

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE MECÂNICA
TECNOLOGIA EM PROCESSOS DE FABRICAÇÃO MECÂNICA**

THIAGO FAVORETTO MACIEL

**REGENERAÇÃO ÚMIDA DE AREIA DE FUNDIÇÃO: TRATAMENTO
EM AREIAS A VERDE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PONTA GROSSA
2017**

THIAGO FAVORETTO MACIEL

**REGENERAÇÃO ÚMIDA DE AREIA DE FUNDIÇÃO: TRATAMENTO
EM AREIAS A VERDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Processos de Fabricação Mecânica, do Departamento de Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Dannilo Eduardo Munhoz Ferreira.

Co-orientadora: Prof. Ma. Heliety Rodrigues Borges Barreto.

**PONTA GROSSA
2017**



TERMO DE APROVAÇÃO

Regeneração úmida de areia de fundição: Tratamento em areias a verde

por

Thiago Favoretto Maciel

Este Trabalho de Diplomação foi apresentado em 29/11/2017, como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Dannilo Eduardo Munhoz
Ferreira
Coorientador Me. Heliety Rodrigues
Borges Barreto
Prof. Orientador

Prof. Dr. Denilson José Marcolino de Aguiar
Membro titular

Prof. Dr. Marcio Ferreira Hupalo
Membro titular

Prof. Dr. Oscar Regis Junior
Coordenador do Curso
UTFPR - Campus Ponta Grossa

Prof. Dr. Luciano Augusto Lourençato
Responsável pelos Trabalhos Diplomação

Dedico este trabalho aos meus pais
Divonsir e Jaqueline, irmãos e familiares
como forma de agradecimento por todo
apoio que recebi nesta longa jornada em
busca de conhecimento.

AGRADECIMENTOS

De antemão gostaria de me desculpar àquelas pessoas que não estão presentes nestes parágrafos, porém tenham certeza que minha gratidão e reconhecimento serão eternos por todo auxílio, incentivo e compreensão nesta caminhada.

Agradeço ao meu orientador Prof. Me. Dannilo Eduardo Munhoz Ferreira, pela sabedoria com que me guiou nesta jornada. Também à minha co-orientadora Prof. Ma. Heliety Rodrigues Borges Barreto pela ajuda incessante e pelo seu vasto conhecimento.

Aos meus colegas de sala.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois cada um deles tem parte nesta minha vitória.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

MACIEL, Thiago Favoretto. **Regeneração Úmida de Areia de Fundição: Tratamento em Areias a Verde.** 2017. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Fabricação Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

O processo de moldagem areia a verde é utilizado por grande parte das empresas do ramo de fundição no Brasil, gerando toneladas de resíduos sólidos por ano. Resíduos esses que necessitam de uma destinação adequada em aterros devido ao seu potencial prejudicial ao meio ambiente. Tal situação motiva estudos na busca de soluções ou alternativas, a fim de minimizar impactos ambientais bem como a geração de resíduos sólidos. Este trabalho visa estudar a regeneração úmida da areia a verde utilizando atrito entre as partículas de areia com o processo de tratamento úmido, remoção de argila e finos, possibilitando a reutilização na moldagem. Foi analisada uma areia a verde já reutilizada consecutivas vezes e foram caracterizadas as partículas através de microscopia, alterações de concentração de partículas e distribuição granulométrica. O módulo de finura se elevou em 2,82 enquanto que a porcentagem de argila AFS reduziu 47,58%. Os resultados mostraram que uma grande quantidade de argila e finos foram removidos sem alterar de forma significativa o módulo de finura e concentração da areia viabilizando o processo proposto.

Palavras-chave: Areia. Verde. Argila. Fundição. Regeneração. Úmida. Viabilidade.

ABSTRACT

MACIEL, Thiago Favoretto. **Casting Sand Wet Regeneration: Treatment Green casting sand.** 2017. 44p. Work of Conclusion Course (Graduation in Mechanical Fabrication Technology) – Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2017.

The molding process with green sand is utilized by a great part of casting companies in Brazil, generating tons of solid waste per year. The wastes need a special destination because the harmful potential to environment. That situation motivates the search for alternatives and solutions to minimize the environmental impact. This academic work aims to study the wet treatment process to regenerate casting green sand with internal friction, removing a large amount of clay and fine, enabling the reuse in molding. A green sand that have been used reused for consecutive times was analyzed by optical microscopy, particles concentration, granulometric distribution. The fineness module raised 2,82 as the AFS clay variation reduced 47,58% . The results shows the viability of the process and that a large quantity of clay and fine was removed without significant variations in fineness module and sand concentration.

Keywords: Sand. Green. Clay. Foundry. Regeneration. Wet. Viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Disposição da sílica, argila e água.....	15
Figura 2 – Confecção de meia caixa com processo de areia a verde.....	15
Figura 3 – Curvas de resistência à compressão a verde em função do teor de umidade,.....	16
Figura 4 - Sistema de alimentação em molde com caixa dupla.....	16
Figura 5 - Estrutura dos filossilicatos 2:1 mostrando duas camadas de silicato.....	18
Figura 6 - Hidratação de Esmectitas.....	18
Figura 7 - Fluxograma representativo do estudo.....	24
Figura 8 - Quarteador de Jones.....	25
Figura 9 – Esquema do processo de lavagem.....	29
Figura 10 – Gráfico de distribuição granulométrica.....	34
Figura 11 - Gráfico de distribuição granulométrica com média das amostras.....	35

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Aspectos Macro da Areia.....	37
Imagem 2- Areia antes da lavagem.....	38
Imagem 3 - Areia regenerada.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Peneiras segundo a norma Mesh(#).	26
Tabela 2 - Classificação da areia segundo Teor de argila e M.F.	28
Tabela 3 - Areia a verde usada.....	32
Tabela 4 - Areia após regeneração.....	33
Tabela 5 - Porcentagem acumulada [%].....	34
Tabela 6 - Areia a verde usada - Ensaio AFS.....	35
Tabela 7 - Areia regenerada - Ensaio AFS.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 PROCESSO DE FUNDIÇÃO	10
2.2 AREIA BASE	11
2.3 PROPRIEDADES DO MOLDE NÃO PERMANENTE	12
2.4 LIGANTES	13
2.5 ADITIVOS	14
2.6 AREIA A VERDE	14
2.7 BENTONITA	17
2.8 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	19
2.9 REGENERAÇÃO DE AREIAS DE FUNDIÇÃO	20
2.10 TECNOLOGIAS DE REGENERAÇÃO	20
2.10.1 Tratamento úmido	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 ESTRUTURA SINTETIZADA DA PESQUISA	24
3.2 QUARTEAMENTO	25
3.3 ANÁLISE PRÉVIA DE AMOSTRA	26
3.3.1 Distribuição Granulométrica e Concentração	26
3.3.2 Argila AFS e Módulo de Finura	27
3.3.3 Inspeção visual	28
3.4 LAVAGEM	29
3.5 DECANTAÇÃO E SECAGEM	30
3.6 ANÁLISE DA AMOSTRA APÓS REGENERAÇÃO	30
3.7 VIABILIDADE DE REGENERAÇÃO	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1 CONCENTRAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA	32
4.2 ARGILA AFS E MÓDULO DE FINURA	35
4.3 MICROSCOPIA ÓPTICA	36
4.4 VIABILIDADE	39
5 CONCLUSÃO	40
6 SUGESTÕES	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente avanço tecnológico, as questões ambientais estão cada vez mais presentes na sociedade, exigindo uma maior atenção por parte dos gestores em suas empresas, mesmo antes de uma unidade fabril ser construída ou produzir seu primeiro lote de produtos. Desde leis ambientais cada dia mais rigorosas, a cobrança também vem por parte do consumidor, que busca consumir produtos e serviços de empresas preocupadas com a sustentabilidade e políticas ambientais. A indústria da fundição, atualmente se depara com um problema sério na área ambiental, que é o grande volume de resíduos sólidos gerados inerentes ao processo produtivo. Esses resíduos sólidos são constituídos em sua maior parte de excedentes de areias. Oriundas da confecção dos moldes e machos, essa areia impregnada necessita destinação adequada em aterros industriais gerando custos⁶.

Tendo ciência do problema, empresas buscam soluções e alternativas das quais citam se o reaproveitamento externo dos seus resíduos, redução dos desperdícios e a regeneração da areia, que consiste na remoção de ligantes e outros elementos, podendo assim voltar ao ciclo e ser novamente utilizada reduzindo custos de estoque e destinação das mesmas. Apesar de haver pesquisas a cerca da regeneração de areia há mais de três décadas, atualmente pode se considerar uma solução técnica e viável do ponto de vista financeiro¹⁶.

O objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade do processo de regeneração de areias por atrito com o método de tratamento úmido com base em variações de propriedades da areia. Para embasamento de tal análise, alguns pontos específicos serão abordados, sendo necessário analisar a adsorção da bentonita ativada pela água utilizada na lavagem, avaliar as partículas de areia regenerada quanto a sua morfologia e granulometria, avaliar a quantidade de ligante e impurezas removidas e analisar a viabilidade econômica do método empregado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo estão contidos conceitos e fundamentos indispensáveis para um bom entendimento do trabalho em questão.

2.1 PROCESSO DE FUNDIÇÃO

Segundo dados da ABIFA (Associação Brasileira de Fundição) publicados em seu anuário de 2016, o setor de fundição brasileiro é extremamente relevante, estando em sétimo colocado no cenário mundial e superando países como Itália, França e Coréia do Sul. Devido à utilização de matéria prima e mão de obra em grande parte local, este setor da indústria considera-se independente do mercado externo, reduzindo a necessidade de importação de matéria prima, gerando assim empregos sejam eles diretos ou indiretos. Dessa forma a fundição contribui diretamente para o crescimento da economia do país.

Como todo setor produtivo, a Fundição também gera resíduos em sua maior parte sólidos, que necessitam de atenção e descarte correto. De acordo com a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA), três quartos do total de resíduos são gerados pela indústria de fundição anualmente, correspondendo a cerca de dois milhões de toneladas. A classificação da areia de fundição é baseada na NBR 10.004, de acordo com o processo de moldagem e afins, tanto como um resíduo perigoso (CLASSE I) quanto como não inerte (CLASSE II).

O processo de fundição consiste na fusão de um material metálico por um forno, sendo vazado em um molde (permanente ou não) a fim de dar forma e dimensões após sua solidificação. Tais fornos podem operar por indução, resistência ou queima de combustível.

A fundição pode ser usada para produzir tanto peças de grandes dimensões (mais do que 100 toneladas), como peças de pequenas dimensões (poucos gramas), podendo ser utilizada para a produção de peças de vastíssimas composições de liga e alguns processos são muito adequados para a produção em larga escala. A fundição faz uso de grande quantidade de sucata metálica, sendo este um aspecto bastante positivo desta rota de fabricação sob o ponto de vista de otimização do uso de recursos naturais por meio da reciclagem (KIMINAMI, 2013, p. 29).

De acordo com SIEGEL (1972), a fundição é o mais versátil dentre os processos devido à vasta gama de dimensões, formatos e propriedades que se confere a peças fundidas. Há vários processos de moldagem não permanente para fundição, onde o molde é perdido a cada peça produzida, dentre as principais pode se citar a moldagem em Areia a verde, Cura a frio, Silicato de sódio/CO₂, ShellMolding, entre outras.

2.2 AREIA BASE

O principal componente da areia de moldagem ou de macharia utilizada nas fundições é um agregado fino, mineralogicamente puro, denominado “areia-base” (ABIFA, 1999; MARINO, 2003) com granulometria que varia de 0,05 mm a 2 mm em seu diâmetro, sendo os tipos mais usados na indústria de fundição a areia de sílica (SiO₂), de olivina ((MgFe)₂SiO₄), de zirconita (ZrSiO₄) e de cromita (FeCr₂O₅ ou FeCr₂O₄) (WEDDINGTON et al, 1991; FERNANDES, 2001; RAMPAZZO et al., 1989; MARINO, 2003). Algumas propriedades dessa areia são necessárias para um bom desempenho no setor de moldagem. Dentre elas podemos citar:

- Ser quimicamente inerte a metais fundidos;
- Disponibilidade em grandes quantidades e preço acessível;
- Pureza e pH adequados (verificar processo de moldagem empregado);
- Estabilidade dimensional e térmica a altas temperaturas;
- Baixa molhabilidade por metais fundidos, Etc;

De acordo com LORÉ (1978), há uma classificação das areias de moldagem empregadas na fundição, levando em consideração sua origem, emprego na caixa de fundição, entre outros fatores.

Quanto à origem: Classifica se como Areias naturais, Sintéticas e Semi-sintéticas;

Quanto ao uso: Areia nova, Areia usada.

Quanto ao emprego na caixa de fundição: Areia de faceamento, Areia de enchimento, Areia de macho;

Quanto ao estado de umidade: Areia úmida ou verde, Areia estufada;

Quanto à qualidade do metal: Areia para metais ferrosos, Areia para não ferrosos;

2.3 PROPRIEDADES DO MOLDE NÃO PERMANENTE

Com a areia adequada ao processo escolhido, é favorecida a minimização de problemas durante a fabricação do produto. Algumas propriedades dos moldes não permanentes de areia devem ser controladas, pois são de extrema importância no resultado final do produto e influenciam diretamente as propriedades sejam elas superficiais ou estruturais da peça a ser produzida.

Segundo OLIVEIRA (2014), dentre as propriedades e características que precisam ser controladas podemos citar:

Resistência mecânica – O molde precisa suportar o fluxo interno do metal líquido a alta temperatura, sem sofrer erosão, fissuras ou quebra do molde.

Permeabilidade à gases – É necessária uma certa porosidade suficiente para que seja facilitada a saída de gases que arrastam consigo o calor do interior do molde auxiliando no resfriamento e solidificação e evitando falhas nas peças.

Granulometria e morfologia - O tamanho e a forma dos grãos na areia influenciam diretamente nas propriedades do molde, pois são fatores que determinam o nível de compactação da areia. A negligência quanto ao controle dessas características pode acarretar problemas como a Sinterização, que consiste na vitrificação de uma camada de areia na interface molde/peça. Além disto, uma maior densidade também diminui os espaços por onde o gás poderia escapar. Isto ocorre também com areias com morfologia mais arredondada devido ao fenômeno de máxima compactação ou "bolas de bilhar". Já grãos maiores podem comprometer a resistência mecânica do molde, fazendo com que possa se rachar quando o metal líquido for vazado em seu interior.

Estabilidade Térmica - Quando o metal fundido a alta temperatura entra em contato com as paredes internas do molde ocorre um choque térmico ocasionando a expansão da camada adjacente da areia na sua interface. Caso não haja uma

estabilidade térmica sob aquecimento rápido por parte da areia, ocorrerá distorções e rachaduras, comprometendo assim o molde e a peça.

Refratariedade - Uma areia refratária tem a capacidade de suportar e armazenar altas temperaturas sem ocorrer a sinterização da camada adjacente de areia.

Plasticidade ou fluidez – É a propriedade da areia desejável para obter compactação a uma densidade uniforme e para obter boa impressão do padrão do modelo no molde.

Colapsibilidade – A areia de moldagem deve entrar em colapso durante a desmoldagem, pois a separação do molde e peça após a solidificação facilita o processo posterior de acabamento.

Condutividade térmica – É a capacidade de trocar calor do interior do molde com o ambiente, facilitando o resfriamento e solidificação da peça e evitando defeitos nas peças.

2.4 LIGANTES

De acordo com OLIVEIRA (2014), o tipo de ligante utilizado pode classificar os processos de moldagem em dois grupos:

- **Processos em Areia a Verde** (Ligante Argila úmida);
- **Processos em Areia ligada quimicamente** (Ligantes Orgânicos, Inorgânicos, Mistos).

O processo de moldagem por Areia a Verde será explicado adiante em um tópico separado mais detalhadamente. Em processos que onde são empregados Ligantes Orgânicos, faz se o uso de Resinas Furânica, Fenólica, Uretânicas e outras. Já no caso de ligantes Inorgânicos, utiliza se Cimento Portland ou Silicato de Sódio com gasagem de CO₂ para endurecimento do molde. A escolha de um determinado ligante, bem como o processo de moldagem a ser desenvolvido baseia-se no tipo e tamanho da peça, qualidade superficial desejada entre outros parâmetros.

2.5 ADITIVOS

OLIVEIRA (2014) conceitua aditivo como os elementos adicionados à areia a fim de acentuar alguma de suas propriedades. Porém se a escolha não for feita de forma correta, pode acarretar efeitos colaterais, comprometendo o processo de moldagem e acarretando posteriormente falhas na peça.

Os aditivos utilizados na fundição podem ser classificados como:

- **Carbonáceos** – Pó de carvão, Piche, etc,
- **Celulósicos** – Pó de madeira ou sabugo de milho, Casca de Arroz;
- **Amiláceos e Dextrinas** – Amido, Farinha de milho gelatinada;
- **Inorgânicos** – Barrilha, Enxofre, Silica, Fluoroboreto de Amônio, etc;
- **Outros.**

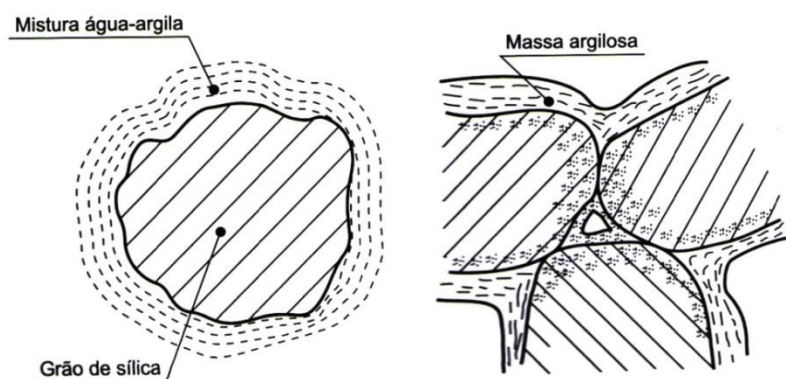
Cada aditivo tem uma função específica, como por exemplo as Dextrinas, que aumentam a trabalhabilidade da areia a verde, é higroscópica, favorece uma atmosfera redutora no molde.

2.6 AREIA A VERDE

O processo de moldagem por areia a verde é o mais conhecido e empregado atualmente nas fundições devido a fatores econômicos e a possibilidade de produzir peças em série e com boa qualidade na maioria dos metais, sejam ferrosos ou não-ferrosos. O processo caracteriza-se pelo preenchimento de uma caixa de moldagem com uma areia silicosa aglomerada com argila e água em proporções que variam de caso para caso. Segundo SOUZA (2012), uma das grandes vantagens deste processo é a possibilidade de reutilização das areias após a desmoldagem e, com o emprego de bentonina e ações corretivas, sendo possível recuperar propriedades da areia e cerca de 90% dos seus constituintes.

A aglomeração dos grãos de areia por bentonita, estende-se como resultante de dois componentes: a adesão (da bentonita ao grão de areia), e a coesão (da bentonita). Enquanto a adesão reflete-se na interface areia/bentonita permitindo a aderência da bentonita aos grãos de areia, a coesão afeta a resistência interna do filme de bentonita que envolve os grãos.” (ALVES, 2017).

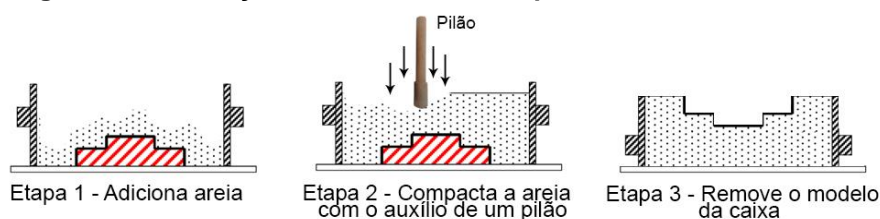
Figura 1 - Disposição da sílica, argila e água.



Fonte: BALDAM, 2013, p.184.

Simultaneamente com o preencher da caixa com a mistura de areia, é necessária uma compactação, seja manual ou mecânica, para que haja a obtenção de resistência mecânica por parte do molde. Após preencher toda a caixa, ela é virada, removendo-se o modelo, deixando assim a cavidade interna no molde. Eventualmente pode ser feita a colocação de machos caso a peça a ser produzida necessite de superfícies internas ou furos.

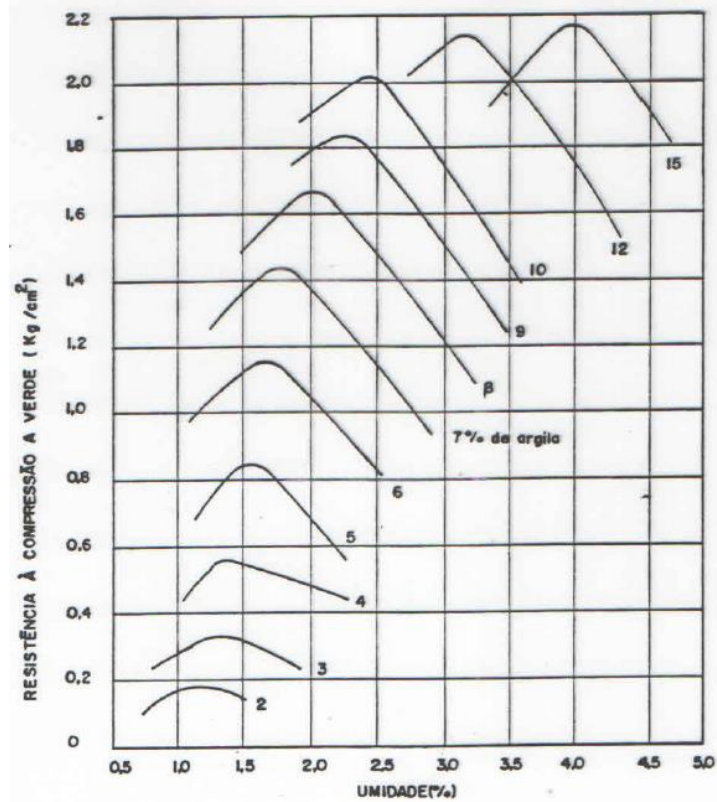
Figura 2 – Confeção de meia caixa com processo de areia a verde.



Fonte: Autor.

A resistência à compressão do molde [Kg/cm^2] depende tanto da porcentagem de água na mistura quanto da quantidade de argila que for adicionada conforme figura 3.

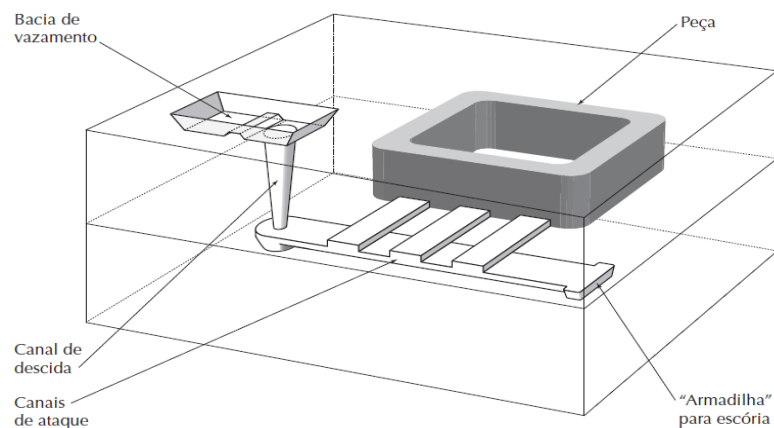
Figura 3 – Curvas de resistência à compressão a verde em função do teor de umidade,



Fonte: Adaptado de Senai (1987).

Após a moldagem, o metal líquido é vazado no interior do molde, que é composto por duas metades, preenchendo toda a cavidade interna, dando forma ao peça ao solidificar-se.

Figura 4 - Sistema de alimentação em molde com caixa dupla.



Fonte: KIMINAMI, 2013, p.35.

O material contido nas caixas de fundição é submetido à vibração, separando assim a areia da peça. A areia contaminada é direcionada ao setor de resíduos e a peça para receber acabamento final e remoção de rebarbas.

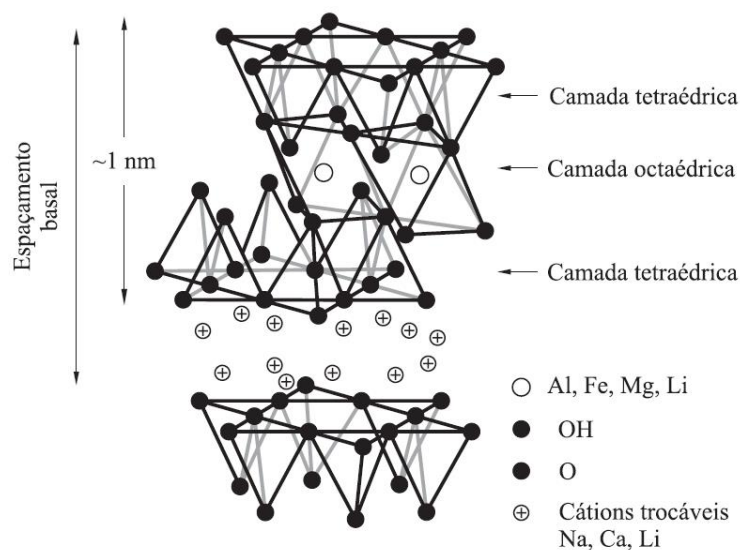
Dentre as vantagens do processo pode-se destacar seu baixo custo, facilidade operação, ligante não tóxico e solúvel em água, maior facilidade de reciclagem da areia. Suas desvantagens giram em torno de problemas com algumas propriedades do molde dentre elas sensibilidade à umidade, bem como uma menor precisão dimensional e acabamento superficial para peças maiores.

2.7 BENTONITA

De acordo com SILVA (2008), rochas constituídas essencialmente com alto teor de argila montmorilonita são denominadas bentonita. Tais rochas se originaram pela desvitrificação e alteração química de um material vítreo, usualmente cinzas vulcânicas situadas em ambientes alcalinos de pouca circulação de água. O maior produtor mundial desta argila são os Estados Unidos. O Brasil também possui um depósito de argilas bentoníticas e o mais importante situa-se na Paraíba. Há dois tipos de bentonita, podendo ser cálcica ou sódica. A sódica apresenta uma característica bem particular que em contato com água expande várias vezes o seu volume. A montmorilonita possui partículas com formato de placas ou lâminas com tamanho médio de 0,5 μm e que podem variar seu diâmetro na faixa de 0,1 μm a 2 μm . Sua formulação química se apresenta da seguinte forma $M_x(\text{Al}_{4-x}\text{Mg}_x)\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$. Pertencente ao grupo dos filossilicatos 2:1, possui estrutura com dupla lamela tetraédrica de sílica com uma lamela central octaédrica de alumina unidas por átomos de oxigênio comuns a ambas as folhas. Seu empilhamento é dado por forças polares fracas e por forças de Van der Waals.

Entre essas lamelas existem camadas intermediárias ou lacunas nas quais localizam os cátions trocáveis (Na_+ , Ca_{2+} , Li_+). Tais cátions são fixos eletrostaticamente e tem função de compensar cargas negativas devido a substituições de ordem isomórfica que podem ocorrer no reticulado (Al_{3+} por Mg_{2+} ou Fe_{2+} , ou Mg_{2+} por Li_+).

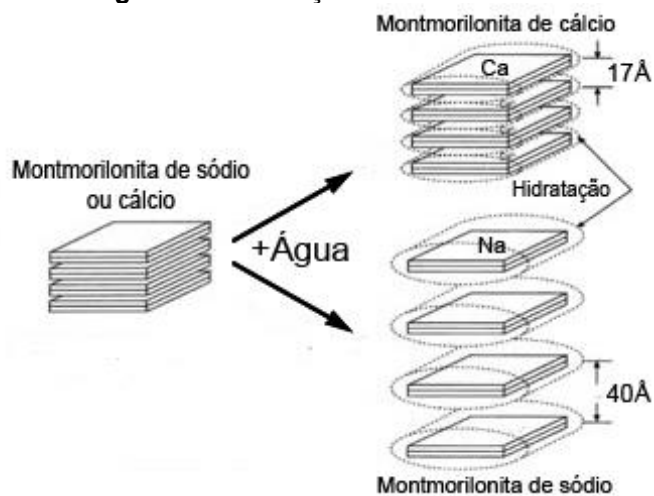
Figura 5 - Estrutura dos filossilicatos 2:1 mostrando duas camadas de silicato



Fonte: PAIVA, 2007, p.2.

De acordo com PAIVA (2007), ao expor as lamelas individuais de montmorilonita à água, em um primeiro ocorre o fenômeno de Inchamento interlamelar controlado pelo cátion associado à estrutura da argila, ou seja, há uma adsorção das moléculas de água na superfície das folhas de sílica separando umas das outras. A espessura da camada de água interlamelar pode variar de acordo com a quantidade de água disponível e o cátion adsorvido. Tomando por exemplo o cátion de sódio, quando a argila é dispersa por inteira em um meio líquido, o inchamento pode chegar a 40 Å.

Figura 6 - Hidratação de Esmectitas



Fonte: Adaptado de SILVA, 2008, p. 28

SILVA (2008, p.28) afirma que a principal diferença entre a bentonita cálcica e Sódica é a quantidade de água que pode ser adsorvida devido à força de atração entre as camadas. A ação do Cálcio presente na argila aumenta esta atração, reduzindo a quantidade de água que poderá ser adsorvida. No caso do Sódio, esta força de atração é menor, possibilitando assim uma maior quantidade de água se insira entre as camadas e seja adsorvida.

As partículas de bentonita possuem elevada área por unidade de massa, além de possuir uma moderada carga negativa superficial e resistência à temperatura. Devido a essas propriedades e enorme abundância, este tipo de material é frequentemente utilizado na engenharia e setores produtivos.

2.8 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Na fundição os resíduos sólidos são gerados nas etapas de moldagem quanto de desmoldagem. Em alguns casos como no processo de moldagem por areia a verde é feita a recirculação, que consiste em renovar uma parcela da areia do montante. De acordo com FAGUNDES (2011) essa parcela varia de acordo com as características necessárias da areia no processo inicial.

A norma ABNT NBR 10004 (2004) visa padronizar a classificação dos resíduos sólidos de acordo com sua origem e presença de substâncias, onde são listadas suas características e grau de risco ao meio ambiente e à saúde pública. De acordo com a mesma, para facilitar a classificação, manuseio e descarte correto classificam-se como:

- **Resíduos Classe I – PERIGOSO.** Apresentam periculosidade devido a características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;

- **Resíduos Classe II – NÃO INERTE.** Não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou classe III, e podem apresentar combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;

- **Resíduos Classe III – INERTE.** Quando submetidos ao teste de solubilidade, caso não haja nenhum de seus constituintes solubilizados a

concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, conforme listagem inclusa na norma, excetuando os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

Sabendo qual é a classe do resíduo gerado, no caso da areia a verde sendo **Classe II**, o seu manuseio, tratamento e destinação é facilitado, garantindo assim a implantação de ações de gerenciamento correto e evitando multas dos órgãos responsáveis.

2.9 REGENERAÇÃO DE AREIAS DE FUNDIÇÃO

É necessário destacar a diferença entre a regeneração, a recuperação e recirculação das areias de fundição, pois cada uma delas possui sua particularidade. A recirculação de uma areia no sistema é a sua utilização imediata novamente no sistema, enquanto que na recuperação há um tratamento de desagregação de grumos, remoção de poeiras e materiais metálicos. Já na regeneração, o objetivo também é utilizar novamente a areia no sistema, porém buscando conferir propriedades já citadas aceitáveis, próximas à de uma areia nova.

Segundo SCHEUNEMANN (2005), a regeneração de uma areia usada necessita uma sequência de operações unitárias que compreendem as seguintes etapas:

- 1ª etapa: desagregação de torrões e grumos, que corresponde à liberação dos grãos Individuais da areia, sendo uma etapa indispensável;
- 2ª etapa: remoção de óxidos metálicos e outros resíduos metálicos.
- 3ª etapa: Remoção dos resíduos de ligantes, aditivos e seus produtos de decomposição aderidos aos grãos, ou seja, uma limpeza superficial dos grãos. Esta etapa que difere de forma efetiva a regeneração da recuperação;
- 4ª etapa: classificação granulométrica da areia regenerada.

2.10 TECNOLOGIAS DE REGENERAÇÃO

Segundo ADEGAS (2007), a regeneração é o processo tornar areias de moldagem, substituindo parcial ou totalmente a utilização de areia nova no sistema. Há vários métodos sendo objetos de estudo e publicações, podendo citar a regeneração mecânica, úmida, térmica e termomecânica. Há vários métodos de se regenerar a areia usada na moldagem, e a escolha de cada método varia de acordo

com o processo de moldagem ao qual a areia foi submetida, pois a composição química final do resíduo sólido pode influenciar no rendimento de cada método para uma mesma areia.

Para areias ligadas quimicamente com inorgânicos (silicato de sódio) ou areia a verde, recomenda-se o tratamento úmido, devido possível solubilização do ligante.

2.10.1 Tratamento úmido

Para ADEGAS (2007), no processo de regeneração por tratamento úmido a areia é misturada com água a fim de solubilizar o ligante aderido à superfície dos grãos e permitir a separação posterior de um efluente líquido da areia regenerada, tendo como principal vantagem uma possibilidade de monitoramento em tempo real. Este processo é utilizado apenas em areias que utilizam ligante que se solubiliza em água, como por exemplo, areias provenientes dos processos de silicato de sódio e areia a verde. Os benefícios ambientais englobam a redução no consumo de areias novas e descarte de areias usadas. Uma desvantagem é a geração de resíduos líquidos. Há estudos que sugerem a reciclagem desse efluente líquido também, retornando o mesmo ao setor de moldagem, sendo necessária uma reposição na ordem de 10 a 15% em peso em relação à areia.

Neste contexto, com o objetivo de incentivar ainda mais a política ambiental e redução da geração de resíduos gerados pela indústria atualmente, elaborou-se esse estudo baseando-se em processos já existentes de tratamento de areias. Tais processos de regeneração de areias de fundição apesar de já estarem presentes na literatura há mais de 30 anos, não são difundidos em larga escala por uma falta de pesquisas e estudos comprovando sua viabilidade.

O estudo baseia-se na reprodução do processo de Regeneração por Tratamento Úmido de areias a verde (aglomeradas com água e argila), verificando variações das propriedades físicas da amostra antes e depois do processo. O ligante contido na areia bem como outros finos e impurezas poderão ser diluídos na água presente no sistema e removidos posteriormente¹⁶.

Grandes empresas no setor de fundição buscam certificação junto a órgãos regulamentadores, como por exemplo, a ISO. É notável a tendência mundial de buscar tanto parceiros como fornecedores que se preocupam com questões ambientais. Este estudo auxilia fornecendo informações de questões práticas,

possibilitando assim o planejamento da implantação de unidades de regeneração em suas empresas. Uma empresa que se preocupa com questões ambientais e tratamento de resíduos gerados, além de se destacar no mercado, gera empregos sejam eles diretos ou indiretos. Novos empregos e novas tecnologias influenciam diretamente o mercado a qual esta empresa está inserida.

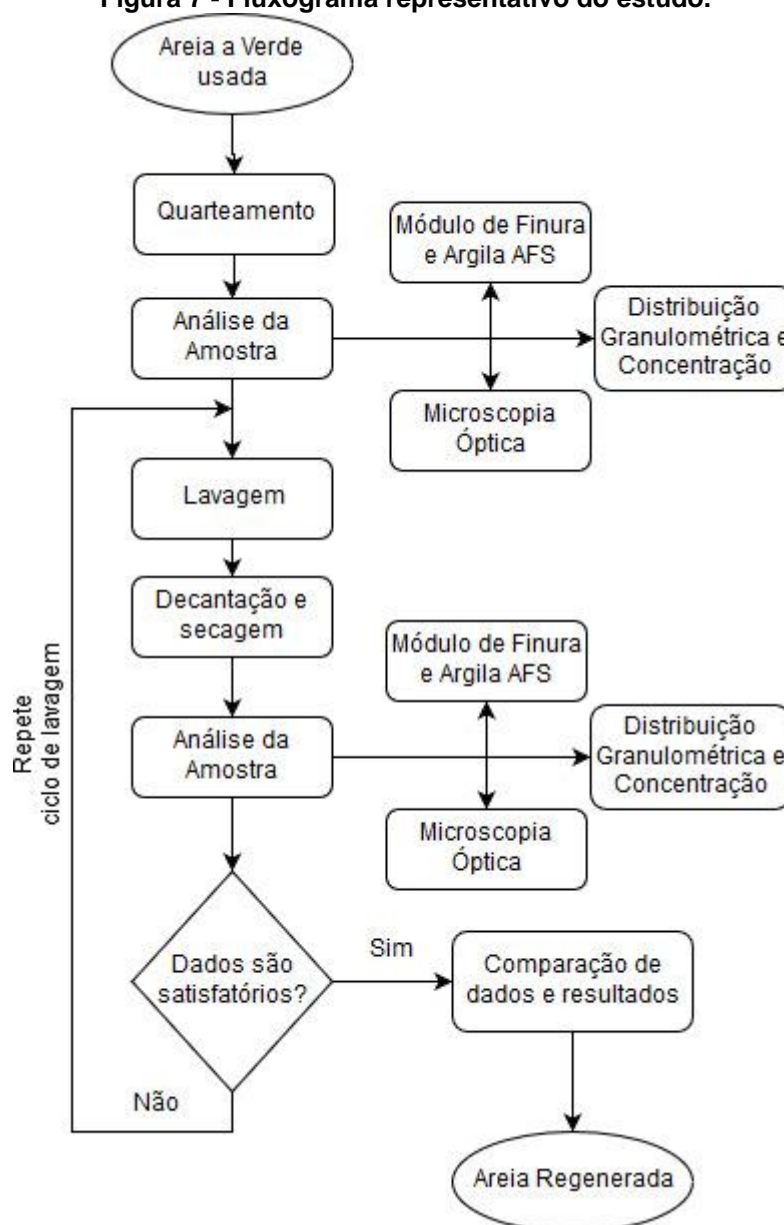
3 MATERIAIS E MÉTODOS

A areia a verde usada que foi submetida ao tratamento de regeneração é proveniente do setor de fundição da UTFPR Campus Ponta Grossa. Os procedimentos experimentais presentes neste trabalho bem como os ensaios de Distribuição granulométrica e Argila AFS foram realizados no Laboratório de Fundição do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. A análise de microscopia óptica utilizada no estudo das características superficiais dos grãos foi feita no Laboratório de Materiais (LABMAT) do próprio Campus.

3.1 ESTRUTURA SINTETIZADA DA PESQUISA

Para esquematizar de uma forma sucinta e clara cada etapa do estudo, utiliza-se um fluxograma como pode se observar abaixo.

Figura 7 - Fluxograma representativo do estudo.



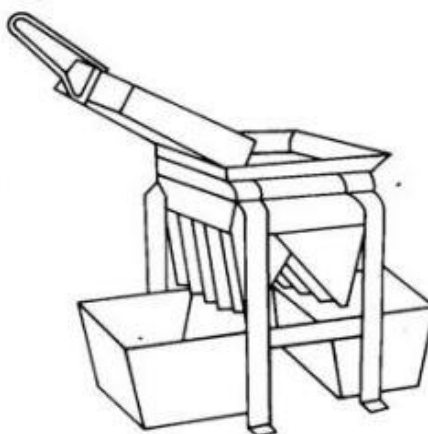
Cada etapa do processo de estudo será abordada separadamente em um tópico apresentando as metodologias, normas utilizadas e finalidades de cada ensaio.

3.2 QUARTEAMENTO

Quarteamento é o processo amostragem e homogeneização baseada na divisão de uma pré-amostra, podendo ser feita manualmente ou com auxílio de equipamentos. Todo o processo de amostragem bem como as especificações técnicas dos equipamentos é padronizado em norma (ABNT NBR 10007:2004 21 páginas).

O equipamento utilizado é o Quarteador de Jones, o qual é constituído por calhas inclinadas em sequência alternada, ou seja, separa uma quantidade de material em duas partes estatisticamente iguais, onde uma é descartada e a outra mantida.

Figura 8 - Quarteador de Jones



Fonte: GOES, 2004 p.20

Tal procedimento faz com que a cada vez que a massa da amostra seja reduzida estatisticamente pela metade sem perder a representatividade e pode ser repetida até a amostra esteja em uma porção apropriada para a finalidade de estudo em questão.

Logo no início do processo retiram-se dados para que se possa fazer uma comparação posterior. Com isso é possível identificar se a mudança após o processo de regeneração úmida foi significativa.

Os dados são fornecidos pelos componentes da solução, ou seja, tanto o soluto quanto o solvente fornecerão informações referentes ao processo. Neste caso o soluto será a areia de sílica impregnada com argila e o solvente será a água.

3.3 ANÁLISE PRÉVIA DE AMOSTRA

Uma análise da areia também é feita antes que a mistura aconteça para que particularidades do soluto possam ser identificadas por meio de classificação granulométrica e Concentração, Módulo de Finura, Argila AFS e inspeção visual por meio de microscópio óptico.

3.3.1 Distribuição Granulométrica e Concentração

Para determinação da composição granulométrica dos agregados presentes na areia utiliza-se o ensaio de peneiramento. Tal ensaio bem como os equipamentos utilizados é regulamentado em norma (ABNT NBR 7217:1987 3 páginas).

Uma porção de aproximadamente 50g de areia seca é inserida em um conjunto de peneiras, previamente limpas, com diferentes tamanhos de malha. Há duas normas que padronizam a nomenclatura de cada peneira, sendo ela a norma alemã DIN, ou a americana MESH (#). As peneiras são encaixadas em um agitador vibratório seguindo uma ordem crescente, ou seja, as peneiras mais grossas (menor número de malhas) ficam na parte superior enquanto as mais finas (maior número de malhas) na parte inferior do conjunto.

Tabela 1 – Peneiras segundo a norma Mesh(#).

Número da serie (#)	Abertura	
	Polegadas (in)	Milímetros (mm)
6	0,1320	3,360
12	0,0661	1,680
20	0,0331	0,84
30	0,0232	0,59
40	0,0165	0,42
50	0,0117	0,297
70	0,0083	0,21
100	0,0059	0,149
140	0,0041	0,105
200	0,0029	0,074
270	0,0021	0,053
FUNDO	-	-

O conjunto de peneiras sofre agitação durante um tempo razoável, usualmente cronometrado, de modo que seja possível a separação e classificação prévia dos diferentes tipos de partículas retidas em cada peneira.

Fotografia 1 – Peneiras acopladas em agitador Vibrotech CT025.



Fonte: Autor.

A massa retida em cada uma é anotada, e calcula-se a porcentagem retida e acumulada em relação à amostra inicial do ensaio. Com os dados obtidos, elaboram-se um gráfico relacionando Porcentagem acumulada com a série de peneiras, podendo observar a distribuição dos tamanhos de partícula. A concentração de uma amostra de areia consiste na maior soma percentual retida em 3 peneiras consecutivas da série padrão.

3.3.2 Argila AFS e Módulo de Finura

Este ensaio segue metodologia da CEMP_082 (Comissão de Estudos de Matérias Primas) com base em normas da AFS (American Foundry Society). Tem por objetivo determinar o teor de partículas finas presentes na areia base, as quais consomem ligante, porém sem agregar poder ligante.

Faz-se a agitação mecânica durante 5 minutos de uma solução composta de 50g de areia seca, 600ml de água e 25 ml de NaOH com concentração 3%. Depois de seguidos sifonamentos, respeitando o tempo de decantação, busca-se uma água perfeitamente limpa. Faz-se a secagem de amostra e pesagem. Teor de argila é dado pela equação 1.

$$TA = \frac{MA-MR}{MA} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

TA - teor de argila [%];

MA - massa da amostra [g];

MR - massa do resíduo [g];

O ensaio para Módulo de Finura segue metodologia da CEMP_081 (Comissão de Estudos de Matérias Primas) e é parecido com o de distribuição granulométrica, porém utiliza as amostras utilizadas no ensaio de Argila AFS. A porcentagem de massa retida é multiplicada por um fator próprio inerente a cada peneira da série. O Módulo de finura é dado pela equação 2 abaixo:

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{\Sigma(\text{Porcentagem} \cdot \text{Fator})}{\Sigma \text{ Porcentagem}} \quad (2)$$

Com o Módulo de Finura e Teor de Argila presentes na areia, é possível determinar a classe da areia, atribuindo uma letra e um número pela tabela abaixo:

Tabela 2 - Classificação da areia segundo Teor de argila e M.F.

CLASSE	% DE ARGILA	CLASSE	MÓDULO DE FINURA
A	0,0 até 0,5 inclusive	Nº 1	200 a 300 inclusive
B	0,5 até 2,0 inclusive	Nº 2	140 a 200 inclusive
C	2,0 até 5,0 inclusive	Nº 3	100 a 140 inclusive
D	5,0 até 10,0 inclusive	Nº 4	70 a 100 inclusive
E	10,0 até 15,0 inclusive	Nº 5	50 a 70 inclusive
F	15,0 até 20,0 inclusive	Nº 6	40 a 50 inclusive
G	20,0 até 30,0 inclusive	Nº 7	30 a 40 inclusive
H	30,0 até 45,0 inclusive	Nº 8	20 a 30 inclusive
		Nº 9	15 a 20 inclusive
		Nº 10	10 a 15 inclusive

Fonte: Adaptado de Senai (1987b).

3.3.3 Inspeção visual

A utilização da técnica de microscopia ótica visa observar a morfologia dos grãos de sílica. Com o auxílio de um microscópio óptico acoplado a uma câmera e um computador foram obtidas imagens das partículas de sílica.

O microscópio ótico utilizado foi um Olympus Bx60, o qual possibilitou a obtenção de imagens com uma ampliação da amostra de até 500x.

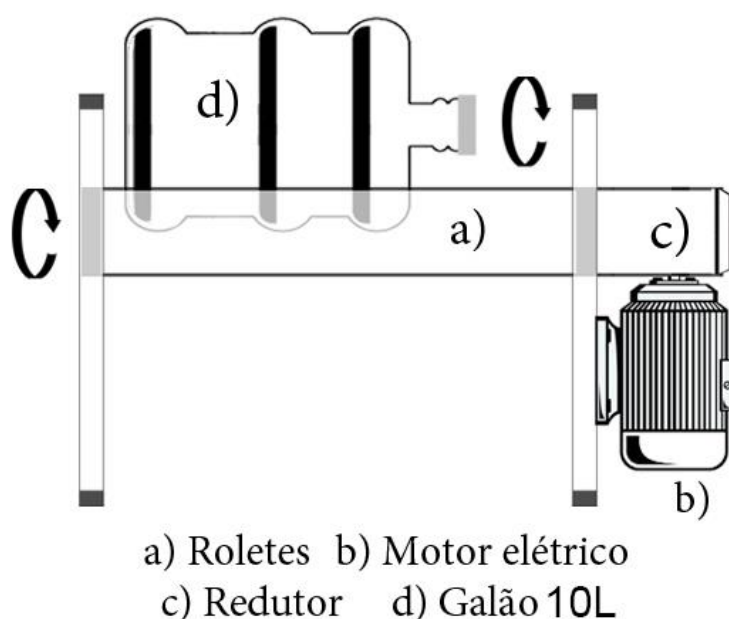
3.4 LAVAGEM

O processo de lavagem baseia-se no atrito das partículas de areia imersas em um volume fixo de fluido não recirculante, neste caso a água, provocados pela rotação do sistema em um moinho de bolas. A remoção da cobertura superficial do ligante ocorre pela dissolução do bentonita sódica no meio aquoso. Tanto a areia quanto a água estarão dispostos em um recipiente polimérico com volume total de 10 litros com tampa.

Deste volume total, a porcentagem que cada componente ocupou foi baseada no cálculo aproximado da quantidade máxima de argila que pode ser removida da areia, levando em consideração a sua solubilidade em água. Era esperado que em apenas um ciclo de lavagem, uma boa quantidade do ligante presente nos grãos de Sílica seria removida.

No primeiro ciclo de lavagem, a quantidade de areia foi de 3 Kg. A parte ocupada por água foi de 4 Kg ou 4L. O restante do volume não foi preenchido, possibilitando assim que houvesse a movimentação no interior do recipiente durante a lavagem.

Figura 9 – Esquema do processo de lavagem.



Fonte: Autor.

A duração do ciclo de lavagem foi de 30 minutos com agitação contínua. Caso mais ciclos fossem efetuados, a água presente no sistema seria substituída a cada lavagem. A necessidade da substituição da água se dá pelo fato de que a anterior já estará saturada de bentonita e outros finos, impossibilitando assim a solubilização em novo ciclo.

3.5 DECANTAÇÃO E SECAGEM

O processo de decantação foi observado até que a água existente no interior do recipiente de decantação estivesse completamente límpida, ou seja, todos os grãos e finos estivessem depositados na parte inferior do recipiente. O tempo de decantação depende da % de finos e da dispersão do tamanho de partículas, podendo apresentar variações. Após plenamente concluída a decantação, fez-se a separação da parte líquida da sólida com auxílio de dreno. A remoção da camada superficial de argila depositada foi feita de forma manual, tomando cuidado para que não fossem removidos grãos de sílica juntamente.

Realizou-se em seguida a secagem da areia de ensaio em estufa a uma temperatura de 105 a 110°C então deixou-se esfriar a temperatura ambiente.

3.6 ANÁLISE DA AMOSTRA APÓS REGENERAÇÃO

Para a verificação da areia regenerada, necessariamente seca, repetiram-se os ensaios feitos anteriormente. Novamente com o auxílio de um microscópio óptico foram obtidas imagens das partículas. Com isso se esperava observar a alteração nas características dos grãos de sílica.

Por fim puderam ser comparados os dados obtidos de análises posteriores com aqueles observados antes do ciclo de lavagem, gerando resultados que foram imprescindíveis na determinação de quantos ciclos seriam necessários para obtenção de resultados satisfatórios.

3.7 VIABILIDADE DE REGENERAÇÃO

Para reforçar o incentivo da realização de processos de regeneração, além das questões ambientais e sustentabilidade que já seriam suficientes, fez se necessária uma verificação de viabilidade econômica, pois todo processo que envolve transformação de energia possui custos de operação agregados.

$$CR = \frac{(N.t.C_{ele} + M_a.C_{\acute{a}gua})}{M_{ar}} \quad (3)$$

Onde:

CR – Custo de regeneração [\$/Kg];

N – Potência do motor [KW];

T – Tempo de lavagem [h];

C_{ele} = Custo por KWH – R\$0,30 [KWh];

C_{água} = Custo por Kg - 0,006073 [R\$/Kg];

M_a = Massa de Água [Kg];

M_{ar} = Massa de Areia [Kg]

A equação leva em consideração a energia elétrica gasta no processo. Multiplica se a potência do motor do equipamento pelo tempo em que o mesmo ficou ligado durante a lavagem e também pelo custo da tarifa da rede elétrica. Acrescenta se também a quantidade de água utilizada multiplicada pelo custo da tarifa da rede de saneamento. Vale também ressaltar que há ainda o custo de descarte da areia em aterros próprios quando esta não puder mais ser regenerada. Esta variável não está inclusa na equação, pois faz a mesma faz alusão apenas aos custos operacionais de tratamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após um único ciclo de lavagem com período de 30 minutos de agitação mecânica e aproximadamente quatro dias de decantação, obteve se dados satisfatórios. Os resultados deste trabalho são apresentados conforme a metodologia já descrita no capítulo anterior e serão abordados os tópicos de acordo com os ensaios realizados.

4.1 CONCENTRAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Para esse ensaio foram utilizadas duas amostras de areia usada e duas amostras dela após o processo de regeneração. Através de uma média dos valores encontra se uma tendência para os resultados. Em um primeiro momento, observa se abaixo os dados obtidos com a areia usada:

Tabela 3 - Areia a verde usada

Peneira (#)	Amostra 01 Massa 49,87 g			Amostra 02 Massa 48,22 g		
	Massa [g]	Massa [%]	%acu	Massa [g]	Massa [%]	%acu
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,02	0,04	0,04	0,03	0,06	0,06
20	0,85	1,70	1,74	0,81	1,66	1,72
30	1,56	3,13	4,87	1,23	2,52	4,24
40	6,13	12,29	17,17	5,04	10,32	14,56
50	7,47	14,99	32,14	6,69	13,70	28,27
70	18,88	37,86	70,02	18,37	37,63	65,89
100	8,90	17,85	87,85	9,71	19,89	85,79
140	4,97	9,96	97,81	5,64	11,55	97,34
200	0,48	0,96	98,78	0,77	1,59	98,91
270	0,53	1,06	99,84	0,45	0,92	99,84
Fundo	0,08	0,16	100	0,08	0,16	100
Soma	49,87	100		48,82	100	
Concentração 70,68%			Concentração 71,22%			
Média 70,95%						

Nota se que a areia antes do tratamento de regeneração possuía em média uma **Concentração** de **70,95%**, pois a maior quantidade consecutiva de massa retida ficou alojada nas peneiras da **série 50 a 100#** em ambas as amostras.

Estando um pouco além do limite recomendado para um ótimo desempenho na moldagem.

Em um segundo momento, já com a areia regenerada e devidamente seca, repete se o ensaio acima também em duas amostras, utilizando a média a fim de se obter uma tendência. Segue abaixo os dados obtidos:

Tabela 4 - Areia após regeneração

Amostra 03				Amostra 04		
Massa 50,63 g				Massa 50,11 g		
Peneira (#)	Massa [g]	Massa [%]	%acu	Massa [g]	Massa [%]	%acu
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,08	0,16	0,16	0,04	0,08	0,08
20	0,64	1,26	1,42	0,37	0,74	0,82
30	0,93	1,84	3,26	1,00	2,00	2,81
40	3,78	7,47	10,73	3,97	7,92	10,74
50	5,45	10,76	21,49	5,77	11,50	22,25
70	17,97	35,49	56,98	18,59	37,10	59,35
100	12,54	24,77	81,75	12,12	24,19	83,54
140	7,03	13,89	95,64	6,42	12,81	96,35
200	0,62	1,22	96,86	0,59	1,18	97,53
270	1,21	2,39	99,25	0,95	1,90	99,42
Fundo	0,38	0,75	100	0,29	0,58	100
Soma	50,63	100		50,11	100	
Concentração 71,03%				Concentração 72,80%		
Média 71,92%						

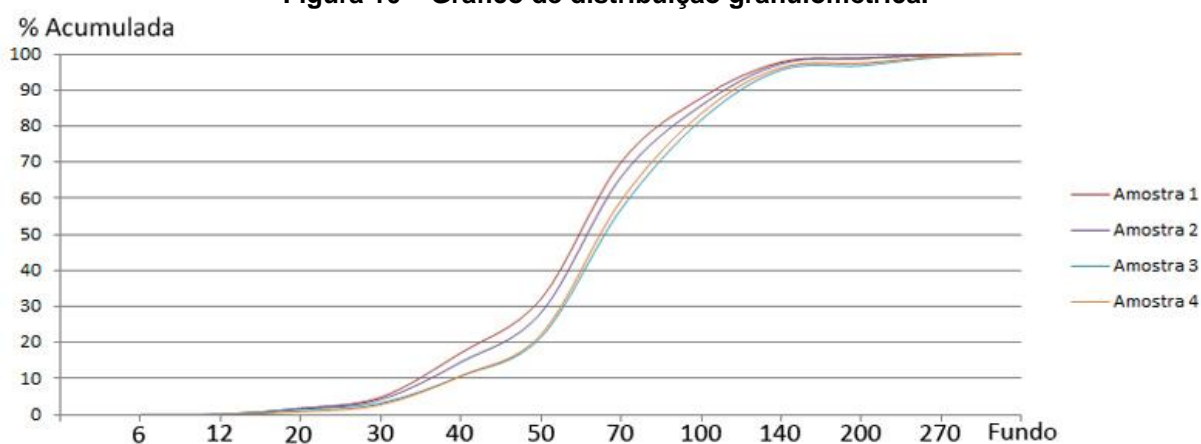
Nota se uma pequena alteração de **0,96%** na **Concentração** com um novo valor médio de **71,92%**. Também vê se que a série de peneiras onde se encontra a maior soma consecutiva agora está entre a **série 70 e 140 #**, sugerindo assim que a areia regenerada se encontra agora um pouco mais fina que a anterior.

Utilizando a porcentagem acumulada versus o número de série das peneiras utilizadas (Tabela 5), obteve se o gráfico de distribuição granulométrica das quatro amostras (duas antes do tratamento e duas depois). Como dito anteriormente, a amostra 01 e 02 correspondem a areia antes do tratamento, enquanto que as amostras 03 e 04 referem se a areia regenerada.

Tabela 5 - Porcentagem acumulada [%]

Peneiras [#]	Antes da lavagem			Após a lavagem		
	Amostra 1	Amostra 2	Média	Amostra 3	Amostra 4	Média
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,04	0,06	0,05	0,16	0,08	0,12
20	1,75	1,72	1,73	1,42	0,82	1,12
30	4,87	4,24	4,56	3,26	2,81	3,04
40	17,16	14,56	15,86	10,73	10,74	10,73
50	32,14	28,27	30,21	21,49	22,25	21,87
70	70,00	65,90	67,95	56,98	59,35	58,17
100	87,85	85,78	86,82	81,75	83,54	82,64
140	97,81	97,34	97,58	95,64	96,35	95,99
200	98,78	98,91	98,84	96,86	97,53	97,19
270	99,84	99,84	99,84	99,25	99,42	99,34
FUNDO	100	100	100	100	100	100

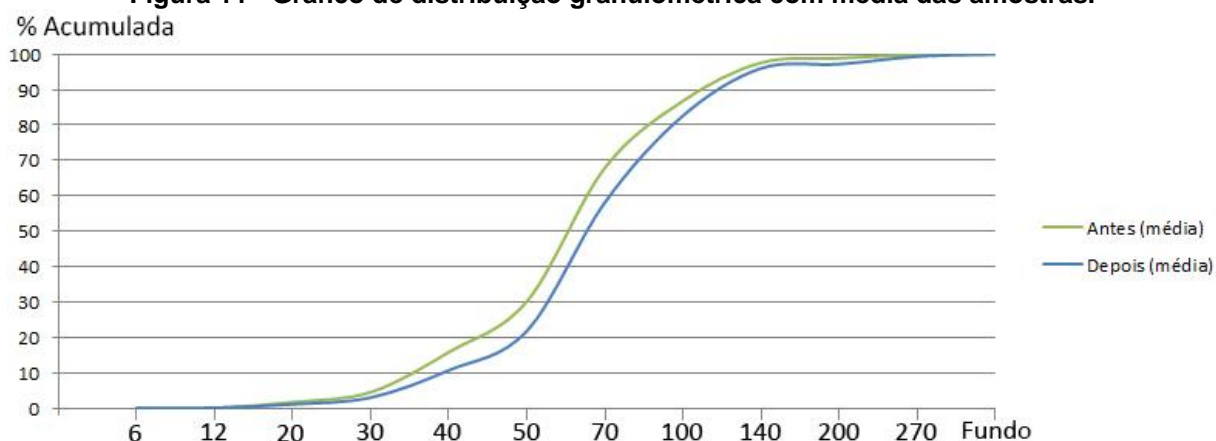
No gráfico abaixo, as duas curvas da esquerda (areia usada) apresentam uma leve alteração na marca da peneira de 40 #, o que indica que essa areia foi misturada com outra de granulometria diferente ou que há impurezas dessa ordem presentes.

Figura 10 – Gráfico de distribuição granulométrica.

Amostra 1 e 2 são de antes da lavagem e amostra 3 e 4 são de areias regeneradas.

Isso pode ser visto mais claramente no gráfico a seguir, que foi obtido pela média das porcentagens acumuladas antes e depois do processo versus o número da série da peneira.

Figura 11 - Gráfico de distribuição granulométrica com média das amostras.



Após o ciclo de lavagem, observa-se uma suavização nessa elevação e um deslocamento da curva de distribuição para a esquerda, reforçando assim a ideia de que a areia se encontra mais fina do que a de início.

4.2 ARGILA AFS E MÓDULO DE FINURA

Utilizando as amostras anteriores, realizou-se o ensaio de Argila AFS que visa determinar através da diferença de massa, após ciclos de lavagem e sifonamento, a porcentagem de argila presente na areia. Abaixo segue os dados:

Tabela 6 - Areia a verde usada - Ensaio AFS

Amostra 05				
Massa 50,09 g				
Peneira (#)	Massa [g]	Massa [%]	Fator	
6	0,00	0,00	3	0,00
12	0,00	0,00	5	0,00
20	0,03	0,06	10	0,60
30	0,59	1,17	20	23,40
40	2,82	5,63	30	168,90
50	4,04	8,06	40	322,40
70	15,92	31,78	50	1589,00
100	10,94	21,84	70	1528,80
140	6,13	12,24	100	1224,00
200	0,32	0,64	140	89,60
270	0,96	1,92	200	384,00
Fundo	0,28	0,56	300	168,00
Soma	42,03	83,90		5498,70
Módulo de Finura 65,54			AREIA F5	
Argila AFS 16,10 %				

Após o ensaio efetuado e os dados obtidos, notou-se que antes do tratamento úmido, o **Módulo de finura** da areia é de **65,54**, com **16,10%** de Argila AFS presente. Sendo classificada assim como uma **Areia F5**.

A amostra obtida após a regeneração apresentou os seguintes dados:

Tabela 7 - Areia regenerada - Ensaio AFS

Amostra 06				
Massa 50,01 g				
Peneira (#)	Massa [g]	Massa [%]	Fator	
6	0,00	0,00	3	0,00
12	0,00	0,00	5	0,00
20	0,00	0,00	10	0,00
30	0,69	1,38	20	27,60
40	3,60	7,20	30	216,00
50	5,18	10,36	40	414,40
70	15,87	31,73	50	1586,50
100	10,15	20,30	70	1421,00
140	7,53	15,05	100	1505,00
200	1,03	2,06	140	288,40
270	1,22	2,44	200	488,00
Fundo	0,52	1,04	300	312,00
Soma	45,79	91,56		6258,90
Módulo de Finura			68,36	AREIA D5
Argila AFS			8,44 %	

Fica evidente que após o tratamento úmido, o **Módulo de finura** da areia se eleva, como dito anteriormente, chegando a **68,36**. Porém o teor de argila cai para **8,44%**, representando assim uma remoção **47,58%** de Argila e finos. Uma nova classificação é dada à areia, sendo agora **Areia D5**.

4.3 MICROSCOPIA ÓPTICA

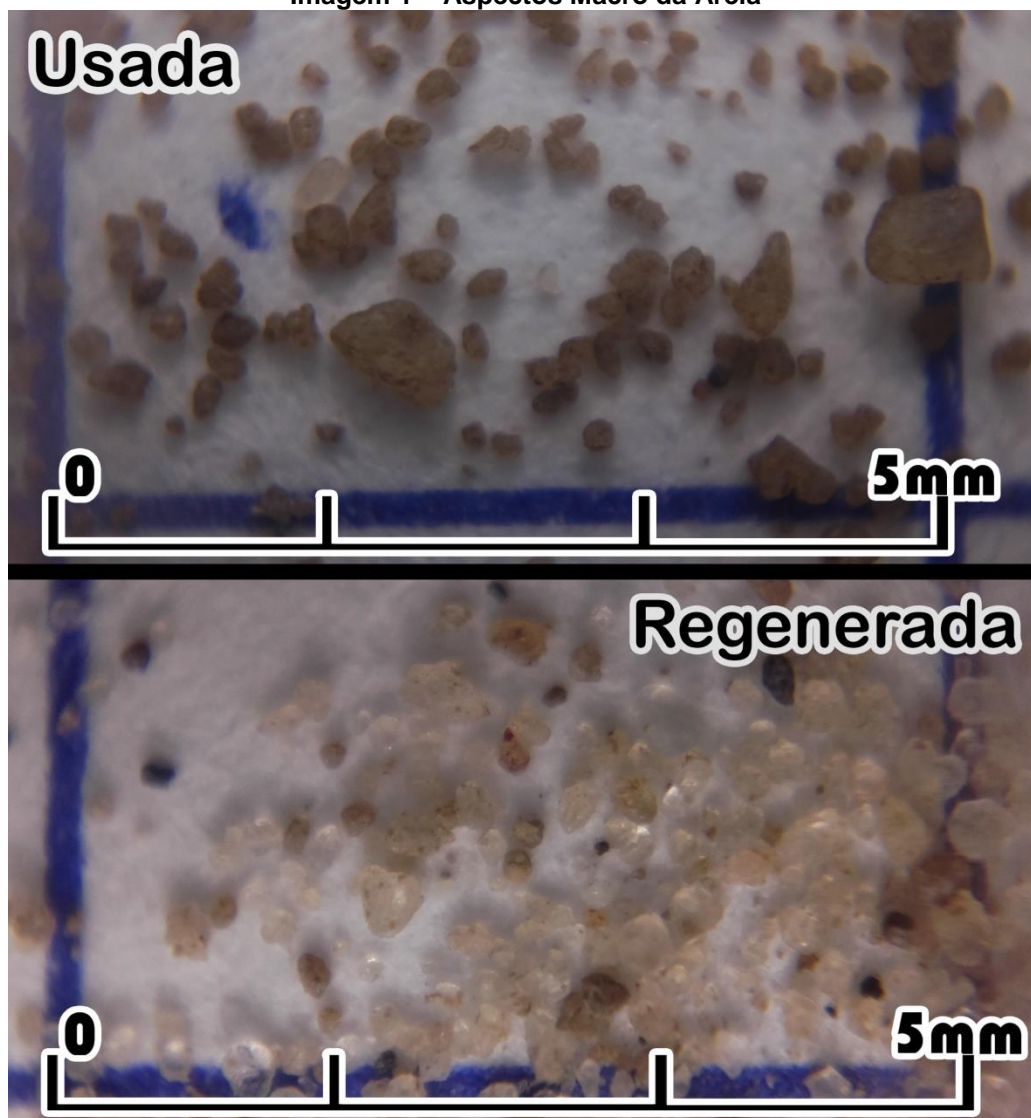
Para uma análise mais ampla, comparou-se imagens do microscópio com a de uma câmera a fim de notar similaridades e convergência de resultados no âmbito macro e microscópio.

Fazendo uma análise macroscópica pela Imagem 1, observa-se o aspecto escuro da areia devido à presença de a argila aderida à sua superfície dos grãos que era de aproximadamente 16,10% em peso.

Notam-se também poucos grãos com tamanho acima da média. Isso também fica evidenciado na curva de distribuição granulométrica onde há a

presença de uma pequena crista próximo da região da peneira de 40 #, ou seja, apresenta alguns grãos com tamanho superior a 0,42mm.

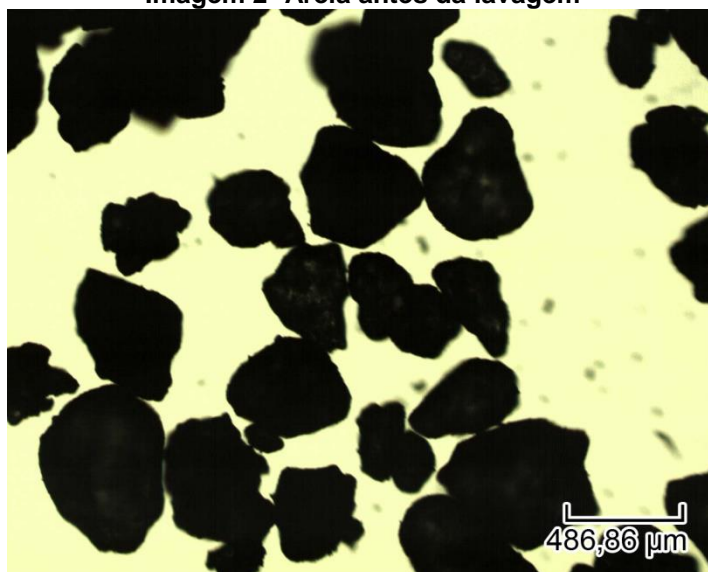
Imagem 1 – Aspectos Macro da Areia



Fonte: Autor.

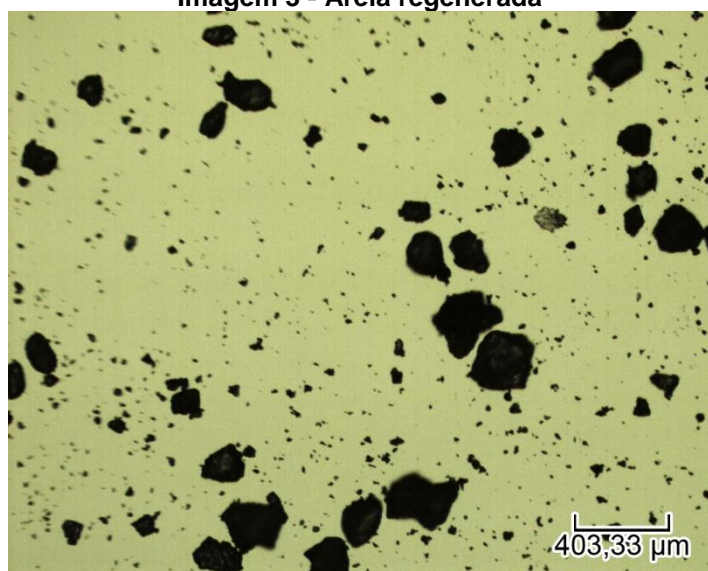
Após um único ciclo de lavagem, observou-se que os grãos de areias tornaram se mais translúcidos devido à remoção da argila que estava impregnada em sua superfície, evidenciando assim a eficiência do processo. Porém, notou-se também que ainda há argila presente e a possível execução de um novo ciclo de lavagem depende diretamente das propriedades que se deseja obter.

Analisando microscopicamente a morfologia dos grãos presentes Imagem 2, observa se entre eles grãos subangulares, subarredondados e arredondados.

Imagem 2- Areia antes da lavagem

Fonte: Autor.

A predominância de grãos não arredondados é um bom indício, pois à medida que os grãos vão se arredondando, perdem estatisticamente os pontos de contato, diminuindo assim sua aderência com os demais prejudicando a coesão do molde.

Imagem 3 - Areia regenerada

Fonte: Autor.

A diminuição e arredondamento de grãos de areia eram esperados devido ao atrito interno entre partículas durante a lavagem. Com base na imagem acima, notou-se que a morfologia dos grãos não se alterou de forma significativa com a lavagem.

4.4 VIABILIDADE

Este levantamento inicial leva em consideração apenas custo operacional, visto que é necessário um investimento inicial para confecção de uma unidade de regeneração. De acordo com o processo utilizado, pôde se quantificar o custo operacional da seguinte forma:

$$CR = \frac{(N*t*C_{ele} + M_a*C_{água})}{M_{ar}} \quad (3)$$

$$CR = \frac{(0,55*0,5*0,3 + 4*0,006073)}{3} \quad (3.1)$$

$$CR = 0,035597 \text{ R\$/Kg}$$

O custo de regeneração por unidade de massa gira em torno de **R\$ 0,0356**. Sabendo que na região o custo de uma areia nova gira em torno de **R\$0,06 o kg** (R\$ 60,00 a tonelada), sem contar a bentonita ativada que também se recupera, nota se um cenário favorável para realização do método de regeneração úmida.

Lembrando que há um limite de ciclos para regeneração da mesma areia, visto que devido ao atrito das partículas durante a lavagem, pode haver uma diminuição no tamanho das partículas. Esse limite será estabelecido podendo variar de caso para caso, de acordo com as variáveis e informações oriundas do seu setor de moldagem.

5 CONCLUSÃO

O estudo deste trabalho, em função da regeneração de areias de fundição através de tratamento úmido usando o atrito das partículas em meio aquoso como técnica empregada, propiciaram as conclusões descritas a seguir.

1. Com o processo de regeneração empregado concluiu se que a bentonita ativada adsorveu se na água de lavagem presente no sistema, vindo a depositar se posteriormente em uma camada acima da areia, facilitando sua remoção.

2. Os ensaios realizados mostraram que as partículas da areia não sofreram alteração significativa após a lavagem em algumas de suas características como a distribuição granulométrica, concentração, módulo de finura. A maior alteração apresentou se no teor de argila presente na areia com uma redução de 16,10% para 8,44%.

3. Com os dados obtidos pelos ensaios, conclui se que da massa inicial de 3kg no início do estudo, 483g de argila estavam presentes. Após um ciclo de lavagem, a quantidade de argila e finos removida chega a aproximadamente 230g.

4. Através da equação que relaciona custos com a massa de areia regenerada, estimou se um valor de aproximadamente R\$0,035 por quilograma de areia regenerada. Sabendo que o valor para comprar uma areia nova gira em torno de R\$0,06 por quilograma. Apesar de não apresentar uma regeneração total da areia, o baixo custo operacional juntamente com o fato de recuperar uma grande quantidade de bentonita ativada, a qual pode ser utilizada novamente na moldagem, o processo utilizado apresenta um cenário de viabilidade econômica.

6 SUGESTÕES

Como prosseguimento do desenvolvimento desta pesquisa, pode-se sugerir:

1. Análise do efluente líquido (Lodo) produzido no ciclo de lavagem.
2. Estudar a possibilidade de reaproveitamento da argila removida (Bentonita Ativada) como ligante em novo processo de moldagem.
3. Avaliação econômica da implantação de uma unidade para regeneração de areia de fundição utilizando o Tratamento Úmido.
4. Análise das propriedades da areia regenerada em relação a Areia Nova.

REFERÊNCIAS

- 1 ABIFA (Associação Brasileira de Fundição). **CEMP_081**: Materiais granulares usados em Fundição – Determinação da Distribuição Granulométrica e Módulo de Finura. São Paulo, 1982.
- 2 ABIFA (Associação Brasileira de Fundição). **CEMP_082**: Areias para fundição – Determinação do teor de Argila pelo método do sifonamento e lavagem contínua. São Paulo, 1982.
- 3 ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR1007**: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- 4 ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- 5 ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR7217**: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.
- 6 ADEGAS, R. G. **Perfil ambiental dos processos de fundição ferrosa que utilizam areias no estado do Rio Grande do Sul**. 2007. 120f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 7 ALVES, M. A. Bentonita. Marco assessoria em areia a verde, 2017. Disponível em: <<http://www.areiaverde.com/index.php/materias-primas/bentonita>>. Acesso em 14 de Novembro de 2017.
- 8 **ANUÁRIO ABIFA 2016**: São Paulo, 2016. Disponível em: <http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2016/09/revista_abifa_193.pdf> Acessado em 21/05/2017.
- 9 BALDAM, R. L. **Fundição: Processos e Tecnologias Correlatas**. Éd. Érica, 1ª ed. São Paulo, 2013.
- 10 FAGUNDES, A. B. ; VAZ, C. R. ; OLIVEIRA, I. L. **A logística reversa aplicada às areias de fundição**. Revista da Abifa, v. 131, p. 22-30, 2011.

- 11 GOES, M.A.C; LUZ,A.B da; POSSA, M.V. **Amostragem** Capítulo 2. Rio de Janeiro. 2004. Disponível em <http://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/Amostragem_CT2004-180-00.pdf>. Acessado em 12/06/2017.
- 12 KIMINAMI, C. S.; CASTRO, Walman B. e OLIVEIRA, M. F. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**, Blucher, São Paulo, 2013.
- 13 LORÉ, V. **Areias de Fundição: generalidades, classificação, técnicas de preparo, componentes**. IN: Fundição. SIEGEL coord., Associação Brasileira de Metais-ABM. 10.ed., aula n.8, 1978.
- 14 OLIVEIRA, I. L. de. **Moldagem - aula 4**. Ponta Grossa. 2014. Disponível em <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/ivanir/disciplinas/disciplina-de-oldagem/Moldagem-aula4-2014.pdf>> . Acessado em 12/06/2017.
- 15 PAIVA, L. B.; MORALES, A. R.; DÍAZ, F. R. V. **An overview on organophilic clays: properties, routes of preparation and applications**. Applied Clay Science, 2007.
- 16 SCHEUNEMANN, R. **Regegeneração de Areia de fundição através de tratamento químico via processo Fenton**. 2005. 85f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina.
- 17 SENAI, Departamento Regional de Minas Gerais. **Areias de fundição aglomeradas com argila**. Belo Horizonte: DFP/DAT, v.2, 1987.
- 18 SILVA, A. R. V.; FERREIRA, H.C. **Argilas bentoníticas: conceitos, estruturas, propriedades, usos industriais, reservas, produção e produtores/fornecedores nacionais e internacionais**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos / ISSN 1809-8797 / v.3.2 (2008) 26-35.
- 19 SOUZA, J. C. **Reutilização de Areia a verde descartada de fundição ligada com $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ na preparação de moldes não permanentes**. 2012. 99f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais. Universidade Estadual de Ponta Grossa.