através de um programa de medições intensivo em duas fundições automotivas no México. As fundições estudadas produzem fundidos de ferro utilizando moldes de areia verde e machos de areias ligadas quimicamente¹¹.

Os níveis de emissão são muito específicos do processo estudado, e variam de acordo com as mudanças na composição do molde ou macho, ou mudanças nos parâmetros de processo, tais como tempo de resfriamento, ou nas técnicas aplicadas, como tipo de desmoldagem adotado. De todo modo, dos fatores de emissão obtidos são indicadas informações úteis quanto ao tipo de emissão, e da relativa importância das várias etapas do processo¹¹.

Conforme os dados obtidos, as emissões mais altas ocorrem durante a desmoldagem e somente pequenas emissões ocorrem durante o vazamento. Naftaleno e monometilnaftaleno contribuem para as emissões de PAH. Análises posteriores desta categoria revelaram que muitos dos PAHs carcinogênicos, como benzopireno não foram detectados¹¹.

Tabela III: Impactos ambientais de sistemas de ligantes com base no vazamento, desmoldagem e resfriamento

Processo	Sistema/ Constituintes dos Ligantes	Emissões Atmosféricas Geradas no Vazamento, Desmoldagem e Resfriamento	Outros Impactos Ambientais
areia verde	argila pó de carvão água	material particulado/monóxido e dióxido de carbono/ benzeno/tolueno/xileno	potencial de odor (pode estar associado ao teor de enxofre do carvão)
cura a frio	fenólico – resina fenolformaldeído	material particulado óxidos de carbono formaldeído/fenol/cresol/xilenol/aromáticos	odor pode ser problema
	poliuretânico	material particulado/óxidos de carbono/óxidos de nitrogênio/ monoisocianatos/formaldeído/fenóis/cresóis/ xilenóis/aromáticos/anilinas/ naftalenos/amônia	odor pode ser problema
	furânico - resinas fenólicas, uréia, álcool furfúrico e formaldeído	material particulado/óxidos de carbono/ fenóis/cresóis/xilenóis/formaldeído/ aromáticos/dióxido de enxofre/amônia/ anilina/ácido isocianídrico*/metilisocianato*	odor pode ocasionalmente ser problema
	ester silicato silicato de sódio	óxidos de carbono/alcanos/acetona/ácido acético/acroleína	
	resol ester	material particulado/óxidos de carbono	
	óleo	material particulado/óxidos de carbono	
	cimento	material particulado/óxidos de carbono	
cura a gás	fenólico -resina fenolformaldeído alcalina – Resol	material particulado/ óxidos de carbono/ formaldeído/fenol/cresol/xilenol/aromáticos	odor pode ser problema
	caixafria	material particulado/óxidos de carbono/óxidos de nitrogênio/ monoisocianatos/formaldeído/fenóis/cresóis/ xilenóis/aromáticos/anilinas/ naftalenos/amônia	odor pode ser problema
	CO ₂ – silicato	óxidos de carbono	
	resina furânica curada por SO ₂	material particulado/óxidos de enxôfre	
	acrílico epóxi curado por SO ₂	material particulado/óxidos de enxôfre	
cura a quente	óleo	material particulado/óxidos de carbono/butadieno/cetonas/acroleína	pode ocorrer geração de odores.
	em casca resina fenol- formaldeído	material particulado/óxidos de carbono/fenol*/cresol*/ xilenol*/amônia/aldeídos/benzeno/PAH	maior incidência de odores, sendo necessário o tratamento, embora a dispersão seja suficiente
	caixa quente - resinas fenólica, uréia, álcool furfúrico e formaldeído	material particulado/óxidos de carbono/fenóis/cresóis/xilenóis/formaldeído/ aromáticos/dióxido de enxofre/amônia/ anilina/ácido isocianídrico*/metilisocianato*	
	caixa morna	material particulado/óxidos de carbono/baixas emissões de formaldeído	

* para resinas contendo nitrogênio

Fonte: documento de referência em BAT para indústrias de fundição, elaborado pela Comissão Européia, visando o controle e prevenção integrados da poluição, IPPC, 2005¹¹.

3.4. Areias de fundição usadas

As areias são usadas nos processos de fundição para formar moldes nos quais o metal líquido é vazado. Após o resfriamento, os moldes de areia são quebrados e os produtos de ferro acabado removidos. Tanto os ligantes de argila como os ligantes químicos são adicionados às areias para manter a forma do molde durante o vazamento e resfriamento. Enquanto os ligantes de argila incluem bentonita em proporção de 5-10%, os ligantes químicos envolvem resinas que são usualmente polímeros orgânicos sintéticos. A composição exata do sistema ligante incluindo resinas, catalisadores e solventes é que vai indicar a natureza da contaminação das areias de fundição. Em geral, a contaminação das areias de fundição é decorrente de matérias não reagidas, catalisadores, solventes e polímeros solúveis. Acredita-se que a disposição em aterros não será mais praticável no futuro, em função das legislações cada vez mais restritivas para o monitoramento e controle dos mesmos, e também em função dos encerramentos cada vez mais rápidos dos aterros disponíveis. As fundições estão se sensibilizando a este problema através do desenvolvimento de mercados para utilização das areias usadas na indústria da construção, bem como, instalando sistema de recuperação de areias que permita o reuso das mesmas no processo industrial²¹.

3.5. Técnicas a serem consideradas na determinação de *BAT (Best Available Techniques)* para fundições

As melhores técnicas disponíveis - *BAT (Best Available Techniques)*, são definidas pela diretiva europeia 96/61²² como o estágio mais efetivo e avançado no desenvolvimento das atividades e seus métodos de operação, e indicam a adequabilidade prática de técnicas particulares a fim de assegurar os limites de emissão na prevenção, ou quando não for possível, para reduzir as emissões e o impacto ao meio ambiente. Esta definição implica nas técnicas *BAT* contemplarem não somente a tecnologia a ser adotada, como também a forma de operação da instalação, a fim de assegurar um alto nível de proteção ambiental. Estas técnicas levam em consideração um balanço entre os custos e os benefícios ambientais²³.

Definições sucintas do significado de *BAT* são dadas abaixo:

- “técnicas” incluem tanto a tecnologia usada, como o projeto de instalação, manutenção, operação e desativação da unidade. Este é um termo amplo que inclui todos os fatores relevantes à performance ambiental de uma instalação.
- “técnicas disponíveis” são aquelas desenvolvidas em escala que permitam sua implementação em setores industriais relevantes, sob condições técnica e economicamente viáveis, levando em consideração os custos e vantagens.
- “melhores técnicas disponíveis” são as mais efetivas na busca de um alto nível de proteção ao ambiente como um todo. Isto significa que todos os diferentes tipos de impactos ambientais que podem ser gerados em uma instalação devem ser considerados na determinação de quais técnicas são consideradas “melhores”²⁴.

Na determinação das melhores tecnologias disponíveis, deve-se levar em consideração os seguintes itens:

- utilização de tecnologia de baixa geração de resíduos;
- utilização de substâncias de baixa toxicidade;
- possibilidade de recuperação e reciclagem das substâncias geradas e usadas no processo e dos resíduos, quando for o caso;
- comparação de processos, instalações ou métodos de operação, que tenham sido testados com sucesso em escala industrial;
- avanços tecnológicos e mudanças no conhecimento e entendimento científicos;
- natureza, efeitos e emissões relacionadas;
- dados de desativação para instalações novas e existentes;
- período de tempo necessário para implantação das melhores tecnologias disponíveis;
- consumo e origem das matérias-primas utilizadas no processo e eficiência energética;
- necessidade de prevenção ou redução ao mínimo dos impactos no ambiente;
- necessidade de prevenção de acidentes e minimização de suas conseqüências ao meio ambiente²⁴.

As técnicas de proteção ambiental e redução do consumo de energia nas fundições objetivam tanto a otimização do processo, como a redução dos impactos ambientais, através das ações abaixo, entre outras:

- seleção criteriosa e otimização de cada unidade operacional, tais como: armazenamento, fusão e tratamento do metal, produção de moldes e machos;
- redução das emissões atmosféricas e efluentes líquidos;
- aumento do uso eficiente de energia;
- minimização e re-uso dos resíduos¹¹.

Considerando o objetivo principal deste trabalho, as técnicas existentes com relação aos processos de minimização, recuperação, regeneração e reuso das areias de fundição, tanto interna como externamente, serão apresentadas de acordo com os tópicos abaixo:

- produção de moldes e machos, incluindo preparação da areia;
- areia: regeneração, reciclagem, re-uso e disposição.

3.5.1. Produção de moldes e machos, incluindo preparação da areia

3.5.1.1. Moldagem com areias ligadas com argilas (moldagem com areia verde)

Uma das técnicas consideradas como *BAT* é a preparação das areias ligadas com argila através da mistura a vácuo. Neste caso, os processos de mistura e resfriamento estão combinados em uma única etapa de processamento. Isto é alcançado através da operação do misturador de areia sob pressão reduzida, o que resulta no resfriamento pela vaporização controlada de água. O misturador especial precisa ser hermeticamente fechado¹¹.

A redução do fluxo de ar resulta em uma pequena remoção de bentonita ativa, e desse modo, em uma redução total no consumo de aditivos. Devido à operação enclausurada, esta técnica não é afetada por condições climáticas externas¹¹.

Este sistema apresenta como desvantagem a operação e o gerenciamento do sistema de vácuo, podendo também afetar as propriedades técnicas das areias.

Os benefícios ambientais alcançados estão relacionados a um menor volume de emissão de gases e da quantidade de pó para disposição, devido à redução do fluxo total de ar, assim como a uma redução no consumo de ligantes se comparado ao resfriamento convencional e plantas de mistura, além do menor consumo de energia utilizado.¹¹

3.5.1.2. Moldagem e fabricação de machos com areias ligadas quimicamente

Nas etapas de moldagem e fabricação de machos com areias ligadas quimicamente as técnicas *BAT* a serem consideradas são aquelas que minimizem o consumo de resinas e ligantes químicos, que minimizem a perda dos moldes e machos, e que apresentem alternativas de boas práticas para os diferentes processos de cura das areias.

Na produção de machos não existem metodologias rigorosas para a mistura dos componentes, nem um controle rigoroso da quantidade de aglomerantes necessários para se efetuar essa operação, sendo estes fatores responsáveis pela existência de uma quantidade significativa de resíduos de machos e moldes não vazados com aglomerantes orgânicos. A dosagem dos aglomerantes depende da granulometria da areia e do tipo de aglomerante usado. A uniformização de tecnologias neste campo facilita em parte o tratamento dos resíduos, e aumenta a possibilidade da sua reintrodução no processo de fabricação¹³.

A minimização do consumo dos produtos químicos pode ser alcançada através de uma otimização dos controles de processo e do manuseio dos materiais. O uso excessivo, para compensar escassos controles de processo, é a forma mais comum de desperdiçar ligantes químicos sob forma de resíduos¹¹.

Os parâmetros chave que estão relacionados ao bom gerenciamento dos ligantes incluem:

- adequação das areias com o sistema ligante: o gerenciamento adequado do armazenamento e testes das areias (pureza, tamanho de grãos, forma, umidade) são os mais importantes. Um baixo teor de finos e uma máxima quantidade de areia re-usada podem reduzir a quantidade de resina necessária,
- controle de temperatura: a temperatura da areia deve ser mantida em uma faixa limitada de variação, com avaliação regular e ajuste das quantidades

adicionadas de agentes de cura. A instalação dos aquecedores de areia exatamente antes do misturador permite um controle de temperatura mais eficaz.

- manutenção e limpeza do misturador,
- qualidade do molde: avaliação, resolução e prevenção de defeitos na moldagem,
- taxas de adição: a adição adequada dos ligantes depende do tipo de ligante, da área superficial da areia e do tamanho dos fundidos,
- operação do misturador: otimização da performance envolvendo monitoramento e controle da operação¹¹.

Os benefícios ambientais alcançados estão relacionados à minimização do consumo de aditivos químicos. Compostos orgânicos voláteis compõem de 50 a 60% em massa dos componentes dos ligantes. A quantidade depende do tipo do sistema do ligante. A maioria é emitida durante a mistura de areia e vazamento do metal. Uma redução no uso do ligante resulta em uma redução correspondente das emissões de compostos orgânicos voláteis - COVs¹¹.

Esta técnica pode ser aplicada em todas as fundições, novas e existentes, que utilizem areias ligadas quimicamente¹¹.

No processo de cura frio o controle da temperatura é uma das técnicas *BAT* considerada. As temperaturas devem ser mantidas entre 15 e 25°C para as resinas fenólicas, furânicas, poliuretânicas, resol éster e éster silicato utilizadas. Esta faixa de temperatura deve ser observada para controlar o tempo de ajuste do ligante e minimização da adição de catalisadores, bem como para minimizar a geração das emissões atmosféricas causadas pela evaporação¹¹.

Quando se utilizam resinas poliuretânicas (isocianato fenólica), também é considerada técnica *BAT* a mistura do catalisador e resina fenólica com o isocianato e areia diretamente no misturador¹¹.

Para os processos de cura a gás as técnicas *BAT* consideradas estão listadas abaixo, de acordo com os processos utilizados:

- caixa fria: os vapores de amina devem ser capturados no equipamento de produção de machos. Adicionalmente, deve ser necessário ventilar a área de armazenamento de machos. A minimização do consumo de aminas é auxiliada pela otimização do processo de distribuição de aminas no interior dos machos, tipicamente através de uma simulação e otimização do fluxo de gás.

A temperatura da areia deve ser mantida constante entre 20 e 25°C, sendo que uma temperatura muito baixa envolve um longo tempo de passagem do gás,

resultando em um grande consumo de amins. Uma temperatura muito alta reduz drasticamente o tempo de vida da areia preparada.

- resol (metilformiato alcalino fenólico curado): é conveniente ventilar a área de trabalho, ao menos para prevenir qualquer perigo de incêndio. O consumo de metilformiato necessita ser minimizado de modo a compatibilizar a necessidade da produção dos machos de areia. A temperatura da areia deve ser mantida acima de 20°C, para prevenir a condensação do metilformiato. Vapores de metilformiato são mais pesados que o ar, o que deve ser levado em conta quando do projeto do sistema de exaustão.

- resol-CO₂: a resina apresenta baixos teores de fenol e formaldeído não reagido, e seus níveis de emissão, mesmo durante a passagem do gás e purga, são muito baixos. É aconselhável área de trabalho dotada de ventilação,

- fenol ou furano curado com SO₂: a área de trabalho deve ser ventilada, e as máquinas de moldagem e macharia totalmente vedadas, e providas de sistema de exaustão e coleta das emissões geradas. Os gases coletados devem ser tratados antes de serem lançados na atmosfera. Isto é facilmente alcançado através de um lavador de gases com uma solução de hidróxido de sódio. A solução de lavagem deve ser ocasionalmente trocada para remoção de sais saturados, necessitando desta forma ser tratada como resíduo perigoso para disposição¹¹.

O consumo de dióxido de enxofre deve ser minimizado de forma que o consumo seja exatamente o necessário à produção de machos de areia. Normalmente, o ciclo de purga continua por 10 vezes mais que o ciclo de passagem do gás.

- epóxi/acrílico curado com SO₂: tanto na passagem do gás como na purga, a coleta e tratamento das emissões geradas são tratados da mesma forma que fenol ou furano curado por SO₂¹¹.

3.5.2. Métodos Alternativos de Fabricação de Moldes e Machos

Os dois processos alternativos recomendados como técnicas *BAT* são o processo espuma perdida e o processo em casca cerâmica.

Os princípios gerais do processo espuma perdida foram descritos na seção 3.2.3. Devido à ausência de ligantes, a técnica produz uma quantidade reduzida de resíduos e emissões quando comparada aos métodos tradicionais de moldagem por areia¹¹.

Os moldes de espuma perdida são feitos de poliestireno expandido (EPS) ou polimetilmetacrilato (PMMA), com pequenas quantidades de pentano, cola e revestimento mineral. Tendo em vista que tanto o EPS como o pentano são hidrocarbonetos puros, carbonos orgânicos são formados a partir da pirólise do modelo. Para minimizar as emissões dos produtos de decomposição orgânicos de EPS, é necessária a implantação de sistema pós queima dos gases gerados¹¹.

Esta técnica utiliza areias não ligadas, o que resulta em emissões sem ligantes durante o vazamento e desmoldagem, bem como as areias podem ser reutilizadas internamente sem maiores tratamentos. A pirólise do EPS resulta em um pequeno acúmulo de material orgânico nas areias, que pode gerar produtos de decomposição orgânica, necessitando de pós queima. Isto pode ser evitado pela retirada de particulado e renovação parcial da areia circulante. 5% de renovação é suficiente para manter a qualidade da areia. A areia descartada pode ser termicamente regenerada para uso interno¹¹.

O uso de energia no processo de espuma perdida é significativamente mais baixo que no método convencional. Isto é devido principalmente ao uso reduzido de energia para operações de acabamento, fusão e preparação de areia. A produção de machos pela moldagem convencional é relativamente mais intensa sob ponto de vista energético¹¹.

Os benefícios ambientais acima relacionados podem ser estendidos a uma melhor performance ambiental para todo o processo de espuma perdida, nas fundições de macharia intensiva. Para fundições mais simples, não existe método com melhor performance do que a espuma perdida¹¹.

O maior problema verificado com a aplicação desta técnica é com relação ao aumento nos valores de benzeno, tolueno, etil benzeno e xileno – BTEX, e formaldeído nos gases gerados, os quais podem ser facilmente captados e tratados. Esta técnica produz uma reduzida quantidade de areia residual e particulado, e a areia pode ser facilmente regenerada¹¹.

Já que esta técnica implica em uma mudança básica nos procedimentos de moldagem e infraestrutura, ela se aplica primariamente a novas instalações. Aplicação em fundições existentes requer uma conversão do processo de fundição com enfoque na moldagem, vazamento e operações de acabamento, e uma revisão dessas etapas para cada fundido produzido¹¹.

No processo de moldagem em casca cerâmica, o modelo de poliestireno é coberto com uma casca cerâmica à base de silicato etílico e areia refratária. A

casca é curada utilizando amônia e sinterizada a 1000 °C, ocorrendo nesta temperatura a eliminação do modelo de poliestireno através da queima. O metal é então vazado na casca¹¹.

Esta técnica resulta na minimização das emissões de particulado na moldagem e no acabamento, se comparada à moldagem por areia. As emissões de compostos orgânicos voláteis (COVs) são eliminadas, já que nenhum gás é emitido do molde de cerâmica inerte. Adicionalmente, a quantidade de resíduo é reduzida¹¹.

O processo casca cerâmica é um processo patenteado e somente pode ser usado em conformidade com os termos e condições do patenteador¹¹.

3.5.3. Areias: regeneração, reciclagem, reúso e disposição

Dos processos de fundição, o que se pode considerar o mais agressivo, sob o ponto de vista ambiental, é a fundição por moldagem em areia, devido à geração de enormes quantidades de resíduos de areia, em alguns casos contendo aglomerantes orgânicos¹³. Tendo em vista que as fundições fazem uso intensivo de areia como material inerte primário, a regeneração desta areia é a questão fundamental quando se considera a performance ambiental das fundições¹¹. A regeneração de areia é o processo pelo qual as areias de moldagem e da macharia tornam-se reaplicáveis, podendo substituir total ou parcialmente a areia nova, e consiste no tratamento físico, químico ou térmico de um agregado refratário para permitir sua reutilização sem significativa perda das propriedades originais na aplicação envolvida. As operações básicas envolvidas no acondicionamento de areia são as seguintes:

- remoção da areia da área de desmoldagem;
- retirada de partículas metálicas;
- quebra ou retirada dos torrões e peneiramento;
- resfriamento;
- retirada dos finos inertes;
- correção do teor de aglomerante;
- adição de umidade;
- homogenização e arejamento¹¹.

Existem vários métodos para recuperação de areias de fundição, os quais têm sido objeto de publicações, como os processos de recuperação mecânica, úmida, térmica e termomecânica. Em função do grande número de processos de

manufatura de moldes e dos requisitos das matérias-primas e sistemas aglomerantes, não se pode estabelecer que determinado método de recuperação de areia, que funciona para uma fundição, vá funcionar da mesma forma em outra fundição^{11,25}.

Deve ser estabelecida uma clara distinção entre areia verde e areia ligada quimicamente. As areias verdes podem ser facilmente recuperadas após o uso. De fato, areias verdes recuperadas têm mostrado uma qualidade técnica melhor, em muitos casos, do que areia nova. Muitas das fundições de areia verde executam a regeneração primária da areia¹¹.

A regeneração primária, também conhecida como fricção (desgaste) ou partição envolve a diminuição das partículas das areias retiradas dos moldes e machos aos tamanhos dos grãos originais. Isto inclui o peneiramento das areias, remoção de metais, e separação e remoção de rebarbas e aglomerados maiores. A areia é resfriada antes de ser encaminhada para armazenamento e então ser misturada com areia nova e retornar ao sistema. No caso das areias ligadas quimicamente, nesta etapa os grãos de areia podem ainda reter alguma parte de ligante usado. Isto afeta a quantidade de areia recuperada, que pode ser usada para fazer moldes e mais particularmente os machos. Novas areias, neste caso, devem ser adicionadas para assegurar que a mistura de areias possa produzir moldes adequados e machos resistentes, com subsequente qualidade ao produto final. A areia oriunda da regeneração primária não possui qualidade suficiente para ser utilizada na fabricação de machos, sendo necessário processos posteriores para retirada dos ligantes, sendo, portanto utilizada principalmente para produção de moldes. As técnicas principais de regeneração primária são vibração, tambor rotativo e injeção por sopro¹¹.

A regeneração secundária envolve um processo posterior de remoção do ligante residual. A areia retorna a uma condição de qualidade igual ou melhor que a areia virgem. Fundições que utilizam processo de regeneração secundária podem em alguns casos eliminar a necessidade de utilizar areias novas como matéria-prima. Para remoção do ligante residual, técnicas mais agressivas são necessárias em relação à regeneração primária¹¹.

As principais técnicas de regeneração secundária são:

- tratamento mecânico a frio (partição de baixa energia: fricção, impacto, para resinas de cura a frio, e partição de alta energia: atrito pneumático por aquecimento, moagem, fricção centrífuga);

- tratamento térmico (normalmente em leito fluidizado);
- fricção úmida¹¹.

Areias ligadas com resinas de cura a frio podem ser regeneradas utilizando-se técnicas simples de tratamento, devido à fragilidade da camada do ligante. Sistemas de regeneração mecânica, como por exemplo, sistemas de leito fluidizado, são baseados no atrito interpartículas ou impacto¹¹.

Areias ligadas com resinas de cura a gás e/ou resinas de cura a quente necessitam um tratamento mais intensivo para remoção da camada de ligante. Isto inclui moagem, atrito pneumático a quente e atrito centrífugo¹¹.

O tratamento térmico envolve a queima do ligante orgânico. Bentonita é inativada através do tratamento à alta temperatura. Para fluxos de areia contendo areia verde, qualquer tratamento térmico pode então ser combinado com tratamento mecânico¹¹.

O processo de regeneração úmida envolve remoção dos ligantes através da trituração interpartículas. Esta técnica é aplicada somente para areias verdes e areias ligadas com silicato ou CO₂, e não é largamente empregada¹¹.

Os mais importantes fluxos de areias para regeneração secundária são as areias dos machos em fundições não ferrosas. Devido à baixa carga térmica elas são facilmente separadas das areias verdes¹¹.

Taxas de regeneração acima de 98% já foram reportadas. As taxas reais de regeneração dependem do volume e da composição química dos machos usados. Para areias furânicas cura a frio, valores em torno de 78% têm sido os alcançados¹¹.

Geralmente a mistura de diferentes tipos de areias apresenta um efeito negativo na resistência dos machos e, conseqüentemente nos moldes feitos com areias regeneradas, apesar de haver algumas exceções. A fim de se obter uma boa qualidade da areia regenerada é da maior importância manter as areias não compatíveis separadas. Uma otimização do potencial de regeneração pode então implicar em mudanças no sistema de ligantes compatíveis, se forem utilizadas areias mistas, ou aplicar técnicas que permitam a separação dos vários tipos de areias¹¹.

A aplicabilidade dos vários sistemas de tratamento está resumida na Tabela IV e será discutida posteriormente.

Tabela IV: Aplicabilidade das técnicas de recuperação de areias por tipo de areia

	Sistemas Mecânicos Simples	Mecânico a Frio			Rege-neração Úmida	Térmico	Mecânico Térmico Mecânico
		Moagem	Tambor de Impacto	Aquecimento por Atrito Pneumático			
cura a frio	X	X	X	X	X	X	0
caixa fria, SO ₂ , caixa quente, em casca	0	X	X	X	0	X	0
silicato (CO ₂ ou éster)	0	0	0	X	X	0	0
areia verde	X	0	0	0	0	0	0
areias mistas							
orgânicas	0	X	X	X	0	X	0
verdes+orgânicas	0	X	0	X	X	0	X
X:aplicável 0: não aplicável							

Fonte: documento de referência em BAT para indústrias de fundição, 2005¹¹

3.5.3.1. Regeneração primária de areias verdes

Uma das maiores vantagens de utilizar areia verde na moldagem é que a areia oriunda dos moldes pode ser recondicionada após o vazamento para múltiplos reusos. A adição de uma percentagem mínima de areia nova é utilizada para manter a qualidade da areia de moldagem. A recirculação interna das areias verdes com um mínimo tratamento é referida como uma regeneração primária. Esta regeneração basicamente possui três objetivos:

- romper os grãos de areia de forma a alcançar seu tamanho de grão original ou reduzi-los a pequenas partículas;
- remover os finos;
- resfriar a areia antes da mistura com areias novas¹¹.

Em sistemas que utilizam machos ligados quimicamente, a mistura da areia dos machos apresenta um efeito negativo na qualidade das areias, dependendo do tipo de ligante e das quantidades das areias misturadas dos machos. Durante a desmoldagem as areias dos machos e dos moldes se misturam de uma forma inevitável. Machos não curados e não rompidos podem no entanto, ser deixados de fora ou retirados das areias antes da alimentação para regeneração primária¹¹.

A recuperação primária é utilizada por praticamente todas as fundições de areia verde, apesar dos graus de sofisticação das plantas de recuperação variarem

amplamente, de uma simples operação manual a um equipamento totalmente automatizado¹¹.

Esta técnica faz com que haja uma redução no consumo de matérias-primas (areia e bentonita), bem como uma redução na quantidade de resíduos, apesar de gerar um aumento no consumo de energia total da instalação¹¹.

Esta técnica é aplicável para todas as fundições de areia verde, em instalações novas e existentes¹¹.

3.5.3.2. Regeneração mecânica simples de areia cura fria

Técnicas mecânicas simples são utilizadas para a regeneração de areias cura a frio e areias de machos não curados. Estas técnicas incluem o destorroamento, a segregação dos grãos de areia e a limpeza por fricção intergranular, com conseqüente geração de poeiras e resfriamento à temperatura ambiente¹¹.

Esta técnica proporciona uma redução na quantidade de areia a ser descartada e no consumo de areia primária nova. Ela pode ser usada para todas as areias cura a frio com exceção de silicatos, e para areias não curadas de machos com ligantes orgânicos¹¹. Esta técnica não pode ser utilizada para regeneração das areias usadas oriundas do processo CO₂ silicato em função do contaminante destas areias ser o sódio, que não pode ser eliminado através de queima por ser inorgânico, nem pelo processo mecânico¹⁰.

A areia regenerada pode ser reusada no mesmo ciclo de moldagem, com pequenas adições de areia nova, para diminuir o nível de perdas, e também na fabricação de machos, utilizando o mesmo tipo de ligante, após mistura com areia nova. Também pode ser utilizada, com algumas limitações, para renovação de areia de moldagem¹¹.

Os equipamentos mais utilizados para regeneração mecânica a frio são equipamentos de moagem rotativa, tambor por impacto e sistema pneumático.

Dos equipamentos de regeneração mecânica a frio, o equipamento de moagem rotativa é o mais largamente utilizado, tendo sido inicialmente desenvolvido para regeneração de misturas de areia orgânica-bentonita. Neste sistema a camada dura de bentonita das areias é removida. A moagem também pode remover os ligantes químicos dos grãos de areia¹¹.

Esta técnica proporciona uma redução na quantidade de areia para descarte, no consumo de areia nova primária e uma redução no consumo de carbono brilhante, no caso de areias verdes. Proporciona ainda um aumento nas propriedades da areia de moldagem, resultando uma redução no número de refugos de moldes e no número de rejeitos nos fundidos acabados¹¹.

A moagem da areia provoca um acelerado desgaste dos grãos de areia. Isto e a recirculação do pó dos filtros provocam mudanças na distribuição dos tamanhos de grãos das areias. A composição geral das areias então necessita um bom controle e monitoramento¹¹.

A regeneração mecânica a frio é principalmente aplicada para remoção de camadas de bentonita de areias verdes e remoção de ligantes químicos em sistemas frio.

A técnica de regeneração através da utilização de tambor por impacto baseia-se na moagem intergranular da areia e apresenta melhores resultados para monoareias ligadas quimicamente¹¹.

Quando se aplica esta técnica em areias mistas bentonita-orgânicos, a regeneração é precedida por um separador magnético a fim de remover areias verdes. Devido à presença de bentonita não reagida, as areias verdes apresentam um pequeno magnetismo, o que permite que ocorra uma separação magnética¹¹.

O benefício proporcionado por esta técnica está no reuso interno das areias dos machos, limitando desta forma o volume de materiais para disposição e a necessidade de matérias-primas virgens¹¹.

No sistema pneumático, os ligantes são removidos dos grãos de areia através de abrasão e impacto. A vantagem deste tipo de sistema é que a direção e a velocidade da areia podem ser controladas. O sistema pneumático pode ser usado para regeneração de orgânicos misturados e areias mistas contendo bentonita. Também encontra aplicação no pré ou pós tratamento em combinações de tratamento mecânico-térmico-mecânico. Aqui, o uso principal é a remoção do pó residual dos grãos de areia e resfriamento.

A areia regenerada através da regeneração mecânica simples pode ser usada na fabricação de moldes (utilizando 100% de areia regenerada) ou misturada com areia nova na fabricação de machos (utilizando 40-60% de areia regenerada)¹¹.

Este método permite o controle de finos e também da granulometria da areia. Este sistema é muito utilizado, pois apresenta maior flexibilidade de uso e

economia de operação, e também porque o custo inicial de equipamento é menor do outros métodos¹¹.

3.5.3.3. Regeneração térmica

Regeneração térmica utiliza calor para queima dos ligantes e contaminantes. Todos os processos térmicos necessitam uma etapa mecânica inicial de forma a fornecer à areia um correto tamanho de grão e retirar qualquer contaminante metálico. Este pré-tratamento também pode envolver uma abrasão parcial da bentonita e remoção de pó. O aquecimento da areia é usualmente alcançado através de forno de leito fluidizado, operando a temperaturas entre 700 e 800°C¹¹.

Os gases de exaustão são filtrados, a maioria por filtros de mangas. Neste caso o resfriamento é necessário, o qual pode ser feito através de injeção de água, trocador de calor ou pela mistura de ar natural que entra através de aberturas/fendas,etc. O resfriamento pode incorporar um preaquecimento do ar fluidizado¹¹.

Os benefícios ambientais alcançados estão relacionados à redução da quantidade de areia para descarte e redução no consumo de areias novas primárias¹¹. Apesar disto, esta técnica deve ser objeto de preocupação se levarmos em consideração o efeito estufa²⁶.

Os sistemas térmicos são normalmente utilizados para sistemas de areias ligadas quimicamente e sistemas mistos de areias, assegurando que a parte de areias ligadas quimicamente (machos) seja suficientemente elevada¹¹.

3.5.3.4. Regeneração combinada (mecânica-térmica-mecânica) para areias mistas bentonita-orgânico

Nas areias mistas bentonita-orgânico, bentonita curada e ligantes orgânicos estão presentes nos grãos de areia. O pó é composto de bentonita ativa e curada, pó de carvão (somente para fundições de ferro), finos de quartzo e resíduos de ligantes orgânicos. Areias misturadas ocorrem principalmente em fundições de ferro e representam em torno de 75% do total da produção de areia usada. A regeneração pode ser executada utilizando sistemas mecânicos, pneumáticos, térmicos ou combinados¹¹.

A areia é pré-tratada (peneiramento, separação magnética) e seca, de forma a reduzir o teor de água a menos de 1%. Após, é feita a limpeza da areia de forma mecânica ou pneumática, para que possa ser removido o ligante. Na etapa térmica, os constituintes orgânicos são queimados, e os inorgânicos são transferidos ao particulado gerado ou queimados sobre os grãos. No tratamento mecânico final, estas camadas são removidas mecanicamente ou pneumaticamente e descartadas como poeiras¹¹.

Como benefícios ambientais, podemos relacionar a redução da quantidade de areia para descarte e redução no consumo de areias primárias novas¹¹.

A regeneração da areia requer energia adicional e provoca emissões adicionais de particulado, com conseqüente residual de pó para descarte¹¹.

Esta técnica de regeneração é usada para misturas de areias contendo bentonita. O sucesso econômico e técnico desta regeneração depende da seleção da areia a ser regenerada. A seleção e separação devem ser feitas durante a desmoldagem, antes da homogenização. A técnica não pode ser aplicada em areias de machos que provoquem a ruptura das características da bentonita (ligantes ácidos) ou que modifiquem as características das areias verdes (areia silicato)¹¹.

3.5.3.5. Regeneração úmida

Após a remoção do metal, a areia é misturada com água para produzir um lodo de fácil separação do ligante e permitir uma subsequente peneiração úmida. A remoção dos resíduos de ligante aderidos no grão é realizada em uma unidade de regeneração úmida, através de um atrito intensivo entre partículas dos grãos de areia. Os ligantes são liberados na lavagem com água¹¹.

A principal vantagem deste processo em relação aos processos mecânicos e térmicos é que ele permite um monitoramento do processo em tempo real. Através de um controle de pH, é possível um acompanhamento contínuo do processo, permitindo ações corretivas em tempo real, se necessárias, e produzindo uma areia regenerada de qualidade contínua. Esta técnica permite a remoção da camada de ligante através de ação mecânica úmida, combinada com ação química quando necessária, sem desgastar os grãos de areia¹¹.

Os benefícios ambientais dizem respeito à redução da quantidade de areia para descarte e no consumo de areias primárias novas.

O problema deste processo é a geração de efluentes líquidos e lodo. Em função da baixa sedimentação da bentonita, o tratamento desse efluente é dificultado¹¹.

Foi desenvolvida uma tecnologia de recuperação de areias provenientes do processo CO₂ Silicato de Sódio com o objetivo de efetuar uma completa lavagem da areia retornando às áreas de moldagem e macharia, uma areia similar à nova. Nesta tecnologia, da mesma forma que a areia, toda a água usada no processo é reciclada, ocorrendo apenas uma reposição da ordem de 10-15% em peso em relação à areia, devido às perdas por evaporação durante a operação de secagem. Devido à alta eficiência do equipamento de lavagem, obtém-se reduções de até 85% no teor de sódio residual da areia, sendo mantido na faixa de 0,05 a 0,15% de modo a não interferir nas propriedades dos machos e moldes fabricados¹⁰.

A regeneração úmida somente pode ser aplicada a areias verdes e areias ligadas com silicatos ou CO₂. A regeneração destes sistemas permite o reuso total da areia regenerada tanto na fabricação de moldes como de machos¹¹.

3.5.3.6. Reúso interno das areias de machos não curadas

A produção de machos gera resíduos de areia na forma de machos quebrados, machos com pequenos defeitos e excessos de areias oriundas das máquinas de fabricação dos machos. A areia em excesso pode ser curada em uma unidade específica. Subsequentemente os vários fluxos de areias não usadas são alimentados na unidade de ruptura. A areia resultante pode ser misturada com areia nova para produção de novos machos¹¹.

Como benefício ambiental, pode-se citar a recirculação interna de 5-10% das areias de machos, as quais de outra forma seriam descartadas¹¹.

Esta técnica se aplica para areias ligadas com poliuretanos (caixa fria) e areias ligadas com resinas furânicas. Para outros tipos de ligantes esta técnica não é permitida, em função da cura desses outros processos ser mais difícil e menos regular, e ainda em função de ocorrerem reações entre as resinas e os catalisadores com formação de complexos que não podem ser reintroduzidos no processo¹¹.

3.5.3.7. Reúso dos pós do circuito de areias verdes no setor de moldagem

O pó é coletado através de filtros nas instalações de desmoldagem e na dosagem e manuseio das areias verdes secas. O pó coletado contém ligantes ativos e pode ser recirculado no circuito de areia verde. Esta técnica proporciona a redução no uso de ligantes (bentonita) e aditivos (carbono), através da recirculação interna¹¹.

3.5.3.8. Reúso externo de areias usadas

Areias usadas e de menor granulometria oriundas do circuito ou da regeneração de areias podem encontrar aplicações externas, sendo as principais áreas de aplicação, as abaixo listadas:

- na indústria da construção (construção de estradas)
- na indústria de materiais de construção (cimento, tijolos, manufatura de calcário)
- no preenchimento das cavidades de minas
- na construção de aterros (estradas em aterros, coberturas permanentes)¹¹.

A *American Foundry Society* (AFS) apresentou também, além das aplicações acima mencionadas, aplicações geotécnicas de preenchimento, tais como, agregados de drenagem, meio filtrante, cobertura de fossos e cobertura final de aterros²¹.

Os limites destas aplicações são dados tanto por critérios técnicos de construção de materiais, como por critérios ambientais para cada aplicação. Critérios ambientais são geralmente baseados nas propriedades de lixiviação e no conteúdo de compostos orgânicos. Areias usadas geralmente apresentam um baixo potencial de metais lixiviados. Um excedente nos valores limites pode ocorrer para materiais com alto conteúdo de ligantes orgânicos ou de aditivos específicos, como carbono brilhante.

Devido ao alto conteúdo de quartzo e granulometria apropriada, as areias usadas podem ser aplicadas como substituição de areias virgens em construção de estradas.

O conteúdo de poluentes no resíduo deve ser baixo, ou deve estar de tal forma encapsulado na massa do resíduo de modo a evitar sua migração ao meio

ambiente. Areias de fundição têm sido usadas na Finlândia como estruturas isolantes²⁷.

A aceitação ambiental na Finlândia, de utilização de areias de fundição em construção de aterros e estradas, requer um conhecimento seguro da composição das areias e suas variações, especialmente visando suas propriedades ambientais. Todos os aspectos, tais como matérias primas, ligantes e manejo da areia envolvida no processo de fundição, devem ser considerados de forma conjunta²⁷.

Aplicações na produção de materiais de construção (concreto, tijolos, telhas, lâ de vidro) são tecnicamente possíveis, mas requerem um alto nível de controle da composição e logística. No Rio Grande do Sul, podemos citar como exemplo uma parceria já autorizada pelo órgão ambiental do estado, entre uma fundição e uma olaria, para produção de tijolos utilizando areias verdes como insumo^{28, 29}.

Em aplicações externas, as areias usadas substituem, e por vezes economizam, materiais virgens. Em geral, aplicações externas não requerem qualquer tratamento da areia, não necessitando desta forma de consumo de energia. Usualmente, de forma a garantir uma qualidade contínua do material, um sistema separado de coleta e armazenamento deve ser implantado. Além disto, a qualidade do material necessita ser controlada através de análises regulares¹¹.

No Rio Grande do Sul também existe a utilização de areias verdes em pavimentação asfáltica e como cobertura final de valas em aterro industrial, devidamente autorizadas pela FEPAM³⁰.

Outro uso relatado das areias verdes de fundição é como meio reativo para remoção de contaminantes ou redução da toxicidade da contaminação de águas subterrâneas *in situ*. Esta técnica é aceita atualmente como uma das tecnologias de remediação de áreas contaminadas. O tipo de meio reativo usado dependerá dos contaminantes a serem tratados e do ambiente hidrogeológico. Como o alto custo das técnicas de tratamento *in situ* é o fator limitante em áreas de pequena extensão, a utilização de areias verdes de fundição, por seu baixo ou nenhum custo, poderá favorecer a utilização desta tecnologia. Estudos foram desenvolvidos nos Estados Unidos para comprovar a viabilidade de utilização das areias verdes no tratamento de águas subterrâneas contaminadas com TCE (tricloroetileno). Neste caso, o reúso das areias de fundição como meio reativo é atrativo em termos de desenvolvimento sustentável e também proporciona às indústrias de fundição uma crescente economia com a redução de custos de disposição em aterros³¹.

A tabela V apresenta exemplos de aplicações de reuso para vários tipos de areias.

Os custos para utilização externa dependem do mercado local e do transporte, e custos de armazenamento devem ser considerados.

Tabela V: Sumário das aplicações de reuso externo para as areias de fundição

Aplicações de reuso	Areia					
	areia verde	alcalina fenólica	fenólicauretânica	fulvanica	shell	silicato de sódio
Usos na construção						
Asfalto	X	X	+	+	+	0
Produção de blocos	+	+	+	+	X	+
Produção de tijolos	X	X	+	+	+	
Cimento	X	X	+		X	X
Concreto		X	+	+	+	+
Substituto de agregados finos	X	X	+	+	+	+
Concreto expandido	X	X	+			
Produção de argamassa						+
Construção de base de estradas		X	+		+	X
Adição de areia nova às areias verdes				X		
Camadas artificiais de topo de solos	X	+	+	X	+	
Cobertura de aterros	X	X	+			
Cobertura diária de aterros	X	X	+	X	X	X
Demarcação de aterros	+					
Modificador de solo	+	+	+	+	+	+
Meio abrasivo		X	+			
Fabricação de cimento escória de fornos a explosão						+
Fluxos de fusão		+	+		+	+
Resíduos de vitrificação	+	+	+		+	+
X: aplicação de reuso aprovada, com projetos já implantados na Inglaterra +: aplicação aprovada teoricamente, mas não existem projetos de reuso operando na Inglaterra 0 : inadequado para reuso na forma não tratada						

Fonte: *The Casting Development Centre*, 1992, *apud* documento de referência em *BAT* para indústrias de fundição¹¹.

3.6. Melhores técnicas disponíveis para fundições por moldes perdidos

Os elementos *BAT* para fundições por moldes perdidos serão apresentados em três categorias: areias verde de moldagem, areias ligadas quimicamente e moldagem, vazamento, resfriamento e desmoldagem.

3.6.1. Moldagem por areia verde

A preparação das areias verdes inicia com a mistura da areia, argila ligante e aditivos necessários. Isto deve ser realizado em misturadores atmosféricos ou a vácuo. A utilização de misturadores a vácuo é considerada uma técnica *BAT*.

Os procedimentos abaixo também são considerados *BAT* na preparação de areia verde:

- enclausurar todas as unidades operacionais da planta de areia (peneira vibratória, exaustão de areia, resfriamento, operações de mistura), e captar os gases exauridos, levando em conta os níveis de emissão associados ao *BAT*. Se o mercado local permitir, o material particulado poderá ser reusado externamente. O pó coletado nas operações de desmoldagem, dosagem e manuseio é reciclado no circuito da areia verde, até no máximo 50% da massa coletada;
- aplicar regeneração primária. As adições de areia nova dependem da quantidade de machos usados e sua compatibilidade. Para monossistemas de areia verde, taxas de regeneração (massa de areia regenerada/massa total de areia) de 98% estão associadas ao uso de *BAT*. Para sistemas com alto grau de machos incompatíveis, as taxas de regeneração associadas ao *BAT* estão entre 90-94%¹¹.

3.6.2. Moldagem e macharia com areias ligadas quimicamente

Vários tipos de ligantes estão em uso, cada um com suas propriedades específicas e aplicabilidades. Todos os ligantes são determinados como *BAT*, se eles forem aplicados de acordo com as medidas de boas práticas, que envolvem principalmente controle de processo e medidas de captação de gases de forma a minimizar as emissões¹¹.

Para preparação das areias ligadas quimicamente, *BAT* são todas as ações abaixo listadas:

-minimização do consumo de ligantes e resinas e das perdas de areia, através da utilização de medidas de controle de processos, manual ou automatizada. Para produções em série envolvendo mudanças freqüentes de parâmetros de produção e alta produção, *BAT* é aplicar o armazenamento eletrônico de parâmetros de produção;

-coleta do gás de exaustão da área onde os machos são preparados, manuseados e armazenados até sua utilização;

-utilização de revestimentos base água e substituição de revestimentos base álcool por revestimentos refratários dos moldes e machos, em fundições de produção em série média e grande¹¹.

Na preparação de machos através do processo caixa fria, *BAT* são todos os procedimentos seguintes:

- tratar os gases de exaustão, devendo as emissões de amina ser mantidas abaixo de 5 mg/Nm³;
- recuperar as aminas dos efluentes gerados no lavador de gases da caixa fria, assegurando que o volume total permita uma operação econômica;
- substituir os solventes base aromáticos por solventes não aromáticos¹¹.

Além disto, nos processos de moldagem com utilização de areias ligadas quimicamente, *BAT* é minimizar a quantidade de areia para descarte através da adoção de estratégia de regeneração e/ou reuso destas areias. No caso de regeneração, as seguintes condições são aplicáveis:

- areias cura frio, com exceção das areias silicato, são regeneradas utilizando-se técnicas mecânicas simples. A taxa de regeneração de 75-80% pode ser alcançada;
- areias de machos não curadas, caixa fria e cura frio, são endurecidas e quebradas em tamanhos específicos, permitindo uma recirculação interna mínima de 5-10% das areias de machos;
- areias silicato são regeneradas utilizando tratamento térmico e pneumático, alcançando uma taxa de regeneração de 45-85%. A utilização de ésteres que diminuem a velocidade de reação (de baixa reatividade) pode ser minimizada;
- areias caixa fria, SO₂, caixa quente e casca, são regeneradas através de regeneração mecânica a frio (moagem, tambor por impacto, aquecimento por atrito pneumático) ou regeneração térmica. A taxa total de regeneração depende das quantidades de machos usados. Para a macharia, 40-100% de areias regeneradas podem ser utilizadas, enquanto na moldagem, 90-100% das areias regeneradas podem ser usadas;
- areias verdes e orgânicas são regeneradas utilizando regeneração mecânica-térmica-mecânica, moagem ou aquecimento por atrito pneumático. Para

a macharia, 40 a 100% das areias regeneradas podem ser utilizadas, enquanto na moldagem, 90 a 100% das areias regeneradas podem ser utilizadas¹¹.

3.6.3. Vazamento, resfriamento e desmoldagem

As operações de vazamento, resfriamento e desmoldagem geram emissões de pó, compostos orgânicos voláteis (COVs) e outros produtos orgânicos. *BAT* é:

- enclausurar as linhas de vazamento e de resfriamento e dotar de sistemas de captação dos gases, em linhas de vazamento em séries, e
- enclausurar o equipamento de desmoldagem e tratar os gases gerados através de sistemas secos ou úmidos.

A tabela VI apresenta os níveis de emissão associados às medidas *BAT* acima mencionadas. As emissões atmosféricas são baseadas em condições padrão, isto é, 273 K, 101,3 kPa e gás seco.

Tabela VI: Emissões atmosféricas associadas ao uso de *BAT* em fundições utilizando o processo de moldes perdidos

Fonte de Emissão	Parâmetro	Nível de Emissão (mg/Nm ³)
geral	material particulado	5-20
macharia	aminas	5
unidades de regeneração	SO ₂ /NO _x	120/150

Fonte: documento de referência em *BAT* para indústrias de fundição, 2005¹¹.

4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi baseada no método *survey* de pesquisa.

A pesquisa *survey* pode ser descrita como a obtenção de dados ou informações sobre características, ações ou opiniões de determinado grupo de pessoas, indicado como representante de uma população alvo, por meio de um instrumento de pesquisa, normalmente um questionário³².

Este método recolhe dados através de questionários (elaboração de um conjunto de perguntas relacionadas com o tópico de investigação) e/ou entrevistas sobre o fenómeno em estudo, e a análise dos dados permite inferir sobre fenómenos do mundo real. É um método quantitativo que se insere na corrente filosófica do Positivismo, que é uma corrente que assume que a realidade é objetiva e independente do observador³³.

O questionário utilizado neste trabalho foi composto por 48 questões (Anexo) separadas de acordo com aspectos considerados importantes e agrupadas de forma a facilitar as respostas e análise posterior dos dados. Os módulos do questionário foram divididos em:

- dados gerais da empresa;
- dados gerais da moldagem/macharia;
- fontes geradoras de efeitos ambientais;
- emissões atmosféricas;
- controle de qualidade da areia;
- minimização de consumo de resinas;
- recuperação e destinação de areias;
- sistemas de gestão da qualidade e gestão ambiental.

As indústrias para as quais foram enviados os formulários para aplicação da pesquisa, foram selecionadas levando-se em conta o banco de dados da FEPAM, para os seguintes ramos de atividade:

- produção de fundidos de ferro e aço;
- fabricação de máquinas e aparelhos com fundição;
- fabricação de peças, utensílios e acessórios, com fundição;
- fabricação de autopeças/motopeças, com fundição.

Os questionários foram enviados via Correios, com Aviso de Recebimento, sendo que as respostas foram encaminhadas também via correios ou por email.

Com base na classificação das atividades acima apresentada, foram encaminhados 109 (cento e nove) questionários, o que corresponde ao número total de empreendimentos encontrados para os ramos de atividade listados.

Inicialmente foram devolvidos 75 formulários respondidos, e 4 ARs voltaram com a informação de “mudou-se”. 30 questionários não foram respondidos.

Foi realizada nova pesquisa no Banco de Dados da FEPAM, bem como foi feita uma avaliação dos processos de licenciamento existentes, onde verificou-se que 3 empresas de fundição estavam desativadas. Foram reenviados os formulários para as 27 empresas que não tinham respondido da primeira solicitação, sendo que desta nova tentativa, foram respondidos 11 questionários, e 1 AR voltou como “ausente”.

Portanto, do total de 109 questionários enviados, 86 foram respondidos, 5 formulários foram devolvidos à FEPAM, constando como informação constante do Aviso de Recebimento dos Correios, “mudou-se” e “ausente”, e 3 empresas estavam com suas atividades desativadas. Somente 15 empresas não responderam ao questionário.

O período da aplicação do questionário foi de 06.03.2006 a 20.05.2006.

Para algumas questões do questionário verificou-se que um número determinado de empresas apresentou uma falta de compreensão dos questionamentos. Para esses casos foi possível, através do banco de dados da FEPAM, a obtenção de dados mais consistentes.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da aplicação dos questionários são apresentados nesta seção.

Os resultados obtidos possuem uma boa representatividade, considerando que 85% dos questionários foram respondidos, entre as indústrias ativas, o que proporcionou uma boa visão dos resultados obtidos, quanto ao gerenciamento dos processos das indústrias de fundição que utilizam areias no estado do Rio Grande do Sul.

O universo das empresas que responderam ao questionário e desenvolvem a atividade de fundição é de 77 empresas, já que 09 empresas responderam que desativaram o setor de fundição.

Como o objetivo central deste trabalho é a verificação dos procedimentos das empresas com relação ao gerenciamento das areias utilizadas nos processos de fundição, foi feita uma separação entre as fundições que utilizam areia em seu processo e aquelas que não utilizam. As fundições que utilizam areia como insumo no processo produtivo correspondem a 66% do universo pesquisado, isto é, 51 empresas em números absolutos.

A figura 3 apresenta a distribuição das 26 empresas que informaram não utilizar areias como insumo em seus processos, de acordo com o metal fundido. Nesta figura pode-se verificar que em 20% das empresas o metal fundido é o aço, sendo nestes casos utilizado o processo de fundição de precisão (cera perdida e moldes cerâmicos), de acordo com as respostas enviadas.

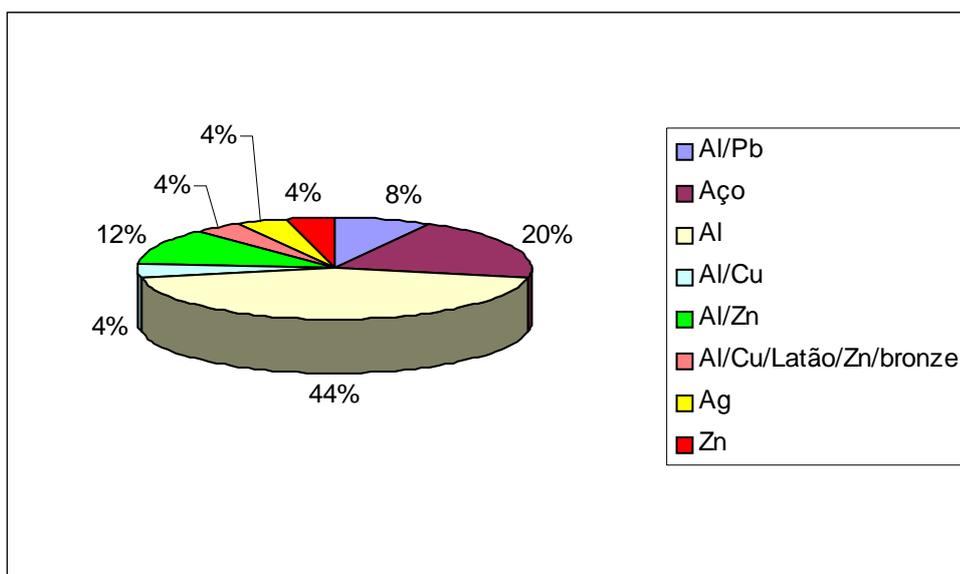


Figura 3: Distribuição das empresas de fundição que não utilizam areia em seus processos por tipo de metal fundido.

A figura 4 apresenta as 51 empresas de fundição do Rio Grande do Sul que utilizam areias em seus processos industriais, classificadas por tipo de metal fundido.

O que se pode verificar na figura 4 é que na maioria das fundições que utiliza areias em seu processo industrial, o ferro é o principal metal a ser fundido. Das empresas pesquisadas, todas as fundições de ferro utilizam areia em seus processos de moldagem e macharia.

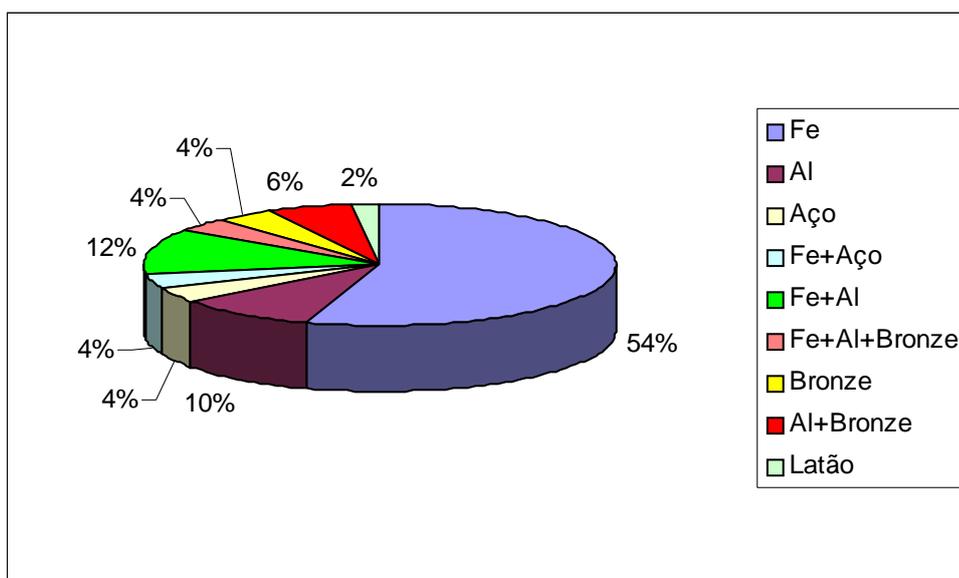


Figura 4: Distribuição das empresas de fundição que utilizam areias em seus processos, por tipo de metal fundido.

Como o escopo deste trabalho refere-se à avaliação do gerenciamento ambiental das empresas de fundição de ferrosos que utilizam processos

envolvendo areias, os resultados apresentados serão sempre baseados nas respostas dos formulários enviados por essas empresas, correspondendo em números absolutos, a 39 empresas no estado do Rio Grande do Sul.

5.1. Dados gerais das empresas de fundição ferrosas

77% das empresas pesquisadas informaram ser a fundição a atividade principal desenvolvida, sendo verificado ainda que 79% das empresas desenvolvem esta atividade há mais de 10 anos.

Existem vários critérios para classificação das empresas que variam com o país, região ou de acordo com o pesquisador. O critério de classificação de porte da empresa de acordo com o número de empregados tem sido adotado por diferentes países. A justificativa para a ampla adoção deste critério é que a informação é mais facilmente acessível, mais facilmente revelada pela maioria das empresas e mais facilmente controlada³⁴. Segundo Filion *apud* Ottoboni³⁴, uma empresa é considerada de pequeno porte quando possui menos do que 50 empregados.

Os dados gerais das empresas mostraram que 51% das fundições ferrosas apresentam um número de até 50 funcionários. A figura 5 apresenta a distribuição das empresas pelo número de funcionários.

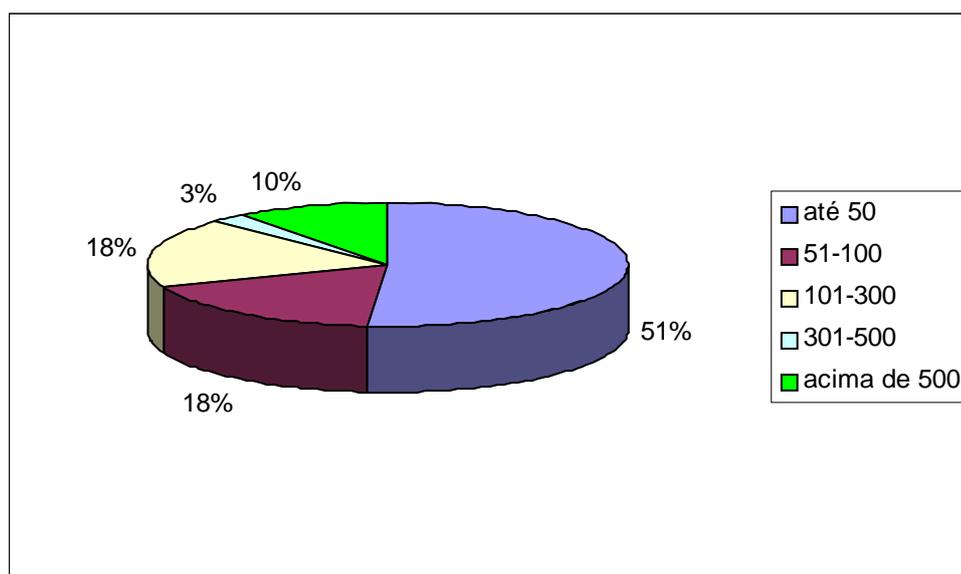


Figura 5: Distribuição das empresas de fundição ferrosa de acordo com o número de funcionários.

No Brasil, adotou-se durante muito tempo o critério sugerido pelo SEBRAE para classificação de empresas. Neste caso eram consideradas microempresas as

indústrias com até 19 empregados e pequenas empresas aquelas com um número de empregados variando de 20 a 99³⁴.

Em 1998, uma das Resoluções do Grupo Mercado Comum do Sul – MERCOSUL estabeleceu as políticas de apoio às Micro, Pequenas e Médias Empresas do MERCOSUL. Nesta resolução se aplicam dois critérios para a definição do porte de uma empresa: pessoal empregado e nível de faturamento. A tabela VII apresenta esta classificação³⁵.

Tabela VII: Classificação do porte de indústrias segundo RES GMC 59/98

Porte	Pessoal ocupado (de-até)	Vendas anuais U\$ (de-até)
Micro	1 – 10	1 – 400.000
Pequena	11 – 40	400.001 – 3.500.000
Média	41 – 250	3.500.001 – 20.000.000

Fonte: SICE - MERCOSUR – MERCOSUL³⁵

Pode-se portanto observar que, quando o critério número de empregados é utilizado, a maioria das indústrias de fundição ferrosa no estado do Rio Grande do Sul é de pequeno porte.

O estatuto da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte instituído pela Lei Federal Nº 9.841, de 05.10.1999, define o porte de uma empresa de acordo com sua receita bruta anual. A tabela VIII apresenta esta classificação.

Tabela VIII: Classificação do porte das indústrias segundo a Lei 9.841 de 1999

Porte	Receita bruta anual (reais)
Microempresa	até 244.000,00
Empresa de pequeno porte	entre 244.001,00 e 1.200.000,00

Fonte: Secretaria da Fazenda³⁶

A classificação feita pela Secretaria da Fazenda³⁶ do estado do Rio Grande do Sul também está baseada na receita bruta anual e está apresentada na tabela IX.

Tabela IX: Classificação do porte das empresas segundo a Secretaria da Fazenda do estado do Rio Grande do Sul.

Porte	Receita bruta anual – 2006 (reais)
Microempresa	até 244.513,08
Empresas de pequeno porte	até 2.425.725,00

Fonte: Secretaria da Fazenda³⁶

De acordo com o critério da receita bruta anual pode-se afirmar que 50% das indústrias de fundição ferrosa no estado do Rio Grande do Sul são de pequeno porte, observando-se que apenas 8% são microempresas.

A figura 6 apresenta a distribuição das empresas de acordo com o faturamento anual.

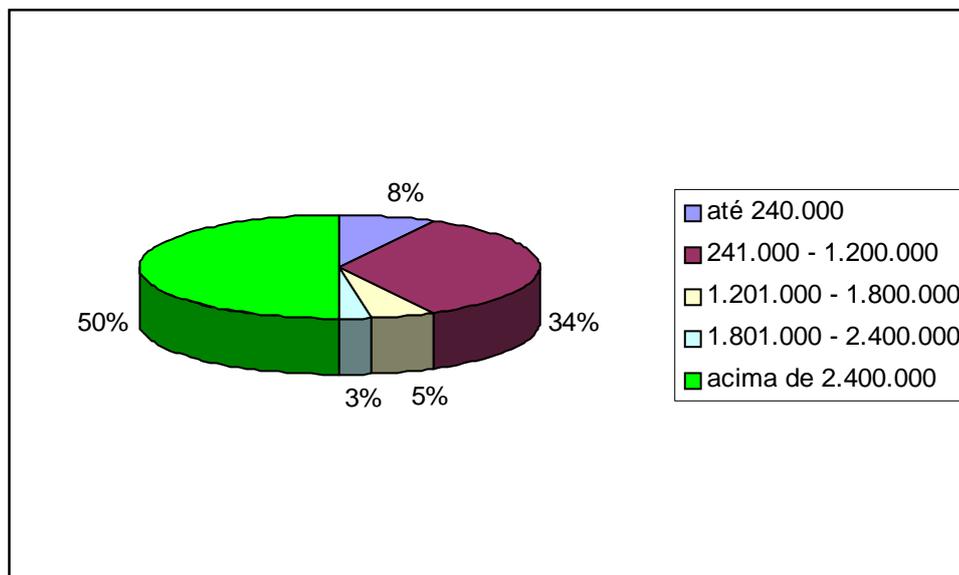


Figura 6: Faturamento anual em reais.

Já para a FEPAM, o porte está relacionado à área útil utilizada pelas indústrias para o pleno desenvolvimento de suas atividades industriais.

Desta forma, de acordo com a FEPAM, as empresas se classificam em portes mínimo, pequeno, médio, grande e excepcional, conforme a Tabela X.

Tabela X: Classificação por portes da FEPAM

Porte	Área útil (m ²)
Mínimo	até 250
Pequeno	de 250 a 2.000
Médio	de 2.000 a 10.000
Grande	de 10.000 a 40.000
Excepcional	acima de 40.000

Fonte: FEPAM³⁷

A figura 7 apresenta a distribuição das empresas de fundição ferrosas que utilizam areias em seu processo industrial no estado do Rio Grande do Sul, de acordo com os portes, conforme classificação da FEPAM.

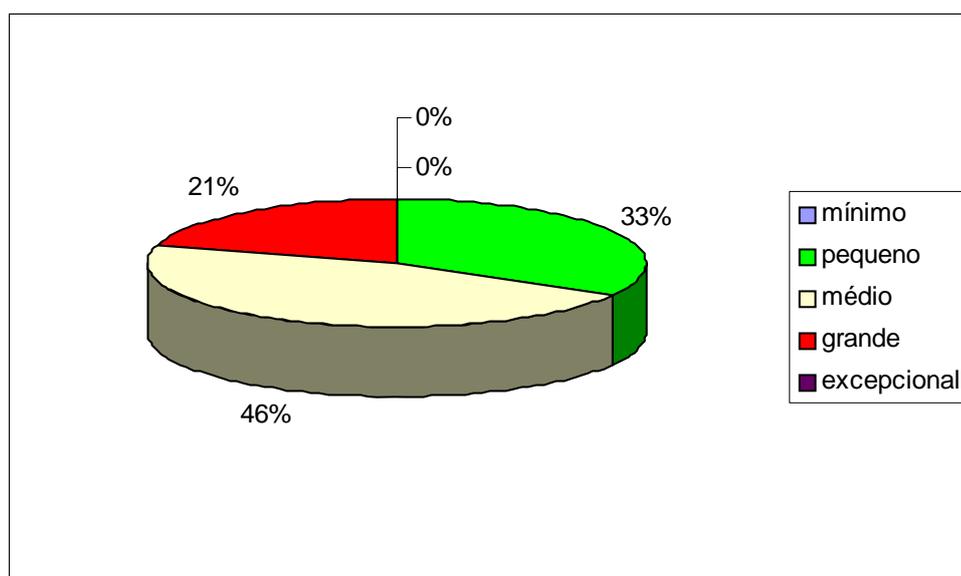


Figura 7: Distribuição das empresas de acordo com os portes, segundo classificação da FEPAM.

Avaliando as empresas quanto ao porte, sob o ponto de vista da FEPAM, temos que as empresas de médio porte são a maioria, sendo esta distribuição por porte aproximadamente equilibrada, já que 46% das empresas utilizam área útil entre 250 e 2.000 m², 33% delas utilizam de 2.000 a 10.000 m², e 21% utilizam área entre 10.000 a 40.000 m² para o desenvolvimento de suas atividades.

Portanto, conforme o critério adotado, o perfil da maioria das empresas de fundição ferrosa no Rio Grande do Sul, poderá ser de pequeno ou de médio porte. Como o porte estabelecido em função da área útil é um critério muito específico e

utilizado para fins de cobrança das taxas dos serviços de licenciamento junto à FEPAM, este não será considerado quando se fizer comparação com outras empresas do estado e do país.

Considerando-se a localização das empresas de acordo com os COREDEs – Conselhos Regionais de Desenvolvimento³⁸, tem-se que preferencialmente as indústrias da fundição encontram-se na região da Serra e Região Metropolitana de Porto Alegre, considerando os percentuais de 22% e 21% respectivamente, de acordo com a figura 8. Nas demais regiões do estado a distribuição é uniforme com o percentual de distribuição variando em torno de 5%. Nas regiões Norte e dos Vales, o crescimento das indústrias metalmeccânicas vem justificando um maior percentual na distribuição das fundições de ferro nessas regiões.

A figura 8 mostra a distribuição das indústrias de fundição ferrosa no estado do Rio Grande do Sul, de acordo com a divisão das regiões dos COREDEs estabelecidas no Atlas Sócio Econômico do Rio Grande do Sul.

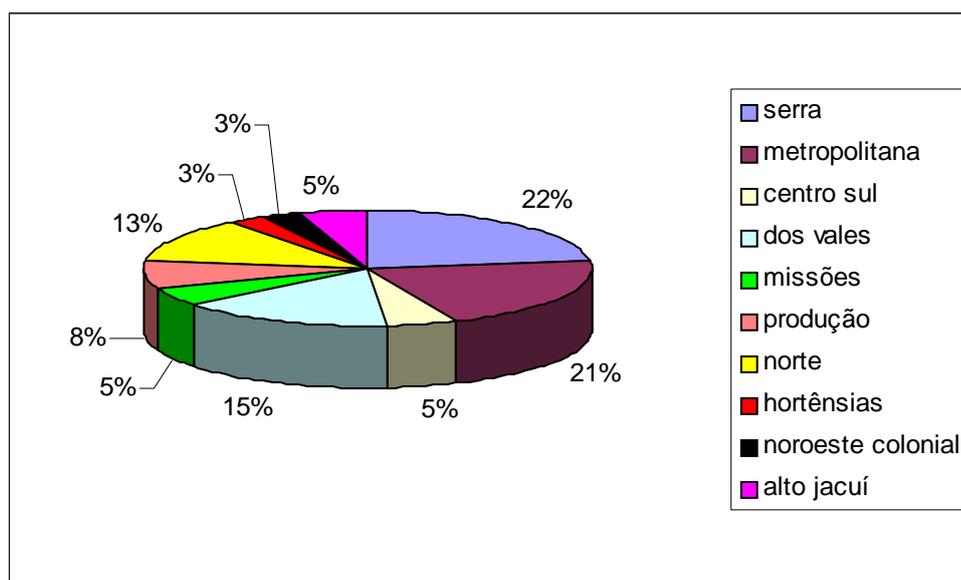


Figura 8: Distribuição das empresas por região do COREDE

A figura 9 apresenta a capacidade instalada das empresas de fundição ferrosa no estado do Rio Grande do Sul. De acordo com esta figura, as empresas apresentam uma distribuição equilibrada entre aquelas que possuem capacidade instalada de até 50 toneladas mensais de fundidos e aquelas com capacidade entre 51 e 250 toneladas mensais de fundidos, perfazendo 72% do universo pesquisado. 18% das empresas de fundição ferrosas possuem uma capacidade instalada entre

251 e 1.000 toneladas mensais de fundidos, enquanto 10% das indústrias possuem capacidade instalada acima de 1.000 toneladas mensais de metal produzido.

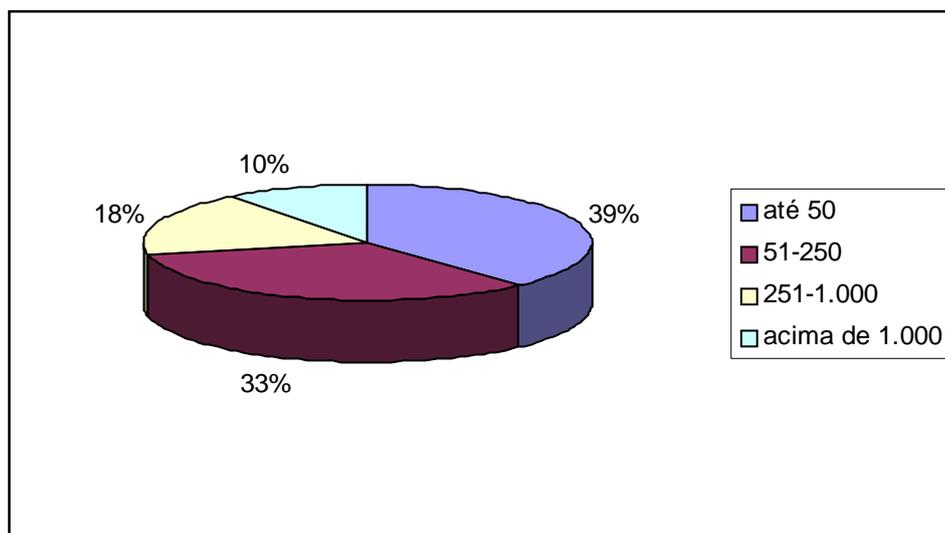


Figura 9: Capacidade instalada das empresas em t/mês de metal produzido

As fundições do Rio Grande do Sul produziram no ano de 2005, de acordo com o formulário preenchido, 168.274 toneladas de peças fundidas em ferro e aço. Estes valores correspondem a 6,17% da produção nacional de fundidos de ferro e aço, de acordo com o Ministério de Minas e Energia³⁹.

Foi verificado ainda que a maioria das fundições ferrosas pesquisadas, 69% delas, fornece peças fundidas para mais de um segmento produtivo. Das empresas pesquisadas, somente 3 empresas fornecem peças unicamente para o setor automotivo, enquanto 9 empresas fornecem peças somente para o setor de máquinas agrícolas e mecânicas.

A figura 10 apresenta a distribuição da produção de fundidos ferrosos no ano de 2005 no estado do Rio Grande do Sul de acordo com os segmentos produtivos.

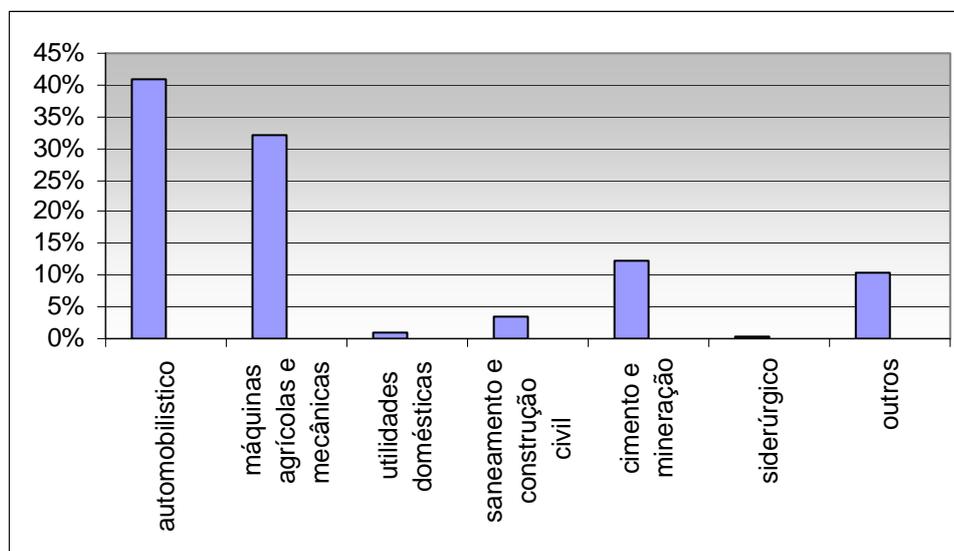


Figura 10: Distribuição da produção de fundidos no ano de 2005 de acordo com os vários segmentos produtivos

Como se pode verificar, o segmento automotivo lidera a produção de fundidos no estado, ainda que exista somente uma indústria automotiva no Rio Grande do Sul, implantada em meados de 2002. Já o setor agropecuário, em franco desenvolvimento no estado, se reflete pelo 2º lugar na produção de fundidos para o segmento de máquinas agrícolas e mecânicas.

Com relação ao peso médio das peças fundidas produzidas pelas indústrias de fundição ferrosa no estado do Rio Grande do Sul, também se verificou que são produzidas peças de tamanho e pesos variados, sendo que somente 3 empresas informaram produzir somente peças de até 10 kg, enquanto 1 informou que produz peças entre 10 e 100 kg.

De acordo com os resultados obtidos para os dados gerais das empresas, pode-se dizer que o perfil das indústrias de fundição ferrosas no Rio Grande do Sul apresenta as seguintes características:

- número de até 50 funcionários;
- área utilizada entre 250 a 10.000 m²;
- faturamento anual de 50% das empresas acima de R\$ 2.400.000,00;
- capacidade instalada entre 50 e 250 toneladas/mês de fundidos de ferro e aço.

Este perfil se enquadra no perfil levantado das demais empresas de fundição do Brasil, de acordo com dados da ABIFA, do Ministério das Minas e Energia³⁹, e do Diagnóstico das Indústrias da Fundição no estado de Minas Gerais⁴⁰. As indústrias de fundição dos Estados Unidos e dos países da Comunidade Européia também apresentam este perfil, de acordo com dados do *FIRST – Foundry Industry Recycling Starts Today*⁴¹ e do documento de referência para as melhores técnicas disponíveis para as indústrias de fundição da Comunidade Européia¹¹.

5.2- Dados gerais da moldagem/macharia

As fundições em geral utilizam mais de um processo de moldagem e macharia, de acordo com as peças a serem fundidas. No Rio Grande do Sul, 95% das empresas de fundição ferrosas pesquisadas desenvolvem o processo de areia verde, que é o mais simples de executar, o mais econômico e se adapta tanto à moldagem de peças isoladas quanto à produção em série⁴². Os demais processos mais utilizados entre as fundições pesquisadas são os processos em casca (*shell*), processos de cura a frio e processo CO₂, como podemos verificar na figura 11.

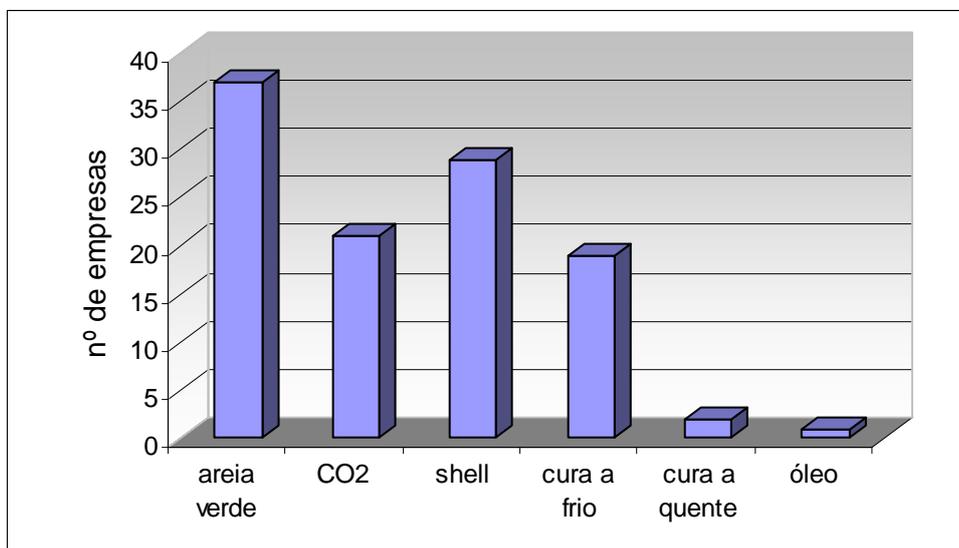


Figura 11: Distribuição das empresas de acordo com os processos de fundição utilizados

O processo de cura a frio é muito utilizado na fabricação de moldes para fundidos de grande porte, apresentando baixo potencial de poluição, em função do mesmo ser realizado à temperatura ambiente, evitando desta forma a geração de gases e odores. O processo em casca ou *Shell* emprega resina fenol/formaldeído

catalisada com hexamina em temperatura de 230-260°C, conferindo aos machos uma maior resistência mecânica, porém a um custo elevado⁴³. Já o processo com utilização de silicato de sódio curado por CO₂ é muito utilizado em função de ser um processo de custo baixo, rápido, de fácil manuseio e ambientalmente limpo.

Com relação aos resíduos gerados por estes processos mais utilizados pelas empresas no Rio Grande do Sul, as areias verdes, apesar de não serem consideradas como resíduos perigosos pela NBR 1004/2004, são potencialmente poluidoras em função dos grandes volumes gerados. Já as areias geradas nos processos de cura a frio e processo em casca, em função de estarem contaminadas por resíduos fenólicos, são consideradas como resíduos perigosos, devendo necessariamente ser dispostas em aterros industriais de resíduos perigosos, de acordo com a legislação.

Foram verificadas que 19 empresas fazem uso de resinas para obtenção de areias ligadas quimicamente, 13 empresas utilizam areia shell, isto é, areia previamente revestida com resina, enquanto apenas 7 fundições não utilizam resinas como insumo, em seus processos.

As empresas que utilizam resinas, em sua maioria usam resinas fenólicas, sendo que apenas 3 empresas, utilizam além das resinas fenólicas, também as resinas alquídicas e uretânicas.

Das empresas que utilizam resinas como ligantes 58% delas possuem sistema de minimização no consumo de resinas, enquanto 21% estão em fase de implantação de sistema de minimização de resinas. A minimização do consumo de resinas vista mais detalhadamente no item 5.5 é uma das técnicas recomendadas como *BAT*.

Foi verificado ainda que apenas 44% das fundições ferrosas no estado do Rio Grande do Sul possuem laboratório de controle das areias utilizadas, o que pode significar que no restante das empresas não é feito o controle das areias, de forma a assegurar a qualidade das mesmas, evitando desta forma a má qualidade do fundido, e ainda o consumo excessivo de produtos químicos na preparação das areias. É sabido porém, que algumas das empresas que não possuem laboratório dentro de suas unidades industriais realizam alguns controles em laboratórios de terceiros.

O processo de fundição por areia verde em função da geração de grandes volumes de areias é um dos mais problemáticos sob o ponto de vista ambiental. Desta forma a preocupação do presente trabalho com o gerenciamento das areias, se justifica pela totalidade das fundições ferrosas no estado do Rio Grande do Sul utilizar o processo mencionado.

5.3. Fontes geradoras de efeitos ambientais

Este conjunto de questões teve como objetivo captar a percepção do industrial com relação a vários aspectos ambientais que podem estar associados aos processos de moldagem e macharia. Estes aspectos dizem respeito a efluentes líquidos, emissões atmosféricas, incluindo material particulado, gases e geração de odor, geração de resíduos sólidos, consumo de areia, água e energia.

As questões não respondidas foram consideradas como não importante.

Com relação à geração de efluentes líquidos, a maioria das empresas não considera esta questão importante nas etapas de moldagem e macharia, já que 20 empresas responderam que esta questão não é importante, 8 não responderam a este item, o que é considerado como sendo não importante e 4 responderam como sendo de pouca importância esta questão. Somente 5 empresas consideraram importante e 2 como muito importante esta questão. Das empresas que consideraram esta questão importante, 4 utilizam sistema de lavagem de gases para controle das emissões geradas, justificando desta forma sua preocupação. A geração de efluentes líquidos na indústria da fundição está relacionada à existência de sistemas de controle de emissões atmosféricas por lavagem de gases, bem como à existência de sistema de regeneração de areias a úmido. Mesmo nestes casos, os efluentes são em sua maioria tratados e recirculados no próprio sistema. No caso das empresas pesquisadas, somente 2 informaram possuir sistema a úmido de regeneração das areias, no caso areias contaminadas com silicato de sódio. Porém, estas duas empresas informaram ser a geração de efluentes uma questão não importante. Usualmente os efluentes gerados nesta etapa são tratados e reutilizados no próprio sistema.

A figura 12 apresenta um quadro resumido dos resultados acima discutidos.

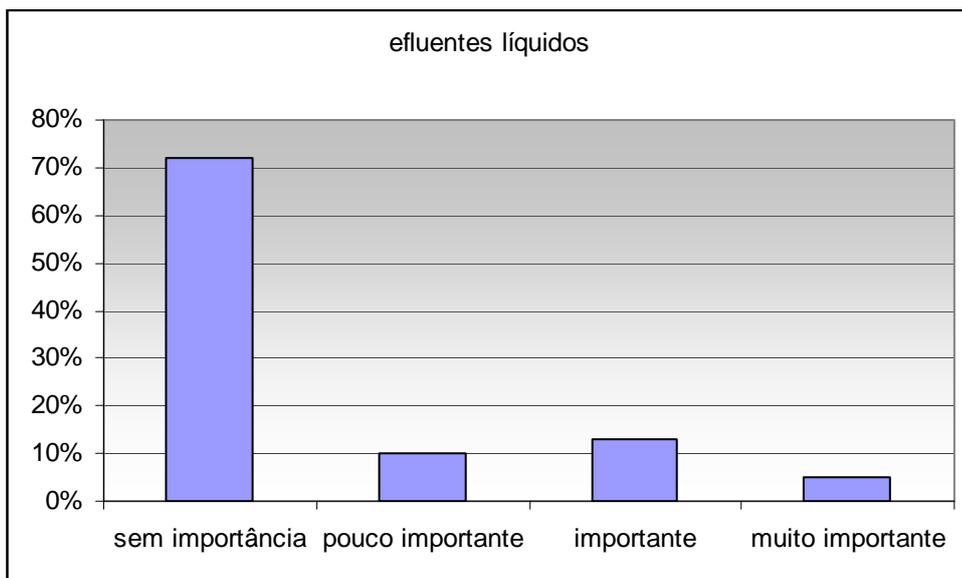


Figura 12: Distribuição percentual das empresas com relação à percepção quanto aos efluentes líquidos.

Com relação à geração de material particulado durante as etapas de moldagem e macharia, 3 empresas responderam como sendo de muita importância esta geração, enquanto 17 consideraram a questão importante. Dezenove empresas consideram esta questão como de pouca ou nenhuma importância. Os resultados quanto à esta questão estão mostrados na figura 13. De acordo com a figura, verifica-se que praticamente metade das empresas percebe a importância da geração de material particulado nestas etapas.

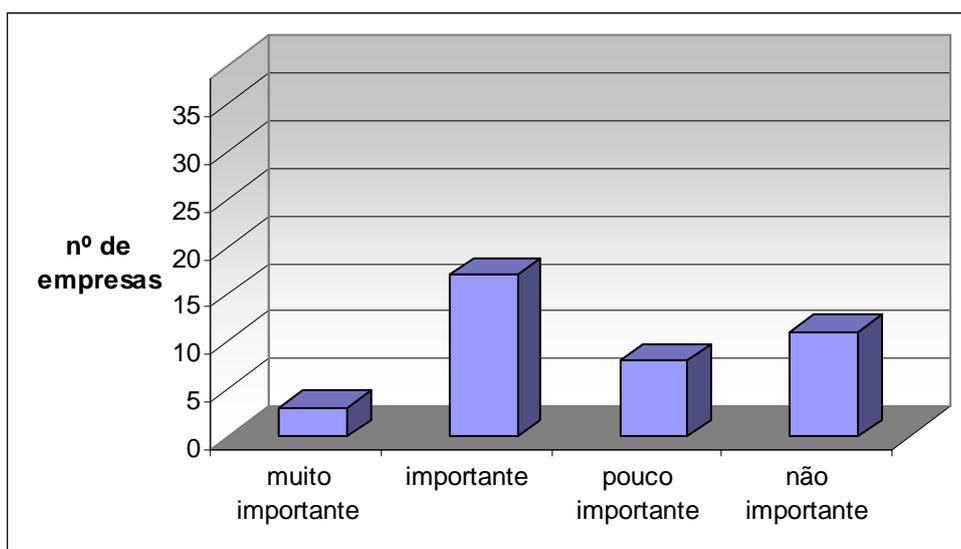


Figura 13: Distribuição das empresas de acordo com a percepção relativa à geração de material particulado

O órgão ambiental estadual do Rio Grande do Sul, FEPAM não exige, no licenciamento das indústrias de fundição, a implantação de sistemas de captação e controle das emissões geradas nas etapas de moldagem e macharia, bem como não há o estabelecimento de padrões de emissão para estes pontos, apesar da ocorrência de geração de material particulado nas etapas de preparação e cura nos processos de areia verde, bem como nas etapas de vazamento, desmoldagem e resfriamento para todos os demais processos, incluindo o processo areia verde. Inicialmente o foco da FEPAM no licenciamento das indústrias de fundição foi no estabelecimento de exigências para as emissões geradas nos fornos de fusão, sendo posteriormente direcionado para as questões dos resíduos gerados.

Existem dados quantitativos obtidos em fundições na Itália, conforme se pode verificar na tabela XI, onde estão relacionados os resultados, obtidos através de amostragens, das emissões geradas de material particulado após a coleta e tratamento por diversos sistemas de controle nas várias etapas, como preparação de areia, preparação de areia verde, macharia e moldagem. Através desses dados podemos verificar que em países como a Itália e Alemanha, existe a preocupação e a cobrança das autoridades ambientais com a geração de emissões atmosféricas nestas etapas. Verifica-se ainda através dessa tabela que os sistemas implantados são eficientes e necessários. Os equipamentos relacionados de controle das emissões são filtros de mangas, lavadores de gases e lavadores Venturi¹¹.

Tabela XI: Emissões de material particulado em setores de moldagem e macharia

	Concentração (mg/Nm ³)		
	médio	mínimo	máximo
Filtro de mangas	3,2	0,4	12,1
Lavador de gases	5,2	3,6	6,7
Lavador Venturi	9,6	8,5	10,9

Fonte: tabela adaptada de Assofond, 2002, *apud* documento de referência em BAT para indústrias de fundição¹¹.

Os níveis de emissão para material particulado associados às técnicas BAT situam-se entre 5 e 20 mg/Nm³. Conforme a tabela XI, as concentrações de material particulado em pesquisa realizada em fundições da Itália estão abaixo dos níveis associados com as técnicas BAT, podendo ainda ser verificado que o filtro de mangas é o equipamento mais eficiente para retenção de material particulado.

No Brasil não existem estabelecidos limites máximos de emissão de poluentes para indústrias de fundição. No Rio Grande do Sul, os limites são estabelecidos pelo órgão ambiental, de forma individualizada para cada indústria, levando em consideração a localização da empresa assim como as tecnologias implantadas. Em 26.12.2006 foi publicada a resolução CONAMA Nº 382/2006⁴⁴, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas, porém a indústria de fundição não foi contemplada nesta resolução.

Foi verificado que 59% das empresas pesquisadas possuem algum tipo de sistema de controle para as emissões geradas, e 15% pretendem implantar no futuro algum sistema de controle, conforme resultados que serão apresentados na seção 5.4. Estes percentuais estão de acordo com as percepções das indústrias quanto à esta questão.

Com relação aos gases emitidos, os resultados apresentados foram trabalhados levando em consideração as fundições que utilizam resinas como ligantes das areias ou utilizam areia shell, e aquelas que não utilizam resinas.

Para as fundições ferrosas que não utilizam resinas, no total de 7, os resultados estão mostrados na figura 14.

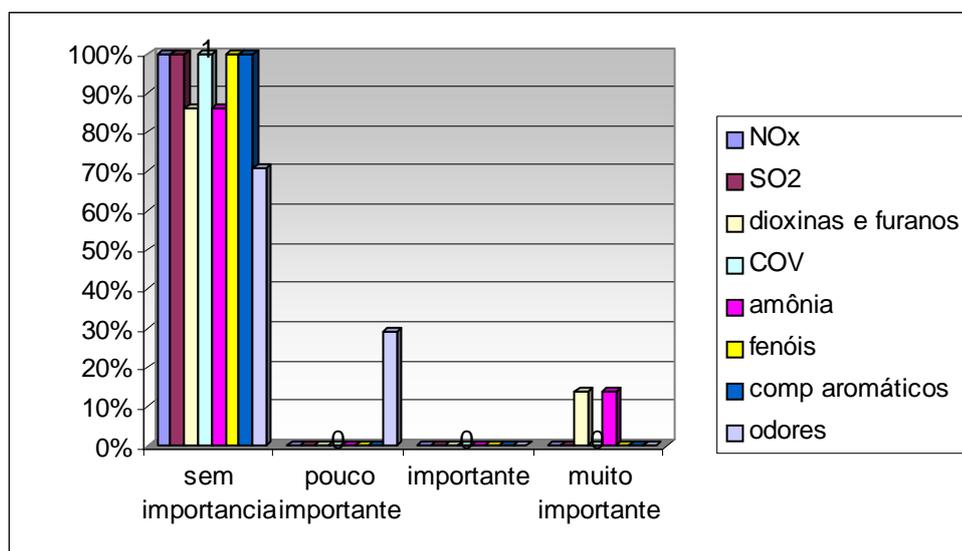


Figura 14: Distribuição das empresas ferrosas que não utilizam resinas em seus processos, de acordo com suas percepções relativas aos gases gerados nas etapas de macharia e moldagem.

A figura 15 apresenta os resultados relativos à percepção das 32 fundições ferrosas que utilizam resinas ou areia *Shell* em seus processos de moldagem e macharia, relativa à emissão de gases e odores.

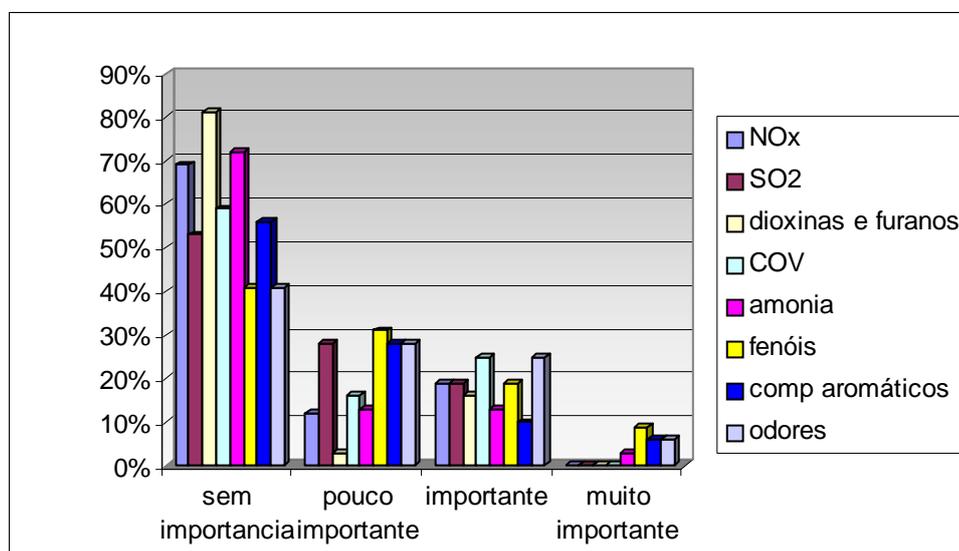


Figura 15: Distribuição das indústrias de fundição ferrosas que utilizam resinas em seus processos, de acordo com suas percepções relativas aos gases gerados nas etapas de macharia e moldagem.

O processo de moldagem areia verde desenvolvido por todas as empresas pesquisadas utiliza, como um de seus insumos, pó de carvão, para dar um melhor acabamento à superfície do fundido. Durante as etapas de vazamento do metal líquido, do resfriamento e da desmoldagem, são emitidos, além de material particulado, substâncias orgânicas oriundas da decomposição térmica, CO e CO₂. Os aditivos carbonáceos apresentam potencial para emitir benzeno e outros subprodutos orgânicos resultantes do processo de fundição de metais, o qual está relacionado ao teor de matéria volátil desses aditivos. O pó de carvão também pode gerar hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) durante o vazamento¹¹.

Atualmente as empresas não apresentam preocupação com estas emissões como se pode verificar através das figuras 14 e 15, mas de acordo com a literatura, em função da possibilidade da rentabilidade dessas empresas poder vir a ser afetada pelas condições ambientais, estas poderão se readequar, alterando o processo utilizado ou reduzindo as emissões geradas através do controle das matérias-primas⁴⁵.

Com relação ao carvão utilizado este sempre foi historicamente selecionado em função de suas características proporcionarem um melhor acabamento na

superfície do fundido. Atualmente as empresas de fundição nos Estados Unidos vêm selecionando o tipo de carvão não somente por sua performance no melhor acabamento superficial do fundido, como também no menor nível de emissão de produtos orgânicos quando de sua decomposição⁴⁵.

O potencial de odor está associado ao teor de enxofre existente no carvão, mas como os percentuais de pó de carvão utilizado são baixos, a geração de odores nos processos de areia verde é praticamente inexistente.

A geração de odores nas fundições ferrosas que não utilizam resinas é praticamente inexistente, com exceção às fundições que utilizam óleo em seus processos de moldagem, o que não é o caso das indústrias pesquisadas, já que nenhuma delas informou a utilização deste processo.

Quando não há a utilização de resinas para a fabricação de moldes e machos, a geração do NO_x, SO₂, dioxinas e furanos, e fenóis é desprezível, o que faz com que a percepção das indústrias pesquisadas não evidencie qualquer preocupação com os impactos ambientais decorrentes desta atividade.

A produção de moldes e machos envolvendo a mistura de areia e várias substâncias químicas, provoca a emissão de gases e produtos voláteis. Nos processos de cura a frio com a utilização de resinas fenólicas e resinas furânicas, que são as resinas utilizadas pelas empresas pesquisadas, podem ser geradas emissões de isocianato, formaldeído, fenol, álcool furfúrico, compostos aromáticos, entre outros. Além disto, estes gases também podem gerar odores incômodos.

A emissão de odores está associada principalmente aos processos envolvendo ligantes, variando de acordo com o sistema utilizado, sendo que os produtos resultantes da decomposição de fenóis, isto é, cresóis e xilenóis são a fonte mais comum de geração de odores. A dispersão de odores durante o vazamento, resfriamento e desmoldagem envolve a mistura dos gases com grandes volumes de ar, o que dificulta a coleta e o tratamento destes gases. A utilização de ligantes inorgânicos, como silicato de sódio, pode fazer com que haja uma redução substancial dos odores gerados. Não existe um método totalmente eficaz para se evitar a geração de odores em fundições, mas uma boa ventilação e uma taxa adequada de renovação de ar são medidas que possibilitam uma boa e rápida dispersão para a atmosfera. Como técnicas de tratamento, são utilizadas técnicas de adsorção, pós combustão, lavadores de gases e biofiltros¹¹.

Entre as empresas pesquisadas que utilizam resinas e outros ligantes químicos, verifica-se que existe uma despreocupação com a emissão de gases nas

etapas de produção de moldes e machos, conforme resultados apresentados na figura 13, onde a maioria das empresas considera sem importância ou de pouca importância os aspectos mencionados. Efetivamente para a geração destes gases somente 22% das indústrias que utilizam resinas possuem sistema compatível para tratamento dos gases gerados, sendo o lavador de gases o sistema utilizado por 6 empresas, e o sistema de pós-queima utilizado por uma empresa, de acordo com as informações apresentadas.

Com relação à geração de resíduos, 12 empresas consideraram como uma questão muito importante, e 15 empresas consideraram a questão importante. 3 empresas consideraram sem importância, 5 como de pouca importância, enquanto 4 empresas não responderam esta questão. Para esta questão, verificou-se então, que das empresas pesquisadas, 69% delas consideram a questão dos resíduos como fator de preocupação sob o ponto de vista ambiental.

Na figura 16 está apresentada a distribuição das empresas de acordo com sua percepção relativa à geração de resíduos.

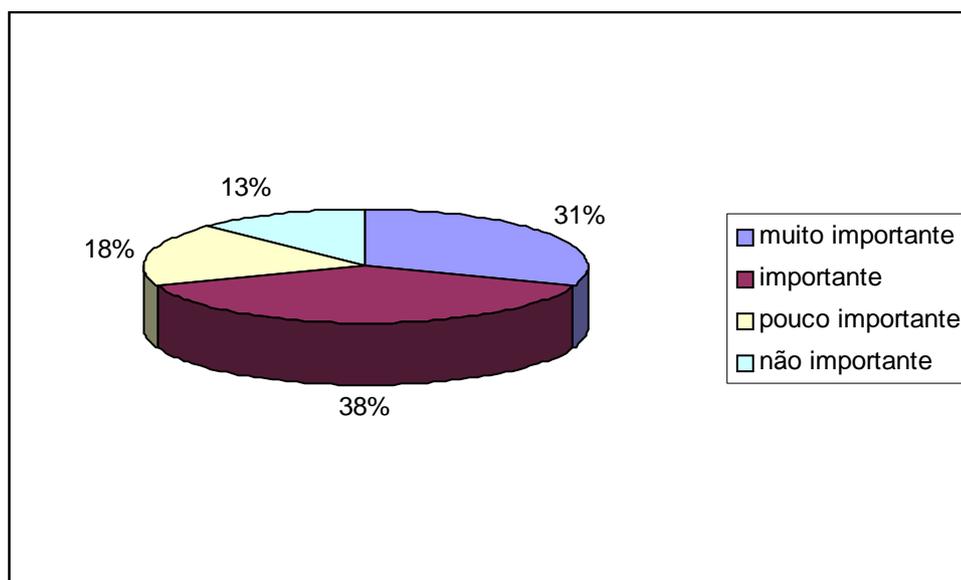


Figura 16: Distribuição percentual das empresas conforme a preocupação com a geração de resíduos.

Esta visão das empresas vem ao encontro da efetiva preocupação com a questão da geração de resíduos e da forma ambientalmente correta de dispor esses resíduos, o que está relacionado às exigências da FEPAM. O que ainda não foi internalizado pelas empresas é a preocupação com a minimização dos resíduos, e com sua posterior utilização em outros processos.

Apesar do potencial de reutilização de grande parte do volume gerado de resíduos, em particular das areias de fundição, principalmente em pavimentação e nas indústrias cerâmicas e de construção, as empresas parecem desconhecê-lo, preferindo encaminhar estes resíduos para aterros industriais próprios ou de terceiros.

A destinação adequada das areias realizada pela maioria das empresas é fruto de exigências do órgão ambiental estadual quando dos licenciamentos destas indústrias, bem como durante constatações verificadas em vistorias às unidades.

Já para a questão de consumo de areia, a percepção das empresas é praticamente a mesma com relação à geração de resíduos. Tem-se que 6 empresas consideraram a questão muito importante, e 21 consideraram a questão importante. Para 7 empresas a questão é pouco importante, enquanto que 2 empresas consideraram sem importância, e outras 3 não responderam a esta questão. Chama a atenção nesta questão, o fato de 12 empresas, ou seja 31% delas, considerarem de pouca ou nenhuma importância o consumo de areias, já que estas são insumos básicos para o desenvolvimento da atividade de fundição. A maioria das empresas, 69% delas, considera o consumo de areia como fator importante nas questões ambientais. Esta preocupação está diretamente ligada aos custos com a utilização de areias. A preocupação com o consumo de areias virgens pode fazer com que as empresas procurem cada vez mais implantar processos de regeneração e posterior reutilização das areias no próprio circuito, minimizando cada vez mais o consumo de areias novas.

A figura 17 mostra estes resultados semelhantes aos mostrados na figura 16.

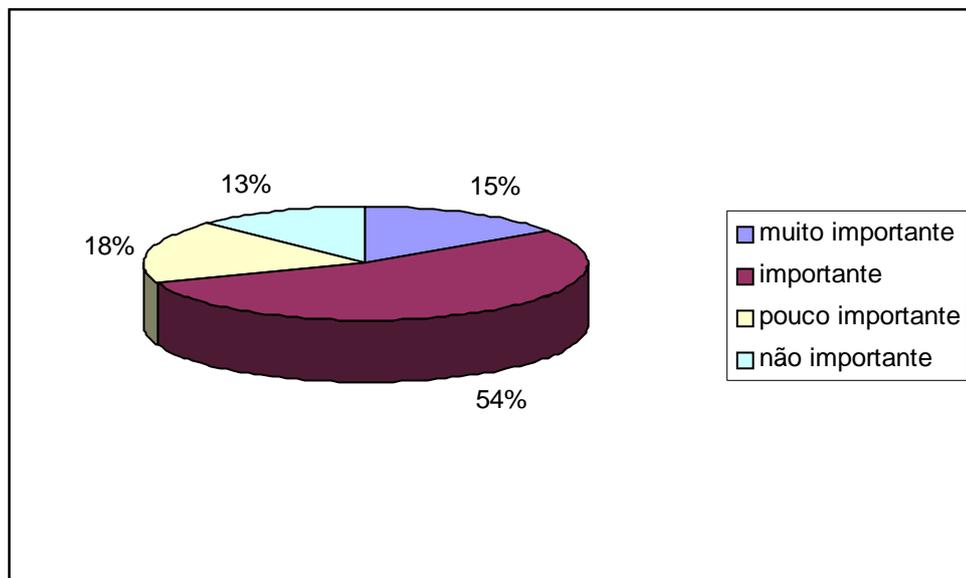


Figura 17: Distribuição percentual das empresas conforme a preocupação com o consumo de areia.

Com relação ao consumo de água nestas etapas do processo, somente 2 empresas consideraram esta questão muito importante, e 11 empresas consideraram a questão importante. 11 empresas consideraram a questão como pouco importante, enquanto 11 empresas consideraram sem importância a questão e 4 não responderam a esta questão. Esta questão pode ser interpretada como sendo o consumo de água nestas etapas não muito importante sob o ponto de vista do volume utilizado, bem como o custo deste consumo ser ainda relativamente baixo no RS, e no Brasil, frente a outros países da Europa e Estados Unidos.

Por fim, relacionado às questões ambientais, foi avaliado o consumo de energia junto às empresas pesquisadas. Este item foi avaliado como muito importante por 5 empresas, como importante por 12 empresas, como pouco importante por 13 empresas, e como não importante por 4 empresas. 5 empresas não responderam a esta questão. O consumo de energia é considerado como fator importante, já que a maioria dos equipamentos utilizados nas indústrias de fundição são elétricos. Os fornos utilizados, os sistemas de preparação e mistura das areias para fabricação dos moldes e machos, os equipamentos para produção dos moldes e machos, os sistemas de recuperação de areias, entre outros, utilizam energia elétrica para seu funcionamento, e o custo desta energia é elevado, o que faz com que as empresas realmente considerem esta questão como importante.

Portanto, resumindo esta questão relacionada às fontes geradoras de efeitos ambientais negativos decorrentes das etapas de macharia e moldagem, podemos verificar que a percepção e preocupação das empresas atualmente está focada principalmente na geração de resíduos, no consumo de areia e no consumo de energia.

Podemos inferir que a preocupação com a geração de resíduos está relacionada às exigências do órgão ambiental estadual, e também com os custos cada vez mais altos para disposição em locais licenciados pela FEPAM. O consumo de areia está diretamente relacionado aos custos para utilização destas areias, incluindo o custo da própria areia e os custos com o transporte das mesmas.

Com relação aos cuidados na estocagem dos produtos químicos e insumos, os resultados mostraram que 90% das empresas pesquisadas possuem área coberta e 82% possuem ventilação nestas áreas, o que é considerado como um cuidado básico para estas áreas. 51% das empresas possuem piso impermeabilizado e 33% possuem sistema de coleta em casos de vazamentos de produtos químicos líquidos. Foi verificado ainda que 46% das empresas onde existe sistema de coleta de eventuais vazamentos não possuem piso impermeabilizado, o que não justifica a existência desse sistema já que, se houver vazamentos poderá ocorrer contaminação do solo, mesmo com a coleta dos mesmos.

Outro cuidado observado por 77% das empresas é com relação ao sistema de proteção contra incêndios. Este cuidado pode estar atrelado à necessidade das empresas quando da contratação de seguro da atividade.

Ainda um outro dado importante é que somente 56% das empresas informam possuir sistema de controle de entrada e saída dos produtos químicos estocados. Este resultado chama a atenção, pois isto reflete uma falta de gerenciamento com relação aos custos do processo.

Somente 18% das empresas informaram possuir todos os cuidados listados no formulário enviado, considerados importantes para evitar perdas e contaminações dos produtos químicos e insumos utilizados nos processos, bem como contaminação das áreas de estocagem em casos de vazamentos e intempéries. Os cuidados implantados por estas empresas dizem respeito à cobertura da área, à existência de piso impermeabilizado, sistema de coleta de vazamento, sistema de proteção contra incêndios e sistema de controle de entrada e saída dos produtos.

Sabe-se que o armazenamento adequado dos produtos químicos de acordo com normas fornecidas pelos fabricantes assegura a qualidade dos produtos, evitando a possível disposição dos mesmos em caso de contaminação, e ainda a baixa qualidade do fundido. Para o armazenamento dos produtos químicos as técnicas *BAT* recomendadas de acordo com o documento de referência em *BAT* para indústrias da fundição, elaborado pela Comunidade Européia em 2005, são a adoção das seguintes medidas:

- implantação de área ventilada e com telhado de cobertura;
- sistema de coleta de eventuais vazamentos;
- área de armazenamento controlada e com acesso limitado aos responsáveis pelo setor.

A implantação dessas medidas visa evitar a exposição dos produtos ao excesso de frio, excesso de calor e à luz solar, bem como à contaminação dos produtos pela umidade. Deve-se ainda evitar o armazenamento prolongado, o que pode acarretar em um aumento na viscosidade de alguns produtos, provocando uma dificuldade de dispersão dos mesmos nos grãos de areia, e consequente dificuldades na mistura¹¹.

A figura 18 apresenta a distribuição das empresas pesquisadas em relação aos cuidados existentes nas áreas de estocagem dos produtos químicos e insumos, de acordo com os resultados apresentados e discutidos acima.

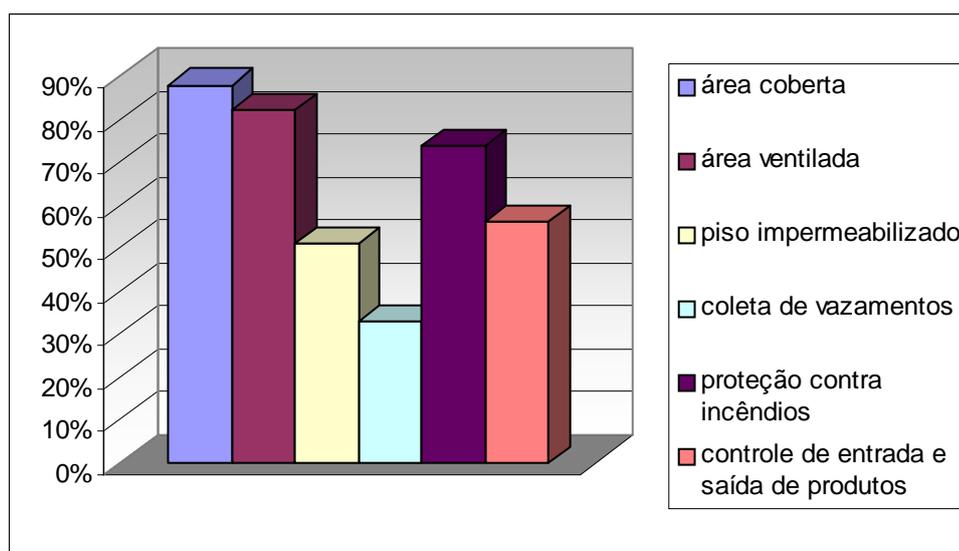


Figura 18: Distribuição percentual das empresas de acordo com os cuidados existentes na área de estocagem de produtos químicos e insumos.

Considerando as técnicas *BAT* mencionadas para o armazenamento dos produtos químicos, aproximadamente 85% das indústrias pesquisadas adotam uma das medidas básicas de *BAT*, qual seja, área ventilada e coberta. Já com relação ao sistema de coleta de eventuais vazamentos, este percentual diminuiu para 33%, enquanto que o controle de entrada e saída dos produtos, conforme informações é implementado em 56% das empresas. Estas duas últimas medidas mencionadas poderão ser implantadas pelas indústrias, através de exigências da FEPAM nos licenciamentos individuais de cada empresa, não implicando em custos para as mesmas.

5.4. Emissões Atmosféricas

Apesar da grande maioria das empresas ter respondido como sendo de pouca importância as questões relacionadas às emissões atmosféricas, conforme mencionado no item acima, relativo à questão 13 do questionário, 59% dessas empresas, isto é, 23 empresas possuem sistema de controle para o material particulado gerado durante a preparação da areia, durante as etapas de moldagem, macharia e desmoldagem. Os equipamentos mais utilizados são filtros de mangas em conjunto com os ciclones, que são os mais eficazes no controle de material particulado.

Nove empresas responderam que nestas etapas não são necessários equipamentos de controle e seis empresas responderam que pretendem implantar equipamentos de controle das emissões atmosféricas no futuro. Somente uma empresa não respondeu a esta questão.

Desta forma, de acordo com as técnicas *BAT*, 59% das empresas vêm procurando se adequar às mesmas, visando captar e tratar as emissões de material particulado. Este percentual poderá chegar a 74%, conforme os resultados obtidos, já que 6 das empresas pesquisadas pretendem implantar futuramente, equipamentos para coleta e tratamento para estas emissões, não sendo especificado o sistema que será implantado.

Das empresas de fundição que utilizam resinas ou areia shell em seus processos industriais, verificou-se que 65% delas possuem sistema de controle das emissões geradas nas etapas já mencionadas, podendo este percentual atingir até 81%, já que 5 empresas informaram que pretendem implantar no futuro, sistema de

controle das emissões geradas. 19% das empresas responderam que não era necessário sistema de controle nestas etapas do processo.

Das empresas acima mencionadas somente 22% delas possuem sistemas compatíveis para abate de gases e odores, isto é, lavadores de gases e sistema de pós-queima.

Também foi verificado que 84% das empresas informaram não haver pressão por parte dos clientes para que fosse implantado sistema de controle das emissões atmosféricas geradas nestas etapas. Isto significa que no mercado ainda não há por parte dos clientes uma conscientização ambiental. Este não é portanto hoje, um fator preponderante para um melhor desempenho ambiental de uma fundição.

5.5. Controle de qualidade da areia e minimização no consumo de resinas

64% das empresas pesquisadas possuem sistema de controle de qualidade das areias após a preparação das mesmas, enquanto 8% delas estão em processo de implantação de sistema de controle. Das empresas que utilizam resinas como insumo nos processos de moldagem e macharia, este percentual é de 74%, sendo que 17 empresas já possuem implantado algum tipo de sistema de controle de qualidade das areias após a preparação e mistura das mesmas, e 2 empresas encontram-se em processo de implementação desses controles.

Como foi verificado através das respostas do formulário que somente 44% das empresas possuem laboratório de controle de qualidade das areias, pressupõe-se que em torno de 20% das empresas, realizem a análise das areias em locais fora da área industrial. Provavelmente nestes casos o controle não seja tão efetivo já que há necessidade de análises contínuas durante as etapas de preparação e mistura das areias.

Os controles mais utilizados são relativos à avaliação do teor de umidade, da granulometria, da pureza e composição química das areias.

A granulometria das areias de fundição é um parâmetro muito importante na fundição por moldagem em areia, devido ao grau de compactação necessário aos moldes. Areias de baixa granulometria, com excesso de finos, têm de ser retiradas do circuito. Caso isto não ocorra, os moldes ficam com uma compactação muito alta, impedindo o escoamento dos gases durante o vazamento do metal, podendo

originar peças com defeitos. Por outro lado, areias de alta granulometria produzem moldes cuja compactação não é suficiente para impedir que o metal fundido escoe por entre as partículas de areias, não garantindo uma suficiente rigidez do molde¹³.

Este alto percentual de empresas que possui algum tipo de controle de qualidade das areias confirma que esta é uma das ferramentas utilizadas visando melhor eficiência de processo, e redução de desperdícios.

De acordo com as técnicas *BAT* mencionadas, a adequação das areias com o sistema ligante é um dos parâmetros chave para minimização do consumo de ligantes e resinas, sendo verificada através de testes das areias, como pureza, tamanho de grãos, forma e umidade. Desta forma, o sistema de controle de qualidade das areias está intimamente ligado ao sistema de minimização do consumo de resinas.

Neste item, conforme as respostas com relação à existência de sistema de minimização do consumo de resinas, 83% das empresas possuem sistemas de controle que consistem basicamente da avaliação da qualidade das areias, do controle da temperatura, da manutenção e limpeza do misturador, e ainda do controle da adição de aglomerantes em função do tipo de molde. Sete empresas pesquisadas responderam que estavam em processo de implantação de sistema de controle para minimização no consumo de resinas, enquanto dez empresas responderam não possuir o referido sistema.

Todos os controles acima mencionados, tais como avaliação da qualidade das areias, controle da temperatura, manutenção e limpeza do misturador e o controle da adição de aglomerantes de acordo com o tipo de molde, fazem parte das técnicas *BAT* recomendadas para a minimização do consumo de ligantes e resinas.

5.6. Recuperação e destinação de areias

O volume de areias verdes geradas no ano de 2005, de acordo com os formulários respondidos, foi de 6.351 toneladas, e o de areias fenólicas, 2.310 toneladas. Destes volumes, foram descartados 3.450 toneladas de areia verde e 636 toneladas de areias fenólicas. Portanto 54% das areias verdes geradas estão sendo descartadas, sendo que o percentual de areia reutilizada no processo é de 46%. Com relação às areias fenólicas, o percentual de descarte é de 27,5%.

Este baixo percentual de descarte das areias fenólicas pode estar associado ao fato de não existir nas empresas uma segregação eficiente das areias, o que pode implicar na mistura das mesmas, sendo estas consideradas como areias verdes, em função do maior volume, bem como pelo fato das areias verdes, de acordo com a classificação pela NBR 10.004/2004 serem resíduos Classe II A – não inerte, com menor custo para descarte em aterros.

Em 73% das fundições onde são geradas areias verdes, foi implantado sistema de recuperação destas areias, tendo estes apresentado eficiência acima de 70%. Este percentual situa-se dentro da média das taxas reais de recuperação de areias encontradas em fundições da Comunidade Européia, conforme documento de referência em *BAT* para indústrias de fundição, de maio de 2005¹¹, apesar de terem sido reportadas taxas de recuperação de até 98% das areias. 11 empresas informaram que a eficiência do sistema implantado está entre 70 e 90%, enquanto outras 11 informaram que o sistema implantado possui eficiência acima de 90%. Estas areias após recuperação retornam em sua maioria ao processo produtivo. Os processos mais comumente utilizados são a separação de finos e aglomerados através de peneira vibratória e separação magnética de materiais ferrosos. São também utilizados a regeneração mecânica por fricção ou impacto, a moagem e reutilização interna de machos não curados, e também o resfriamento da areia para evitar perdas por evaporação. O processo de separação de finos e aglomerados através de tambores rotativos foi implantado por 6 empresas, e somente 1 possui implantado o processo de regeneração térmica em fornos rotativos ou leito fluidizado. 3 empresas estão implantando os processos de separação magnética de materiais ferrosos, a regeneração por peneiramento úmido e posterior secagem, e a moagem e reutilização interna de machos não curados.

Geralmente o sistema de recuperação das areias geradas consiste em mais de um dos processos acima citados. Na maioria das empresas o sistema consiste, no mínimo, do processo de separação de finos e aglomerados através de peneiras vibratórias em conjunto com o processo de separação magnética de materiais ferrosos.

Já com relação às areias contaminadas com resinas fenólicas e outras, o percentual de recuperação das mesmas é de 48%, sendo o custo elevado o fator determinante para a não implantação de sistema de recuperação destas areias.

Muitas das fundições têm investido em sistemas de recuperação de areias que possibilitam recuperar em torno de 95% das areias usadas nos próprios

processos de fundição. Estes sistemas representam uma importante oportunidade ambiental e econômica para as fundições, auxiliando no controle dos custos de produção e na redução das quantidades de resíduos para disposição. Mesmo com o aumento na recuperação da areia, existe um limite no número de vezes que a areia pode ser efetivamente reutilizada no processo de fundição, eventualmente resultando em uma quantidade grande de areia usada que poderá ser reusada com benefícios em outro processo⁴⁶.

Apesar das empresas pesquisadas informarem que não encaminham as areias geradas para reuso externo, existe uma empresa que apresentou projeto para alternativa de destinação das areias verdes geradas, para utilização destas areias como insumo na massa cerâmica para fabricação de tijolos. Este projeto foi autorizado pela FEPAM, sendo atendidas as condicionantes estabelecidas na referida autorização, estando a empresa e sua parceira aptas a operarem em escala industrial.

Existe ainda a utilização das areias de fundição não fenólicas na pavimentação asfáltica, atividade esta desenvolvida por uma central de resíduos industriais localizada na região metropolitana de Porto Alegre. Esta utilização também foi objeto de autorização por parte do órgão ambiental do Rio Grande do Sul, para avaliação de resultados do emprego das areias em pavimentação asfáltica. Após a avaliação do relatório técnico de desempenho da atividade, a FEPAM aprovou, e hoje esta utilização está contemplada na licença de operação da referida central. Esta mesma central de resíduos utiliza a areia de fundição como cobertura final das valas encerradas, com a aprovação da FEPAM.

Neste caso, o encaminhamento das areias de fundição usadas para a referida central não implica por parte das empresas em um comprometimento ou preocupação com o posterior reuso que a central venha a dar às mesmas.

Também foi aprovada pela FEPAM a utilização de areias verdes de fundição em pavimentação asfáltica, através de estudo apresentado pela Universidade de Caxias do Sul.

De acordo com a Agencia Ambiental Americana (*EPA*), uma variedade de fatores contribui para o baixo nível de reuso das areias. Estes fatores afetam cada um dos parceiros que desempenham papel no reuso benéfico deste resíduo.

- Para o governo, desenvolver uma estrutura regulatória que simultaneamente aumente a proteção ambiental e encoraje reusos adequados é

muito desafiador. A falta de um processo estabelecido para avaliação e autorização de reúsos também pode se tornar uma barreira significativa.

- Os possíveis usuários finais podem não saber que as areias de fundição são reusáveis. Eles podem incorretamente assumir que as areias de fundição não apresentam uma boa performance sob o ponto de vista da engenharia, ou que as mesmas podem conter teores elevados de constituintes tóxicos.

- Finalmente, as fundições podem não estar cientes das várias potencialidades de reúso das areias usadas, ou podem não levar em consideração mudanças operacionais simples que poderiam provocar efeitos drásticos nas características das areias (por exemplo, uma simples segregação nas origens), aumentando desta forma suas possibilidades de reúso ao invés da disposição em aterros industriais⁴⁶.

A destinação final das areias descartadas, de acordo com os resultados obtidos, apresenta uma distribuição conforme figura 19.

É importante verificar que na figura 19 as utilizações das areias de fundição, seja na pavimentação asfáltica, seja como incorporação na massa cerâmica para fabricação de tijolos sequeer aparecem, já que as mesmas não foram mencionadas nos formulários respondidos.

A destinação “outros” significa que em 100% dos casos as areias estão armazenadas em locais não licenciados, dentro ou fora da área industrial, na maioria das vezes de forma totalmente inadequada.

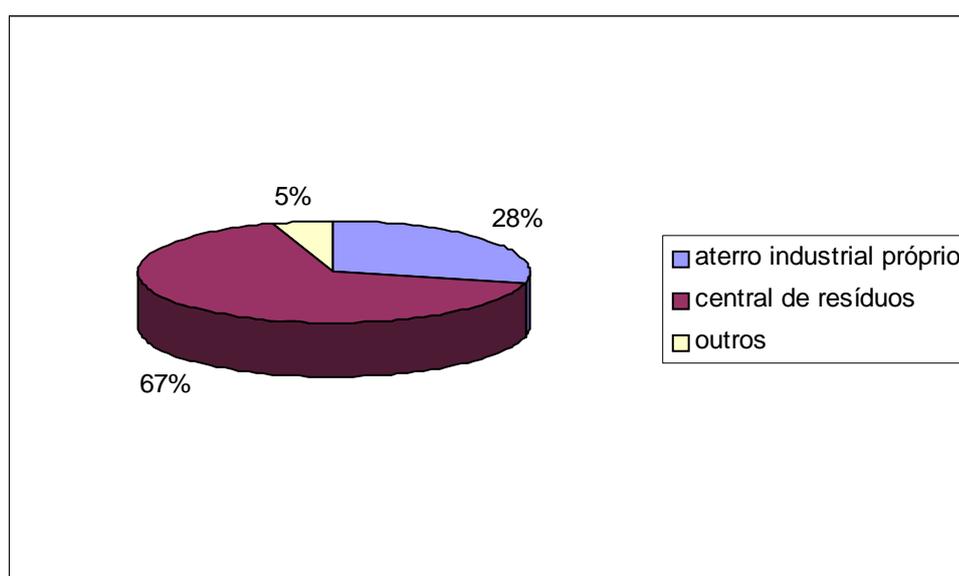


Figura 19: Distribuição das empresas de acordo com a destinação final das areias geradas.

A central mencionada na figura está relacionada a aterros licenciados pela FEPAM para descarte de resíduos industriais, sendo que, de acordo com a figura, 67% das empresas encaminham as areias geradas para os referidos aterros.

Com relação aos aterros industriais “próprios”, de acordo com o banco de dados da FEPAM, 50% deles estão licenciados, enquanto a outra metade não possui nenhum processo de licenciamento. Deste fato, podemos também pressupor que esses 50% de aterros próprios não licenciados estão relacionados a uma disposição inadequada das areias geradas.

Desta forma, somando o percentual de 14% das empresas cujos aterros próprios são licenciados, com os 67% de empresas que encaminham as areias para as centrais de resíduos licenciadas, podemos verificar que 81% das empresas destinam as areias geradas para locais licenciados pela FEPAM. Estas empresas assumem que de acordo com a legislação estão agindo de forma correta, já que os aterros possuem licença ambiental. Neste caso, o reuso dessas areias deveria ser estimulado, mas conforme visto anteriormente, existem muitas barreiras que impedem o reuso.

5.7. Sistemas de gestão da qualidade e gestão ambiental

Com relação à existência de sistema de gestão da qualidade implementado pelas empresas, a figura 20 apresenta a distribuição das empresas.

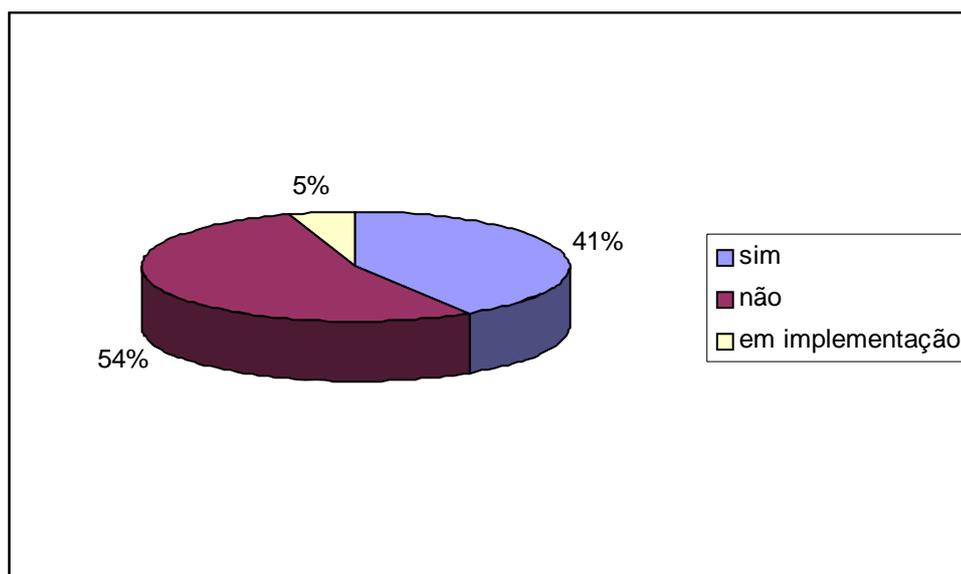


Figura 20: Distribuição das empresas de acordo com a existência de sistema de gestão da qualidade.

A figura 21 apresenta a distribuição das empresas que possuem algum tipo de certificação de qualidade. Pode-se ver que a questão da qualidade é uma variável que está inserida em mais de 50% das empresas de fundição, já que 44% delas possuem certificação de qualidade, enquanto 8% estão em processo de certificação.

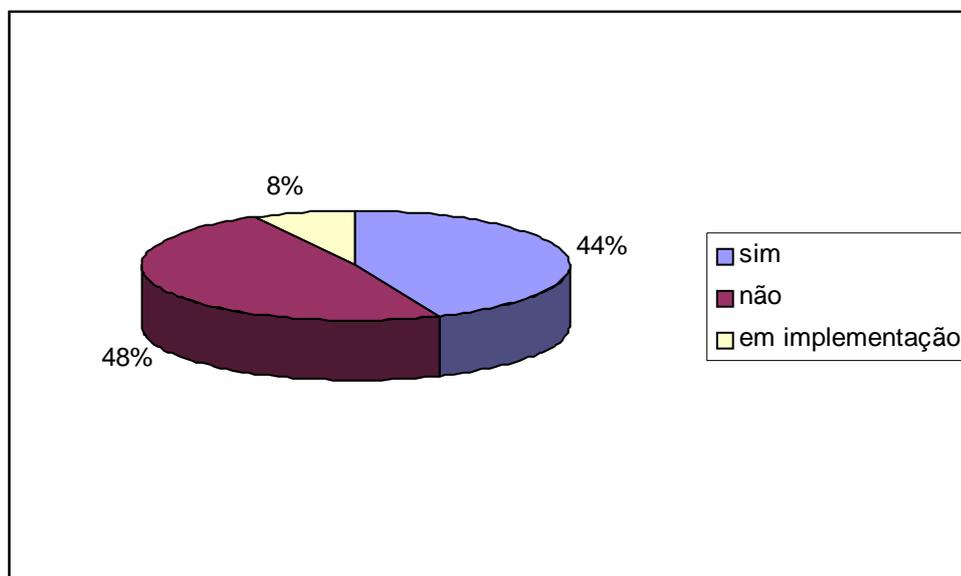


Figura 21: Distribuição das empresas de acordo com a certificação de qualidade.

Comparando as figuras 20 e 21, verifica-se que existe um desconhecimento em relação a sistemas de gestão, já que para obtenção de certificação há necessidade de que o sistema de gestão de qualidade esteja implementado de forma adequada. Estas figuras apresentam dados que não estão corretamente relacionados, já que 41% das empresas informam que possuem sistema de gestão de qualidade, enquanto que 44% afirmam que já possuem certificação de qualidade.

Das 19 empresas que possuem certificação de qualidade, 17 delas são certificadas através da Norma ISO 9001:2000, enquanto as outras 2 informam o Programa Gaúcho de Qualidade e Produtividade, PGQP, como certificação.

Estas empresas são em sua maioria de médio (9) e grande porte (7), de acordo com os critérios estabelecidos pela FEPAM, sendo somente 3 de pequeno porte. O número de funcionários das empresas certificadas pela qualidade apresenta uma distribuição de acordo com a figura 22. Podemos observar que 33% das empresas possuem entre 101 e 300 empregados, enquanto que, equitativamente, isto é, 22% das empresas possuem até 50 empregados e 22% possuem mais de 500 funcionários.

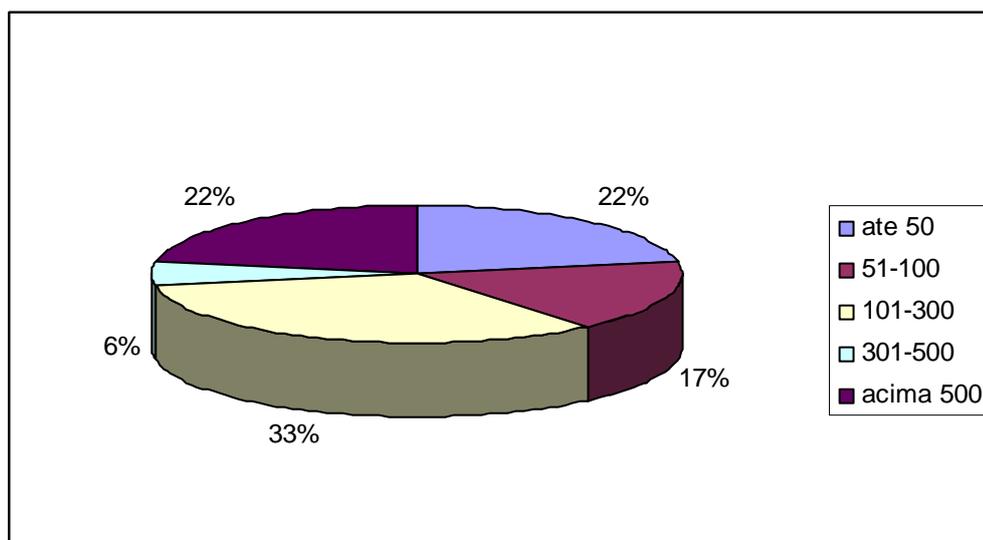


Figura 22: Distribuição das empresas com certificação de qualidade de acordo com o número de funcionários.

De acordo com a Resolução do Mercado Comum do Sul, Res GMC 59/98³⁵, somente 22% das indústrias certificadas pela qualidade são de pequeno porte, sendo as demais de médio e grande porte.

Já com relação ao faturamento, 14 empresas certificadas, isto é 78% delas, apresentaram faturamento no ano de 2005, superior a R\$ 2.400.000,00, caracterizando indústrias de grande porte, de acordo com os critérios da Secretaria da Fazenda do estado³⁶.

Portanto, para qualquer dos critérios mencionados de classificação de empresas, número de funcionários, faturamento anual ou área útil, são as indústrias de médio a grande porte que procuram a certificação de qualidade para poder competir no mercado, conforme os resultados obtidos.

Podemos ainda verificar, através da figura 23, que a grande maioria das empresas, 87% delas, não possui sistema de gestão ambiental (SGA) implementado, sendo que somente 1 empresa possui sistema de gestão ambiental implementado, enquanto outras 4 empresas estão em processo de implementação.

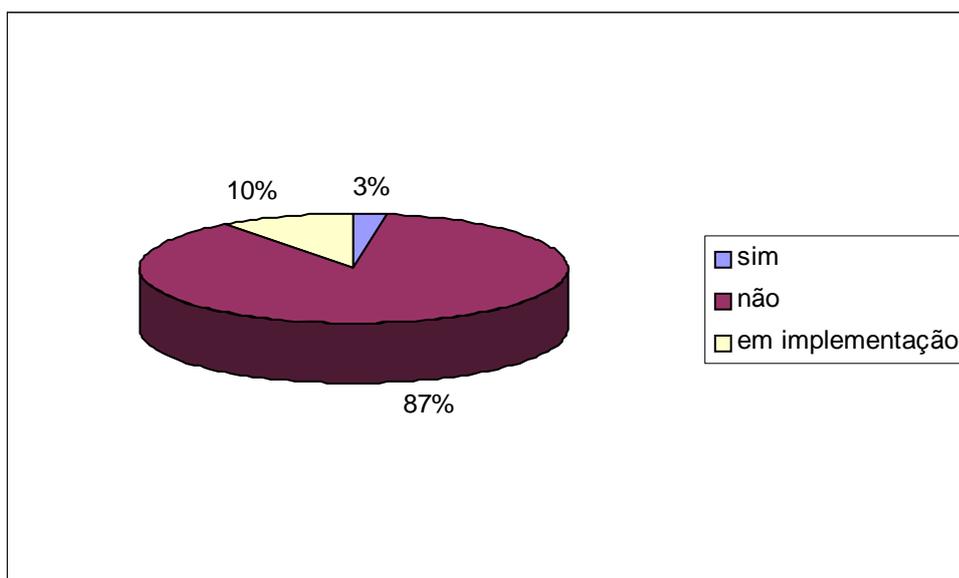


Figura 23: Distribuição das empresas de acordo com a existência de sistema de gestão ambiental (SGA).

Gestão ambiental é a forma pela qual uma empresa se mobiliza, interna e externamente, na conquista da qualidade ambiental desejada. Para atingir a meta, ao menor custo, de forma permanente, o Sistema de Gestão Ambiental é a estratégia indicada⁴⁷.

O sistema de gestão ambiental aparece como uma ferramenta condutora no gerenciamento para evitar degradação ambiental em nível de fábrica, e sua rápida adoção mundo afora é evidenciada através do aumento exponencial no número de certificações concedidas. As razões para a adoção da certificação variam desde a simples concordância com a mesma e pressões de consumidores até a potencial economia nos custos e um ambiente mais saudável⁴⁸.

A implementação de um sistema de gestão ambiental (SGA) em uma empresa tende a trazer diversas vantagens tais como: diminuição da poluição, credibilidade da empresa, redução de riscos ao meio ambiente, aumento da margem de lucro, melhorias no sistema de gerenciamento interno e facilidades no comércio internacional⁴⁹.

O sistema de gestão ambiental de acordo com Khanna e Anton, 2002 *apud* Tochetto⁵⁰, representa uma mudança organizacional voluntária dentro da empresa, motivada pela internalização ambiental e externalização de práticas ambientais que integram o ambiente e a produção, as quais identificam oportunidades para reduzir a poluição e capacitam a empresa a estabelecer melhoria contínua do sistema de produção e da sua performance ambiental.

Segundo Moreira *apud* Tochetto⁵⁰, os principais motivos para uma empresa implantar um sistema de gestão ambiental são:

- barreiras à exportação;
- pressão por parte de cliente significativo;
- pressão por parte da matriz;
- pressão da concorrência;
- percepção dos riscos.

A tendência atual é de que as empresas façam do seu desempenho ambiental um fator diferencial no mercado, o que significa adotar requisitos internos até em alguns casos mais restritivos que os legalmente impostos no País.

O fato da maioria das empresas pesquisadas não possuírem sistema de gestão ambiental implementado já mostra a dificuldade dessas empresas em gerenciar de forma correta os resíduos, bem como, em evitar que estes sejam gerados.

De acordo ainda com os resultados, nenhuma das empresas pesquisadas possui certificação ambiental, sendo que apenas 15%, ou seja, 6 empresas se encontram em fase de implementação de certificação ambiental.

A preocupação das empresas com o mercado, onde está inserida a questão da qualidade, é muito diversa da questão ambiental, o que se observa dos resultados obtidos, já que 44% das empresas possuem certificado de qualidade, enquanto nenhuma delas possui certificação ambiental.

A incorporação da variável ambiental é o novo passo no ajuste competitivo das empresas face às imposições da globalização econômica. A série *ISO 14.000* apresenta notáveis semelhanças com a já consagrada mundialmente *ISO série 9.000*, francamente disseminada nos países industrializados.

Ambas as séries de normas fornecem ferramentas e estabelecem um padrão de sistema de gestão que visa à melhoria do processo produtivo em empresas de qualquer porte e ramo de atividade e à demonstração, ao mercado, de sua qualificação, mediante certificação.

Face às semelhanças na implementação das duas normas, é possível aproveitar os conhecimentos da *ISO série 9.000* e aplicá-los na *ISO série 14.000*. Assim, para obter a qualidade do processo produtivo e do meio ambiente não é necessário revolucionar os processos e procedimentos da empresa. Os resultados advêm, na verdade de um processo evolutivo contínuo, que passa pela avaliação, implementação, controle e revisão.

Para que haja sucesso na implementação da *ISO* série 14.000 é necessário, como na gestão da qualidade, que haja o consenso em todos os níveis hierárquicos da empresa, sem que isto represente apenas uma imposição gerencial.

Para uma organização que possui o SGQ (Sistema de Gestão da Qualidade) implementado (e não necessariamente certificado), a implementação do SGA torna-se mais fácil, pois cerca de 50 a 70% da estruturação necessária ao SGA já estão preparados no SGQ.

Basta a empresa adaptar o SGQ para absorver os requisitos necessários ao SGA, agregando ao manual da qualidade existente aqueles requisitos específicos do SGA, bem como elaborando procedimentos e instruções de trabalho específicos para o SGA. Esta documentação fornecerá subsídios para a geração de registros⁵¹.

Desta forma, podemos inferir que considerando o universo de 44% das indústrias de fundição ferrosas certificadas pela qualidade, e considerando ainda que 8% das empresas já estão em processo de certificação, é possível que a curto prazo este percentual de 44% das empresas consiga implementar o SGA e conseqüentemente obter a certificação ambiental através da *ISO* 14.001.

Por fim foi avaliado o licenciamento ambiental das empresas pesquisadas. Este item não constou das questões do formulário, já que estava disponível no Banco de Dados da FEPAM. Das empresas pesquisadas, 87% possuem licença ambiental ou estão em processo de licenciamento. Quando se diz que as empresas estão em processo de licenciamento, significa que já foram iniciados os procedimentos administrativos para o licenciamento, estando no aguardo da avaliação dos técnicos da FEPAM para a concessão da licença. Somente 13% das indústrias de fundição ferrosa pesquisadas não possuem licenciamento ambiental.

Considerando-se o fato do elevado percentual de empresas já licenciadas e em processo de licenciamento, e considerando-se que o licenciamento ambiental é um dos instrumentos para a destinação ambientalmente adequada dos resíduos gerados pelas empresas, poderíamos esperar que os resíduos gerados nesta atividade estivessem sendo destinados de forma ambientalmente correta, o que, conforme dados apresentados na figura 19, ainda apresentam um percentual significativo de destinação inadequada. Além disso, o licenciamento no estado do Rio Grande do Sul, da forma como vem sendo feito, não estimula as empresas a procurarem reúsos externos dos resíduos gerados, no caso as areias de fundição, nem a minimizar as quantidades geradas para descarte, com ênfase a implantar em seus processos sistemas de recuperação de areias visando sua reutilização no

próprio processo, diminuindo assim a quantidade para o descarte, e o consumo de matéria-prima virgem.

6. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Avaliando-se os resultados obtidos, verificou-se com este trabalho que não há uma conscientização ambiental efetiva por parte das empresas pesquisadas. O que vem sendo implantado por parte das empresas é sempre visando o atendimento à legislação ambiental e às exigências do órgão ambiental estadual.

É sabido que os temas ambientais devem estar integrados aos processos produtivos, e que a certificação ambiental através da norma *ISO 14.001* pode ser considerada uma boa ferramenta para melhoria contínua do meio ambiente. No estado do Rio Grande do Sul, conforme verificado na pesquisa realizada, nenhuma das empresas possui certificação ambiental, sendo que elas vêm atuando de forma a atender minimamente ao estabelecido por lei.

Algumas técnicas *BAT* vêm sendo implantadas pelas empresas, visando principalmente à minimização de custos e otimização de processos. A utilização dessas técnicas diminui o volume das areias descartadas, bem como diminui o consumo de areias virgens, fazendo com que as empresas consigam reduzir seus custos de forma significativa.

Por outro lado, foi verificado que não existe por parte das empresas, com uma única exceção, uma disposição para busca de alternativas para reuso externo das areias de fundição geradas. A maioria das empresas quer ver o seu problema de destinação de resíduos solucionado ainda que a um custo elevado. As práticas das tecnologias mais limpas, neste setor, ainda encontram dificuldades para implantação.

Algumas das fundições pesquisadas estão adquirindo novos equipamentos, principalmente máquinas modernas de moldagem e de fabricação de machos, automatizadas e semi automatizadas. Claro que estas alterações visam maior produtividade, mas, atreladas a elas, as melhorias ambientais são alcançadas, já que há redução nas quantidades de areias descartadas, de energia consumida, e na emissão de gases e material particulado.

A alta gerência da empresa tem que estar ativamente envolvida para a mesma ser bem sucedida no alcance de um bom ambiente, sendo este o fator importante para o sucesso. Temas ambientais tem de estar integrados no processo de produção, e a *ISO 14.001* é uma boa ferramenta para a melhoria contínua do meio⁴⁹.

De todas estas constatações, podemos verificar que ainda há um longo caminho a percorrer no sentido das empresas internalizarem as questões ambientais, não somente visando o atendimento à legislação ambiental existente e às exigências do órgão ambiental, mas pensando na redução do consumo das matérias-primas, na redução do consumo de energia, e nos usos viáveis técnica e economicamente das areias usadas.

As empresas ainda não adotaram a gestão ambiental como uma das prioridades corporativas e fator determinante para o desenvolvimento sustentável, já que, de acordo com o trabalho realizado, 86% das empresas não possuem sistema de gestão ambiental, não existindo para elas políticas, programas ou práticas para conduzir as operações de forma ambientalmente consistente.

É importante salientar ainda que, segundo dados do INMETRO⁵², aproximadamente 15 empresas de fundição ferrosa em todo o Brasil possuem Sistema de Gestão Ambiental (SGA) com certificação *ISO 14001*. Este número é muito pequeno, algo em torno de 1,5% das empresas, o que nos mostra que este setor, apesar de ser um dos elos da cadeia do setor automotivo, que vem cada vez mais exigindo a certificação de seus fornecedores, apresenta muitas dificuldades para implantação de um sistema de gestão ambiental.

No movimento representado pela Eco/92, realizado no Rio de Janeiro, o qual gerou o documento chamado Agenda 21 (1992), é destacada a mudança dos padrões não sustentáveis de produção e consumo, fazendo com que o manejo dos resíduos sólidos seja integrado com a proteção ambiental. Na época, oficializou-se uma postura política para a minimização dos resíduos sólidos, desde a prevenção (redução na fonte), até a reutilização e a reciclagem. Os objetivos do gerenciamento dos resíduos sólidos, segundo a Agenda 21 (1992), deveriam se concentrar em quatro principais áreas: redução ao mínimo da geração de resíduos, maximização da reutilização e reciclagem dos resíduos, promoção do depósito e tratamento ambientalmente correto dos resíduos, e ampliação dos serviços que se ocupam dos resíduos⁵³.

Portanto, 15 anos após a publicação da Agenda 21, as empresas de fundição ferrosa no estado do Rio Grande do Sul ainda estão dando os primeiros passos visando atender aos objetivos do gerenciamento dos resíduos.

A implementação de sistemas de gestão de resíduos eficientes, que possibilitem a segregação e coleta, bem como o melhor fluxo dos mesmos, com a possibilidade da sua valorização ou reutilização após tratamento, a manutenção

dos equipamentos em perfeitas condições operacionais, a renovação dos equipamentos que conduzam não somente à evolução tecnológica, mas também que permita gerir mais eficazmente o consumo de matérias-primas, reduzindo os desperdícios, e a realização periódica de treinamento de funcionários relativamente ao processo industrial e ao correto manuseio e manutenção dos equipamentos, são ações resultantes da implementação de boas práticas nas empresas, que independem da implantação de medidas e tecnologias¹³.

O reúso das areias de fundição poderá ser incentivado pelo órgão ambiental através de ações conjuntas entre as empresas, FEPAM e consumidores finais, podendo, juntamente com a obrigatoriedade de implantação de sistemas de regeneração de areias em todas as fundições no estado, ser objeto de resolução específica do CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente.

7. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos através deste trabalho foi possível chegar às seguintes conclusões:

- 81% das indústrias de fundição ferrosa localizadas no Rio Grande do Sul destinam as areias geradas a locais licenciados pelo órgão ambiental estadual;
- os reúsos aprovados no Rio Grande do Sul para as areias de fundição, são na fabricação de tijolos, como cobertura de valas encerradas em centrais de resíduos industriais e na pavimentação asfáltica, reúsos estes consagrados na Comunidade Européia e nos Estados Unidos;
- somente uma indústria de fundição ferrosa está buscando individualmente, alternativas para reúso das areias geradas;
- não existe um gerenciamento efetivo por parte das indústrias de fundição ferrosas, dos processos envolvendo areias quanto aos aspectos ambientais, tanto internos quanto externos;
- algumas das melhores tecnologias disponíveis (técnicas *BAT*) são utilizadas pelas indústrias pesquisadas, muitas vezes sem o conhecimento do efetivo benefício destas técnicas ao processo industrial e ao meio ambiente;
- nenhuma das empresas pesquisadas é certificada ambientalmente;
- as empresas pesquisadas não possuem, de modo geral, uma percepção clara dos impactos ambientais provocados pelos processos que utilizam areias;
- as indústrias que utilizam resinas e outros produtos químicos nos processos de fabricação de moldes e machos, que correspondem a 82% do universo pesquisado, não evidenciam a percepção quanto aos impactos produzidos em seu processo industrial;
- a única empresa que possui sistema de gestão ambiental implementado é de grande porte tanto pelos critérios da FEPAM, como pelos critérios estabelecidos pela Secretaria da Fazenda;

- no único caso de empresa com sistema de gestão ambiental implementado, este foi feito por iniciativa da gerência, o que vem ao encontro de que se a alta gerência não estiver comprometida com a questão ambiental, fica muito difícil o equacionamento das questões ambientais;
- das quatro empresas que estão em fase de implementação do sistema de gestão ambiental, duas são de grande porte por ambos os critérios estabelecidos (renda e área útil), e duas são de pequeno porte pelos dois critérios estabelecidos, FEPAM e Secretaria da Fazenda;
- o reúso das areias geradas deverá ser incentivado pelo órgão ambiental, em conjunto com as empresas geradoras e os prováveis consumidores das mesmas;
- a legislação e o licenciamento ambientais são hoje as únicas ferramentas capazes de promover entre as empresas, a implantação de estratégias de gestão ambiental;

8. SUGESTÕES DE FUTUROS TRABALHOS

Como sugestão para novos trabalhos pode-se citar:

- a aplicação dos métodos deste trabalho para todas as fundições do estado que utilizam areias em seus processos, onde sejam fundidos outros metais que não o ferro;
- a aplicação dos métodos deste trabalho às demais fundições que utilizem processos sem o consumo de areias, a fim de se estabelecer quadros comparativos entre processos, metais fundidos e condições ambientais;
- apresentação de proposta junto ao CONSEMA e/ou à FEPAM, para elaboração de Resolução ou Portaria contemplando a obrigatoriedade de implantação de sistemas de regeneração de areias em todas as fundições ferrosas do estado, bem como estimulando o reúso externo das mesmas em caso de descarte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ABM – Associação Brasileira de Metais-Curso de Fundição-Eng^o Miguel Siegel (4^a Edição, 1972)
- 2 40th Census of World Casting Production – 2005. Modern Casting, v 96, nº 12, Dezembro 2006, p 28-31
- 3 Associação Brasileira de Fundição, Índices de Mercado, Distribuição regional de Mercados – www.abifa.org.br, acesso em agosto de 2007
- 4 Ferreira, G.C; Daitx,E.C. Mercado produtor de areia industrial nos estados de São Paulo, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul. São Paulo, UNESP, Geociências, v.22, N. Especial, p.41-47, 2003
- 5 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004. Classificação de Resíduos, 2004
- 6 Peixoto, F; Guesser, W.L. Reutilização de areia regenerada termicamente. Trabalho apresentado no CONAF – ABIFA, São Paulo, 24 a 26 de setembro de 2003
- 7 Andrade, R.M. et al. Foundry sand recycling in the troughs of blast furnaces: a technical note. Journal of Materials Processing Technology 159 (2005) 125-134
- 8 Alvarinho, S. Projeto Inovação Tecnologia em pequenas Empresas, 2002 <http://watson.fapesp.br/PIPEM/PIPE13/engmat1.htm> , acesso em maio 2006
- 9 Decreto Estadual 38.356, de 01.01.1998. www.fepam.rs.gov.br/legislacao, acesso em 10.04.2007
- 10 Lopes, E.J.; Ferreira, F.F.; e Dezena, M.L. Sistema de recuperação de areias alcalinas de fundição. Revista Fundição & matérias Primas, janeiro/fevereiro 2004, Caderno Técnico 48-59
- 11 <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>, Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry, acesso em maio 2005
- 12 Gião, D; Costa,O. Tecnologia de fundição em areia verde, 2001, FEUP, Portugal, www.fe.up.pt/fundicao/, acesso em abril de 2006
- 13 Figueiredo, J.M. Guia Técnico Sectorial Sector da Metalurgia e Metalomecânica. INETI – Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisboa. 2000, elaborado no âmbito do Plano Nacional de Prevenção dos Resíduos Industriais, http://preresi.rueti.pt/documentacao/guias/g_tec/METALURGIA_E_METALOMECANICA.pdf

-
- 14 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12.799, Ferramental de Fundição, Terminologia, 1993
- 15 Diehl, M.D. Areias de Fundição, LAFUND/Publ N° 10/87, UFRGS
- 16 Hörlle, L. Utilização de resíduos de fundição como matérias-primas para obtenção de produtos de cerâmica vermelha, 2005, Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia, UFRGS
- 17 Biolo, S. Reuso do Resíduo de Fundição Areia Verde na produção de Blocos Cerâmicos, 2005, Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia, UFRGS
- 18 www.poliuretanos.com.br/cap7/ligantes , acesso em junho 2005
- 19 S. Ramachandra, S. Resource recovery and recycling from metallurgical wastes Department of Mining, Metals and Materials Engineering – McGill University, Montreal, Wastw Management Series – 7. Quebec, Canada. First Edition, 2006
- 20 Zanetti, M.C: Fiore,S. Foundry process: the recovery of green moulding sands for core operations. Resources Conservation and Recycling 38 (2002) 243-254
- 21 Reddi, L.N. et al. Stabilization of phenolics in foundry waste using cementation materials Journal of Hazardous Materials 45 (1996) 86-106 Elsevier
- 22 <http://europa.eu/scadplus/leg/em/lvb/128045.htm>, acesso em janeiro de 2007
- 23 <http://www.grc.cf.ac.uk/lrn/resources/planning/ppc/bat.php>, acesso em janeiro de 2007
- 24 Fatta, D. et all. Industrial pollution and control measures for a foundry in Cyprus. Journal of Cleaner Production 12 (2004) 29-36. Elsevier
- 25 MARIOTTO, C. L. . Regeneração de areias: como seleccionar um processo? Fundição e Serviços, v. 12, n. 100, 2001.
- 26 Mahanti, R., Bhattacharjee, V., Mukcherjee. Sustainable Foundry Industrial Culture – An Environmental Perspective. Revista Foundry, vol XV, nº6, Índia, nov/dez 2003. www.abifa.com.br/cadernos_tecnicos.php , acesso em novembro 2006
- 27 Mroueh, UM; Wahlström, M. By-products and recycled materials in earth construction in Finland – an assessment of applicability. Resources Conservation and Recycling 35 (2002) 117-129
- 28 Autorização N°165/2005-DL expedida pela FEPAM em 12 de abril de 2005 para incorporação de areia de fundição em tijolos cerâmicos, através do processo administrativo nº 15549-0567/04-9
- 29 Biolo, S. M.; Bergmann, C. P.; Schneider, I. A. H. Aspectos tecnológicos e ambientais da utilização do resíduo de fundição - areia de moldagem - na massa cerâmica. Fundição, Portugal, v. 233, p. 233-19, 2004.

-
- 30 Autorização N°157/2003-DL, expedida pela FEPAM em 15 de julho de 2003, para a incorporação de areia de fundição em pavimento asfáltico, através do processo administrativo nº 3652-0567/03.0, e Licença de Operação N° 5.453/2006-DL, emitida pela FEPAM em 05 de julho de 2006, através do processo administrativo 11799-0567/04-5
- 31 Lee, T; Benson, C.H; Eykholt, G. R. Waste green sands as reactive media for groundwater contaminated with trichloethylene (TCE). *Journal of Hazardous Materials* B109 (2004) 25-36. Elsevier
- 32 Freitas, H; Oliveira, M; Saccol, A.Z e Moscarola, J. O método de pesquisa survey. São Paulo/SP. *Revista de Administração da USP, RAUSP*, v.35, nr.3, Jul-Set 2000, p.105-112
- 33 Macedo, P; Zacarias, M.S. e Tribolet, J. Técnicas e métodos de investigação em engenharia organizacional. Projecto de investigação em modelação de processos de produção. 6ª Conferência da Associação Portuguesa de Sistemas de Informação, outubro 2005, Portugal
- 34 Ottoboni, C; Pamplona, E. Proposta de pesquisa para avaliar a necessidade de se medir o desempenho financeiro das micro e pequenas empresas. XXI ENEGEP, outubro de 2001. Salvador, Ba
- 35 Resolução Mercosul/GM/RES N° 59/98, <http://www.sice.oas.or/Trade/MRCRSR/Resolutions/res5998p.asp>, acesso em dezembro de 2006
- 36 www.sefaz.rs.gov.br, acesso em dezembro de 2006
- 37 FEPAM, www.fepam.rs.gov.br, acesso em novembro de 2006
- 38 Atlas Sócio Econômico do Rio Grande do Sul. www.scp.rs.gov.br/atlas, acesso em dezembro de 2006
- 39 Anuário Estatístico, Setor Metalúrgico, 2006, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia, www.mme.gov.br, acesso em dezembro de 2006
- 40 Diagnóstico das Indústrias da Fundição no Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, fevereiro de 2003, www.sifumg.com.br/diagnóstico.asp, acesso em outubro de 2006
- 41 FIRST Foundry Industry Recycling Starts Today. What is Recycled Foundry Sand (RFS) <http://foundryrecycling.org>, acesso em outubro de 2006
- 42 Siegel, M. Curso de Fundição, Associação Brasileira de Metais, São Paulo, 1972, 4ª Edição
- 43 Gouvêa, C.A.K. et al. Degradação térmica por pirólise de areia quimicamente ligada. www.sociesc.org.br/revistaist_novembro_06.pdf, acesso em março de 2007

-
- 44 Resolução CONAMA 382/2006.
www.mma.gov.br/por/conama/res06/res38206.pdf, acesso em janeiro 2007
- 45 LaFay, V; Neltner, S. Understanding emissions in green sand molding.
www.afsinc.org/pdfs/Emissions.pdf, acesso em novembro de 2006
- 46 Beneficial reuse of foundry sand: a review of state practices and regulations. Sector Strategies Division. Office of Policy, Economics, and Innovation. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. In partnership with American Foundry Society. Association of State and Territorial Solid Waste Management Officials. December 2002
- 47 Revista Gestão Ambiental – Compromisso da Empresa, Fascículo 3, de 03 de abril de 1996. SEBRAE
- 48 MacDonald, Jamie P. Strategic sustainable development using the ISO 14001 Standard, Journal of Cleaner Production 13 (2005) 631-643 Elsevier
- 49 Holmgren, M. Produção sustentável de fundidos nas fundições da Suécia.
www.abifa.com.br/cadernos_tecnicos.php , acesso em novembro 2006
- 50 Tochetto, M. Implantação de gestão ambiental em grandes empresas com atividade galvânica no Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- 51 Revista Gestão Ambiental – Compromisso da Empresa, Fascículo 6, de 24 de abril de 1996. SEBRAE
- 52 INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. empresas certificadas ISO 14001. www.inmetro.gov.br/gestao14001, acesso em maio de 2007
- 53 Bonet, I.I. Valorização do resíduo areia de fundição (raf). Incorporação nas massas asfálticas do tipo CBUQ. Tese de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, agosto de 2002

ANEXO

FORMULÁRIO FUNDIÇÕES

DADOS GERAIS DA EMPRESA

1- Dados da empresa:

RAZÃO SOCIAL:			
Nome Fantasia:		Data de Fundação:	
Rua/Avenida:		n° :	Complemento:
Bairro:	CEP:	Município:	
Área utilizada para o desenvolvimento da atividade industrial (m²):			
Telefone:		FAX:	E-mail:
CNPJ:	Inscr. Estadual:	Home Page:	

2-Contatos:

Proprietário:		
Responsável pelas Informações:		
Nome:		Cargo:
Telefone:	Fax:	E-mail:

3-Na sua empresa a atividade principal é a Fundição?

<input type="checkbox"/>	sim
<input type="checkbox"/>	não

4-Tempo de funcionamento do setor de fundição? _____

5-Nº de funcionários:

<input type="checkbox"/>	até 50
<input type="checkbox"/>	de 51 a 100
<input type="checkbox"/>	de 101 a 300
<input type="checkbox"/>	de 301 a 500
<input type="checkbox"/>	acima de 500

6-Faturamento da empresa em 2005 (em reais):

<input type="checkbox"/>	até 240.000
<input type="checkbox"/>	de 241.000 a 1.200.000
<input type="checkbox"/>	de 1.201.000 a 1.800.000
<input type="checkbox"/>	de 1.801.000 a 2.400.000
<input type="checkbox"/>	acima de 2.400.000

7-Capacidade instalada da fundição (tonelada/mês):

8-Tonelagem produzida em 2005:

		toneladas
	Peças em ferro	
	Peças em aço	
	Peças em não ferrosos	alumínio
		cobre
		zinco
		chumbo
		magnésio
	outras ligas (especificar)	
	Total de peças	

9-Distribuição percentual da produção por peso médio de peças:

Peso médio de peças fundidas	% do montante produzido em toneladas					
	até 10	10-30	30-50	50-70	70-90	acima de 90
até 10 kg						
10-100 kg						
100-300 kg						
300-1000kg						
acima de 1000kg						

10-Segmentos para os quais são fornecidas as peças produzidas:

	até 10%	10-30%	30-50%	50-70%	70-90%	acima de 90%
automobilístico						
siderúrgico						
utilidades domésticas						
máquinas agrícolas e mecânicas						
saneamento e construção civil						
cimento e mineração						
outros (especificar)						

DADOS GERAIS DA MOLDAGEM/MACHARIA

11-Insumos utilizados ns moldagem/macharia (especificar quantidades mensais):

	toneladas
<input type="checkbox"/> areia	
<input type="checkbox"/> areia Shell	
<input type="checkbox"/> bentonita	
<input type="checkbox"/> argila	
<input type="checkbox"/> pó Cardiff	
<input type="checkbox"/> resinas fenólicas	
<input type="checkbox"/> resinas alquídicas	
<input type="checkbox"/> resinas uretânicas	
<input type="checkbox"/> amido	
<input type="checkbox"/> água para moldagem	
<input type="checkbox"/> outros (especificar)	

12-Processos de moldagem/macharia utilizados na fundição:

<input type="checkbox"/> cura quente
<input type="checkbox"/> cura fria
<input type="checkbox"/> CO ₂
<input type="checkbox"/> shell
<input type="checkbox"/> óleo
<input type="checkbox"/> areia verde
<input type="checkbox"/> areia seca
<input type="checkbox"/> areia cura frio
<input type="checkbox"/> coquilha
<input type="checkbox"/> sob pressão
<input type="checkbox"/> precisão
<input type="checkbox"/> moldes cerâmicos
<input type="checkbox"/> moldes evaporáveis
<input type="checkbox"/> baixa pressão
<input type="checkbox"/> centrifugação

FONTES GERADORAS DE EFEITOS AMBIENTAIS

13- Fontes geradoras de efeitos ambientais negativos que você considera que estão associadas aos **processos de moldagem/macharia/vazamento/desmoldagem** utilizados na fundição:

Fontes geradoras de efeitos ambientais negativos		Significado nos processos utilizados na fundição			
		muito importante	importante	pouco importante	não importante
efluentes líquidos					
emissões de particulados para a atmosfera					
emissões de gases contendo	NO _x				
	SO ₂				
	dioxinas e furanos				
	carbono orgânico volátil				
	amônia				
	fenóis				
	compostos aromáticos				
geração de odor					
resíduos sólidos					
consumo de areia					
consumo de água					
consumo de energia					

14-Cuidados observados na **estocagem** de produtos químicos e insumos:

<input type="checkbox"/>	área coberta
<input type="checkbox"/>	área ventilada
<input type="checkbox"/>	sistema de coleta de vazamentos
<input type="checkbox"/>	piso impermeabilizado
<input type="checkbox"/>	sistema de proteção contra incêndios
<input type="checkbox"/>	controle de entrada e saída de produtos químicos
<input type="checkbox"/>	outros (especificar): _____
<input type="checkbox"/>	nenhum cuidado especial (não são necessários nesta etapa de processo)
<input type="checkbox"/>	nenhum cuidado especial (serão implantados no futuro)
<input type="checkbox"/>	não há estocagem

EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

15- Sistemas de controle de emissões atmosféricas usados **na preparação da areia, nas etapas de moldagem/macharia, no vazamento e na desmoldagem:**

<input type="checkbox"/>	filtro de mangas
<input type="checkbox"/>	ciclones
<input type="checkbox"/>	precipitador eletrostático
<input type="checkbox"/>	lavador de gases
<input type="checkbox"/>	lavador Venturi
<input type="checkbox"/>	processos de adsorção em carvão ativado
<input type="checkbox"/>	processos de pós-queima
<input type="checkbox"/>	biofiltros
<input type="checkbox"/>	outros (especificar): _____
<input type="checkbox"/>	nenhum (a preparação da areia não é feita na empresa)
<input type="checkbox"/>	nenhum (não é necessário um sistema nestas etapas de processo)
<input type="checkbox"/>	nenhum (será implantado no futuro)

16- Existência de pressão por parte da gerência da empresa ou dos funcionários para implantação de processos de controle de emissões atmosféricas, nas etapas acima mencionadas:

<input type="checkbox"/>	sim
<input type="checkbox"/>	não

17- Existência de pressão por parte dos clientes para implantação de processos de controle de emissões atmosféricas, nas etapas mencionadas no item 15:

<input type="checkbox"/>	sim
<input type="checkbox"/>	não

CONTROLE DE QUALIDADE DA AREIA

18- Existência de sistemas de controle de qualidade das areias, após a preparação:

<input type="checkbox"/>	sim
<input type="checkbox"/>	não
<input type="checkbox"/>	em implantação

19-Data da implantação do sistema caso a resposta acima tenha sido afirmativa:

20- Tipos de sistemas de controle de qualidade da areia, implantados ou em implantação:

avaliação da pureza da areia	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
determinação da granulometria	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
determinação da área superficial	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
determinação do grau de umidade	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
determinação da composição química	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
outros (especificar): _____	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação

21- A sua empresa possui um laboratório de análises para controle de qualidade do processo?

<input type="checkbox"/>	sim
<input type="checkbox"/>	não

MINIMIZAÇÃO DE CONSUMO DE RESINAS

22- Existência de sistemas de minimização de consumo de resinas em areias:

<input type="checkbox"/>	sim
<input type="checkbox"/>	não
<input type="checkbox"/>	em implantação

23-Data da implantação do sistema caso a resposta acima tenha sido afirmativa:

24- Tipos de sistemas de minimização de consumo de resinas, implantados ou em implantação:

controle de qualidade da areia	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
controle da temperatura da areia	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
manutenção e limpeza do misturador	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
controle da adição de aglomerantes em função do tipo de molde	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
outros (especificar):	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação

RECUPERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE AREIAS

25-Tipos e quantidades de areias geradas no processo:

	toneladas/mês
<input type="checkbox"/> areia verde	
<input type="checkbox"/> areia com resina fenólica	
<input type="checkbox"/> areia com outro tipo de resina (especificar)	

26- Existência de sistema de recuperação de areia:

areia verde	areia com resinas fenólicas	outras (especificar)
sim	sim	sim
não	não	não
em implantação	em implantação	em implantação

27-Data da implantação do sistema caso a resposta acima tenha sido afirmativa:

28- Em caso da **não** existência de processos de recuperação de areia, indique a causa:

<input type="checkbox"/>	não conheço sistemas eficientes de recuperação de areia
<input type="checkbox"/>	areias recuperadas diminuem a qualidade do produto final
<input type="checkbox"/>	a implantação de sistemas de recuperação tem um custo muito elevado
<input type="checkbox"/>	apenas pequenas porcentagens de areia podem ser recuperadas, o que inviabiliza o investimento
<input type="checkbox"/>	outras causas (especificar): _____

29- Em caso de existência de processo de recuperação, indique os tipos de processos de recuperação de AREIA e reuso no processo - implantados ou em implantação:

separação de finos e aglomerados por peneiras vibratórias	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
separação de finos e aglomerados em tambores rotativos	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
separação magnética de materiais ferrosos	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
separação eletrostática de materiais metálicos	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
resfriamento da areia para evitar perdas por evaporação	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
regeneração mecânica por fricção ou impacto	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
regeneração térmica em fornos rotativos ou leitos fluidizados	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
regeneração por peneiramento úmido e posterior secagem	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
moagem e reutilização interna de machos não curados	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação
outros processos de recuperação (especificar): _____	<input type="checkbox"/>	implantado	<input type="checkbox"/>	não implantado	<input type="checkbox"/>	em implantação

30-Eficiência do sistema de recuperação de areia em quantidades recuperadas:

<input type="checkbox"/>	até 30%
<input type="checkbox"/>	de 30-50%
<input type="checkbox"/>	de 50-70%
<input type="checkbox"/>	de 70-90%
<input type="checkbox"/>	acima de 90%

31- Existência de pressão por parte dos clientes para implantação de processos de recuperação de areias:

<input type="checkbox"/>	sim
<input type="checkbox"/>	não

32- Existência de pressão por parte da gerência da empresa ou dos funcionários para implantação de processos de recuperação de areias:

<input type="checkbox"/>	sim
<input type="checkbox"/>	não

33- Existência de reúso externo das areias:

areia verde	sim		não	
areia fenólica	sim		não	
outras areias (especificar)	sim		não	

34- Encaminhamento de areia para reúso externo, em diferentes usos:

<input type="checkbox"/>	em materiais de construção civil
<input type="checkbox"/>	em construção de estradas
<input type="checkbox"/>	na fabricação de materiais cerâmicos
<input type="checkbox"/>	outros usos (especificar): _____
<input type="checkbox"/>	não são encaminhadas areias para reuso externo

35- Quantidade de areia encaminhada para reúso externo:

<input type="checkbox"/>	0%
<input type="checkbox"/>	até 30%
<input type="checkbox"/>	de 30-50%
<input type="checkbox"/>	de 50-70%
<input type="checkbox"/>	de 70-90%
<input type="checkbox"/>	acima de 90%

36-Destinação final das areias geradas e descartadas na atividade de fundição:

<input type="checkbox"/>	aterro industrial próprio
<input type="checkbox"/>	central de resíduos industriais
<input type="checkbox"/>	outros (especificar)

37-Quantidade de areia encaminhada para descarte:

<input type="checkbox"/>	0%
<input type="checkbox"/>	até 30%
<input type="checkbox"/>	de 30-50%
<input type="checkbox"/>	de 50-70%
<input type="checkbox"/>	de 70-90%
<input type="checkbox"/>	acima de 90%

38-Quantidades mensais de areias descartadas (toneladas):

	toneladas
areia verde:	
areia fenólica:	
outras (especificar):	

SISTEMAS DE GESTÃO DA QUALIDADE E GESTÃO AMBIENTAL

39-Existência de sistema de qualidade implementado pela empresa:

<input type="checkbox"/>	sim
<input type="checkbox"/>	não
<input type="checkbox"/>	em implementação

40-Data da implementação do sistema de qualidade, caso a resposta acima tenha sido afirmativa: _____

41- Existência de certificação de qualidade:

<input type="checkbox"/>	sim. Qual? _____
<input type="checkbox"/>	não
<input type="checkbox"/>	em implementação. Qual? _____

42-Data da certificação de qualidade, caso a resposta acima tenha sido afirmativa:

43- Existência de sistema de gestão ambiental (SGA) implementado pela empresa:

<input type="checkbox"/>	sim
<input type="checkbox"/>	não
<input type="checkbox"/>	em implementação

44-Data da implementação do SGA, caso a resposta acima tenha sido afirmativa:

45- A implementação de um SGA foi realizada por:

<input type="checkbox"/>	solicitação dos clientes
<input type="checkbox"/>	iniciativa da gerência
<input type="checkbox"/>	iniciativa dos técnicos
<input type="checkbox"/>	outras razões: _____
<input type="checkbox"/>	a empresa não possui um SGA

46- Existência de certificação ambiental:

<input type="checkbox"/>	sim
<input type="checkbox"/>	não
<input type="checkbox"/>	em implementação

47-Data da certificação, caso a resposta acima tenha sido afirmativa:

48- A certificação ambiental foi realizada por

<input type="checkbox"/>	solicitação dos clientes
<input type="checkbox"/>	iniciativa da gerência
<input type="checkbox"/>	iniciativa dos técnicos
<input type="checkbox"/>	outras razões: _____
<input type="checkbox"/>	a empresa não possui certificação ambiental