

Artigo

Influência de diferentes proporções de areia recuperada nas propriedades dos moldes e no acabamento superficial do fundido através da relação metal-molde

Gava, G.P.^{1*}, Campos, D.D.P.², Faraco, M.N.S³ e Castro, R.M⁴.

¹ Engenharia Química, UNISATC, Criciúma – SC, Brasil; gpggava@hotmail.com

² Engenharia Química, UNISATC, Criciúma – SC, Brasil; debora.campos@satc.edu.br

³ Engenharia Química, UNISATC, Criciúma – SC, Brasil; morgana.sartor@satc.edu.br

⁴ Engenharia Mecânica, UNISATC, Criciúma – SC, Brasil; richard.castro@satc.edu.br

*Correspondência: gpggava@hotmail.com

*Recebido: 23/12/2022; Aceito: 03/07/2023; Publicado: 08/09/2023

Resumo: A utilização de aglomerantes químicos na areia para a produção dos moldes para peças de fundição altera de forma significativa as características dos grãos e molde de fundição. O descarte da areia contaminada por aglomerante químico gera problemas ambientais e a sua reutilização pode amenizar tais problemas e reduzir custos de fabricação. Dessa forma a indústria desenvolveu técnicas de regeneração e recuperação de areia para atenuar tais mudanças e remover parte dos contaminantes. A partir disso, buscou-se relacionar as melhores propriedades de diferentes misturas visando um melhor acabamento aliado a diminuição do descarte de areia contaminada com aglomerante químico. Foi realizada a caracterização das proporções de areia utilizadas nas amostragens a partir das análises de teor de umidade, teor de perda ao fogo, pH, distribuição granulométrica, módulo de finura e teor de finos. A avaliação do acabamento superficial do fundido ocorreu de maneira qualitativa, de forma a observar o conjunto e irregularidades presente na superfície e através de ensaio de rugosidade. Obteve-se defeitos superficiais qualitativos em relação a amostra fundida com 50% de areia recuperada por conta do pH fora do padrão estabelecido. Foi observado a possibilidade de utilizar até 75% de areia recuperada no processo de moldagem sem uma influência significativa no desempenho para as amostras testadas.

Palavras-chave: areia de fundição; caracterização da areia; acabamento superficial; rugosidade.

1. Introdução

O processo de fundição é compreendido como o derramamento de uma determinada liga metálica líquida no interior de um molde, cujo formato é equivalente ao negativo da peça fundida em questão (SOUZA; BALDUINO, 2018).

Na confecção dos moldes e machos, são utilizadas, geralmente, três tipos de matérias primas: areia base, ligantes e produtos de adição. Além do fator técnico, são ponderadas as questões econômicas relacionadas (BALDAM; VIEIRA, 2014).

Em virtude da utilização de aglomerantes químicos na areia para a produção dos moldes há um aumento do tamanho dos grãos, isso ocorre em detrimento de o ligante utilizado aderir parte dos grãos mais finos aos grãos maiores (SILVA; et al, 2012). Isso influencia diretamente nas características dos moldes, demandando uma quantidade maior de aglomerante (PEREIRA; SOUZA; BRAGA, 2017).

A empresa onde foram realizados os estudos realiza o descarte em aterros especializados.

O estudo é interessante também, tanto a partir de um fator econômico, quanto ecológico, já que reutilização ou o reaproveitamento é recurso fundamental para se atingir a sustentabilidade. Visto que o descarte da areia contaminada por aglomerante químico em aterros gera problemas ambientais e a sua reutilização pode amenizar tais problemas e reduzir custos de fabricação. O mesmo ocorre para a redução dos danos ambientais associados à extração de areia nova (SILVA; et al, 2012).

A indústria de fundição desenvolveu técnicas de regeneração e recuperação de areia. A empresa em estudo, possui um sistema de recuperação mecânica de areia que consiste no destorroamento, remoção de resíduos metálicos, desencapamento e filtragem dos finos gerados na etapa anterior. Entretanto, o processo de recuperação mecânica apresenta limitações decorrentes da sua eficiência (SOUZA; SANTICIOLLI, 2021).

Portanto, há um aumento gradual no percentual de finos e aglomerantes orgânicos nos grãos conforme os ciclos de areia, estes, por sua vez, influenciam nas características do molde e no acabamento do material.

Com o aumento dos finos há uma queda na resistência a tração do molde, dessa forma, as características da areia utilizada estão diretamente ligadas às propriedades finais dos moldes. Quanto maior o teor de finos, maior a área superficial ocupada havendo um aumento da necessidade de aglomerante e geração de gases que podem danificar os moldes prejudicando a qualidade das peças (PEREIRA; SOUZA; BRAGA, 2017).

Teve-se como objetivo, verificar a influência das características de diferentes proporções de areia nova e recuperada nas propriedades dos moldes produzidos a serem utilizados no vazamento e a relação metal-molde na qualidade do acabamento superficial das peças fundidas.

Dessa maneira o presente estudo visou avaliar e caracterizar a proporções de areia utilizadas nos moldes de fundição, visando a diminuição do descarte de areia aliado a um controle dos finos presentes no processo de moldagem e análise do acabamento superficial das peças produzidas.

2. Materiais e Métodos

O estudo foi realizado em duas etapas, uma constituída de ensaios laboratoriais para caracterização das propriedades das proporções de areia e outra de avaliação qualitativa, de forma visual, do acabamento superficial do fundido e avaliação quantitativa através do ensaio de rugosidade.

Foi realizada uma análise dos moldes e caracterização da mistura de areia recuperada para as proporções de 100, 75, 50, 25% e somente areia nova conforme sugestão da empresa para avaliar o comportamento dos diferentes teores. O procedimento experimental para cada proporção de areia utilizada seguiu o mesmo sequenciamento de etapas dispostas na Figura 1.

Todos os ensaios, com exceção da rugosidade, foram realizados na empresa em estudo.

A coleta das amostras foi realizada na entrada de areia do misturador de resina com o auxílio de um recipiente coletor. Para cada amostra foram coletadas 250 g de areia.

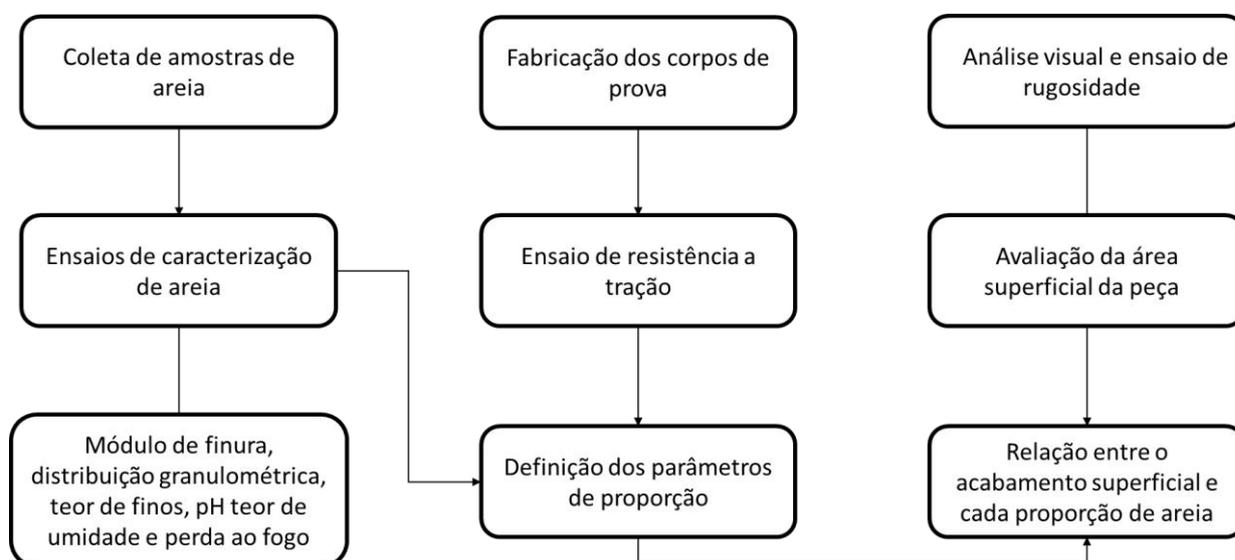


Figura 1. Etapas do procedimento experimental.

2.1. Caracterização da Areia

Para a realização dos ensaios de caracterização da areia foram adotadas as normas da CEMP sugeridas pela ABIFA. Entretanto alguns testes foram adaptados conforme procedimentos internos da empresa.

2.1.1. Módulo de Finura, Distribuição Granulométrica e Teor de Finos

Os ensaios de distribuição granulométrica, teor de finos e módulo de finura foram realizados com as peneiras da TecnoFound de modelo JP, seguindo as séries das malhas da ABNT conforme expresso na norma da CEMP 081. O agitador de peneiras utilizado foi fornecido pela SoloTest e a balança analítica foi a Bel de precisão L-0,001g.

Na Tabela 1 estão contidos os parâmetros envolvidos para os ensaios de módulo de finura, distribuição granulométrica e teor de finos.

Tabela 1. Parâmetros para o ensaio de módulo de finura, distribuição granulométrica e teor de finos.

Peso de areia (g)	Número de peneiras	Tempo de peneiramento (min)	Frequência programada (Hz)
100	11	15	12

Para o procedimento experimental do ensaio de granulometria, teve-se como base as normas NBR NM 248 e CEMP 081 para determinação da composição granulométrica, entretanto a empresa adota procedimentos internos:

- Após a coleta, foram separadas 100 g da amostra em um recipiente;
- Depositou-se a quantia previamente pesada sobre a peneira superior do conjunto de 11 peneiras sobrepostas em ordem decrescente de número de malha (6, 12, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 140, 200, 270 mesh) mais o prato;
- Colocou-se a tampa e fixar o conjunto no agitador;
- Foi peneirado por um tempo de 15 minutos a uma frequência programada, selecionada no agitador, de 12 Hz;
- Após o tempo previsto o conjunto foi removido e foi pesado o material retido de cada peneira tomando nota dos valores em gramas.

Os cálculos do módulo de finura e teor de finos foram realizados conforme a norma CEMP 081.

2.1.2. Teor de Umidade

O método de determinação de umidade tem como base a norma CEMP 105 adaptada aos procedimentos internos da empresa e seguiu as etapas dispostas em tópicos:

- Foram pesados $3 \text{ g} \pm 0,02 \text{ g}$ da amostra em um recipiente previamente tarado e tomou-se nota;
- Secou-se a amostra em estufa (FANEM, modelo 315 SE) a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ por 1 hora;
- Após o tempo previsto a amostra foi retirada da estufa e depositada em dessecador para esfriar até a temperatura ambiente.
- Pesou-se a areia após resfriamento.

Os cálculos do teor de umidade foram realizados conforme a norma CEMP 105.

Na Tabela 2 estão contidos os parâmetros envolvidos para o ensaio de teor de umidade.

Tabela 2. Parâmetros para o ensaio de teor de umidade.

Peso de areia (g)	Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Tempo (h)
$3 \pm 0,02$	105 ± 5	1

2.1.3. Perda ao Fogo

O método de determinação da perda ao fogo teve como base a norma CEMP 120 adaptada aos procedimentos internos da Empresa e seguiu as etapas dispostas nos tópicos subsequentes.

- Pesou-se $3 \text{ g} \pm 0,02$ da amostra em um recipiente previamente tarado e tomou-se nota;
- conjunto foi colocado na mufla (Quimis, modelo Q318M), a uma temperatura de 950°C e calcinado até constância mássica. Adotou-se um tempo mínimo de 1 hora;
- conjunto foi esfriado em dessecador;
- Pesou-se a areia após o resfriamento.

Os cálculos da perda ao fogo foram realizados conforme a norma CEMP 120.

Na Tabela 3 estão contidos os parâmetros envolvidos para o ensaio de perda ao fogo.

Tabela 3. Parâmetros para o ensaio de perda ao fogo.

Peso de areia (g)	Temperatura (°C)	Tempo (hr)
3 ± 0,02	950	1

2.1.4. pH

Os ensaios foram realizados conforme a norma CEMP 121 e o pHmetro utilizado para as medições foi o modelo META-210 do fabricante Tecnopon.

2.2. Ensaio de Resistência a Tração

Os moldes dos corpos de prova seguiram as especificações da CEMP E10 sendo referentes ao N 2 B, conforme consta na norma citada.

Os ensaios de tração foram realizados em dois tempos diferentes, sendo eles 2 e 5 horas após a fabricação dos corpos de prova e para cada tempo foram ensaiados 4 corpos de prova.

A tração mínima estabelecida pelo procedimento interno da Empresa é de 80 N/cm² para o período de duas horas após a confecção do corpo de prova, não possuindo um valor máximo como limite.

A fabricação dos copos de prova e os ensaios mecânicos foram realizados conforme a norma CEMP 162 adaptada para os procedimentos da empresa, de forma que a mistura padrão foi coletada na saída do misturador do chão de fábrica e a proporção da mistura padrão aglomerante foi realizada conforme a norma CEMP 155. O formato do corpo de prova padrão utilizado nos ensaios de resistência a tração pode ser observado na Figura 2.



Figura 2. Corpo de prova padronizado.

O aparelho utilizado para medir o valor da tração foi o MRUD do fabricante TecnoFound. Na Tabela 4 estão contidos os parâmetros envolvidos para o ensaio de resistência a tração.

Tabela 4. Parâmetros para o ensaio de resistência a tração.

Períodos de ensaio	Quantidade de corpos de prova	Valor de tração mínima estabelecida
2 horas após fabricação	4	80 N/cm ²
5 horas após fabricação	4	

2.3. Avaliação do Acabamento Superficial do Fundido

A análise do acabamento superficial do fundido foi constituída de avaliações qualitativas (visual) e quantitativas (ensaio de rugosidade) da área superficial da peça, de forma a observar o conjunto de irregularidades presentes e comparar a diferença de rugosidade e imperfeições da peça vazada no molde respectivo a cada proporção de areia com o aglomerante, seguindo os procedimentos internos de controle da empresa.

2.3.1. Ensaio de Rugosidade

Os ensaios referentes a rugosidade do fundido foram realizados na UniSATC, no LAEST, Laboratório de Engenharia da Superfície e Tribologia.

Os ensaios foram realizados conforme as normas (ISO, JIS, ASME ($N + 2 \cdot Lc$)) e o aparelho utilizado foi um rugosímetro de superfície da marca Mahr de modelo MarSurf XR 1, sendo o apalpador o modelo BFW A 4-45-2/90 Ponta pequena e a unidade de avanço DriveUnit.GD 25. O curso de apalpe adotado foi de 5,6 mm para cada corpo fundido em que foram realizadas 6 medições em pontos diferentes e no sentido paralelo à base dos fundidos, como pode ser observado na Figura 3.



Figura 3. Representação dos pontos e sentidos das medições realizadas.

Foi realizado o posicionamento da amostra no rugosímetro e a fixação da mesma, após isso o ensaio foi iniciado. Esse procedimento foi realizado de forma análoga para todas as amostras.

3. Resultados e Discussão

Nesse item serão apresentados todos os resultados obtidos com os testes realizados, bem como uma discussão dos mesmos.

3.1. Caracterização da areia

A fim de facilitar o processo de observação dos resultados, adotou-se nomenclaturas para os teores de areia recuperada utilizados, levando em consideração também o seu complemento de areia nova. Dessa forma 25% de areia recuperada foi nomeado como 25-75, sendo 25% relativo ao teor de areia recuperada e 75 ao percentual de areia nova presente. Essa relação foi utilizada de forma análoga para os demais percentuais de areia recuperada, sendo eles 100%, 75% e 50% e areia nova.

3.1.1. Módulo de Finura, Distribuição Granulométrica e Teor de Finos

Para a simplificação da explanação dos resultados referentes a distribuição granulométrica foi omitido os resultados da peneira número 6, para todas as proporções ensaiadas, devido ao seu percentual retido ter sido igual a zero.

A Figura 4 mostra os resultados dos ensaios de distribuição granulométrica para cada proporção em questão.

A partir da curva média traçada, que faz relação a curva de distribuição normal, faz-se a caracterização da distribuição granulométrica padrão do grão amostrado.

Para todas as proporções parte considerável do percentual de areia ficou retido nas peneiras 50, 70 e 100.

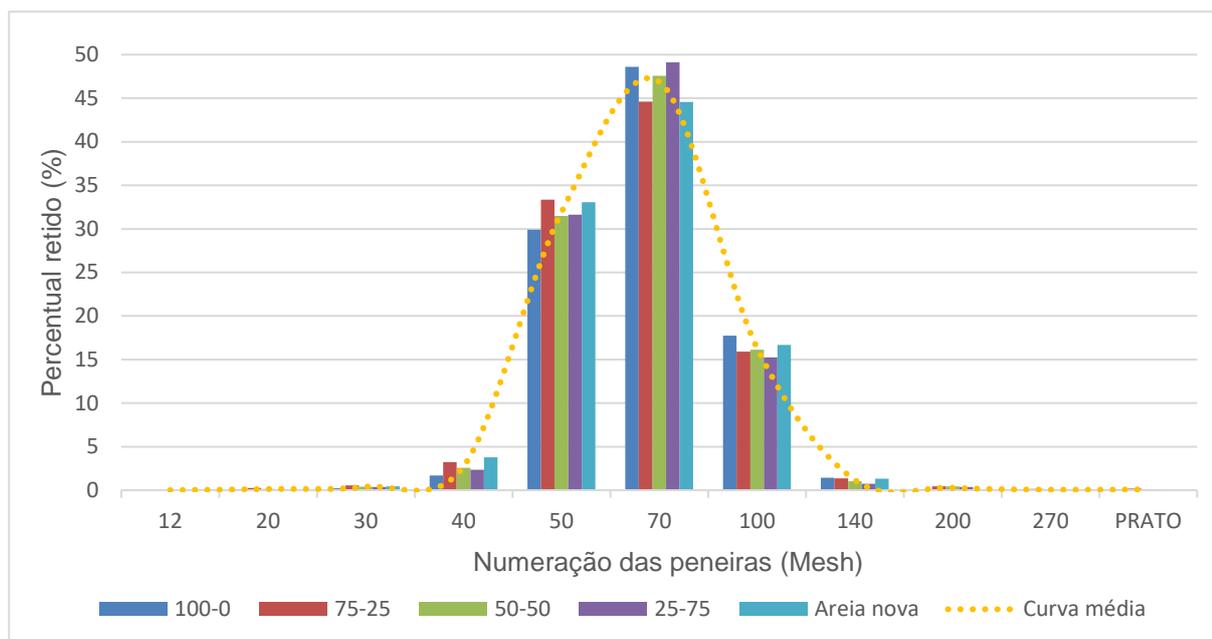


Figura 4. Distribuição granulométrica.

Observou-se que, para a peneira 50 o percentual retido aumentou conforme a presença de areia nova na composição da mistura, exceto para a proporção 75-25 que apresentou uma retenção maior quando comparada às proporções que possuem areia recuperada na composição.

Enquanto na peneira 70, a porcentagem retida aumenta conforme o teor de areia nova, exceto para a proporção 100-0 que apresentou uma retenção maior quando comparada às outras proporções e para a areia nova que apresentou a menor retenção.

Isso deve ter ocorrido por conta dos componentes orgânicos oriundos da contaminação do ligante estarem presentes não apenas nos finos apresentados, mas também aderidos aos grãos maiores da composição granulométrica. Isso ocorre devido o aglomerante químico aderir parte dos das partículas pequenas aos grãos maiores (SILVA; et al, 2012).

Dessa forma, pode haver uma quantidade considerável de material orgânico fino compondo os grãos maiores referentes a retenção da peneira 70 para a proporção 100-0, entretanto a quantidade de finos aderido aos grãos não é considerável para que os mesmos fiquem retidos na peneira 50.

Foi possível observar, também que para a peneira 100 houve uma maior retenção para a proporção 100-0 em relação as demais combinações de areia.

Na peneira 140, foi observado o decréscimo da retenção conforme a diminuição do teor de areia recuperada, entretanto para a areia nova houve uma retenção próxima à dos maiores teores de areia recuperada.

A partir dos dados contidos na Tabela 5, é possível observar os valores de percentual retido para cada peneira, teor de finos e módulo de finura.

Observou-se que os resultados de teor de finos e módulo de finura para os teores de areia ensaiados se situaram dentro das especificações internas.

Com exceção da proporção 100-0, houve um decréscimo no teor de finos de acordo com a diminuição da presença da areia recuperada, o mesmo deve estar relacionado a presença do ligante utilizado na mistura no processo de moldagem.

Tabela 5. Tabela de distribuição granulométrica, módulo de finura e teor de finos das amostras analisadas.

Numeração das peneiras (Mesh)	100-0	75-25	50-50	25-75	Areia nova
12	0,022	0,000	0,005	0,000	0,006
20	0,100	0,250	0,144	0,124	0,065
30	0,231	0,546	0,400	0,355	0,454
40	1,681	3,226	2,587	2,347	3,792

50	29,927	33,360	31,494	31,630	33,062
70	48,591	44,600	47,559	49,126	44,587
100	17,733	15,899	16,115	15,253	16,667
140	1,418	1,343	1,045	0,746	1,320
200	0,129	0,449	0,446	0,352	0,046
270	0,066	0,134	0,076	0,028	0,001
PRATO	0,103	0,193	0,128	0,037	0,000
AFS	51,28	50,69	50,73	50,09	49,81
TEOR DE FINOS (%)	0,298	0,775	0,650	0,417	0,05

Para 100-0 o valor inferior do teor de finos está associado aos grãos menores estarem aderidos aos grãos maiores.

Em relação ao módulo de finura (AFS), seu valor está ligado com as distribuições granulométricas das amostras. Visto que valores do módulo de finura apontam para um maior percentual de grãos pequenos presentes na areia e vice-versa (SOUZA; PASKOCIMAS, 2015). É possível observar que o teor de grãos finos das amostras diminuiu com a redução do teor de areia recuperada presente.

3.1.2. Teor de Umidade

Tem-se, para cada teor de areia analisado, os valores para o teor de umidade dispostos na Tabela 6.

Tabela 6. Teor de umidade.

Mistura de areia	Umidade (%)
100-0	0,016
75-25	0,065
50-50	0,050
25-75	0,099
Areia nova	0,017

Observou-se que os teores de umidade das amostras ensaiadas se situaram dentro das especificações internas abaixo de 0,2 %

3.1.3. Perda ao Fogo

Primeiramente, faz-se uma observação, para as análises dos valores de perda ao fogo, as observações foram realizadas adotando a ótica da contaminação do ligante e presença de materiais orgânicos voláteis representativos ou não do mesmo.

Dito isso, após os ensaios, foi obtido para cada teor de areia, os valores para o teor de perda ao fogo que estão dispostos na Tabela 7.

Tabela 7. Teor de perda ao fogo.

Mistura de areia	Perda ao fogo (%)
100-0	1,146
75-25	1,141
50-50	0,897
25-75	0,396
Areia nova	0,232

Visto que o valor da perda ao fogo se trata do teor referente aos materiais voláteis presentes, os componentes orgânicos, oriundos da contaminação do ligante e da umidade (ABIFA CEMP 120).

Foi possível observar uma queda no valor percentual de material orgânico presente, conforme a diminuição do teor da areia recuperada.

Ao relacionar o valor da perda ao fogo e teor de finos é esperado que 75-25 expresse um valor maior que 100-0, visto que o seu percentual de finos apresentou um maior resultado.

A partir da observação da distribuição granulométrica foi constatado a possibilidade de finos aderidos aos grãos maiores para 100-0, o valor da perda ao fogo confirma isso. Contudo, o percentual partículas aderidas não foi significativo de forma suficiente para passar substancialmente o teor de perda ao fogo de 75-25.

Para as proporções de 50-50, 25-75 e areia nova o valor da perda ao fogo também apresentou diminuição à medida que houve uma subtração do teor da areia recuperada, visto o teor de material orgânico presente na mesma.

3.1.4. pH

Os valores de pH para cada teor de areia analisado estão dispostos na Tabela 8.

Em relação as especificações internas, conforme consta na Tab. 3, para o parâmetro de pH e para as proporções 100-0, 75-25 e 25-75, é possível observar, que os valores do pH se encontraram dentro das especificações, estabelecidas entre 6,8 e 7,8.

Tabela 8. pH das amostras.

Mistura de areia	pH
100-0	7,05
75-25	7,35
50-50	7,92
25-75	7,00
Areia nova	6,33

Em relação 50-50 o valor de pH se encontrou fora do padrão interno. Isso afeta na reatividade da resina e nas propriedades da vida de banca devido a reação do sistema fenólico uretânico com o resíduo alcalino aderido ao grão de areia acarretando em uma baixa compactabilidade e friabilidade do molde, ocasionando defeitos superficiais no fundido (PEREIRA; SOUZA; BRAGA, 2017).

Para a areia nova verificou-se que para a proporção em questão o pH ficou dentro do especificado.

3.2. Ensaio de Resistência a Tração

A diminuição da resistência a tração está relacionada com a quantidade de finos presentes ou também, de forma análoga, com a quantidade de resíduo orgânico referente ao aglomerante químico (PEREIRA; SOUZA; BRAGA, 2017).

Tem-se, para cada teor de areia analisado, os valores resultantes do ensaio de tração na Figura 5.

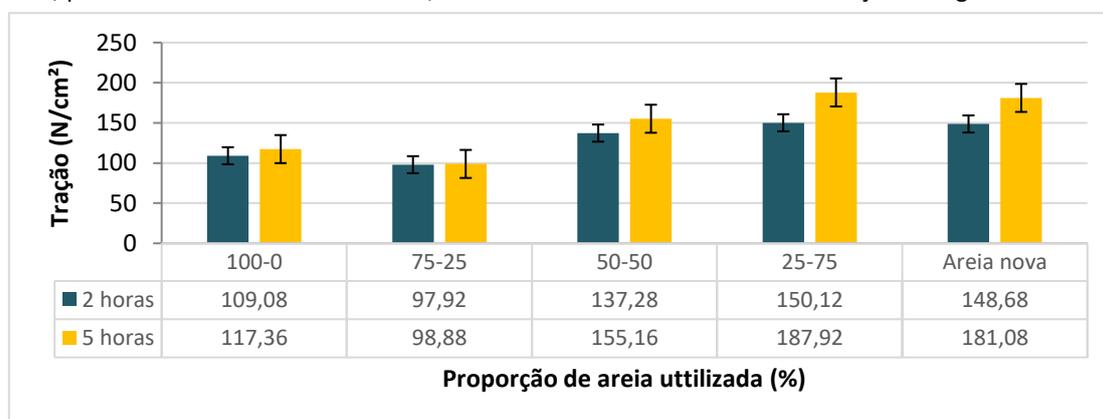


Figura 5. Resistência a tração.

Primeiramente, foi possível observar que para todas as proporções os valores de resistência a tração situaram-se acima do mínimo estabelecido (80 N/cm^2).

A partir dos dados resultantes do ensaio de tração é possível observar que houve um aumento na resistência a tração dos corpos de prova ao comparar os períodos entre os ensaios.

Observa-se uma tendência de diminuição da resistência a tração conforme o aumento da quantidade de areia recuperada na mistura. O mesmo ocorreu com os estudos de Pereira; Souza e Braga (2017), que pode ser observado na Figura 6.

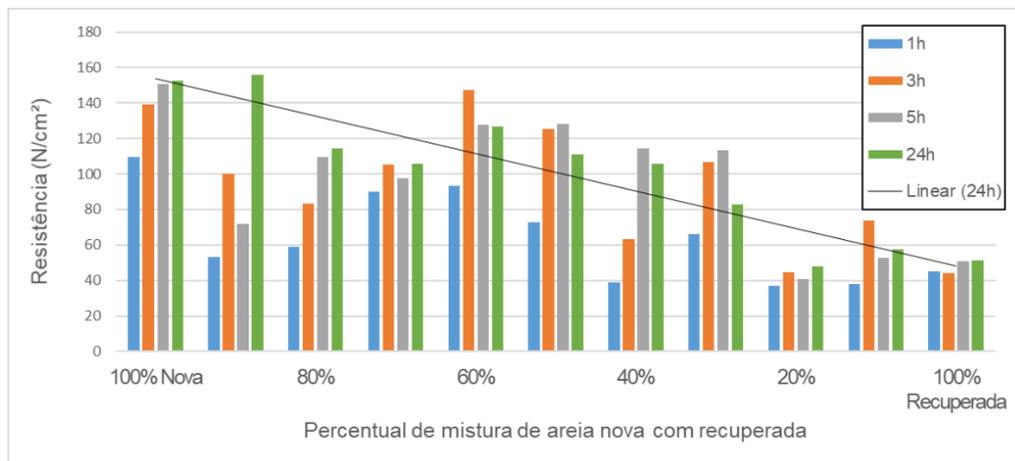


Figura 6. Tendência de diminuição da resistência a tração.

A partir da análise da Figura 6 é perceptível a tendência de diminuição da resistência a tração a partir do aumento do percentual de areia recuperada para o período de 24 horas.

É possível levar em consideração a tendência de diminuição e traçar uma relação entre os dois trabalhos. Visto que o vazamento nos moldes, no lugar de estudo é, majoritariamente, realizado 24 horas após a moldagem.

Embora no presente estudo não tenham sido realizados os ensaios para a tração 24 horas após a fabricação dos corpos de prova, visto que segundo Pereira, Souza e Braga (2017) tal valor não apresenta um crescimento significativo após 5 horas após a moldagem.

3.3. Avaliação do Acabamento Superficial do Fundido

A partir das amostras fundidas torna-se possível a verificação do acabamento superficial. Na Figura 7 estão os fundidos representativos referentes às proporções totais, areia nova e recuperada (100-0).

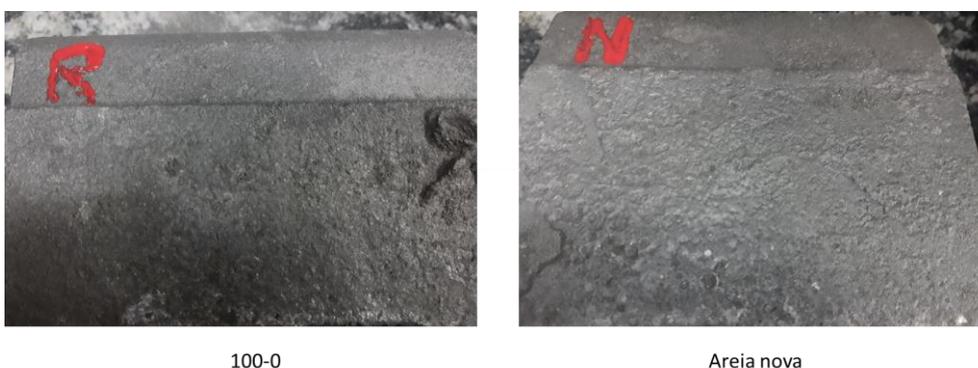


Figura 7. Fundidos com moldes compostos com proporções 100-0 e areia nova.

Na análise do fundido vazado nos moldes respectivos aos teores máximos de areia não foram observados sinais superficiais significativos ao acabamento, apenas irregularidades de característica rugosa mais evidente para 100-0 em relação a areia nova.

Na Fig. 8 estão os fundidos representativos referentes a proporção 50-50.

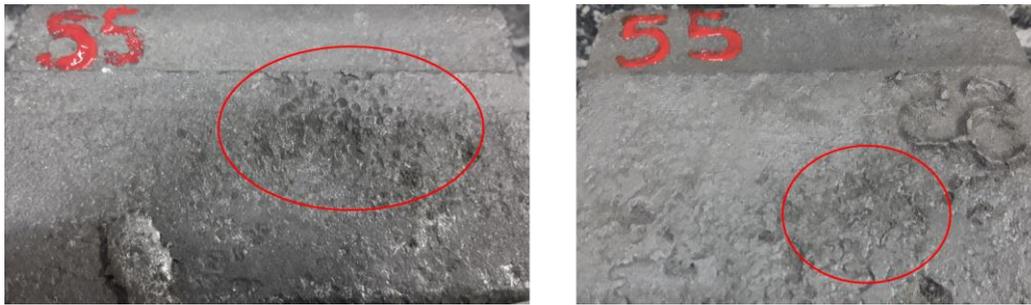


Figura 8. Fundidos com moldes compostos com proporção 50-50.

Para a proporção 50-50 notou-se uma presença maior de irregularidades em relação as outras proporções, tal efeito deve estar relacionado ao valor de pH medido da areia, o qual se encontrou acima da especificação interna.

Na Figura 9 estão os fundidos representativos referentes as proporções 75-25 e 25-75.

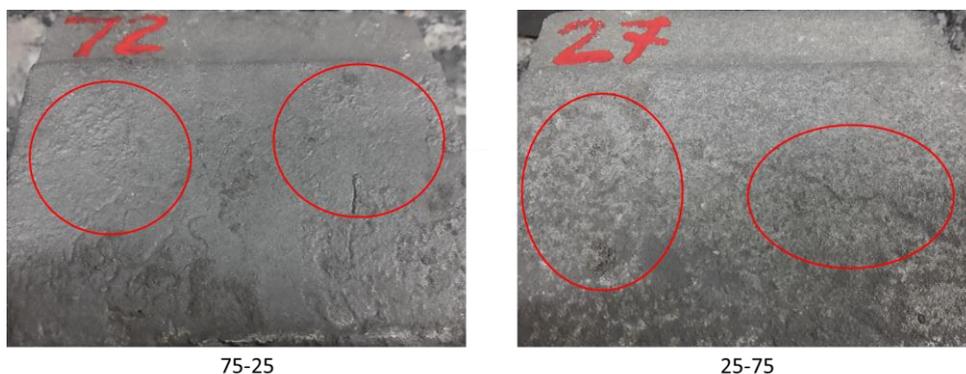


Figura 9. Fundidos com moldes compostos com proporções 75-25 e 25-75.

Para as proporções intermediárias 75-25 e 25-75 houve uma diferença mais clara no acabamento, de forma que o teor com maior quantidade de areia recuperada apresentou um melhor acabamento.

Em relação ao acabamento, é possível fazer uma associação com a distribuição granulométrica. Um maior percentual de finos acarreta em uma superfície mais lisa em detrimento de tornar menos irregular a superfície do molde e, analogamente uma maior retenção em peneiras de diâmetros maiores ocasionam em um acabamento mais grosseiro do fundido (SANTANA; CARVALHO, 2016).

3.3.1. Rugosidade

É importante situar que, por questões operacionais, para a amostra 50-50, que apresentaram, visualmente, um maior conjunto de irregularidades relacionadas ao acabamento superficial, foram realizadas as medições nas áreas de maior uniformidade da superfície por conta do range (alcance) do equipamento.

Por conta dessa seleção da área de medição a representatividade do acabamento superficial pode ter sido comprometida no que se refere às discussões relacionadas ao pH da amostra, porém não às relações de distribuição granulométrica já realizadas.

A partir dos valores de Ra e Rq encontrados calculou-se uma média dos mesmos para estabelecer parâmetros de relação com o acabamento superficial visual das amostras. Esses valores médios estão contidos na Tabela 9.

Tabela 9. Valores médios de Ra e Rq da superfície dos fundidos para cada proporção de areia utilizada.

Amostras	100-0	75-25	50-50	25-75	Areia nova
Ra (μm)	10,587	7,702	10,293	12,389	8,055
Rq (μm)	13,305	9,988	13,016	15,211	10,332

É possível observar o perfil referente a cada amostra presente na Figura 10, em os mesmos foram escolhidos para representar os valores médios obtidos dos parâmetros abordados, de forma que são referentes aos ensaios cujos valores de Ra e Rq se encontram mais próximos das médias obtidas.

Com base nos valores obtidos é possível observar que o valor da rugosidade tendeu a diminuir conforme o aumento do teor de areia recuperada, exceto para as proporções 100-0, que apresentou o segundo menor teor de finos e areia nova.

Para os teores 100-0 e areia nova a avaliação do acabamento é dada também através dos valores de Ra e Rq, onde a superfície de 100-0 é tida como mais irregular.

É possível também relacionar os valores quantitativos da rugosidade com a avaliação visual qualitativa do acabamento.

Para as proporções 75-25 e 25-75, assim como na avaliação visual, de forma análoga, houve uma diferença mais clara no valor de Ra e Rq, de forma que o teor com maior quantidade de areia recuperada apresentou uma menor rugosidade.

Como a distribuição granulométrica da areia utilizada no molde influencia no acabamento do fundido (SANTANA; CARVALHO, 2016), foi possível observar que os valores obtidos de rugosidade são mais altos para as proporções de areia que possuem uma granulometria maior.

Visto isso, é possível também relacionar os seus valores próximos para os parâmetros de rugosidade obtidos para a Areia nova e 75-25 e as semelhanças de retenção no ensaio granulométrico. O valor de Ra e Rq da amostra 75-25 menor que da amostra de areia nova, está relacionado com a retenções nas peneiras mais finas da distribuição granulométrica.

De forma análoga, as proporções com maior teor de finos apresentaram menor valores de Ra e Rq, como para 75-25 que obteve os menores valores para os parâmetros observados e maior teor de finos.

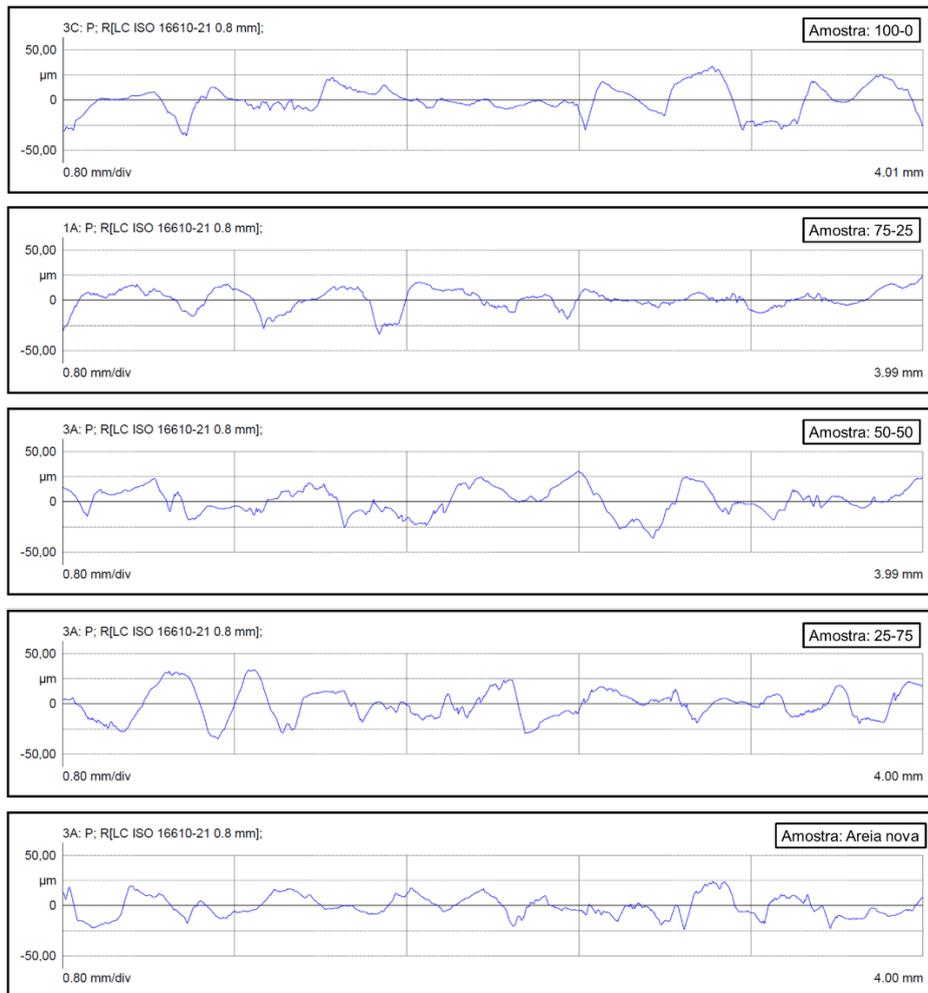


Figura 10. Perfil do comprimento de ensaio de rugosidade para as amostras fundidas.

4. Conclusões

Em geral, a relação dos resultados apresentou coerência no que se refere ao referencial teórico abordado, não apresentando pontos discordantes críticos entre a prática e a sustentação bibliográfica abordada.

Para os ensaios de tração, mesmo havendo uma queda na resistência de tração conforme o acréscimo de areia recuperada na proporção, obteve-se resultados satisfatórios para todas as amostras.

Foram encontradas relações entre o pH da amostra e a quantidade de defeitos visuais no fundido, como para 50-50, que apresentou o pior acabamento, mesmo possuindo características granulométricas intermediárias às proporções utilizadas.

Foi possível observar o melhor acabamento superficial para a proporção 75-25, em decorrência de uma presença maior de partículas finas na composição.

É possível utilizar até 75% de areia recuperada na mistura sem influenciar criticamente nas características superficiais, visto que os resultados das caracterizações de areia obtiveram resultados dentro das especificações estabelecidas e a rugosidade apresentou o menor valor.

Dessa forma, colabora-se com a indústria e no que diz respeito, tanto a confirmação dos conceitos bibliográficos relacionados ao tema abordado, quanto aos aspectos práticos envolvidos, sendo possível estabelecer nos procedimentos as considerações realizadas.

Referências

1. SOUZA, Carla; BALDUINO, Ailton. **Análise do processo de fundição e ficha de alerta de qualidade**. 2018. 50f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 201822.

- Disponível em:<<https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/35088-tcc-carla-souza-arruda-eng.-mecanica-2018.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2022.
2. BALDAM, Roquemar.; VIEIRA, Estéfano. **Fundição - Processos e Tecnologias Correlatas**. 2ª ed. São Paulo. Editora Saraiva, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519746/>. Acesso em: 27 Mar 2022.
 3. SILVA, Christian Egidio da; OLIVEIRA, Diego Luiz; JÚNIOR, Luiz Carlos Silidônio; JÚNIOR, Amir Rivaroli. Influência da areia de cura a frio reutilizada nas propriedades mecânicas e características superficiais de moldes empregados em fundição. **Revista Escola de Minas**, v. 65, n. 1, p. 73-78, mar. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0370-44672012000100010>>. Acesso em: 27 mar. 2022.
 4. PEREIRA, Fabiana; SOUZA, Jessica; BRAGA, Tâmilis. Influência da utilização de areia de cura a frio recuperada nas propriedades mecânicas da areia e acabamento do fundido. **Congresso Anual da ABM**, São Paulo, v. 72, n. 1, p 1685 – 1696, out. 2017. Disponível em:< <https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/influencia-da-utilizacao-de-areia-de-cura-a-frio-recuperada-nas-propriedades-mecanicas-da-areia-e-acabamento-do-fundido>>. Acesso em: 20 mar. 2022.
 5. SOUZA, Bruno; SANTICIOLLI, Fabio. Comparação entre diferentes métodos de regeneração de areias de fundição. **Revista Brasileira de Processos Químicos**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 46 - 54, jul. 2021. Disponível em:<<https://www.fateccampinas.com.br/rbpq/index.php/rbpq/article/view/20>>. Acesso em: 20 mar. 2022.
 6. ABIFA. **CEMP 081**: Materiais para fundição - determinação da distribuição granulométrica, módulo de finura e teor de finos em materiais granulares. São Paulo, 2015. 5 p. Disponível em:<<https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/081.pdf>> Acesso em: 28 mar. 2022.
 7. ABNT. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p. Disponível em:<http://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosupload/17827/material/nbr_nm248_2003.pdf> Acesso em: 14 mai. 2022.
 8. ABIFA. **CEMP 105**: Materiais para fundição - determinação do teor de umidade. São Paulo, 2015. 3 p. Disponível em:<<https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/105.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2022.
 9. ABIFA. **CEMP 120**: Materiais para fundição - determinação da perda ao fogo. São Paulo, 2015. 3 p. Disponível em:<<https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/120.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2022.
 10. ABIFA. **CEMP 121**: Materiais para fundição - Determinação do pH. São Paulo, 2015. 5 p. Disponível em:<<https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/121.pdf>> Acesso em: 23 abr. 2022.
 11. ABIFA. **CEMP E10**: Corpos de prova - Formas e tipos de ensaios. São Paulo, 2015. 3 p. Disponível em:<<https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/E10.pdf>> Acesso em: 14 mai. 2022.
 12. ABIFA. **CEMP 162**: Resina cura a frio para fundição - Determinação da resistência á tração da mistura padrão. São Paulo, 2015. 5 p. Disponível em:<<https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/162.pdf>> Acesso em: 23 abr. 2022.
 13. ABIFA. **CEMP 155**: Resina cura a frio para fundição - Preparação da mistura padrão. São Paulo, 2015. 5 p. Disponível em:<<https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/155.pdf>> Acesso em: 28 mai. 2022.
 14. ABNT **NBR ISO 4287**: Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade. Rio de Janeiro, 2002. 18 p. Disponível em:<<https://pt.slideshare.net/Robsoncn/abnt-nbr-iso-4287-rugosidade-mtodo-do-perfil-termos-definies-e-parmetros-da-rugosidade>> Acesso em: 02 nov. 2022.
 15. SOUZA, Ricardo Pires de; PASKOCIMAS, Carlos Alberto. **Otimização de parâmetros mecânicos e microestruturais dos moldes em areia sílica ligados quimicamente pelo processo de cura a frio em fundição de aço**. 2015. 123f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. Disponível em:<<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/20681>>. Acesso em: 28 mar. 2022.

16. SANTANA, Adevanil dos Santos; CARVALHO, Flávio Lúcio de. **Identificação dos principais defeitos de fundição através da aplicação de ferramentas da qualidade: estudo de caso em uma fundição de peças metálicas.** 2016. 99f Trabalho de conclusão de curso. - Centro Universitário Católico de Vitória, Vitória, 2016. Disponível em: <<https://unisaes.br/wp-content/uploads/2021/10/tcc-engprod-adevanil-1.pdf>> Acesso em: 22 abr. 2022