

REUTILIZAÇÃO DE AREIA REGENERADA TERMICAMENTE (1)

Fabiano Peixoto (2)
Wilson Luiz Guesser (3)

RESUMO

O presente trabalho aborda o estudo das propriedades tecnológicas da areia de macharia regenerada termicamente e a influência de suas características no processo de religação via sistema ligante Caixa Fria fenólico uretânico.

O processo de regeneração aplicado consiste de planta industrial baseada na tecnologia de forno de leito fluidizado. Após regeneração, as areias sofreram religação em laboratório para avaliação das propriedades mecânicas, seguido da caracterização físico-química da areia-base, discussão e comparação com as características e propriedades das areias novas. Verificou-se que a areia regenerada apresenta características físicas e químicas diferenciadas em relação às areias novas, as quais não afetam as propriedades mecânicas mas diminuem a vida útil das misturas.

PALAVRAS CHAVE: Areia de fundição, Caixa Fria, Regeneração.

ABSTRACT

It was studied the technological properties of the thermally reclaimed core sand and the influence of the characteristics in the rebonding process in the phenolic urethane Cold Box process.

The reclamation process applied consists of industrial plant based on the technology of fluidized bed calciner system. After reclamation, the sands were rebonded in laboratory for evaluation of the mechanical properties, followed by the physical and chemical characterization of the base sand, discussion and comparison with the characteristics and properties of the new sands. It was verified that the reclaimed sand presents differentiated physical and chemical characteristics in relation to the new sands, which don't affect the mechanical properties but they reduce bench life of the mixtures.

WORDS KEY: Foundry sand, Cold Box, Reclamation.

- (1) Contribuição ao CONAF-ABIFA, São Paulo, 24 a 26 de setembro de 2003. Este trabalho contém parte dos resultados da Dissertação de Mestrado de Fabiano Peixoto, realizado na Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.
- (2) Engenheiro Químico, Mestre em Engenharia de Materiais e Processos Avançados. Tupy Fundições Ltda. Coordenador Laboratórios - Engenharia Metalúrgica.
- (3) Engenheiro Metalurgista, Mestre em Engenharia, Doutor em Engenharia. Tupy Fundições Ltda. Diretor-Gerente Engenharia Metalúrgica. Professor da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

1. INTRODUÇÃO

As tendências de gerenciamento ambiental têm evoluído em função da regulamentação mundial estabelecida para as questões de desenvolvimento sustentável, de forma a substituir as alternativas corretivas por medidas preventivas.

A diminuição da geração de resíduos e a reciclagem dos mesmos constituem práticas consideradas básicas e necessárias, atingindo objetivos de natureza ambiental e econômica, através da redução de consumo de materiais e economia de taxas de disposição em aterros controlados.

A indústria de fundição, apesar de empregar em seu processo grandes quantidades de materiais metálicos reciclados, possui como um dos principais excedentes de seu processo de fabricação as areias residuais dos sistemas de moldagem e macharia, as quais não são classificadas como materiais inertes para a disposição.

A regeneração de areias de fundição é um tema apresentado na literatura há mais de 40 anos, sendo aplicada através de diferentes processos em fundições do mundo todo. Atualmente constitui uma alternativa técnica e economicamente viável, dependendo dos volumes a regenerar, sendo considerada uma operação padrão da indústria de fundição.

A regeneração de areia é o processo pelo qual as areias de moldagem e macharia tornam-se reaplicáveis, podendo substituir total ou parcialmente a areia nova [1] 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 [2, 3].

O processo não deve ser confundido com a recuperação de areia, a qual consiste na reintrodução da areia usada no próprio sistema, sendo necessário apenas a aplicação de operações de desagregação de grumos e remoção de finos e materiais metálicos [3, 4].

As propriedades tecnológicas de reaplicação do material são função das características físico-químicas do agregado base regenerado, as quais são definidas pelo tipo de processamento aplicado.

A qualidade da areia-base possui efeito dramático no desempenho do processo de macharia Caixa Fria. As características granulométricas, morfológicas, químicas e aspectos como temperatura e umidade influenciam diretamente na vida útil da mistura bem como nas propriedades mecânicas dos machos [5, 6].

As areias regeneradas podem possuir suas características físicas e químicas alteradas em função das operações unitárias a que são submetidas bem como pela presença de agentes contaminantes residuais oriundos do processo de macharia. Tais características modificadas podem influenciar negativamente no desempenho do sistema ligante e serão abordadas a seguir.

2. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

O objetivo do presente trabalho consiste na avaliação das propriedades tecnológicas da areia regenerada e estudo das características de influência da areia base no processo de religação através do sistema ligante Caixa Fria fenólico uretânico.

O trabalho experimental foi subdividido nas seguintes etapas:

1. Regeneração dos resíduos de areia de macharia através de processo térmicos via forno de leito fluidizado.
2. Religação dos materiais em laboratório e caracterização das propriedades mecânicas.
3. Caracterização analítica das areias regeneradas e novas (areia padrão e de processo de fabricação de machos).
4. Discussão e comparação dos resultados e relações entre as características físico-químicas da areia regenerada e areias novas e seus efeitos nas propriedades tecnológicas.

O fluxograma da figura 1 demonstra as etapas do procedimento experimental.

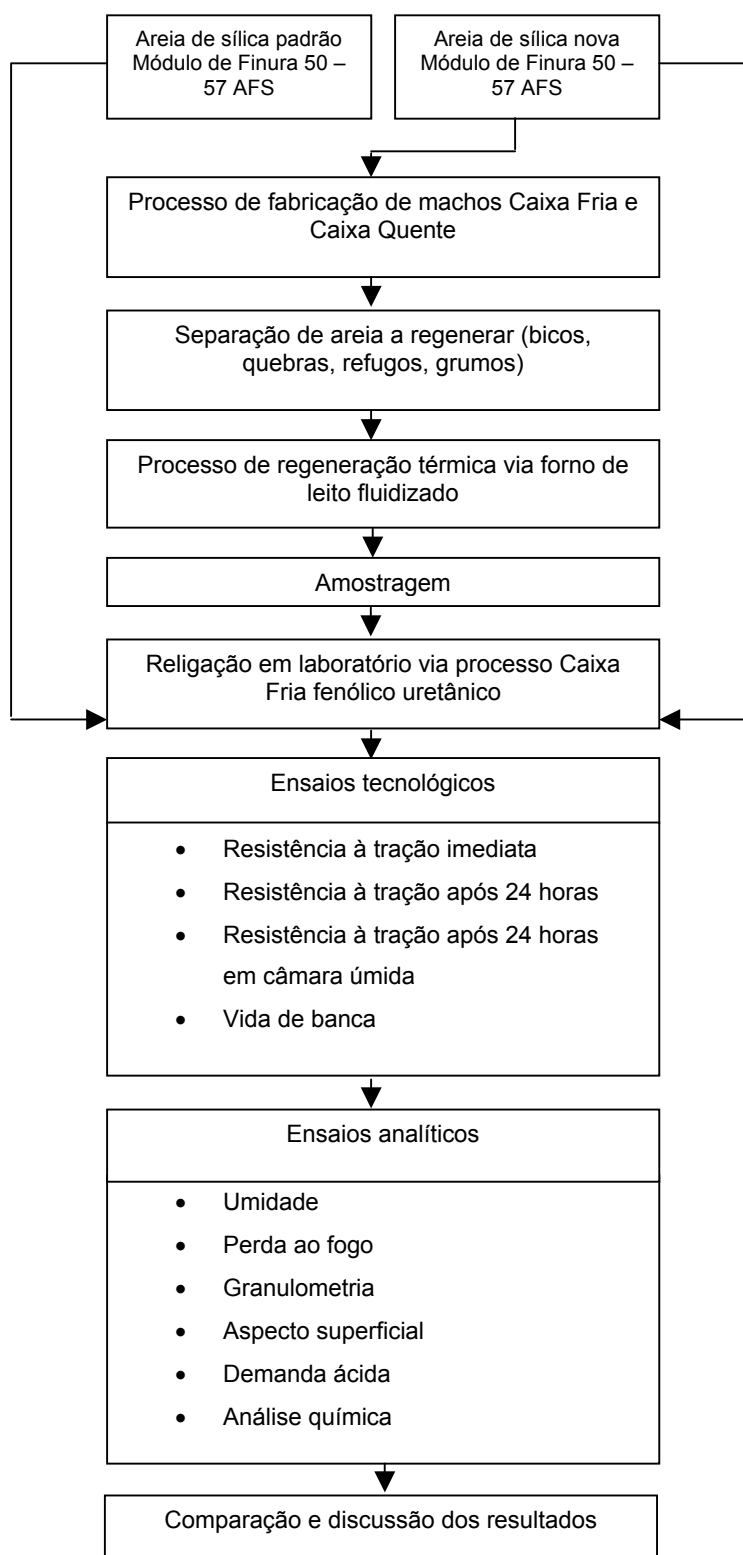


Figura 1. Fluxograma de elaboração e caracterização dos materiais.

O material a ser regenerado consiste de restos de machos refugados, pinos de sopros e resíduos de limpeza de equipamentos dos processos Caixa Fria e Caixa Quente, com areias de módulo de finura 50/57 AFS, utilizado na produção de machos para blocos e cabeçotes de motores.

O processo de regeneração térmica via leito fluidizado utilizado consiste de uma planta industrial instalada na unidade de fabricação de blocos e cabeçotes da Tupy Fundições – Joinville. A instalação é utilizada para a regeneração térmica de resíduos de areias ligadas pelos processos de macharia Caixa Fria e Caixa Quente, possuindo capacidade produtiva de 5 t/h e composta pela seqüência de operações apresentada na figura 2.

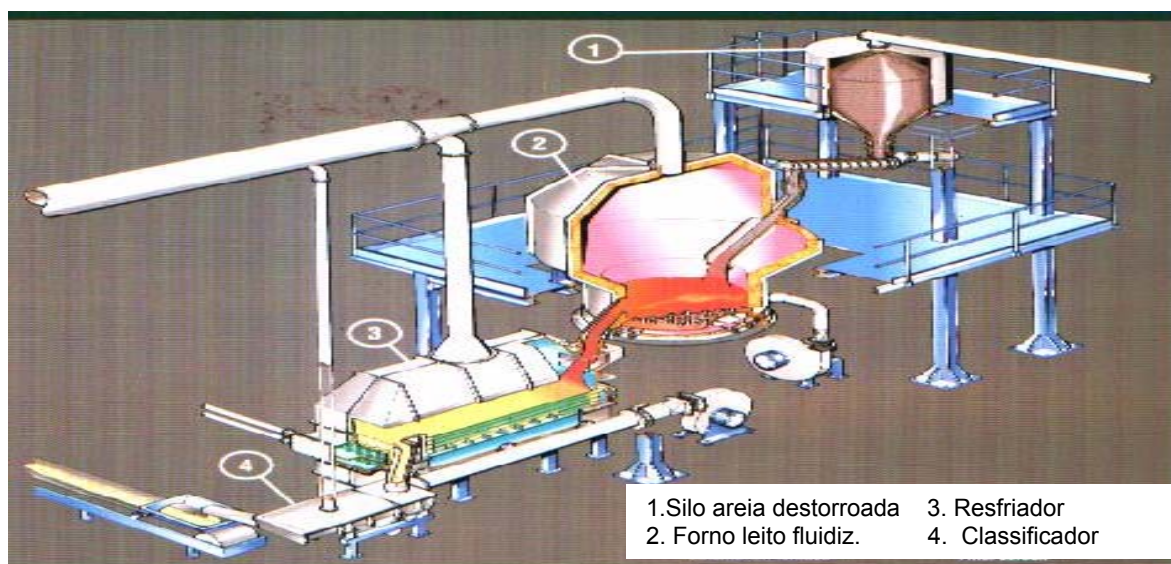


Figura 2. Esquema da planta de regeneração térmica via forno de leito fluidizado.

A operação de destorroamento é realizada através de peneira vibratória, seguida do transporte do material, via elevador de canecos, aos silos de alimentação do forno de leito fluidizado. Esta etapa possui sistema de exaustão e separação magnética, objetivando a remoção do material fino gerado pela quebra de grãos no processo de atrição mecânica e a separação de partículas metálicas, tais como parafusos e arruelas de montagem de machos.

O forno de leito fluidizado opera a temperaturas entre 600 e 630 °C, através da combustão de gás natural. Após calcinação, a areia passa pelo sistema de refrigeração, resfriando a areia a temperaturas médias de 34 °C.

Uma última operação de peneiramento é aplicada após o resfriamento para posteriormente a areia ser carregada através de elevadores de caneco para os silos, estando disponível para a reaplicação no processo de macharia.

O detalhamento dos parâmetros operacionais foi apresentado por Masiero e Silva [7] no Congresso Internacional de Tecnologia CINTEC/METALURGIA 2002.

Foram efetuados ensaios com as seguintes areias-base:

- Areia regenerada: areia obtida do processo de regeneração descrito acima.
- Areia de processo: areia-base nova utilizada no processo de macharia da Tupy Fundições e originária da região norte de Santa Catarina.

- Areia padrão: areia-base normalizada pela CEMP-ABIFA.

As linhas tracejadas, que são apresentadas juntamente com alguns dos resultados, representam os limites de intervalo estatístico (+/- 1 desvio padrão) do histórico das características de fornecimento da areia de processo, utilizados como padrão comparativo entre as amostras em estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Resultados Tecnológicos

3.1.1. Propriedades Mecânicas

Na figura 3 são apresentados os resultados de propriedades mecânicas, onde observa-se que a areia regenerada apresenta resultados de resistência à tração imediata e após 24 horas muito similares aos determinados na amostra de areia de processo.

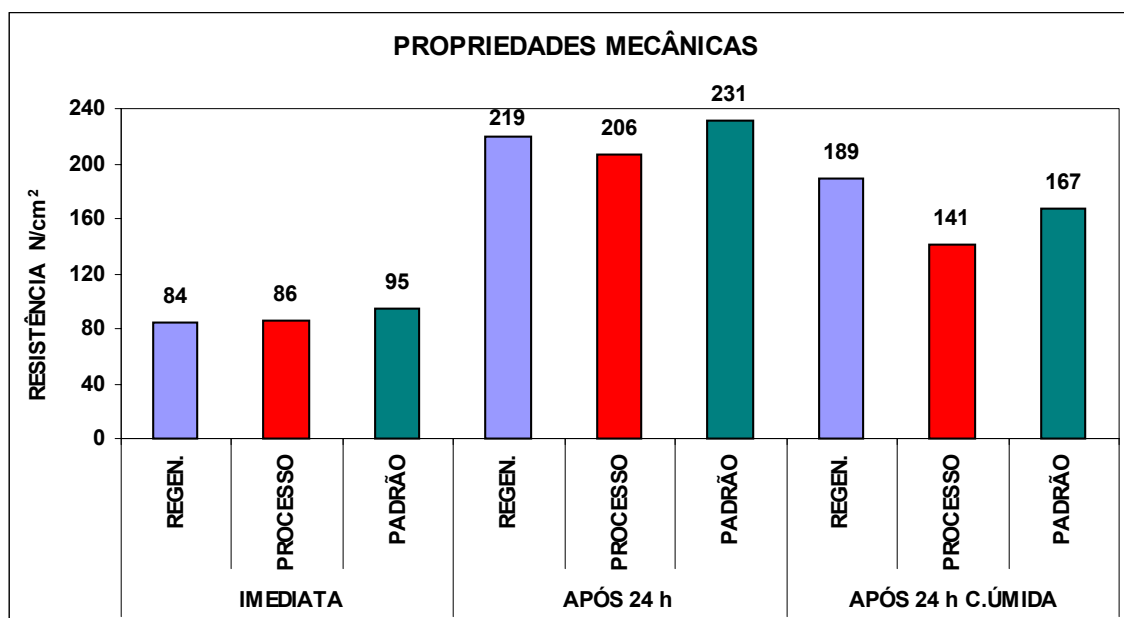


Figura 3. Resultados de propriedades mecânicas das areias ligadas.

A areia padrão possui tendência de apresentar resultados um pouco superiores em relação às demais amostras, porém tais diferenças não são consideradas significativas. Todas as amostras apresentam valores acima da especificação industrial mínima (mín 80 e 190 N/cm² para resistência à tração imediata e para resistência à tração após 24 horas, respectivamente).

Em relação à resistência à tração após 24 horas em câmara úmida, os resultados demonstram que a amostra de areia regenerada apresenta valores superiores à areia de processo e padrão, não estando claras, entretanto, as causas para o comportamento diferenciado desta propriedade.

3.1.2. Vida de Banca

Considerando-se os valores de resistência à tração imediata no tempo zero como critério para definição da vida de banca, observa-se através dos resultados da figura 4, que as misturas preparadas com amostras de areias de processo e padrão possuem comportamentos similares, não apresentando perdas significativas de resistência no período de 2 horas.

A amostra de areia regenerada apresenta diminuição muito mais rápida das características de vida de banca, observando-se perdas de resistência mecânica da ordem de 40% - em relação à resistência inicial - após 2 horas da preparação da mistura.

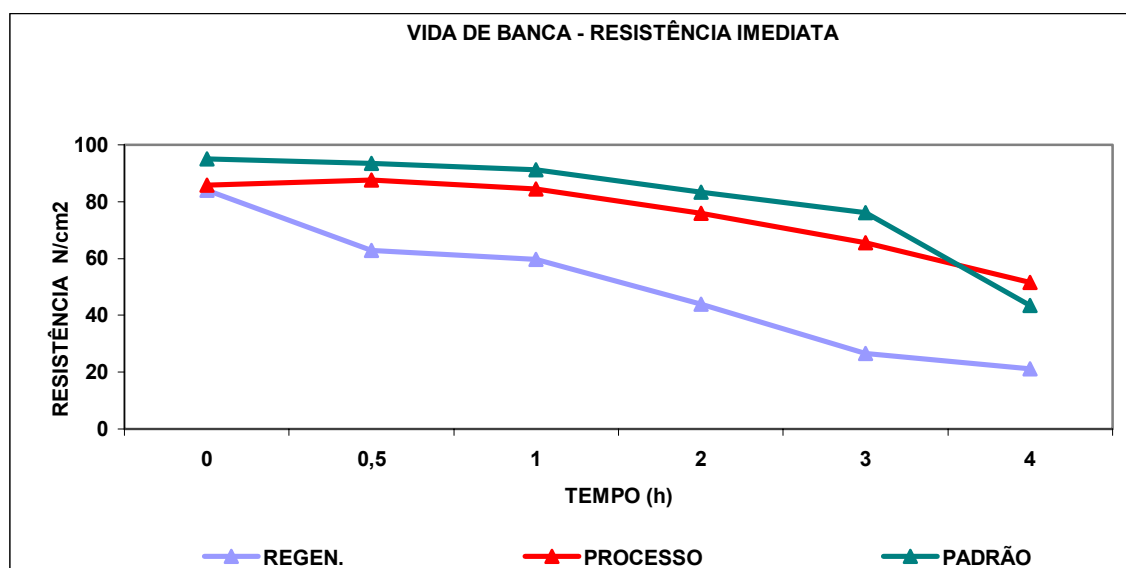


Figura 4. Resultados de vida de banca obtidos.

Adotando-se outro critério para definição da vida de banca, como por exemplo, uma redução máxima de 30% da resistência inicial (tempo zero), observa-se que a areia regenerada apresentaria uma vida de banca de aproximadamente 1 hora contra aproximadamente 3,5 horas das areias de processo e padrão.

Em suma, pode-se afirmar que as propriedades de resistência à tração imediata, após 24 horas e após 24 horas em câmara úmida da areia regenerada não foram afetadas significativamente, observado pelos resultados das propriedades mecânicas similares aos da areia de processo. Verifica-se, porém, que as características de vida de banca da areia regenerada foram afetadas de forma negativa enquanto que as areias novas (processo e padrão) possuem tendências similares.

3.2. Resultados Analíticos

3.2.1. Teor de umidade

A umidade da areia constitui uma variável de grande importância para o desempenho do sistema ligante Caixa Fria, sendo prejudicial em função da reação indesejada com o isocianato, impactando negativamente nas propriedades mecânicas e vida de banca.

Através da figura 5, observa-se que a areia regenerada e a areia padrão apresentam resultados iguais entre si e inferiores aos resultados da areia de processo, comparando-se tanto ao seu histórico, como à amostra analisada.

Todas as amostras apresentam-se com teores de umidade bem abaixo do limite máximo de especificação (0,1%) e em função dos resultados, tal característica não pode ser considerada como uma variável que influenciaria nos resultados das propriedades tecnológicas do material regenerado.

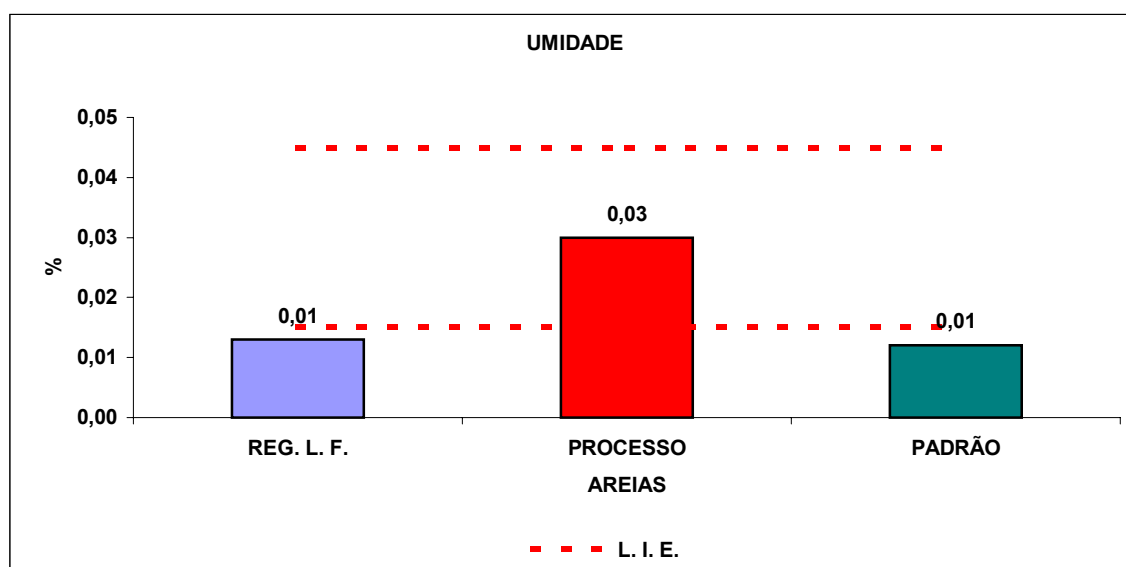


Figura 5. Resultados de umidade das amostras de areia avaliadas.

O teor de umidade da areia regenerada inferior aos das areias novas – processo e padrão – é característico do processo térmico aplicado – calcinação - e consiste em uma informação utilizada na avaliação do processo de secagem do material regenerado.

3.2.2. Perda ao fogo

Para avaliação desta característica, foram ensaiadas as amostras das areias-base, bem como dos resíduos de macho (antes da regeneração) e da areia em processo de regeneração, após o destorroador.

O resultado de perda ao fogo da areia regenerada, apresentado na figura 6, demonstra que a regeneração térmica promove a redução dos teores de materiais carbonáceos da areia de macharia a valores inferiores aos da areia de processo e padrão.

Observa-se que os valores dos machos Caixa Fria e da areia destorroada são praticamente iguais, o que evidencia a elevada presença de material orgânico, neste caso, predominantemente, o filme de resina.

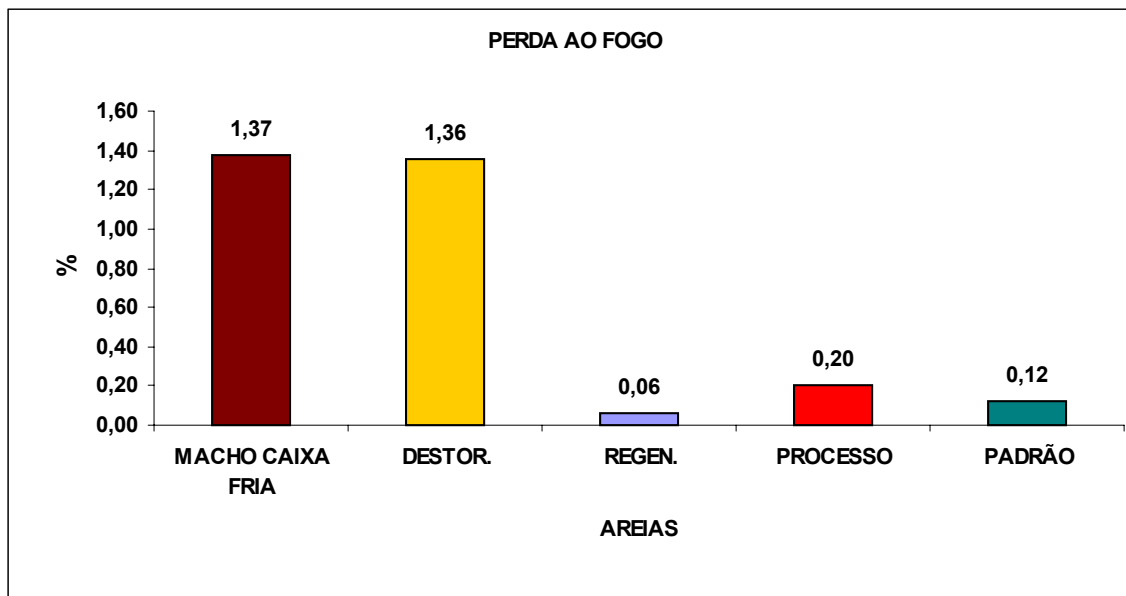


Figura 6. Resultados de perda ao fogo das amostras de areia avaliadas.

Tal afirmação pode ser complementada através das figuras 7 e 8, as quais apresentam as regiões de ligação da resina-grão quebradas pela ação mecânica das peneiras vibratórias, a presença de pequenas partículas aderidas à camada superficial de resina da amostra de areia destorroada e a presença da capa de resina.

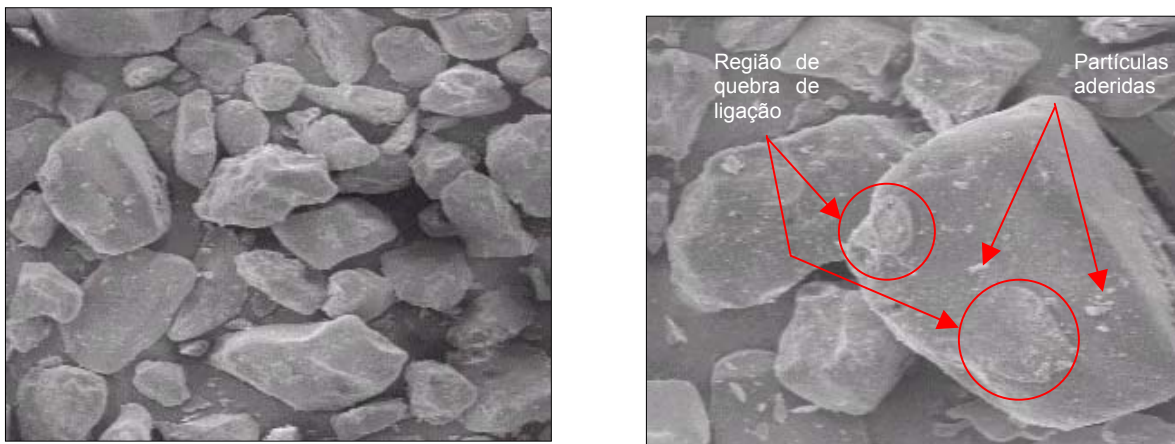


Figura 7. Morfologia e aspecto superficial de amostra de areia destorroada apresentando as regiões de quebra de ligação resina-grão e presença de partículas aderidas à superfície. Aumentos de (a) 150X e (b) 350X.

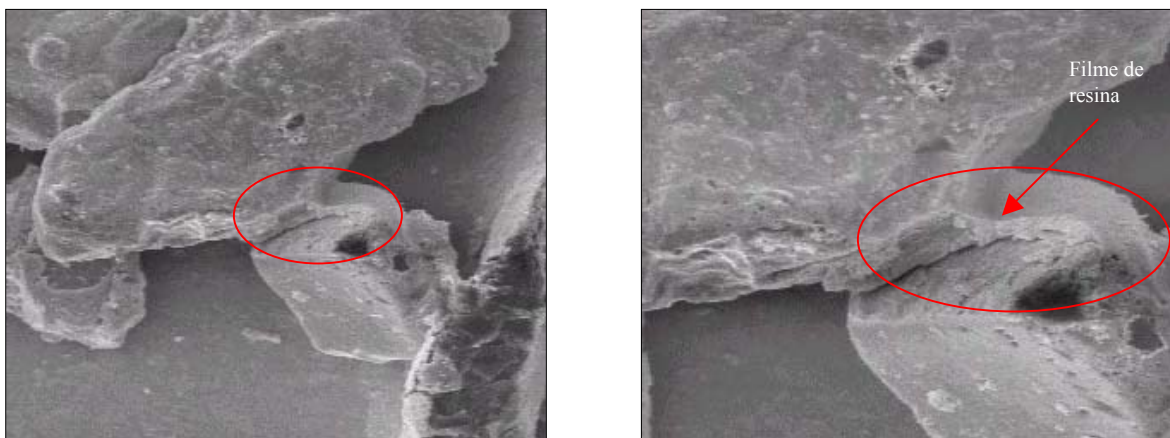


Figura 8. Aspecto superficial da amostra de areia destorroada apresentando a camada de resina não removida com aumentos de 500 X (a) e 1000 X (b).

Os resultados de perda ao fogo das areias regeneradas evidenciam teores de materiais carbonáceos inferiores aos da areia base nova de processo e padrão, confirmando a remoção eficiente da camada de resina bem como de outras impurezas orgânicas. Conforme mostram os números abaixo, a eficiência de remoção de material orgânico foi de 96%.

$$\text{Eficiência (\%)} = 100 \times (\text{PF}_u - \text{PF}_r) / \text{PF}_u = 96 \% \quad (1)$$

onde:

PF = perda ao fogo

u = areia usada

r = areia regenerada

Os valores de perda ao fogo da areia destorroada e dos machos a regenerar demonstram que somente a operação de destorroamento não remove a capa de resina que envolve os grãos, atuando somente na quebra das ligações entre os mesmos.

3.2.3. Características granulométricas

A figura 9 reúne os resultados das características granulométricas determinadas nas amostras em estudo. A avaliação das características em relação ao histórico de fornecimento da areia de processo foi aplicada para a argila AFS, módulo de finura AFS e teor de finos, em função da existência de dados históricos.

Observa-se que a areia regenerada possui o menor teor de argila AFS entre os materiais em estudo, porém todas as amostras pertencem ao intervalo estatístico do histórico de fornecimento da areia de processo.

Através dos resultados do módulo de finura verifica-se que a amostra de areia regenerada possui valor superior à areia de processo, tanto em relação à amostra em estudo como ao intervalo de confiança do histórico de fornecimento e apresenta-se com resultados similares à areia padrão. A areia de processo apresenta o menor módulo de

finura entre os materiais estudados, pertencente ao intervalo estatístico da média de seu histórico.

Os resultados do teor de finos (% retido nas 2 últimas peneiras e prato) demonstram que a areia regenerada possui maior quantidade de partículas finas quando comparada à amostra de areia de processo estudada e seu histórico.

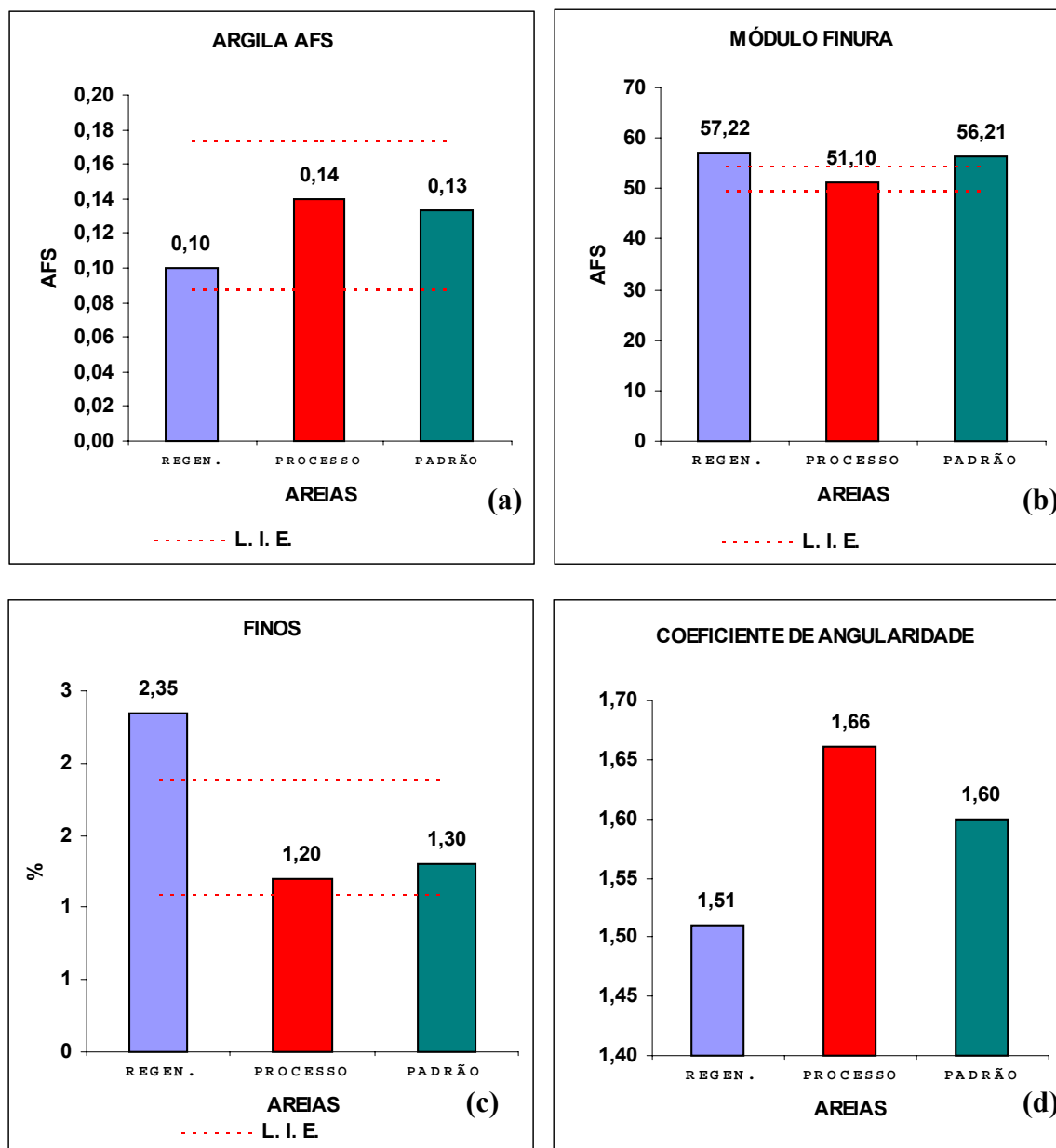


Figura 9. Características granulométricas das areias em estudo.

Em relação ao coeficiente de angularidade, a areia de processo possui o maior coeficiente entre as amostras sendo classificada como uma areia composta por grãos angulares por possuir o coeficiente maior que 1,65. A areia regenerada e a areia padrão

são classificadas como sub-angulares por possuírem valores inferiores a 1,65 e superiores a 1,25.

Mediante caracterização realizada através de microscopia eletrônica de varredura, observa-se pelas figuras 10 e 11 que os grãos de areia regenerada possuem suas extremidades desgastadas e arredondadas (grãos sub-angulares) pela atrição sofrida nas etapas de processamento, enquanto que a areia de processo apresenta cantos vivos e irregulares (grãos angulares).

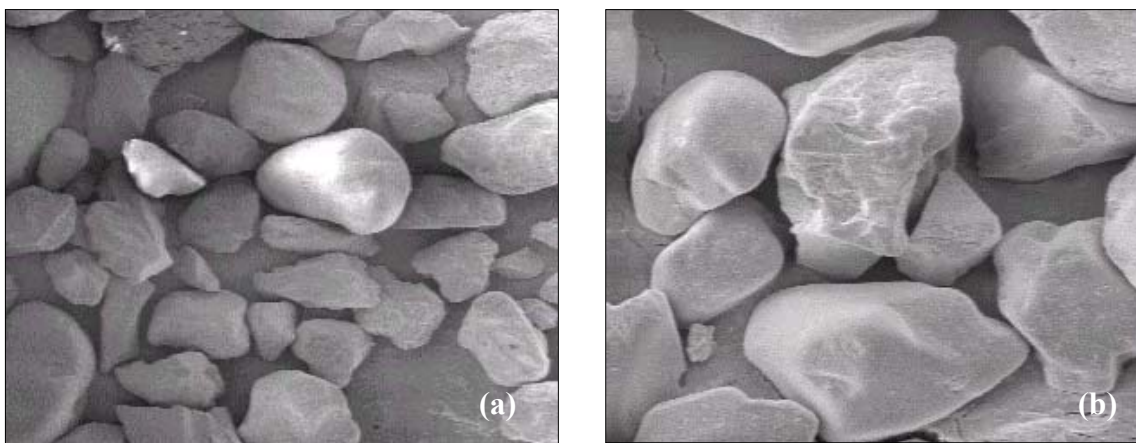


Figura 10. Morfologia de amostra de areia regenerada com aumentos de (a) 150X e (b) 350X.

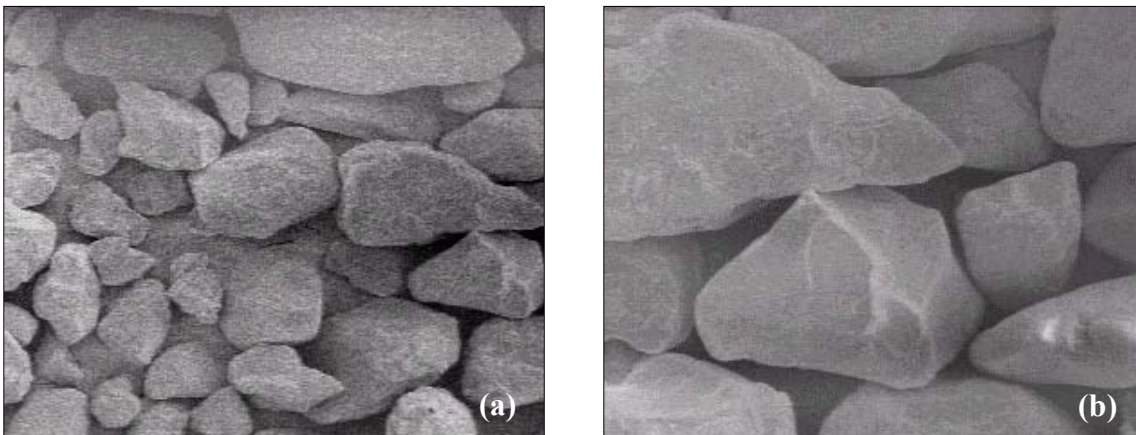


Figura 11. Morfologia de amostra de areia de processo com aumentos de (a) 150X e (b) 350X.

Desta forma, através dos resultados granulométricos, observa-se que a amostra de areia regenerada apresenta teor de finos superior às areias novas, resultado das etapas de atrição presente no processo de regeneração térmica aplicado.

Tais características granulométricas são função direta da intensidade da ação mecânica aplicada aos grãos bem como da eficiência do sistema de classificação das plantas regeneradoras. A influência do processo mecânico aplicado pode ser observada pelos resultados dos coeficientes de angularidade, demonstrando a

transformação de grãos angulares (areia de processo) para grãos sub-angulares (areias regeneradas).

3.2.4. Demanda ácida

Observa-se através da figura 12 que a amostra de areia regenerada possui valor mais alto de demanda ácida pH 2 quando comparada com as areias de processo e padrão, apresentando seu resultado pertencente ao intervalo estatístico do histórico da areia de processo para a demanda ácida pH 2. Para a demanda ácida pH 6, a amostra de areia regenerada apresenta-se com valores superiores à amostra de areia de processo estudada, bem como seu histórico.

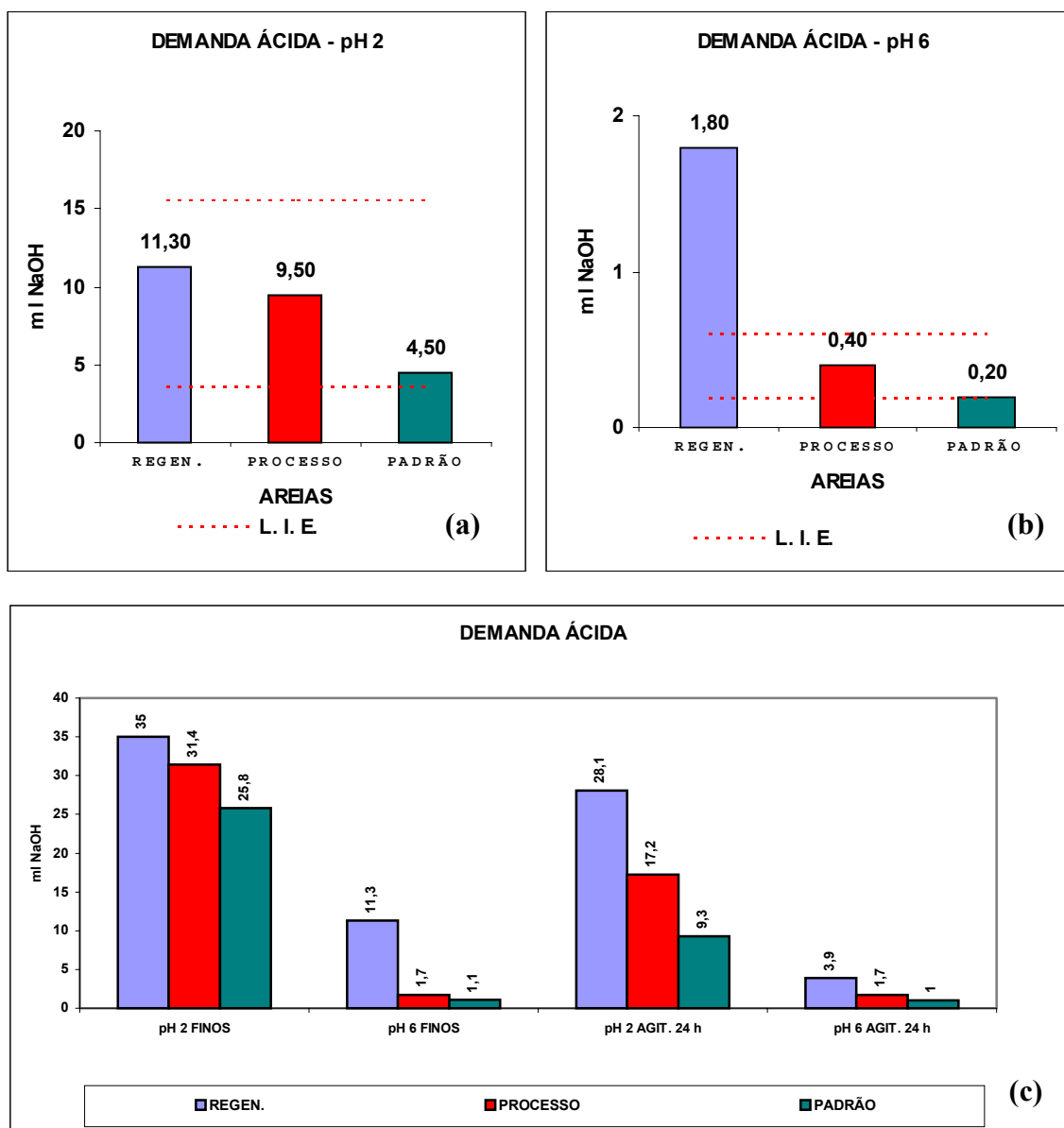


Figura 12. Resultados de demanda ácida das amostras de areias avaliadas.

A mesma tendência é observada nos resultados dos ensaios aplicados à fração fina das amostras de areia regenerada e de processo bem como para os ensaios aplicados com 24 horas de agitação em meio ácido.

Através dos valores de demanda ácida, verifica-se que a areia regenerada possui maior quantidade de material alcalino do que as amostras de areias novas, apresentando, conseqüentemente, maior reatividade em relação ao sistema ligante Caixa Fria fenólico uretânico.

Os valores superiores de demanda ácida da areia regenerada estão relacionados à quantidade, características granulométricas e químicas das partículas finas contaminantes presentes na areia. Os resultados demonstram que a maior reatividade/valor de demanda ácida está concentrada na fração fina do material, a qual tende a acumular os contaminantes da areia-base. Este aspecto foi investigado em maiores detalhes e é apresentado a seguir.

3.2.5. Composição química superficial

Através da figura 13, observa-se que os resultados da análise química superficial da amostra de areia regenerada indicam a existência de uma maior quantidade de impurezas químicas típicas, citadas pela literatura (óxidos alcalinos), quando comparados com os valores da areia de processo, com exceção do Na_2O , o qual é superior na areia de processo.

A presença dos contaminantes de natureza básica, os óxidos alcalinos CaO , MgO , K_2O e Na_2O , está diretamente relacionada aos resultados de demanda ácida determinados na areia-base e comentados anteriormente.

Observa-se que a areia regenerada apresenta maiores teores de óxidos básicos formados por elementos alcalinos - K_2O - e alcalinos terrosos - CaO e MgO - quando comparadas à areia de processo.

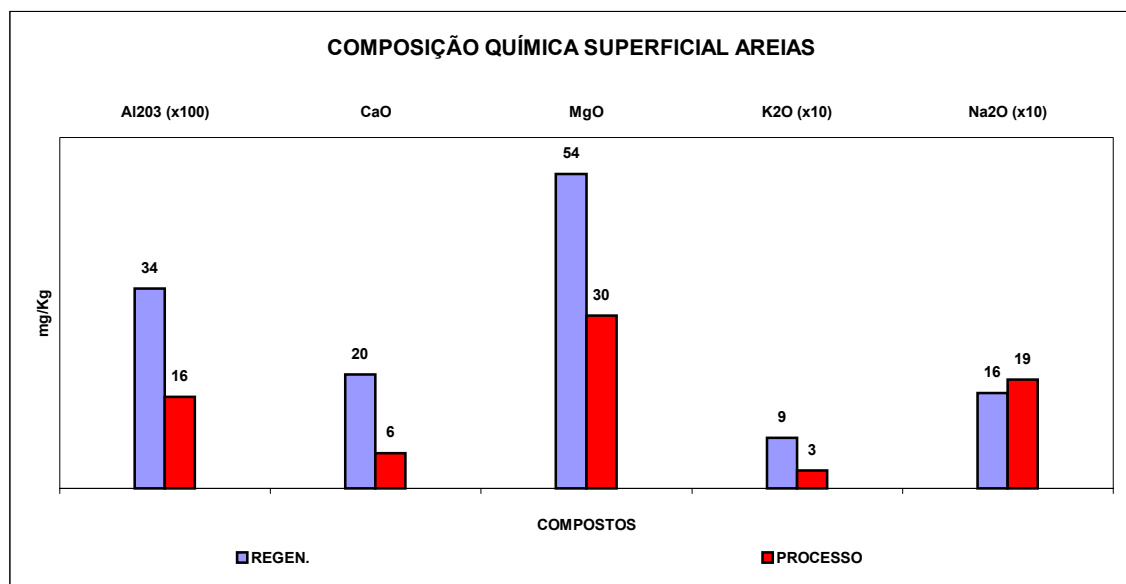


Figura 13. Resultados de composição química superficial das amostras de areias avaliadas (a análise química foi realizada no material presente na superfície da amostra, solubilizado mediante lavagem ácida da areia).

Os compostos acima citados são considerados como os principais contaminantes alcalinos do processo Caixa Fria, influenciando diretamente no mecanismo de cura do sistema ligante, refletindo na diminuição das propriedades de vida de banca.

O composto Al_2O_3 é classificado como um óxido anfótero, apresentando comportamento de óxido ácido na presença de bases e de óxido básico na presença de ácidos [8]. Como no ensaio de demanda ácida a areia é agitada em meio ácido, supõe-se que o Al_2O_3 adquira comportamento básico e é identificado como um material alcalino sendo determinado qualitativamente pelos valores de demanda ácida.

A resina fenólica bem como o isocianato são líquidos extremamente ácidos, fazendo com que o composto Al_2O_3 assuma comportamento básico reagindo com a mistura de resinas e influenciando negativamente no mecanismo de cura de forma similar aos óxidos citados anteriormente.

Identificada a presença dos contaminantes e seu mecanismo de atuação, a origem dos mesmos torna-se outra questão a ser compreendida. As fontes possíveis de contaminação estão relacionadas aos aditivos do sistema ligante, resinas, catalisadores residuais, colas e tintas.

Verificou-se que as tintas aplicadas aos machos podem representar importante fonte de contaminação da areia regenerada. A figura 14 apresenta informações sobre a composição química de uma das tintas empregadas na macharia da Tupy Fundições. Esta tinta constitui um material que apresenta os compostos identificados na análise química superficial da areias regenerada, com exceção do Na_2O .

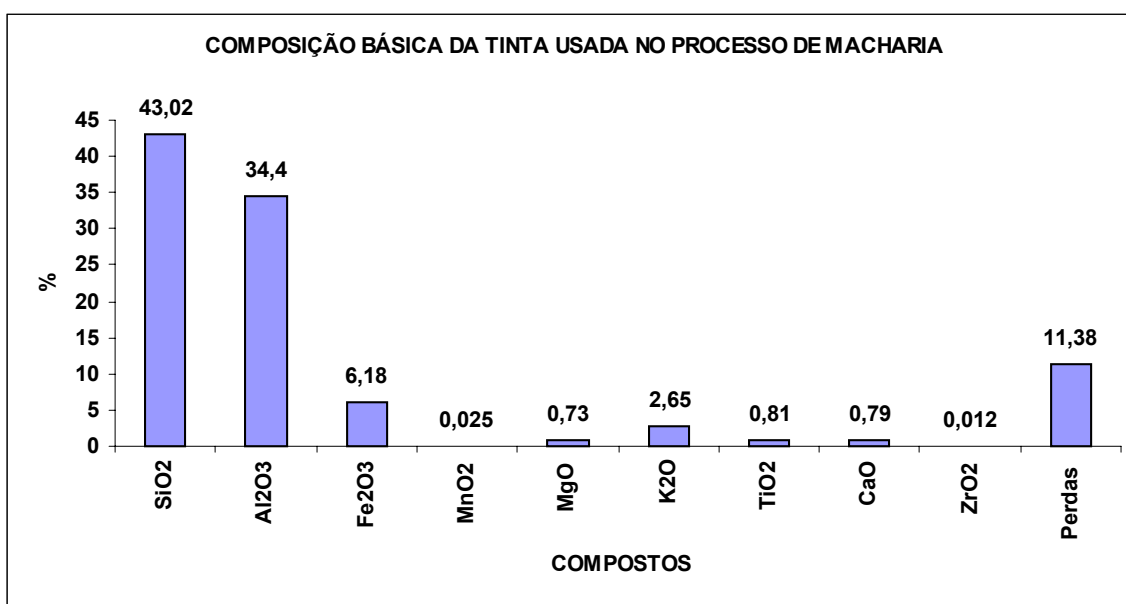


Figura 14. Composição química típica de tinta utilizada no acabamento de machos.

A presença de Na_2O na areia de processo em maior quantidade que a areia regenerada via leito fluidizado demonstra que a jazida da areia-base possui a presença do mesmo, ocorrendo de forma natural.

O efeito da presença das partículas contaminantes pode ser combatido através da eliminação gradual dos finos mediante otimização do sistema de exaustão ou através da diluição com areia nova, a qual deve ser evitada, objetivando redução de custos. Desta forma, verifica-se que os sistemas de classificação e exaustão de uma planta regeneradora consistem em equipamentos e operações tão importantes e vitais quanto o próprio sistema de calcinação aplicado.

3.3. Comentários Finais

Resumidamente, pode-se afirmar através dos resultados comentados anteriormente, que a areia regenerada possui diferentes características granulométricas e químicas, as quais não afetam significativamente as propriedades mecânicas de machos com gasagem imediata após mistura, porém possuem forte influência nas propriedades de vida de banca da mistura.

O efeito da reatividade está relacionado à existência de uma maior fração de finos na amostra de areia regenerada, parcela esta que tende a acumular os materiais contaminantes. Quanto menor a granulometria do material contaminante, maior a área superficial de contato e maior a reatividade da areia em relação ao sistema ligante.

Além da reatividade, em função da granulometria, a presença de compostos alcalinos, demonstrados pelos resultados da análise química, confirmam e justificam valores de demanda ácida superiores à areia de processo, acelerando e interferindo no processo de cura do sistema ligante e afetando negativamente as propriedades de vida de banca.

As características granulométricas e químicas diferenciadas são função do processo de regeneração aplicado. Obviamente, o sistema calcinador consiste em uma etapa de extrema importância para a eficiência do processo de regeneração térmico a ser aplicado, porém as etapas de classificação e exaustão são de igual importância para a definição das características físico-químicas do material regenerado.

O sistema térmico aplicado no estudo possui eficiência para a remoção da camada orgânica que recobre os grãos, demonstrada pelos resultados de perda ao fogo entre as amostras de areias destorroadas e termo-regeneradas. Entretanto, os resultados granulométricos demonstram a ineficiência dos sistemas para a classificação e remoção da parcela indesejada de material fino, a qual demonstrou ser a fonte de contaminantes dos sistemas estudados, influenciando no desempenho das propriedades de vida de banca e demonstrando a importância vital dos sistemas de peneiramento e exaustão.

A areia regenerada termicamente na planta da Tupy Fundições tem sido reaplicada na fabricação de machos Caixa Fria à proporção de 100%, não observando-se efeito negativo no processo de macharia e de vazamento, conforme apresentado por Masiero e Silva [7]. Neste caso a vida de banca não é um aspecto crítico, já que empregam-se misturadores contínuos, acionados por sensores de volume no silo da máquina, preparando-se a quantidade de areia correspondente a um sopro, sendo a capacidade do silo igual a três sopros.

4. CONCLUSÃO

Considerando-se que o objetivo inicial do trabalho consistia na avaliação do comportamento de religação da areia regenerada e estudo das características de influência da areia base, as conclusões obtidas podem ser resumidas conforme segue:

- As etapas de atrição dos sistemas de regeneração fragmentam e desgastam os grãos de areia promovendo o arredondamento dos mesmos;
- O desgaste dos grãos proporciona a geração de uma maior quantidade de partículas finas ao produto regenerado, as quais estão associadas à intensidade da ação mecânica aplicada e à eficiência do sistema de exaustão da planta regeneradora;
- A fração fina das amostras tende a acumular os contaminantes, os quais são constituídas por pequenas partículas e apresentam valores elevados de área superficial com conseqüente maior reatividade;
- A fração contaminante do material estudado possui a presença de óxidos alcalinos não removidos durante o processo de exaustão, os quais atuam de forma negativa no mecanismo de cura do sistema ligante;
- As tintas refratárias constituem uma provável fonte de partículas finas de caráter alcalino, as quais, por serem refratárias, não são eliminadas através do processo de calcinação. Dependendo da eficiência de exaustão, não são totalmente removidas após combustão e permanecem como contaminantes na areia regenerada;
- As propriedades tecnológicas – resistência à tração imediata, após 24 horas e após 24 horas em câmara úmida - não demonstraram terem sido significativamente influenciadas pelas características das areias-base regeneradas;
- As propriedades de vida de banca foram afetadas negativamente em função da reatividade da areia-base regenerada, identificada pelos elevados valores de demanda ácida;
- O processo térmico de regeneração utilizado possui grande eficiência de calcinação, gerando material com teores de carga orgânica inferiores à areia nova;
- O sistema regenerador aplicado produz areia com grau de pureza considerado adequado, possuindo um baixo nível de contaminantes e apresentando características adequadas para a reutilização.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. THE CASTINGS DEVELOPMENT CENTRE. Sand reclamation – Techniques and equipment. Birmingham: The castings Development Centre, Broadsheet 348, 2000.
2. GOOD, G. Thermal sand reclamation joins foundry and supplier skills. **Modern Casting**, v. 81, n. 7, jul. 1991, p. 27-29.

3. MARIOTTO, C. L. Regeneração de areias: uma tentativa de discussão temática. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., 1998.
4. FERNANDES, D. L. Areias de fundição aglomeradas com ligantes furânicos. Itaúna: SENAI-DR.MG, 2001.
5. AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY. Chemically bonded cores and molds. An operator's manual for the use of chemically bonded, self-setting sand mixtures, 1987.
6. ARCHIBALD, J., CAREY, P. Part X - The Phenolic Urethane Amine Cold Box System. **Foundry Management & Technology**, mar. 1995, p. 53-58.
7. MASIERO, I., SILVA, R. C. Regeneração térmica de areia na Tupy Fundições. Trabalho apresentado no Congresso Internacional de Tecnologia – CINTEC/METALURGIA 2002. Joinville, set. 2002.
8. SARDELLA, A., MATEUS, E. **Curso de Química. Química Geral**, 21^a ed. São Paulo, Ática S.A., v. 1, 1995, p. 262-296.