

INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE AREIA DE CURA A FRIO RECUPERADA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA AREIA E ACABAMENTO DO FUNDIDO*

*Fabiana Faria Carvalho Pereira¹
Jessica Ohana Cançado Braga de Souza¹
Tamilis Rodrigues Braga¹*

Resumo

Embora a indústria de fundição recicle toda espécie de sucata metálica, usada como matéria-prima no processo, é uma grande geradora de resíduos sólidos, devido, principalmente, à elevada quantidade de areia empregada no processo. As fundições precisam adotar alternativas que minimizem o descarte das areias. A reciclagem interna, por meio da recuperação mecânica, se estabelece como uma opção com benefícios econômicos e ambientais. Neste trabalho foi avaliada a influência da utilização da areia de cura a frio recuperada nas propriedades mecânicas do molde e no acabamento do fundido. Verificou-se que é possível a utilização de até 50% de areia recuperada no processo de moldagem, mantendo propriedades adequadas de desempenho.

Palavras chaves: Areia; Fundição; Recuperação mecânica; Resíduos.

THE INFLUENCE OF RECYCLE NO BAKE ON ITS MECHANICAL PROPERTIES AND AT THE FINISHING CAST

Abstract

Although the foundry industry recycles all types of metal scrap used as raw material in the process, it is a great generator of solid waste, mainly due to the high amount of sand used in the process. Due to strict environment laws and the high cost of manufacture new sand molds, most of the casting industries opted for internal sand recycling process. In this present work the influence of recovered no bake sand on the mechanical properties of the mold and on the melt finish was evaluated. It is possible to use up to 50% of recovered sand in the molding process while maintaining adequate performance properties

Keywords: Cast sand; cast process, recycling process; solid waste.

¹ Pontifícia Universidade Católica De Minas Gerais, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O processo de fundição é amplamente utilizado para a produção de peças, devido à grande variedade de formas e tamanhos. Este consiste no vazamento de um metal fundido em um molde com formato e medidas equivalentes aos da peça a ser fabricada. Este processo não é restrito apenas às ligas de aço, mas a vários tipos de ligas metálicas, desde que elas apresentem propriedades adequadas a esse processo (MORO; AURAS, 2007). A fundição possibilita a obtenção, de forma econômica, de peças acabadas ou semiacabadas, com poucas limitações de tamanho, formato e complexidade.

A indústria de fundição emprega elevada quantidade de areia nas etapas de moldagem e macharia, sendo, conseqüentemente grande geradora de resíduos sólidos. Segundo dados da ABIFA (2016), em 2015 o Brasil produziu 2315,9 mil toneladas de peças fundidas, sendo que para o mercado interno a produção foi de 1899,4 mil toneladas, enquanto que a exportação foi de 416,5 mil toneladas. Assim, considerando o descarte de 0,9 toneladas de areia por tonelada de peça fundida, houve o descarte de 2 milhões toneladas de areia de fundição em 2015 pelo Brasil.

As areias descartadas de fundição (ADF), dependendo do processo e material empregado, podem ficar contaminadas por diferentes tipos de contaminantes, como os metais pesados, e por fenóis, originados das resinas empregadas na sua agregação (D'ELBOUX, 2000).

Sabendo da elevada utilização de areia no processo de fundição, é grande a preocupação com a situação ambiental, principalmente quanto ao descarte dessas areias. É necessário o correto gerenciamento da ADF e a destinação incorreta desses resíduos pode gerar danos ambientais. Em função desses problemas, foram criadas normas e leis ambientais mais restritivas, que obrigam as fundições a fazerem o descarte em aterros controlados, seguindo os regulamentos dos órgãos ambientais, o que resulta no aumento dos custos (PENKAITIS, 2012).

Com a crescente conscientização ambiental, as empresas estão buscando uma produção mais limpa, assim a reciclagem da areia no processo, além de atender a legislação, minimiza os impactos de sua atividade ao meio ambiente, reduz os custos e evita a extração da areia virgem (PENKAITIS, 2012).

Considerando a necessidade de reduzir os rejeitos de areia do processo de fundição, elabora-se o presente trabalho com o objetivo de conhecer e avaliar a influência da reutilização da areia de cura a frio, recuperada mecanicamente, nas propriedades mecânicas do molde e no acabamento do fundido.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em duas etapas, sendo a primeira constituída de ensaios laboratoriais, para análise das propriedades das misturas de variados teores de areias, recuperada e nova, aglomeradas com as resinas fenólica-uretânica e furânica, e a segunda de uma prática operacional para analisar a influência da reutilização da areia no acabamento superficial do fundido.

2.1 Caracterização Laboratorial

Nesta etapa, analisaram-se as amostras de areia 100% nova e 100% recuperada e a mistura, variando as proporções da areia nova e recuperada de 0 a 100%, por meio de ensaios realizados em dois locais:
No laboratório ASK CHEMICALS

- Perda ao fogo: Avaliar o grau de recuperação da areia;
- Granulometria: Determinar a distribuição granulométrica e teor de finos;
- Demanda Ácida: Avaliar o grau de recuperação e orientar quanto à quantidade de resina e catalisador na mistura.

Nos laboratórios PUC Minas:

- Caracterização morfológica e micro estrutural: evidenciar se houve alteração na morfologia dos grãos quando se recupera a areia. Utilizou-se um Microscópio eletrônico de varredura (MEV), Jeol, modelo JSM IT300;
- Vida de banca: Determinar o tempo limite de trabalhabilidade da areia. A quantidade de resina furânica utilizada é calculada da seguinte forma: 1% de resina sobre o peso da areia e 30% do catalisador sobre o peso da resina. Já a fenólica-uretânica é: Parte I e Parte II - 0,7% do peso da areia e o catalisador 5% do peso da parte I. O ensaio foi realizado segundo a recomendação CEMP-190;
- Resistência à tração: Determinar a resistência mecânica dos corpos de provas feitos a partir da mistura de areia nova mais recuperada, variando o teor de 0 a 100% de areia recuperada. O cálculo da quantidade de resina furânica e fenólica-uretânica são similares ao citado anteriormente. Os corpos de provas foram moldados de acordo com a recomendação CEMP-E-10;

A resistência a tração foi avaliada após diferentes períodos de tempo. Para a resina fenólica-uretânica: 1h, 3h,5h e 24h. Para a resina furânica: 2h, 4h, 6h e 24h. Utilizou-se o documento de recomendação CEMP-162 (2003), sendo confeccionado dois corpos de prova para cada período de ensaio. Usou-se a máquina de ensaio a tração modelo MRUD.

2.2 Prática Operacional- Teste prático

Para a realização desta etapa, confeccionaram-se machos com 100% de areia nova e 100% areia recuperada com ambas as resinas. Os machos fabricados foram colocados nos moldes, para o vazamento do aço SAE 1045, em temperatura de 1.640°C. O metal foi resfriado à temperatura ambiente e depois foi desmoldado. Obtiveram-se assim os corpos de prova para análise do aspecto superficial interno do fundido, ou seja, região onde foram inseridos os machos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinaram-se através de ensaios as propriedades mecânicas e as características físico-químicas das areias em estudo e os resultados encontrados serão apresentados a seguir.

3.1 Perda ao fogo

Para fazer a análise de índice de perda ao fogo, foram realizados ensaios com as areias base novas e recuperadas, fornecidas por duas empresas.

Os resultados encontrados para areia nova e recuperada, utilizando a resina Fenólica Uretânica foram de 0,34% e 0,74%, respectivamente. Já os resultados encontrados utilizando a resina Furânica foram de 0,30% para areia nova e 2,19% para areia recuperada. Em geral tomam-se como referência, os valores de 0,50% máximos para a areia nova e 2,00% para areia recuperada. O índice de perda ao

fogo informa a quantidade de material orgânico presente na superfície do grão e está diretamente ligado ao volume de gases gerados na cavidade do molde durante o vazamento e possivelmente levando a defeitos no fundido. Dessa forma, espera-se também uma perda de resistência a frio.

O valor de perda ao fogo da areia recuperada utilizando resina furânica comprova que nem sempre o processo de recuperação mecânica é eficiente, fazendo com que seja necessária uma posterior recuperação térmica para retirada efetiva da capa de resina que envolve os grãos. Esta afirmação pode ser complementada através da figura 01, realizada no MEV do laboratório da PUC Minas, onde observa-se pequenas partículas aderidas à camada superficial de resina na areia recuperada, o que comprova que não foi removida completamente.

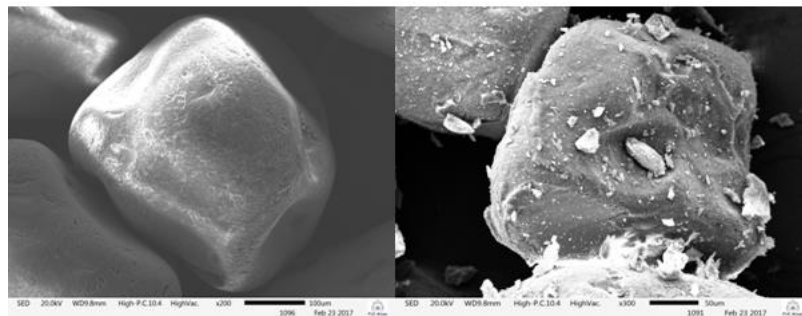


Figura 01. Morfologia e aspecto superficial de amostra de areia 100% nova (esquerda) e da areia recuperada mecanicamente (direita) da empresa Altivo.

3.2 Ensaio de Granulometria

Na figura 02 apresenta-se os resultados das características granulométricas obtidas das amostras de areia, nova e recuperada, para ambos os processos.

As amostras de areia utilizadas no processo furânico apresentam módulo de finura 43 AFS e distribuição granulométrica concentrada em 3 peneiras. O teor e finos da areia nova foi de 0,20% e na recuperada de 0,80%. As amostras utilizadas no processo fenólico uretânico têm módulo de finura 60 AFS para a areia nova e 55 AFS para a recuperada, com uma distribuição granulométrica concentrada em 4 peneiras, e observa-se uma redução do teor de finos de 2% para 1,6%.

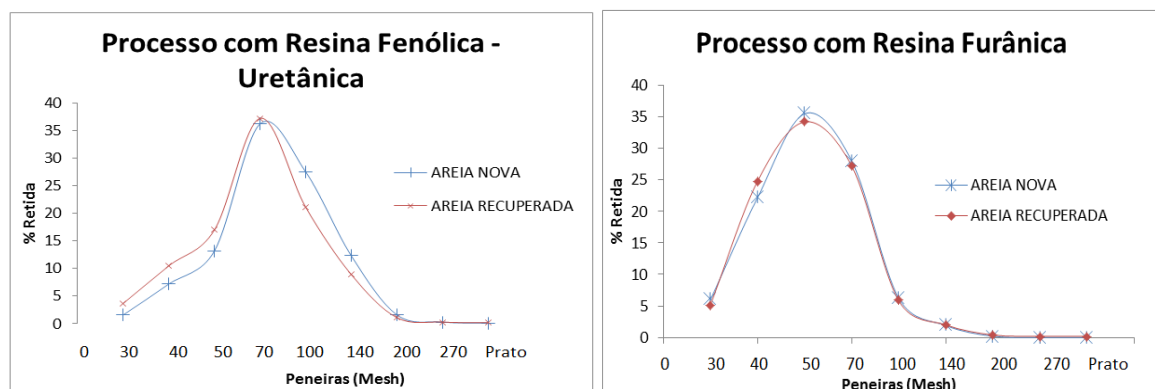


Figura 02. Curvas de distribuição granulométrica

3.3 Demanda ácida

Através da figura 03 pode-se observar que a amostra de areia recuperada possui valor mais alto comparado com a areia nova para as duas empresas. Os resultados da empresa que utiliza resina furânica para areia nova foram bons e, razoável para a areia recuperada, demonstrando seu resultado dentro das faixas de recomendações fornecidas pela ASK CHEMICALS (tabela 01), podendo assim ser empregada sem muitas preocupações. Já a empresa que utiliza a resina fenólica uretânica, apresentou bom resultado para areia nova, porém no limite e, para a areia recuperada o resultado encontrado foi inadequado, sendo assim esta areia pode ter suas propriedades de resistência reduzidas e o acabamento do fundido pode apresentar piora.

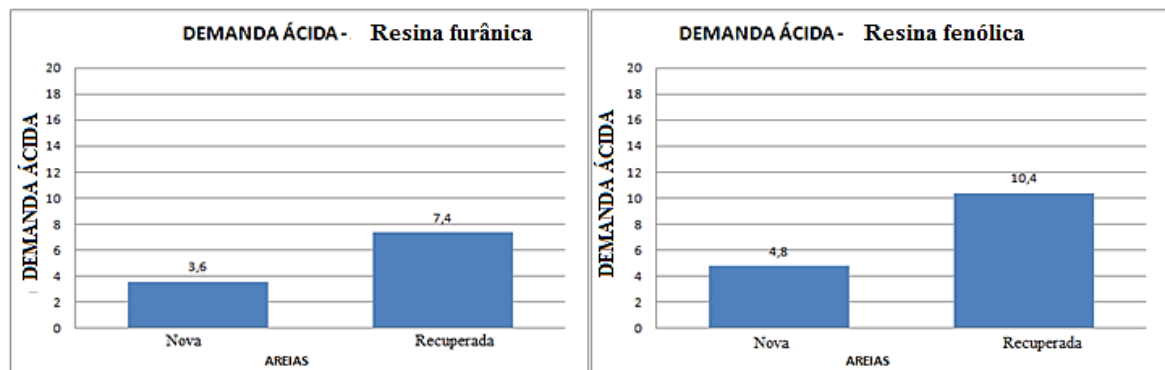


Figura 03. Resultados de demanda ácida das amostras de areias avaliadas

Tabela 01. Faixa de recomendação para análise da demanda ácida

	RESINA FURÂNICA	RESINA FENÓLICA URETÂNICA
BOM	0 a 5 ml	0 a 5 ml
RAZOÁVEL	5 a 15 ml	5 a 10 ml
INADEQUADO	15 a 20 ml	10 a 15 ml

Analisando os valores de demanda ácida, vê-se que a areia recuperada possui maior quantidade de partículas finas contaminantes que estão presentes na areia e resíduos de resina.

O índice de demanda ácida avalia o grau de recuperação da areia e orienta quanto à quantidade de resina e catalisador presentes nos grãos desta. Em outras palavras é a quantidade, em mililitros de solução de Ácido Clorídrico necessária para solubilização de determinados componentes em uma quantidade padronizada de areia num tempo pré-estabelecido.

Foram feitas também análises para determinação do PH, os resultados foram avaliados dentro de faixas de recomendações conforme tabela 02 abaixo. Os valores encontrados encontram-se na tabela 03.

Tabela 02. Faixa de recomendação para análise da demanda ácida

	RESINA FURÂNICA	RESINA FENÓLICA URETÂNICA
AREIA NOVA	6,5 a 7,0	6,5 a 7,0
RECUPERADA	3,0 a 5,0	6,5 a 7,5

Tabela 03. Valores encontrados para o PH

	RESINA FURÂNICA	RESINA FENÓLICA URETÂNICA
AREIA NOVA	6,5	6,7
RECUPERADA	3,1	7,9

Observa-se que o valor do PH para a areia nova de ambas as empresas encontram-se dentro das faixas recomendadas. A areia recuperada da empresa que utiliza resina furânica também apresentou boas características, porém observou-se que o PH da areia recuperada da empresa que utiliza a resina fenólica uretânica ultrapassou a faixa de recomendação, o que pode afetar diretamente a reatividade da resina e nas propriedades de vida de banca, devido a reação do sistema fenólico uretânico com o resíduo alcalino envolto no grão de areia, podendo causar a perda da vida de banca propriamente dita e por consequência baixa compactabilidade e friabilidade do molde, gerando defeitos superficiais no fundido.

3.4 Análise microscópica

O formato e a morfologia do grão podem também influenciar nas propriedades da areia. Sua classificação pode ser feita tanto quanto ao seu formato: arredondado, sub-angular ou angular, e quanto à sua morfologia: compacto, fissurado ou agrupado. Segundo dados fornecidos pela ASK CHEMICALS 60% das areias brasileiras apresentam formato sub-angular, 30% arredondado e 10% angular. Quanto à morfologia, 90% compacto e 10% fissurados. A figura 04 apresenta o formato e a morfologia para cada tipo de areia.

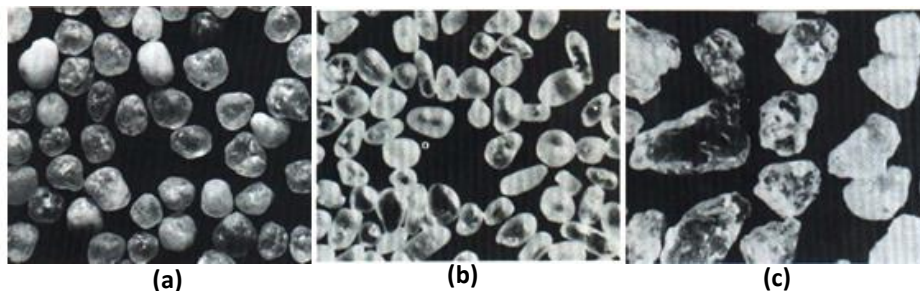


Figura 04. Formatos de grãos de areias. (a) Redondo; (b) sub-angular e (c) angular

Os grãos angulares apresentam baixa densidade e alta permeabilidade, por ser mais permeável que os demais, os grãos de areia irão absorver maiores quantidades de resina, reduzindo então a escoabilidade, dessa forma a quantidade de gases gerados irá aumentar podendo afetar na qualidade do fundido, além de aumentar os custos devido a maiores quantidades de resina. Porém, eles geram menores problemas com a dilatação do molde.

Os grãos arredondados apresentam valores de densidade maiores que os grãos angulares, podendo causar defeitos de veimento no fundido. Entretanto, por apresentar um formato mais abaulado os grãos são envolvidos uniformemente pelas resinas, o que reduz a quantidade de ligantes.

Analisando o formato e a morfologia dos grãos das areias das duas empresas, figura 05, observa-se que ambas apresentaram um formato predominantemente sub-angular, sendo estes os mais indicados para areias de

fundição por produzirem moldes com boa permeabilidade e com média densidade, proporcionando uma escoabilidade ideal para os gases.

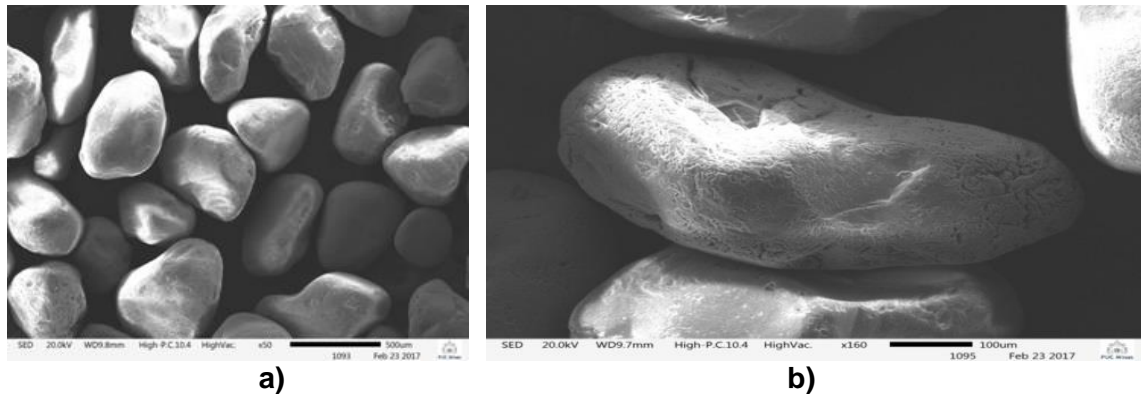


Figura 05. Morfologia e aspecto superficial de amostra de areia 100% nova: a) resina furfônica e b) resina fenólica uretânica

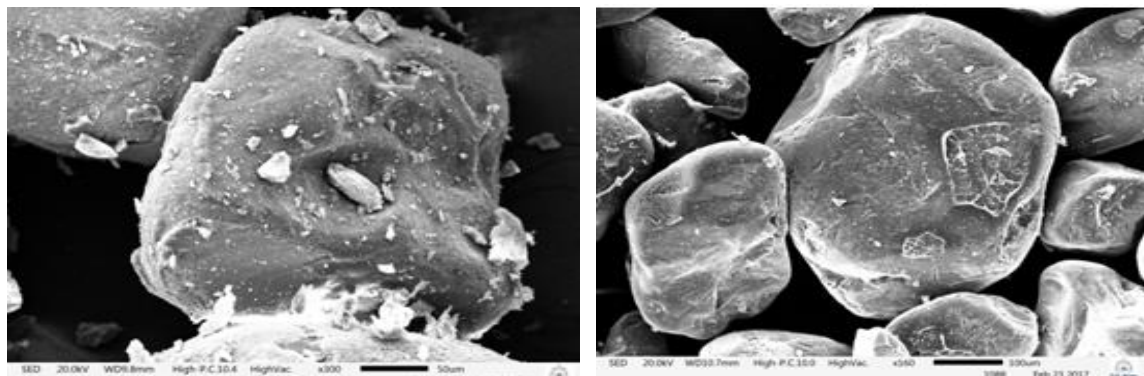


Figura 06. Morfologia e aspecto superficial de amostra de areia recuperada: a) resina furfônica e b) resina fenólica-uretânica

Na figura 06 observou-se pequenas partículas de resina aderidas aos grãos de areia das duas empresas, comprovando que somente a operação de recuperação mecânica não remove de maneira eficiente a capa de resina envolta nos contornos dos grãos, necessitando então de uma posterior recuperação térmica para que aconteça uma remoção mais eficiente. Porém, isso não impede as empresas de utilizar a areia recuperada, elas optam por não utilizar uma segunda fase de recuperação devido aos altos custos tanto de instalação quanto de energia, a solução encontrada para isso foi estabelecer um percentual ideal de areia recuperada que pode ser utilizado junto à nova.

A areia recuperada da empresa que utiliza resina fenólica-uretânica comparada com a outra, apresenta maiores teores de resíduos alcalinos, explicando então os valores altos de PH e valores de demanda ácida inadequados.

3.5 Resistência a Tração

Os resultados de resistência à tração das misturas são apresentados nas figuras 07 e 08. Observa-se que os resultados de resistência são crescentes até 24 horas, no entanto, após 5 e 6 horas para o sistema aglomerante fenólico uretânico e furfônico, respectivamente, o aumento de resistência não é significativo e em alguns casos a resistência foi menor com 24 horas. Este fato provavelmente pode ser devido à absorção de umidade, pois os corpos de prova permaneceram em ambiente aberto, semelhante às condições de produção de moldes em fundição. Em

função disto tomou-se como base, os valores de resistência obtidos para 5 horas (sistema fenólico uretânico) e 6 horas (sistema furânico) para avaliar o comportamento da resistência com o aumento do teor de areia recuperada na mistura. Observa-se a tendência de redução da resistência com o aumento do teor em areia recuperada na mistura para os dois sistemas aglomerantes.

Após o rompimento dos corpos de prova, em alguns casos foi observada a presença de contaminantes na superfície de fratura, o que justifica alguns resultados atípicos encontrados.

Estabeleceu-se que o valor de resistência aceitável para a produção de moldes e machos seria 120,4 N/cm² para areia aglomerada com resina fenólica uretânica e 135,4 N/cm² para areia aglomerada com resina furânica. Estes valores correspondem a 80% da resistência obtida com a areia 100% nova com 5 e 6 horas de moldagem para resina fenólica uretânica e para a resina furânica, respectivamente. Com base neste critério, o valor máximo de areia recuperada que pode ser utilizado, sem perdas significativas de resistência é de 50% para a areia aglomerada com resina fenólica-uretânica e 60% para a areia aglomerada com resina furânica. Um teor mais alto de areia recuperada para a areia aglomerada com resina furânica, se deve, provavelmente, ao fato da areia apresentar o módulo de finura, teor de finos e demanda ácida menores, o que implica, na necessidade de menor teor de resina. Ressalta-se que o teor em resina foi o mesmo em todas as misturas, independente do teor de areia recuperada na mistura.

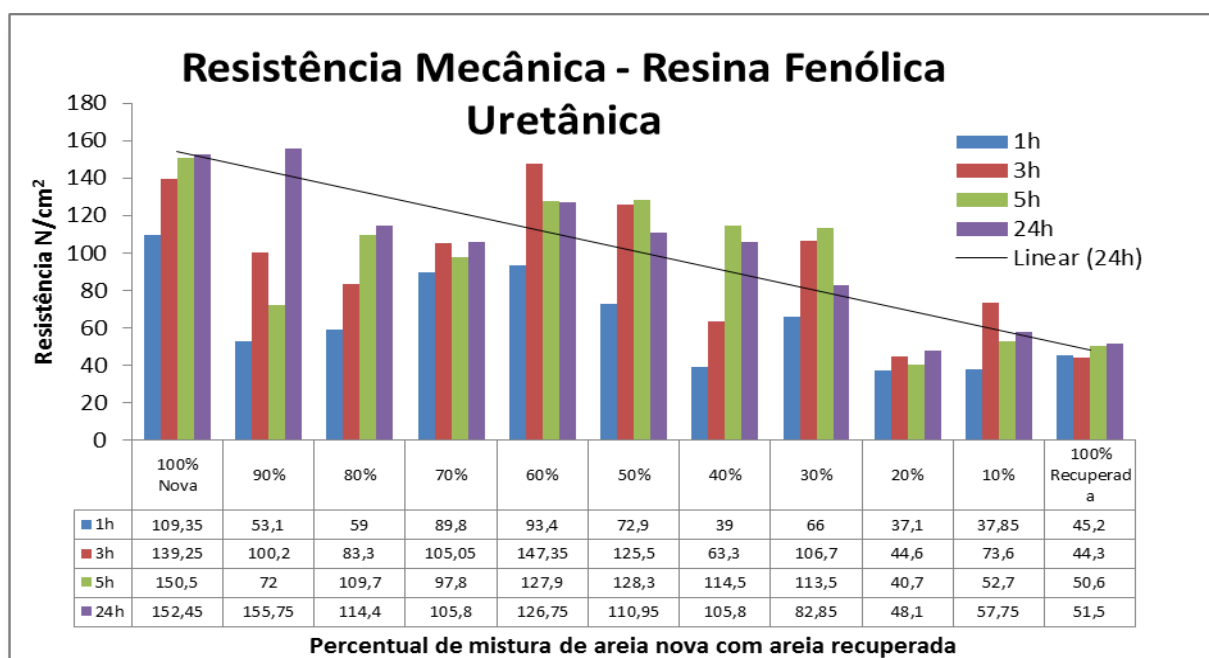


Figura 07. Resistência a tração da mistura de areia com resina fenólica uretânica

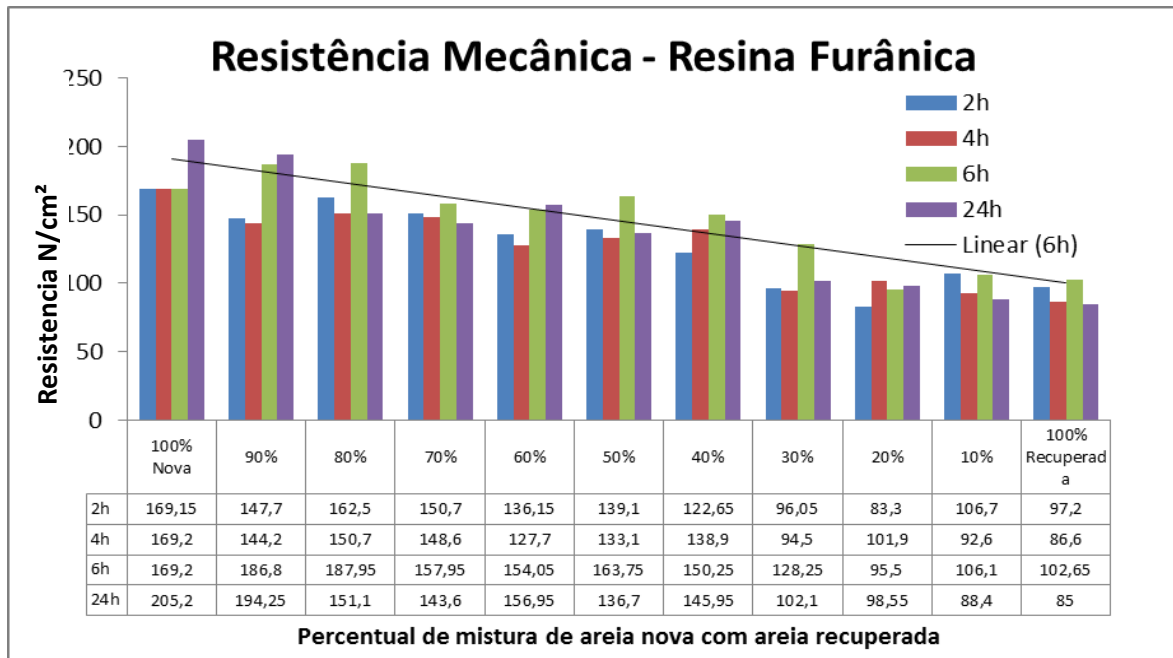


Figura 08. Resistência a tração da mistura de areia com resina furânica

Observou-se alguns valores fora da tendência, isto ocorreu porque o corpo de prova apresentou um problema na hora de se romper, eles romperam em pontos diferentes do que era esperado como mostrado na figura abaixo:



Figura 9- Corpos de prova (a) ponto esperando para romper; (b) ponto onde se rompeu.

Vida de banca

Para avaliar o tempo de banca os valores da compactabilidade foram lançados em gráficos (Figura 10), em função da diferença do tempo entre a preparação das misturas e a confecção do corpo de prova, o tempo correspondente ao ponto de inflexão da curva equivale ao tempo de vida de banca de cada resina.

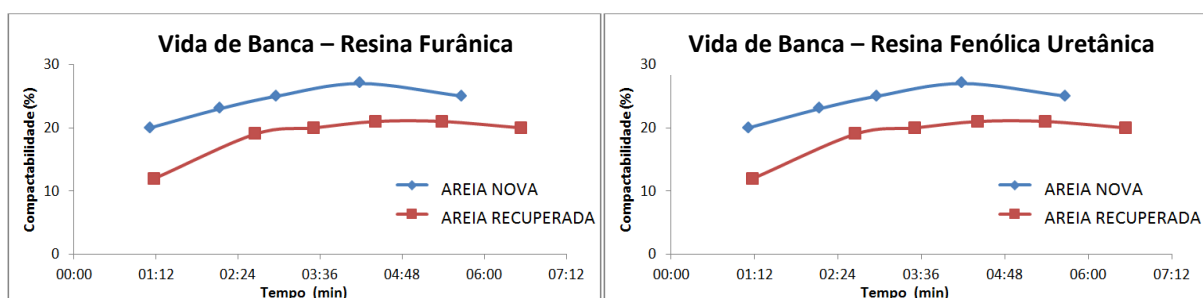


Figura 10. Compactabilidade em função da diferença do tempo

Analisando os gráficos acima, observou-se que a vida de banca, para ambos os casos, foi maior para as areias novas, sendo para as areia, nova e recuperada, da Gonçalves e Gonçalves de 04:51 minutos e 04:25 minutos, respectivamente. Já para a Altivo os resultados de vida de banca foram de 05:18 min para a areia nova e de 02:48 para a areia recuperada. Esses resultados eram esperados, pois devido à quantidade de resíduos de resina presentes nos grãos de areia reagem com o sistema alcalino, gerando uma perda na vida de banca e por consequência baixa compactabilidade.

3.6 Análise do acabamento superficial do fundido

A análise das peças fundidas, vazadas em machos fabricados com teores máximos de areias (figuras 11 e 12), sem considerar a taxa de alimentação, revelou alguns efeitos da utilização da areia recuperada, porém não significativos, no acabamento superficial dos fundidos. Dessa forma, não foi vista a necessidade de realizar a avaliação com os teores ideais estabelecidos, de 50% de areia recuperada.

Dentre as alterações identificadas, foi verificado que para a areia aglomerada com resina fenólica-uretânica, o fundido fabricado com macho de areia recuperada, apresentou maior quantidade de veimentos, caracterizados por rebarbas grosseiras em forma de veios, perpendiculares à superfície. Esse defeito possivelmente foi causado pela penetração do metal nas trincas abertas na superfície do molde devido ao aquecimento muito rápido ocorrido no momento do vazamento do metal a elevada temperatura.

Nota-se também no lado esquerdo a formação de rechupe de contração e do lado direito o defeito de gás no fundido de areia nova, enquanto no sistema com areia recuperada, é claro a quebra de macho na seção fina, o que causou o defeito lateral.

Também é verificado que o acabamento é mais rugoso, pois devido a menor resistência da mistura (areia recuperada+ resina+ catalisador) ocorre maior penetração do metal, além da ocorrência de gases e de sinterização, principalmente na parte mais aguda da peça, devido ao maior volume de metal e pouco de areia.

Já para a areia recuperada com resina furânica, somente a piora no acabamento superficial, devido à utilização de areia recuperada, é mais acentuada, pois se trata de uma areia com granulometria mais grosseira, o que confere um pior acabamento quando comparado ao da empresa anterior, com granulometria mais fina e conseqüente melhor acabamento. Há também a ocorrência de rechupe, devido à falta de penetração do metal.

A incidência de gases está associada à qualidade da areia, sendo evidente no fundido fabricado com a areia aglomerada com resina fenólica uretânica, pois quanto maior o teor de finos, pior a permeabilidade. Os finos também contribuem para uma maior geração de gases devido ao maior consumo de resina por sua maior área de contato superficial.

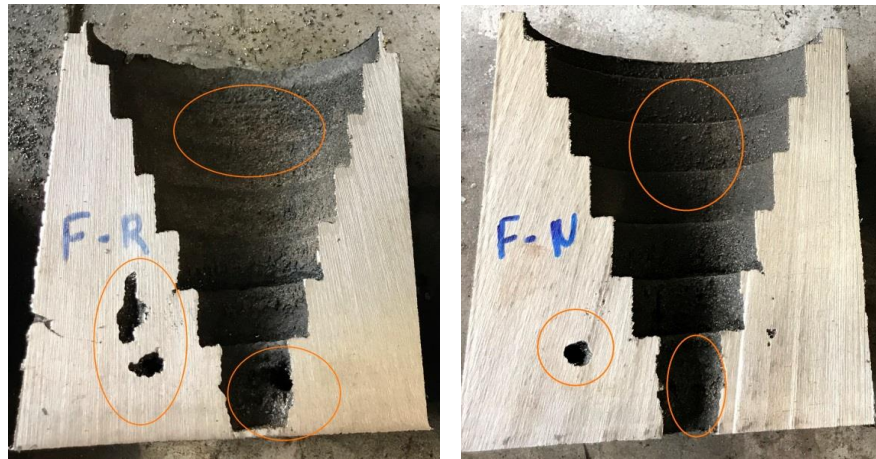


Figura 11. Peças fundidas em machos aglomerados com areia aglomerada com resina Furânica

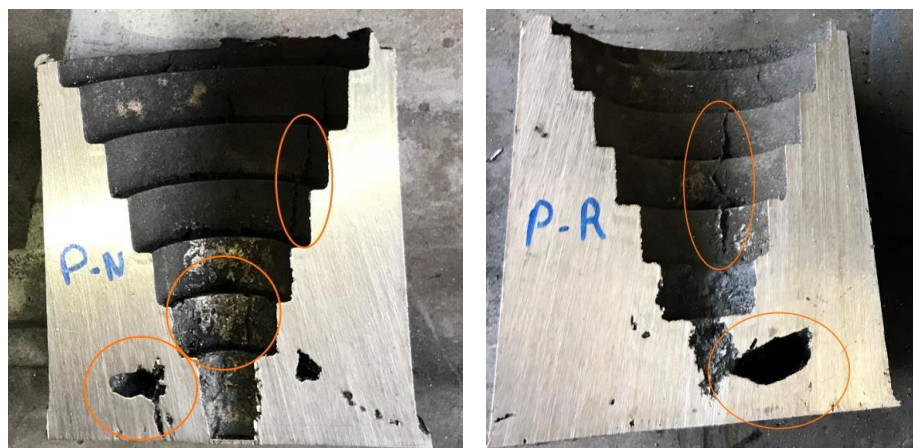


Figura 12. Peças fundidas em machos aglomerados com areia aglomerada com resina Fenólica-Uretânica

4 CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos observou-se que devido à atritagem dos grãos, provenientes da recuperação mecânica, houve uma geração maior de partículas finas de areia recuperada, as quais podem ser relacionadas à intensidade da ação mecânica aplicada e a eficiência do sistema de exaustão. As partículas finas apresentam maior área superficial acumulando maiores quantidades de resinas, diminuindo sua permeabilidade e aumentando a geração de gases.

A análise morfológica dos grãos de areia recuperada mostrou uma fração de resíduos alcalinos não removidos durante o processo de recuperação, os quais atuam de maneira negativa no sistema de cura a frio, pois pode gerar uma perda de resistência a frio e maior geração de gases, causando defeitos no fundido.

Nos resultados obtidos pelo ensaio de tração, verificou-se que com a adição da areia recuperada, houve uma pequena queda nos resultados, porém continuaram acima dos limites mínimos especificados até teores de 50% de areia nova e recuperada, a partir de teores com 60% de areia recuperada a resistência caiu abruptamente, o que compromete o desempenho dos moldes e machos. Vale ressaltar, que estes precisam possuir resistência suficiente para suportar o manuseio e vazamento e solidificação do metal.

Considerando as conclusões acima, pode-se dizer que as areias recuperadas apresentam diferentes características granulométricas e químicas, que afetam mais significativamente as propriedades mecânicas após a utilização de um traço de 60% na mistura com areia nova, porém não é identificada grande influência no acabamento superficial do fundido. Fica claro que é possível utilizar até 50% de areia recuperada sem comprometer o desempenho dos moldes e machos.

5 REFERÊNCIAS

ABIFA. CEMP-193 **Anuário 2016: Guia ABIFA de Fundição**. Comissão de Estudos de Matérias-Primas, ABIFA. Junho, 2016.

MORO N, AURAS AP. **Processos de Fabricação**. Apostila do Curso Técnico em Mecânica do CEFET/SC; 2007.

D'ELBOUX FA. **Minimização de descarte de areias de fundição**. [Dissertação de mestrado em engenharia de produção], Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D'Oeste, SP; 2000.

PENKAITIS G. **Impacto Ambiental gerado pela disposição de areias de fundição: Estudo de Caso**. [Dissertação (Mestrado)], Universidade de São Paulo, São Paulo; 2012.

ABIFA. CEMP-171. **Reuso de areia descartada de fundição e disposição de resíduos de fundição**. Comissão de Estudos de Matérias-Primas, ABIFA. Agosto, 2014.

MACIEL CB. **Avaliação da Geração do Resíduo Sólido areia de fundição visando sua minimização na empresa MetalCorte Metalurgia – Fundição**. [Dissertação (Mestrado)], Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre; 2005.

PEIXOTO F. **Regeneração Térmica de areia ligada quimicamente**. [Dissertação (Mestrado)], Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville; 2003.

SCHEUNEMANN, R. **Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo Fenton**. [Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)], Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis; 2005.

SILVA AS, PEREIRA PCA. **Reutilização de Areia de Fundição**. [TCC (Graduação)] - Curso de Desenho Industrial, FATEB, Birigui; 2013.

SILVA CE, OLIVEIRA DL, JÚNIOR LCS, JÚNIOR AR. **Influência da areia de cura a frio reutilizada nas propriedades mecânicas e características superficiais de moldes empregados em fundição**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 1, n. 65, p.73-78, mar. 2012.