

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS CENTRO
DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**Potencial utilização de areia de fundição na construção
civil: um estudo de caso para a cidade de São Carlos - SP**

DOUGLAS TROFINO CARASSATO

SÃO CARLOS -SP

2023

Potencial utilização de areia de fundição na construção civil: um estudo de caso para a cidade de São Carlos – SP

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Barcelos Otani

São Carlos - SP

2023

FOLHA DE APROVAÇÃO

NOME: Douglas Trofino Carassato

RA: 725719

Potencial utilização de areia de fundição na construção civil: um estudo de caso para a cidade de São Carlos – SP

ORIENTADOR(A): Prof. Dr. Lucas Barcelos Otani

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Avaliado em:

São Carlos, 13 de junho de 2023.

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Lucas Barcelos Otani
DEMa – CCET – UFSCar

Prof. Dr. Guilherme Yuuki Koga
DEMa – CCET – UFSCar

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família que me deu condições de fazer a faculdade.

AGRADECIMENTO

Quero agradecer minha família pelo apoio nesses anos, meus amigos que estiveram junto comigo durante toda trajetória da graduação, aos professores, pois é graças a eles que formam-se profissionais de qualidade e por fim meu orientador Prof. Lucas Otani, que se preocupou com meu trabalho e sempre esteve disposto a me ajudar .

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo geral compreender a importância de se aproveitar a areia de fundição na construção civil. Foram objetivos específicos deste trabalho: discorrer sobre sustentabilidade ambiental; explicar a importância do uso consciente dos recursos naturais e de tecnologias limpas; explicar o gerenciamento correto e redução de resíduos; identificar a importância de se aproveitar a areia de fundição na construção civil. O procedimento metodológico utilizado nesta pesquisa é uma revisão bibliográfica qualitativa descritiva, visto que é amparado por uma revisão teórica. Uma vez definidos os objetivos de pesquisa, deu-se início à coleta de informações com base no estudo de bibliografias nacionais e internacionais. Um estudo de caso para a fundição JC Metals, em São Carlos, foi feito afim de verificar se há possibilidade e viabilidade da reutilização da areia descartada pela empresa, baseando-se nos resultados observados na revisão bibliográfica feita ao longo do texto. Concluiu-se que a reutilização de areia de fundição descartada mostrou potencial de seu uso em concreto e outras áreas, desde que uma análise química demonstrasse que não haveria risco ambiental, sendo assim o setor de construção facilmente poderia absorver esse resíduo. Também cálculos de custos exibiram que poderia haver economia caso a JC Metals doasse sua areia para concreteiras localizadas na sua proximidade, reduzindo assim o custo com o descarte nos aterros. Embora muitos estados tenham desenvolvido regulamentações na reutilização para subprodutos industriais, grandes quantidades de subprodutos de fundição ainda estão sendo aterradas em todo o planeta. No entanto, a reutilização de produtos de fundição está aumentando em uma variedade de áreas, incluindo em rodovias e indústrias de construção civil.

Palavras-chave: Reutilização da areia de fundição. Sustentabilidade. Construção civil. São Carlos- SP.

ABSTRACT

The general objective of the research was to understand the importance of using foundry sand in civil construction. The specific objectives of this work were: to discuss environmental sustainability; explain the importance of conscious use of natural resources and clean technologies; explain the correct management and reduction of waste; identify the importance of using foundry sand in civil construction. The methodological procedure used in this research is a descriptive qualitative bibliographic review, since it is supported by a theoretical review. Once the research objectives were defined, the collection of information began based on the study of national and international bibliographies. It was concluded that the high landfill cost and potential uses of smelter by-products led to research into their beneficial reuse. Although many states have developed regulations on reuse for industrial byproducts, large amounts of smelter byproducts are still being grounded across the planet. However, reuse of foundry products is increasing in a variety of areas, including the highway and construction industries.

Keyword: Foundry sand reuse. Sustainability. Construction. São Carlos-SP

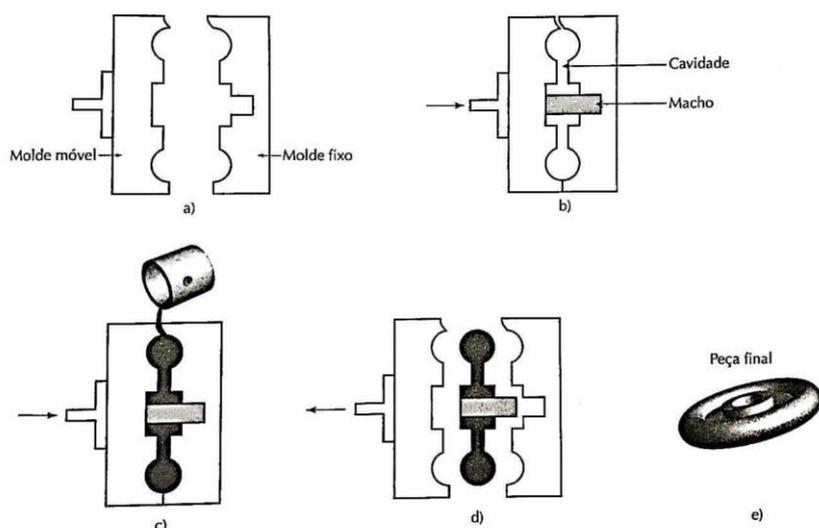
SUMÁRIO

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 9 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA..... | 11 |
| 2.1 Panorama ambiental | 11 |
| 2.2 Concreto..... | 13 |
| 2.3 Areia de fundição | 16 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 21 |
| 4. RESULTADOS..... | 22 |
| 5. DISCUSSÃO | 33 |
| 6. CONCLUSÕES | 37 |
| REFERÊNCIAS | 38 |

1. INTRODUÇÃO

A maioria das fundições usam a areia de duas maneiras: para moldes que formam a parte externa da peça fundida e em machos que formam as formas internas e cavidades dentro da peça fundida. A areia verde, constituída de areia de sílica é ligada por argilas naturais (por exemplo, bentonita) ou com agentes químicos, como uretano fenólico. Aditivos de carbono, como pó de carvão, são adicionados para controlar a permeabilidade ao gás, resistência e outras propriedades da mistura. Outro tipo de areia usada em fundição é a areia química, que consiste em 93-99% de areia de sílica e 1-3% de aglutinante químico (JAVED et al., 1994). Na figura 1 podemos ver como é a montagem do molde junto ao macho de areia na confecção de uma peça fundida.

Fig 1. Processo simplificado de fundição em areia



O componente de areia da areia de fundição é referido como “areia de base”. Depois que o metal fundido esfria, a peça fundida é removida do molde de areia de fundição, o molde é então agitado e triturado para sua quebra e separado dos machos (areias ligadas quimicamente usadas para formar cavidades). A areia verde usada é recuperada e retorna a moldagem. Areia básica, bentonita e aditivos são introduzidos na areia recuperada para manter as propriedades desejadas da areia de fundição. Isso resulta em um acúmulo gradual de areia de fundição, parte da qual é descartada quando a capacidade de reutilização é atingida. O resíduo de areia de fundição é o resíduo de maior volume a ser descartado nessas fundições que empregam

moldagem com areia. Diante do exposto, surgiu a seguinte questão que norteou este trabalho: Qual o potencial de aproveitamento da areia de fundição na construção civil e qual o contexto da cidade de São Carlos com relação à este problema. Foram objetivos específicos deste trabalho: discorrer sobre sustentabilidade ambiental; explicar a importância do uso consciente dos recursos naturais e de tecnologias limpas; explicar o gerenciamento correto e redução de resíduos; identificar a importância e o potencial de se aproveitar a areia de fundição na construção civil, extrapolar o caso para a cidade de São Carlos, visto que, há quatro fundições na cidade que utilizam areia em suas produções.

Por se tratar de um tema atual onde ainda há muito a ser pesquisado e explicado, este estudo ganha uma importância ainda maior. Esse trabalho também será relevante para a comunidade científica porque disponibilizará mais referenciais bibliográficos para trabalhos futuros acerca de sua temática principal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama ambiental

Sustentabilidade pode ser definida como todas as ações destinadas a manter as condições que sustentam a vida na Terra, de modo a garantir a continuidade e levar em conta as necessidades das gerações presentes e futuras para manter a capacidade de regeneração, reprodução e evolução dos recursos naturais (BOFF, 2012).

O conceito de um pilar de desenvolvimento sustentável, ou "triple bottom line", proposto originalmente nos anos 90 pelo analista britânico John Elkington, aponta para os três pilares que devem orientar a gestão sustentável nas empresas: o social, o econômico e o ambiental (SAVITZ; WEBER, 2007). Este modelo também foi proposto por Coral (2002) em sua tese de doutorado sendo baseado no objetivo de desenvolver um modelo de planejamento estratégico para alcançar a sustentabilidade das empresas.

Nunes (2012) argumenta que a gestão ambiental faz parte de um novo modelo de negócios, "Gastronomia Sustentável", que pode alcançar resultados financeiros reduzindo o impacto ambiental de seus processos produtivos, aumentando a rentabilidade e melhorando a imagem da marca para os clientes, uma vez que o redesenho dos processos produtivos reduz o desperdício e o consumo de recursos.

Assim, foi possível verificar a existência de vários estudos que refletiam a importância da sustentabilidade ambiental em relação a vários aspectos, desde a preocupação com os modos de produção e fornecimento até o consumo consciente e a responsabilidade pelos resíduos produzidos.

Pesquisa realizada por Barbosa et al. (2007), avaliou os benefícios da aplicação de painéis fotovoltaicos para capturar energia solar em um restaurante às margens do Rio São Francisco no nordeste do Brasil, para uso em iluminação, geladeiras, freezers e outros eletrodomésticos. Após a aplicação, a análise mostrou que a renda mensal dos proprietários aumentou 145%, o número de pessoas diretamente beneficiadas dobrou e o atendimento ao cliente aumentou em média 450% durante a alta temporada, demonstrando, além dos benefícios ambientais, os benefícios econômicos da introdução e uso da energia solar.

Outro estudo de Faria, Gasparotto e Barbosa (2005) sobre economia de

energia em um restaurante universitário através do aquecimento solar de água mostrou que se ao invés do método tradicional (caldeira de combustível) de aquecimento de água através do calor gerado por painéis solares, 8,1% do consumo de combustível poderia ser economizado, portanto, a poluição poderia ser reduzida através do uso de combustível diesel para aquecimento de caldeiras. Os autores também argumentam que o custo de manutenção dos pratos solares é quase zero, o que economizaria muito dinheiro a cada mês, o que permitiria pagar pela introdução do sistema solar por dois ou três anos, baixando o custo final dos pratos e é benéfico ambiental e economicamente para a introdução do restaurante mencionado.

O uso racional da água no setor alimentício visa otimizar os processos que exigem seu uso, tais como higiene, processamento de alimentos e equipamentos e lavagem de louça (SOLLA; SILVA, 2012), deve ser adotado para reduzir o consumo e incentivar novas atitudes e comportamentos que devem ser aplicados por todos os participantes do processo. Para melhor implementar a redução do desperdício e do consumo de água, é necessário realizar ações sociais de conscientização da equipe de funcionários para promover mudanças no comportamento individual de todos os envolvidos, além de desenvolver algumas ações relacionadas à tecnologia, tais como a substituição dos sistemas tradicionais de abastecimento de água por sistemas de economia de água, a implementação de sistemas de medição em cada setor, a detecção e eliminação de possíveis vazamentos e a reutilização e reciclagem da água fornecida (OLIVEIRA; GONÇALVES, 1999; MONTEIRO; CIANCIA; SILVA; 2012).

O descarte adequado dos resíduos produzidos tornou-se um fator importante para a sobrevivência do planeta e para a qualidade de vida das pessoas que vivem no meio ambiente. No entanto, a desigualdade social, o crescimento acelerado da população e a concentração econômica contribuíram para o aumento do consumo e, como resultado, o aumento da produção de resíduos, poluindo o solo, a água e o ar, prejudicando a flora e a fauna e tornando-se uma ameaça à saúde pública (AMARAL et al., 2014).

No Brasil, uma grande proporção dos resíduos sólidos é destinada a aterros sanitários e, em menor escala, a lixões, ou seja, aqueles que não possuem alguma forma de tratamento e são proibidos. Souza (2000, p. 14) chama a atenção para isso:

O reaproveitamento ou a disposição correta desses resíduos envolve aspectos sociais, econômicos e ecológicos e um novo comportamento individual deve pautar a

mudança de valores e o padrão de consumo sustentável, repensando a minimização e a conscientização de despejos de materiais.

A nova Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei 12305/2010, que entrou em vigor em 2015, determina que os municípios não podem utilizar lixões para disposição de resíduos, mas apenas os aterros legalizados que devem receber os resíduos, aqueles materiais que não podem ser reciclados ou reutilizados e dos quais todas as possibilidades de reciclagem e recuperação foram esgotadas. Esta lei também estabelece que a responsabilidade pela disposição de resíduos é de todos os envolvidos no ciclo de vida do produto, sejam eles consumidores, produtores, distribuidores ou comerciantes, e estabelece que a gestão de resíduos deve ser uma prioridade na ordem de abandono, redução, reutilização, reciclagem, tratamento de resíduos sólidos e disposição final de resíduos de forma ambientalmente correta (NERY et al., 2013; ABREU, 2013; AMARAL et al., 2014).

As práticas sustentáveis, conhecidas como 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar), são boas práticas que podem ajudar a garantir que os aterros sanitários não esgotem seu potencial, tornem-se necessárias para conservar os recursos naturais e manter estilos de vida saudáveis e responsáveis. A reciclagem consiste em evitar desperdícios, reavaliar hábitos de consumo e reduzir o uso de matérias-primas, energia e geração de resíduos; a reciclagem envolve a reutilização de materiais em outras funções cotidianas; e a reciclagem envolve a conversão de materiais já utilizados em novos produtos (SANTOS; AGNELLI; MANRICH, 2004; LOCATELLI; SANCHEZ; ALMEIDA, 2008).

2.2 Concreto

Concreto é o material de construção mais amplamente utilizado, consome-se globalmente 14 bilhões de metros cúbicos anualmente segundo a Global Cement and Concrete Association. O agregado consiste em 70% de seu volume, é o principal material componente na produção de concreto (Americans Cement Manufacturers). Concreto é basicamente composto por cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo (brita ou pedra). Ainda pode conter alguns aditivos, como, cinza volante, sílica ativa, metacaulim, superplastificantes, entre outros (Bastos, P.S.).

A água é necessária no concreto para possibilitar as reações químicas de

hidratação do cimento, reações essas que garantem as propriedades de resistência e durabilidade do concreto, produz a matriz que aglutina os agregados. O cimento Portland, constituído principalmente de clínquer (calcário e argila), é o ligante hidráulico que endurece em contato com a água. Por fim os agregados, materiais granulosos e inertes compõe 70% do concreto, dão corpo a mistura, reduzem o custo devido ao baixo preço, confere as propriedades desejadas, onde a distribuição granulométrica variada preenche os espaços, poros do concreto resultando na resistência a compressão requerida desses materiais.

Segundo a ASTM (American Society for Testing and Materials), o concreto é um material compósito que consiste de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas de diferentes naturezas: O aglomerante é o cimento em presença de água; O agregado é qualquer material granular, como areia, pedregulho, seixos, rocha britada, escória de alto-forno e resíduos de construção e de demolição; Os aditivos e adições são substâncias químicas adicionadas ao concreto em seu estado fresco que lhe alteram algumas propriedades, adequando-as às necessidades construtivas.

A norma ABNT NBR 8953 classifica o concreto em três categorias básicas, são elas:

i) Concreto de densidade normal: massa específica no intervalo de 2000 a 2800kg/m³ (comumente encontrado em obras em geral).

ii) Concreto leve: densidade abaixo do intervalo estabelecido para o concreto normal, obtida com o uso de agregados com menor massa específica.

iii) Concreto pesado: massa específica acima do intervalo estabelecido para o concreto normal, devido ao uso de agregados de alta densidade (usado em blindagem contra radiação).

Ainda na norma NBR 8953 se classifica o concreto em relação a sua resistência a compressão aos 28 dias:

i) Concreto de baixa resistência: menos de 20MPa (não adequado à finalidade estrutural, segundo a NBR 6118).

ii) Concreto de resistência normal: de 20 a 50MPa.

3) Concreto de alta resistência: mais de 50MPa.

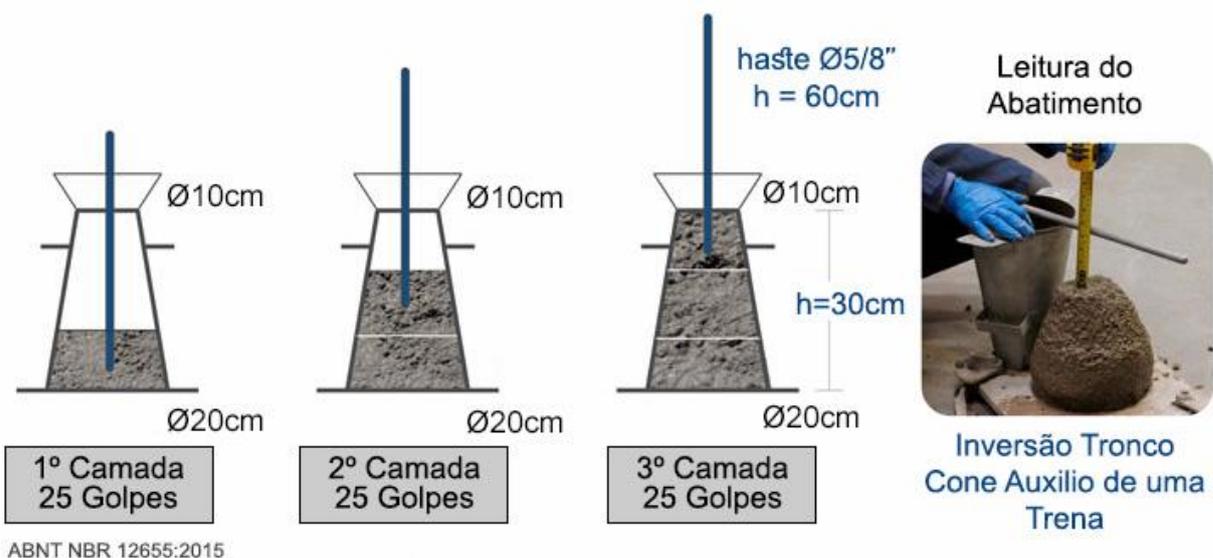
As classificações de agregado usados são agregado graúdo com tamanho de partícula de 4,75 mm ou mais e agregado miúdo com tamanho de partícula de 4,75

mm ou menos. O agregado miúdo (areia natural) é um componente importante do concreto e as propriedades de uma mistura de concreto específica serão determinadas pela proporção e tipo de areia usada para formular o concreto. Esses fatores têm um impacto significativo na trabalhabilidade, durabilidade, resistência, peso, e retração do concreto.

A areia é geralmente um componente maior da mistura do que o cimento, pode preencher os poros ou vazios do concreto, o que também é um fator que contribui para a resistência. A areia reduz as variações de volume resultantes do processo de pega e endurecimento e fornece uma massa de partículas adequadas para resistir à ação das cargas aplicadas e apresentar maior durabilidade do que a pasta de cimento isoladamente. Portanto, a areia tem um papel importante para o concreto solidificar para dar a resistência necessária. (BAUER, L. ^a F.)

As propriedades do concreto são normalmente observadas no concreto fresco e endurecido, envelhecido a 28 dias. Trabalhabilidade identifica a facilidade com o qual o concreto pode ser misturado sem perda de homogeneidade. Essa medida é feita através de um ensaio de abatimento tronco cone que segue a norma NBR- 16889 onde o preparo do concreto fresco é de acordo com a NBR-12655, como visto na figura 2 abaixo. Os concretos bem proporcionados abatem se separação de seus materiais.

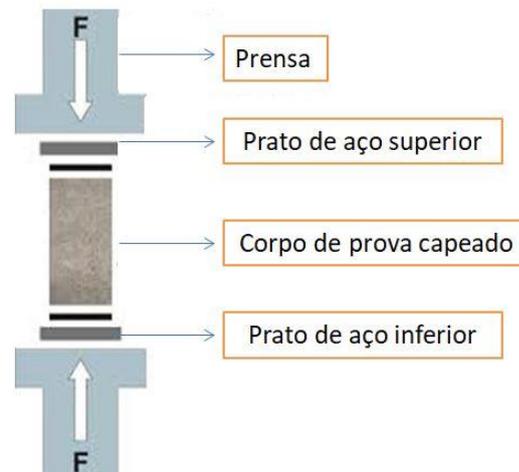
Figura 2. ensaio de abatimento cone tronco



No concreto endurecido sua principal propriedade requerida é a resistência a

compressão, visto que será a principal solicitação requerida por esse material em suas aplicações. Essa medida é feita seguindo a norma NBR-5739/2018 que determina os parâmetros para o ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Na figura 3 podemos ver com esse ensaio é feito.

Figura 3. esquema ensaio de compressão para concreto (NBR-5739/2018)



2.3 Areia de fundição

O método de obtenção de uma forma desejada pela solidificação de metal fundido em um molde que possui espaço é chamado de fundição (BAŞAR; AKSOY, 2012). A fundição envolve a produção de peças fundindo metais ou ligas e despejando-as no espaço em um molde pré-preparado. Em uma etapa, peças com formas simples ou complexas podem ser produzidas a partir de qualquer material que possa ser moldado. O setor de fundição é um setor industrial onde vários ferros, sucatas de aço e ferroligas são fundidos em fornos a arco ou cúpulas, moldados em moldes de areia, cerâmica ou metal, e os produtos de fundição fundidos, de aço, ligas de níquel, usinados e tratados, necessários na indústria são produzidos como matérias-primas ou materiais processados (KEPEZ, 2007; BAŞAR; AKSOY, 2012).

A areia de fundição é classificada em duas categorias, areia a verde e areia quimicamente ligada. A areia de fundição a verde é geralmente composta de 85 a 95% de areia de sílica, 4 a 10% de argila bentonita como aglutinante e 2 a 10% de aditivo carbonáceo; os aditivos de carbono conferem a cor preta de areia à verde. Já a areia quimicamente ligada consiste em 93-99% de areia de sílica e cerca de 1-3% de

aglutinante químico, estes que podem ser resinas epóxi, silicatos de sódio, uretanos fenólicos, etc(Siddique et. al. 2011).

Devido à presença de ligantes químicos e resíduos metálicos, entende-se que os resíduos de areia descartada de fundição (ADF), quando gerenciados de forma imprópria, podem oferecer riscos à saúde dos seres humanos ou ao meio ambiente, portanto geralmente enquadram-se nas classes I e II-A da NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação: Classe I (perigosos), Classe II-A (não perigosos e não inertes) e Classe II-B (inertes).

A CETESB de SP criou um procedimento para gerenciar o resíduo de areia de fundição. Para poder ser reutilizada a ADF deverá ser classificada como II-A ou II-B conforme a norma e deve apresentar concentrações de poluentes no extrato lixiviado igual ou menor as concentrações da Tabela 1 e no extrato lixiviado neutro da Tabela 2.

Tabela 1. Concentração máxima de poluentes no lixiviado. NBR 10005/2004

| Parâmetros | Concentração Máxima no Extrato Lixiviado⁽¹⁾ (mg/L) |
|-------------------|--|
| Arsênio | 0,50 |
| Bário | 10,00 |
| Cádmio | 0,10 |
| Cromo total | 0,50 |
| Chumbo | 0,50 |
| Mercúrio | 0,02 |
| Selênio | 0,10 |

⁽¹⁾ Extrato Lixiviado obtido conforme a norma da ABNT, NBR 10005/2004

Tabela 2. Concentração máxima de poluentes no lixiviado neutro. NBR 10005/2004

| Parâmetros | Concentração Máxima no Extrato Lixiviado Neutro⁽²⁾ (mg/L) |
|-------------------------------|---|
| Cloreto | 2500,0 |
| Cobre | 2,5 |
| Cianeto | 2,0 |
| Fluoreto | 14,0 |
| Ferro | 15,0 |
| Manganês | 0,50 |
| Níquel | 2,0 |
| Fenóis (total) | 3,0 |
| Sódio | 2500,0 |
| Sulfato | 2500,0 |
| Sulfito (total) | 5,0 |
| Sólidos Dissolvidos Totais | 5000,0 |
| Zinco | 25,0 |

⁽²⁾ Extrato Lixiviado Neutro, obtido conforme descrito no Anexo B

A areia de fundição é uma areia de sílica uniforme de alta qualidade usada para fazer moldes e núcleos para peças fundidas de metais ferrosos e não ferrosos. A indústria de fundição de metal usa anualmente cerca de 100 milhões de toneladas de areia de fundição para produção. Com o tempo, as areias de fundição ficam impróprias para o uso em moldes, devido ao aumento do material pulverulento(grãos finos). Conseqüentemente, 9 a 10 milhões de toneladas de areia são descartadas a cada ano nos Estados Unidos. No entanto, as areias de fundição descartadas têm uma composição notavelmente consistente e são ricas em sílica. Atualmente, cerca de 28% da areia de fundição descartada é reutilizada nos EUA, principalmente em aplicações relacionadas à construção, enquanto a areia restante é descartada em aterros sanitários (AMERICAN FOUNDRY SOCIETY, 2017).

A reciclagem da areia de fundição pode economizar energia, reduzir a necessidade de minerar materiais virgens e reduzir os custos tanto para os produtores quanto para os usuários finais. O uso de areia de fundição como agregado miúdo em aplicações de construção oferece aos gerentes de projeto a capacidade de aprimorar a construção sustentável verde, reduzindo sua pegada de carbono, além de se qualificar para créditos LEAD.

A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) estimou recentemente que, no atual nível de reciclagem, 20.000 toneladas de emissões de CO₂ são evitadas, enquanto 200 bilhões de BTUs de energia são economizados (US EPA 2018). O apoio ao aumento da reutilização de areia de fundição reuniu a EPA dos EUA, a Federal Highway Administration, o Departamento de Agricultura dos EUA, o Centro de Recursos de Materiais Reciclados (RMRC), agências ambientais estaduais, a indústria de fundição e usuários finais para desenvolver ferramentas e recursos necessário para aumentar a reciclagem de areia de fundição o 50% até 2025.

Uma das áreas em que o ADF é usado com mais frequência são as operações de construção de rodovias. É possível utilizar este material em vários estados de construção de rodovias. Pode ser usado como material de fundação para a estrutura inferior e superior da estrada ou com a finalidade de aumentar o coeficiente de atrito do material de revestimento da estrada na luta contra a neve e o gelo nos meses de inverno em países frios. O ADF está sendo usado com sucesso como agregado miúdo em misturas asfálticas quentes, estudos têm demonstrado que o ADF pode ser

utilizado para constituir 25% do agregado miúdo na mistura (YAYLALI, 2015).

Devido à sua consistência e cor escura, o ADF é ideal para a produção de solo agrícola. É um material adequado, pois reduz o agrupamento durante a aplicação do fertilizante e evita a mistura devido à compressão. Além disso, permite o fluxo de ar no material. Em uma plantação de Ohio usaram areia de fundição para plantas ornamentais, misturando-a com solo e fertilizante. Nessa prática, a presença da argila é útil, facilitando a ingestão de nutrientes.(SOLMAZ, 2008).

De acordo com a revista (ABIFA, 2022) a indústria de fundição cresceu 20,3% em 2021 no Brasil, com uma produção de 2,7 milhões de toneladas de fundidos, destes 2,35 milhões de toneladas foram absorvidos pelo mercado interno. Essa produção expressiva gera milhões de toneladas de areia de fundição, no Brasil em torno de 3 milhões toneladas/ano, sendo que o seu reaproveitamento pode gerar ganhos econômicos, sociais. No Brasil encontramos exemplos de uso de ADF, como em pavimentação no estado de Santa Catarina, segundo a DEINFRA-SC para cada quilometro de estrada é possível usar 5 mil toneladas de areia de fundição, gerando uma economia estimada de 50% no valor da obra, algo que seria extremamente benéfico, principalmente para obras públicas.

O setor de fundição vem buscando alternativas para o reaproveitamento desse resíduo, uma empresa que está investindo bastante em pesquisas nessa área é a fundição TUPY, além de possuir um aterro próprio que segue todas as normas ambientais em Joinville-SC, hoje a empresa toma atitudes para minimizar o descarte e reaproveitar a ADF, como doação de toneladas para pavimentação de asfaltos (Araquari- SC, Gov.).

Outro exemplo a ser citado é o da empresa Artblocos, fabricante de blocos de concreto e pisos intertravados, nos últimos anos eles incorporaram ADF na fabricação de blocos para calçadas, até o ano de 2018 já haviam produzidos 5 milhões de blocos com esse material e reciclaram 10 mil toneladas de ADF em conjunto com uma economia que gerava um lucro líquido de 2,5% a mais que o bloco com areia comum (ABIFA, 2018).

Tabela 3. Custo de produção dos blocos com e sem ADF

| I - Custos Diretos e Indiretos | | |
|---|--------------------------|-------------------------|
| I.I - Materiais | Porcentagem (ADF) | Porcentagem (AC) |
| Cimento | 17,0 | 17,0 |
| Agregado Graúdo - (RCA) | 16,0 | 16,0 |
| Agregado Miúdo - Areia de Fundição (ADF) | 0,0 | - |
| Agregado Miúdo - Areia Comum (AC) | - | 2,5 |
| Água | 1,0 | 1,0 |
| Subtotal | 34,0 | 36,5 |
| I.II - Mão-de-obra | | |
| Mão-de-obra | 18,0 | 18,0 |
| Subtotal | 18,0 | 18,0 |
| I.III - Despesas Indiretas de fabricação | | |
| Energia | 5,0 | 5,0 |
| Manutenção | 15,0 | 15,0 |
| Subtotal | 20,0 | 20,0 |
| Subtotal I - Despesas Diretas | 72,0 | 74,5 |
| II - Despesas Administrativas | | |
| Administração / Financeiro | 18,0 | 18,0 |
| III - Lucro | | |
| Lucro líquido | 10,0 | 7,5 |
| Total Geral | 100,0 | 100,0 |

Fonte: Elaboração dos autores, 2019.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi dividido em duas partes distintas. A primeira corresponde à revisão bibliográfica sobre o tema, incluindo os aspectos técnico, ambientais e comerciais do potencial que existe na utilização de areia de fundição no setor de construção civil. A segunda parte consiste em uma prospecção da utilização destes resíduos gerados no contexto da cidade de São Carlos - SP.

O procedimento metodológico utilizado nesta pesquisa é uma revisão bibliográfica qualitativa descritiva, visto que é amparado por uma revisão teórica. Uma vez definidos os objetivos de pesquisa, deu-se início à coleta de informações com base no estudo de bibliografias nacionais e estrangeiros. Além de artigos e estudos, sites com notícias relevantes foram consultados para obter um panorama sobre o reaproveitamento da areia de fundição no Brasil e no mundo. Também foi necessário consultar normas a respeito para validar os resultados obtidos dos estudos. Segundo Moresi (2003) pesquisa bibliográfica é um estudo sistematizado desenvolvido com base em material publicado em livros, revistas, artigos, redes eletrônicas e em outros locais acessíveis ao público. Fornece instrumento para qualquer outra categoria de pesquisa.

A pesquisa bibliográfica se apresenta como uma etapa fundamental na estruturação de qualquer tipo de trabalho científico, é ela que molda o restante do trabalho, pois a pesquisa será realizada conforme o que se expõe na revisão de literatura (AMARAL, 2007). De acordo com o autor, as produções acadêmicas podem ser acessadas tanto por meio eletrônico quanto manualmente. Por conta dos avanços tecnológicos, a busca manual de materiais científicos está cada vez sendo menos utilizada, visto que é possível acessar um número muito maior de materiais através do meio eletrônico.

Já a segunda parte do trabalho foi realizado uma coleta de informações sobre as fundições da cidade, fazendo uma projeção das suas gerações de resíduos de areia , junto com o potencial de ganho econômico e ambiental na reutilização desse resíduo na cidade.

4. RESULTADOS

Diversos estudos sobre o presente tema vem sendo feitos ao longos do anos, principalmente nos últimos anos quando a sustentabilidade passou a ser um tema muito abordado e algo que as empresas começaram a se preocupar mais. Dito isso uma apresentação de alguns estudos de autores diferentes, tantos estrangeiros, quanto nacionais será apresentado nessa seção com o objetivo de demonstrar o potencial desse tipo de aplicação e suas dificuldades. Existem vários campos no mundo que alcançariam o uso do ADF em grandes quantidades no setor de construção, especialmente em geotecnia e construção de rodovias. Em geral, o custo no reaproveitamento não pode superar o custo do descarte, pois seria um empecilho, entretanto a conscientização ambiental poderia fazer a empresa arcar com esses custos e buscar soluções mais sustentáveis (SCHULTES, 2006).

A areia de fundição é usada para moldar peças metálicas das mais variadas geometrias e tamanhos, para 1 tonelada de fundição, são necessárias 4-5 toneladas de areia, essa proporção pode variar com base no tipo de metal que precisa ser fundido, tamanho da peça e técnica de moldagem (SIDDIQUE et al., 2010).

A areia de fundição normalmente tem uma forma semi-encurvada ou circular (KAUR, 2006). Possui distribuição uniforme de granulometria; 85-95% tem tamanhos de grão de 0,6 a 0,15 mm, enquanto 5-12% dela tem grãos menores que 0,075 mm (JAVED; LOVELL, 1994). Após cada operação de fundição, os moldes são abertos, grandes peças na areia de fundição são peneiradas e retiradas, e nova areia é adicionada ao sistema na quantidade de areia que for retirada. Após um certo número de ciclos, a areia de fundição torna-se inutilizável para os moldes, que é descartada da fundição como ADF. As razões para isso são (i) degradação física e química da areia, (ii) exposição da areia a 1500°C de metal fundido durante a moldagem, (iii) perda das propriedades de ligação da bentonita na areia e (iv) perda de resistência nos grãos de areia devido à abrasão mecânica (BAŞAR; AKSOY, 2013).

Os resultados do experimento de resistência à tração indireta de amostras com e sem adição de ADF foram em paralelo com os resultados experimentais de resistência à compressão (CS). Em comparação com os valores encontrados nas misturas sem ADF, a absorção de água em amostras de 28 dias com adição de 15% ADF foi 1,5% maior em baixas relações água/cimento (A/C) e 2,9% maior em altas

relações A/C. As taxas de sorvidade e porosidade visível das amostras com 15% de ADF foram maiores do que as das amostras sem adição de ADF. Assim, a argila que existe em certa medida no ADF e as partículas nos grãos do enfraqueceram a aderência e, ao aumentarem a taxa de poros do concreto, reduziram as propriedades mecânicas e físicas do concreto. Essa redução pode ser causada pelas altas taxas de ADF adicionadas à mistura de concreto (YALÇIN; GÜNEY; KOYUNCU; BAŞ, 2003).

Um estudo de (Andrade et al 2018) financiado pela fundição Tupy mostrou que o aumento da ADF reduz as propriedades mecânicas numa proporção não tão significativa de tal forma que o ganho ambiental seja maior. A granulometria da ADF em relação com areia natural usada como agregado miúdo se mostrou adequada para o uso de agregado miúdo. Foram feitos ensaios de caracterização segundo a NBR 10004, análise do extrato lixiviado NBR 10005 e teste de toxicidade para averiguar se a ADF atendia os requisitos da CONSEMA 011/2008. Após todos os teste, pela norma NBR 10004/04 a areia usada no presente trabalho foi classificada como classe IIA, não inerte devido a elementos como ferro e alumínio superiores ao valor máximo permitido, entretanto a areia não é um material perigoso.

Figura 4. curvas granulométricas comparativas dos agregados miúdos (Andrade, 2018)

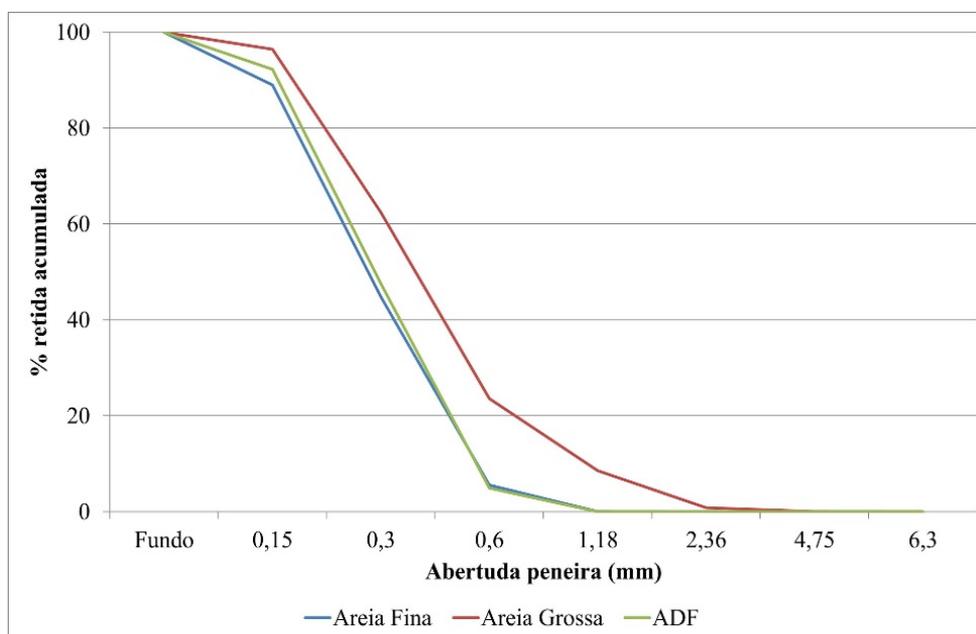


Tabela 4. Parâmetros químicos no lixiviado e solubilizado.

| PARÂMETROS | LIXIVIADO (mg/l) | | SOLUBILIZADO (mg/l) | |
|--|--------------------------|------------------|--------------------------|------------------|
| | NBR 10005 [16] | | NBR 10006 [17] | |
| | RESULTADOS | VMP ¹ | RESULTADOS | VMP ¹ |
| Alumínio | | | 44,26 | 0,2 |
| Arsênio | $< 1,000 \times 10^{-4}$ | 1,0 | $3,990 \times 10^{-3}$ | 0,01 |
| Bário | $< 0,20$ | 70 | $< 0,20$ | 0,7 |
| Cádmio | $< 0,001$ | 0,5 | $< 0,001$ | 0,005 |
| Chumbo | $< 0,01$ | 1,0 | $< 0,01$ | 0,01 |
| Cianetos | | | $< 0,005$ | 0,07 |
| Cloretos | | | 49,67 | 250 |
| Cobre | | | $< 0,005$ | 2,0 |
| Cromo Total | $< 0,030$ | 5 | $< 0,030$ | 0,05 |
| Fenóis totais | | | 0,125 | 0,01 |
| Ferro | | | 25,988 | 0,3 |
| Fluoretos | $< 1,000$ | 150 | $< 1,000$ | 1,5 |
| Manganês | | | $< 0,005$ | 0,1 |
| Mercurio | $< 1,000 \times 10^{-4}$ | 0,1 | $< 1,000 \times 10^{-4}$ | 0,001 |
| Nitrato (expresso em N) | | | 8,00 | 10,0 |
| Prata | $< 0,02$ | 5,0 | $< 0,02$ | 0,05 |
| Selênio | $< 1,000 \times 10^{-4}$ | 1,0 | $< 1,00 \times 10^{-4}$ | 0,01 |
| Sódio | | | 127,530 | 200 |
| Sulfato (expresso em SO ₄) | | | 50,48 | 250 |
| Zinco | | | 0,019 | 5,0 |

¹ VMP – Valores Máximos Permitidos – ABNT NBR 10004/04.

Tabela 5. Parâmetros físicos-químicos do extrato aquoso da ADF pela resolução CONSEMA 011/08

| Parâmetros | Resultados | VMP ¹ |
|---|------------|------------------|
| cianetos (mg/l) | $< 0,005$ | 2,0 |
| cloretos (mg/l) | 12,53 | 2500,0 |
| cobre (mg/l) | 0,015 | 2,5 |
| fenóis totais (mg/l C ₆ H ₅ OH) | $< 0,050$ | 3,0 |
| ferro total (mg/l) | 6,239 | 15,0 |
| fluoretos (mg/l) | $< 1,000$ | 14,0 |
| manganês (mg/l) | $< 0,005$ | 0,50 |
| massa lixiviada (g) | 50,060 | - |
| níquel (mg/l) | $< 0,020$ | 2,0 |
| pH final extrato aquoso (-) | 6,88 | 5,5 – 10,0 |
| pH inicial extrato aquoso (-) | 7,95 | - |
| sódio (mg/l) | 97,58 | 2500,0 |
| sólidos dissolvidos totais (mg/l) | 612,0 | 5000,0 |
| sulfato (mg/l) | 123,68 | 2500,0 |
| sulfeto (mg/l) | $< 0,050$ | 5,0 |

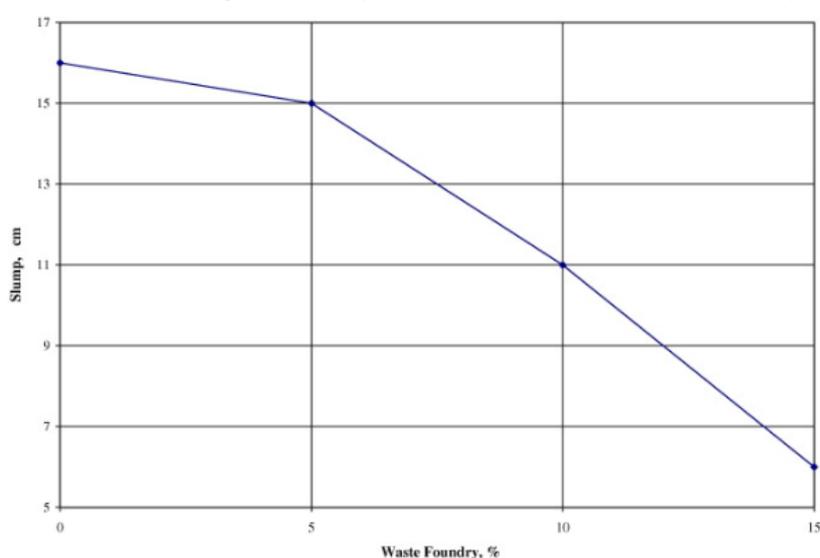
¹ VMP – Valores Máximos Permitidos – Resolução CONSEMA 011 de 2008 [5].

O autor concluiu que a presença de bentonita e pó de carvão aumentou a quantidade de material pulverulento (finos), o que levou o concreto necessitar de mais água ou plastificante. Já a respeito das propriedades mecânicas, com o aumento do teor de de areia de fundição, reduzia-se a resistência mecânica, a melhor opção de uso de ADF no concreto para usos gerais seria de até 30% de ADF e uma relação água/cimento de 0,50.

Guney et al. (2009) investigaram o potencial de reutilização do ADF na produção de concreto de alta resistência. Neste estudo, a areia fina natural é

substituída pela ADF (0%, 5%, 10% e 15%), no caso areia verde. Os resultados de uma série de programas de testes mostraram redução no CS, na resistência à tração e no módulo de elasticidade, que está diretamente relacionado à inclusão de resíduos de fundição no concreto. O abatimento e a trabalhabilidade do concreto fresco diminuíram com o aumento da razão ADF, também reduziu significativamente as propriedades mecânicas e físicas do concreto. Entretanto os resultados obtidos satisfazem os limites aceitáveis estabelecidos pelo American Concrete Institute (ACI).

Figura 5. Efeito da areia de fundição no comportamento de abatimento de cone (Guney et al,2009)



Siddique et al. (2011) apresentam o dimensionamento de misturas de concreto feitas com ADF como substituição parcial de agregados miúdos. Neste estudo, os resultados dos testes indicam que os subprodutos industriais podem produzir concreto com resistência e durabilidade suficientes para substituir o concreto convencional. CS e resistência à tração por tensão dividida foram determinados aos 28, 90 e 365 dias, juntamente com carbonatação e resistência à penetração rápida de cloreto aos 90 e 365 dias. Foi observado o desenvolvimento de resistência comparativa de misturas de areia de fundição em relação à mistura de controle (isto é, mistura sem areia de fundição). Carbonatação do concreto é um dos principais fatores associados à corrosão de armaduras de aço em estruturas de concreto. Um aumento geral na profundidade de carbono foi observado conforme o nível de substituição de ADF aumentou, conforme gráfico abaixo. Entretanto esse aumento na profundidade foi no máximo de 5mm aos 365 dias de idade com 60% de ADF, estando de acordo com os

limites de um concreto convencional .

Figura 6. profundidade da carbonatação; Siddique et al. (2011)

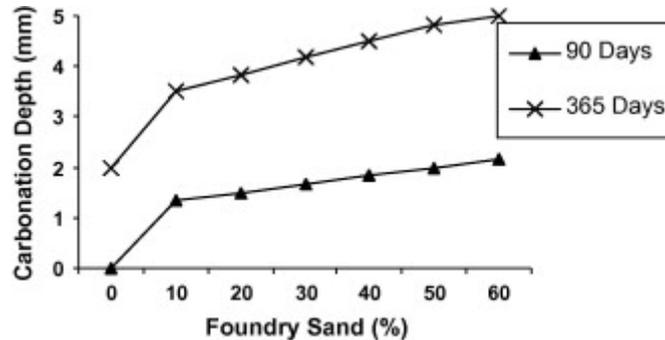
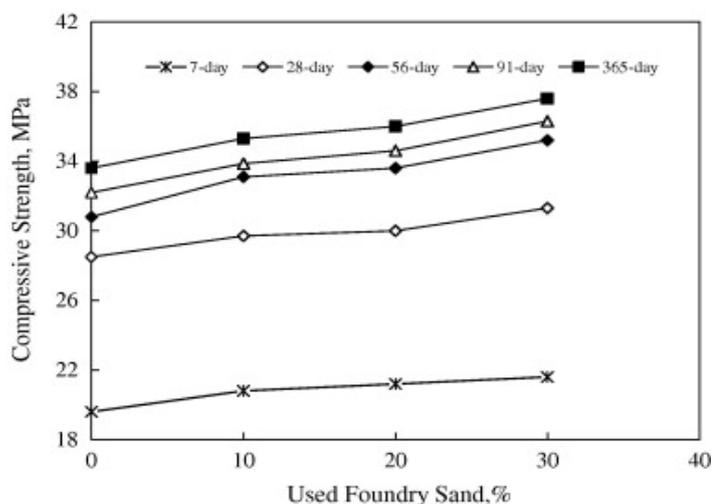


Tabela 6. Classificação do concreto para profundidade de carbonatação (Siddique et al.,2011)

| C (mm/ano^{0.5}) | Concreto |
|---------------------------------|-----------------|
| >9 | Pobre |
| 9 > C > 6 | Média |
| <6 | Bom |

Singh e Siddique (2011) realizaram uma investigação experimental para avaliar as propriedades de resistência e durabilidade de misturas de concreto, nas quais a areia natural foi parcialmente substituída pela ADF, areia verde. Neste estudo, a areia natural foi substituída por cinco porcentagens (0%, 5%, 10%, 15% e 20%) do ADF em peso. Um total de cinco proporções de mistura de concreto (M-1, M-2, M-3, M-4 e M-5) com e sem ADF foram desenvolvidos. O teste CS e o teste de resistência à tração foram realizados para avaliar as propriedades de resistência do concreto aos 7, 28 e 91 dias. Os resultados dos testes indicam um aumento marginal nas propriedades de resistência e durabilidade do concreto simples pela inclusão do ADF como um substituto parcial do agregado miúdo, resultados estes que contrariam a maior parte dos estudos, onde o aumento do teor de ADF leva a prejuízo na resistência mecânica e outras propriedades.

Figura 7. Resistência à compressão em relação ao teor de areia de fundição usada e idade de cura.



Um levantamento da literatura (Cioli F. e Abba A.;2022) a respeito dos aspectos ambientais da areia de fundição foi feito com o objetivo de demonstrar resultados de autores ao redor do mundo tem encontrado nesse tipo de resíduo. Testes de lixiviação, ecotoxicológicos são feitos e comparados com os valores limites impostos pelas legislações europeias e dos Estados Unidos. Na maior parte dos estudos, os resultados mostraram que a ADF não é um resíduo perigoso, entretanto há variabilidade nas concentrações encontradas devido ao tipo de fundição, tipo de ligantes e aditivos utilizados. Nos testes de lixiviação, o material lixiviado na maior parte dos artigos consultados foram abaixo dos limites propostos, excetos alguns que continham altos valores de Pb e Hg. Logo os autores advertem que embora concentrações dos poluentes individuais estejam abaixo do limites esperados, seus efeitos combinados podem criar problemas ambientais, e por isso, recomenda-se a realização de testes ecotoxicológicos ao longo prazo.

Na maior parte dos estudos, os autores investigam areia verde na produção de concreto, no artigo de (Mavroulidou M. e Lawrence D.) foi estudado amostras de concreto utilizando areia quimicamente ligada de fundição. A areia fornecida era uma areia sem qualquer argila, curada com aglutinante químico, uma resina fenólica alcalina, essa areia passou por um processo de recuperação mecânica em duas etapas onde boa parte da resina é removido sem qualquer processo térmico. Com essa areia os autores chegaram a resultados positivos com o concreto com diferentes teores de ADF. A resistência à compressão obtida com uso de ADF foi igual ou maior do que a amostra sem areia de fundição, como visto na (Figura 8) além de que a

absorção de água do concreto foi menor com o aumento do teor de ADF nas amostras (Figura 9). Entretanto nenhum ensaio de toxicidade, lixiviação foi feito para avaliar o impacto que esse concreto poderia causar no ambiente.

Figura 8. Resistência a compressão com diferentes teores de ADF.

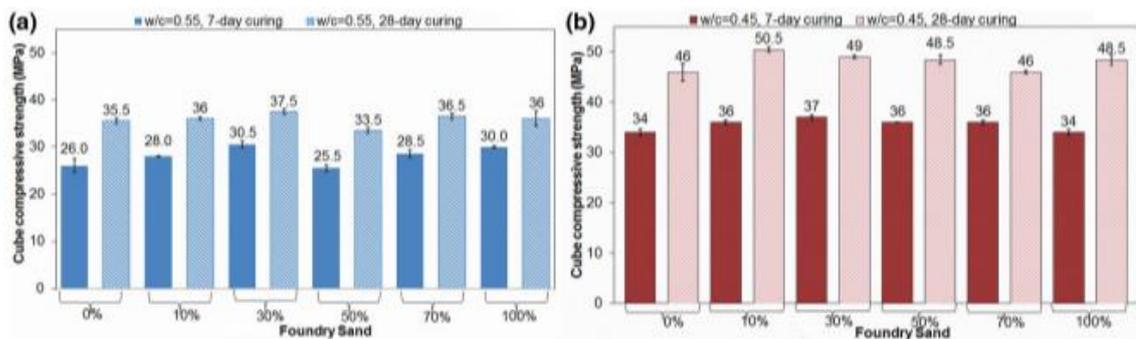
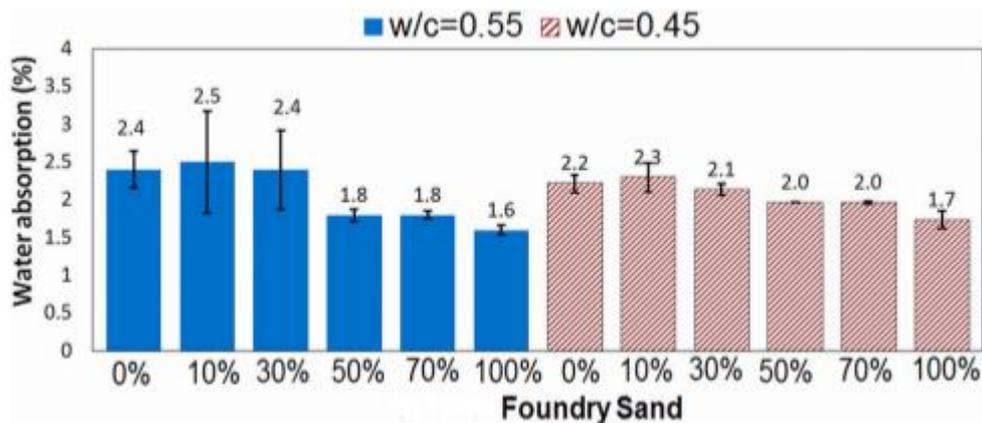


Figura 9. Absorção de água das amostras



A utilização de areia de macharia por possuir ligantes químicos fenólicos, necessita de uma maior investigação, tanto para compreender o efeito dessas substâncias na interação com a matéria prima do concreto e seus efeito no ambiente. Pesquisadores brasileiros e espanhóis fizeram um estudo para avaliar o comportamento mecânico das argamassas e teste de lixiviação para avaliar os fenóis. Foram avaliadas amostras com alto teor de resina (WFPS2T), essa que resultou em grandes perdas de resistência mecânica, e amostras com baixo teor de resina(WFPS1), resultando em propriedades mecânicas satisfatórias. Sabe-se que a matriz cimentícia encapsula os metais presentes na areia, entretanto no caso das resinas testes de lixiviação na argamassa mostrou que a ADF com resina libera altas

quantidades de fenóis, sendo intensificado pelo ph alcalino do cimento (figura 11). A amostra com baixo teor de resina pouco interferiu na microestrutura da argamassa, já com alto teor mostrou ser nocivo, com uma microestrutura mal definida e baixo intertravamento mecânico entre o agregado e a pasta de cimento, como é visto na figura 10, imagem “d”(Paiva F. B. G.; Santos L. F.; et al).

Figura 10. Microestrutura da argamassa.

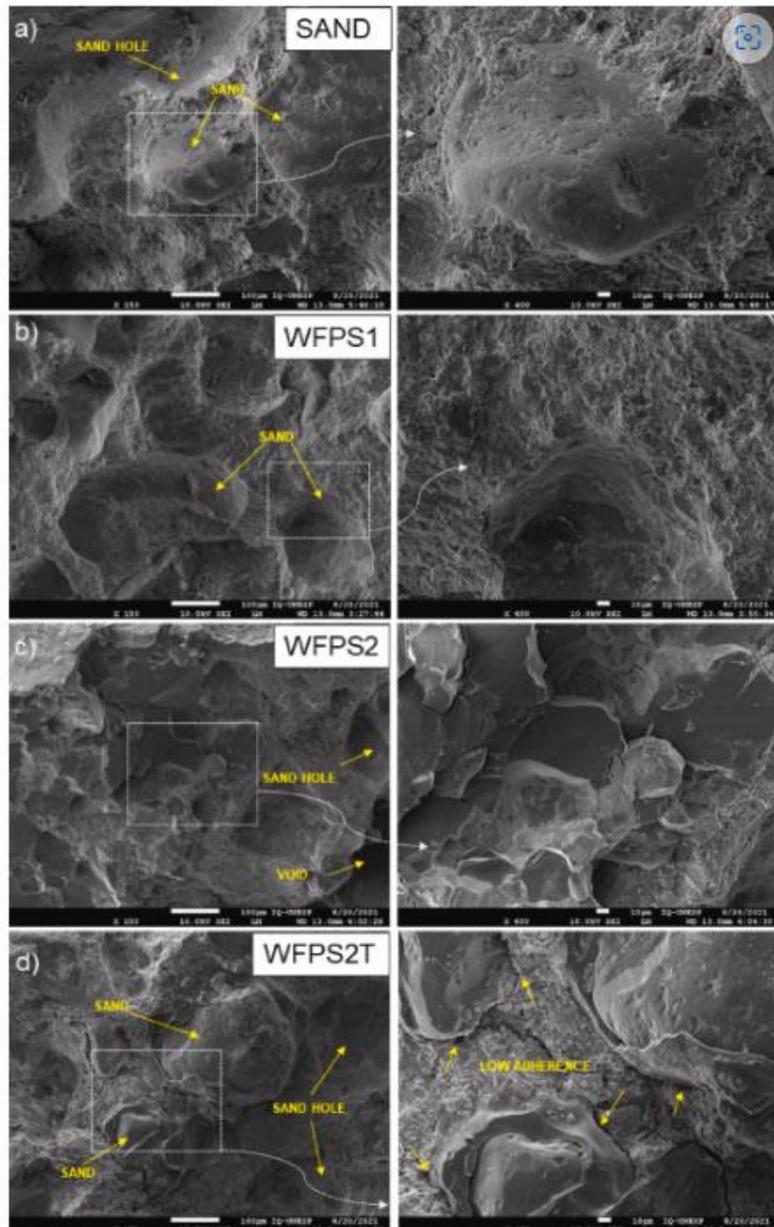
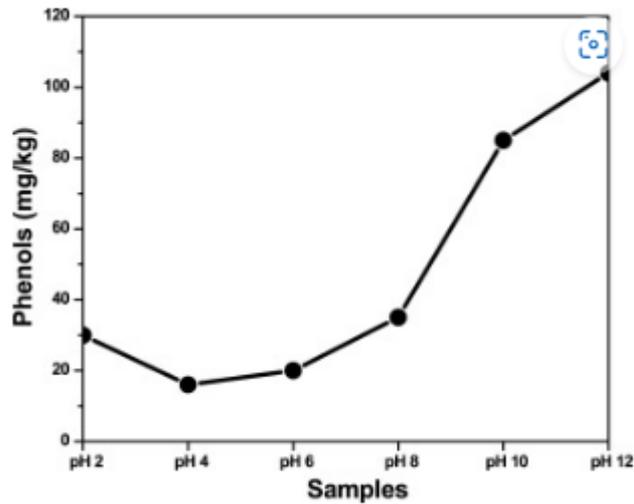


Figura 11. Influência do ph na liberação de fenól



Ahmad J. et. al., publicaram um artigo onde compilam dados de outros autores que substituem com areia de fundição a areia natural como agregado miúdo, em diferentes teores, propriedades físicas, mecânicas, densidade, absorção de água entre outros foram comparados no decorrer do artigo. Demonstrando resultados parecidos obtidos por diversos autores, chegando a conclusão que a ADF em um teor de até 30% obtém resultados satisfatórios de resistência mecânica, a absorção de água aumenta e a densidade diminui com o aumento do teor de ADF. A maior absorção de água aumenta a exigência de água no concreto, levando a uma estrutura mais porosa e conseqüentemente mais frágil.

Figura 10. Absorção de água com diferentes teores de ADF. (Ahmad J. et. al.)

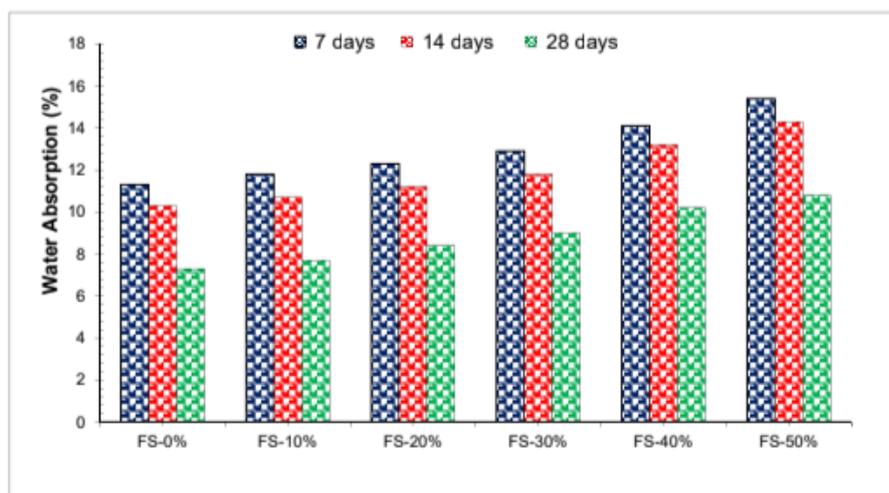
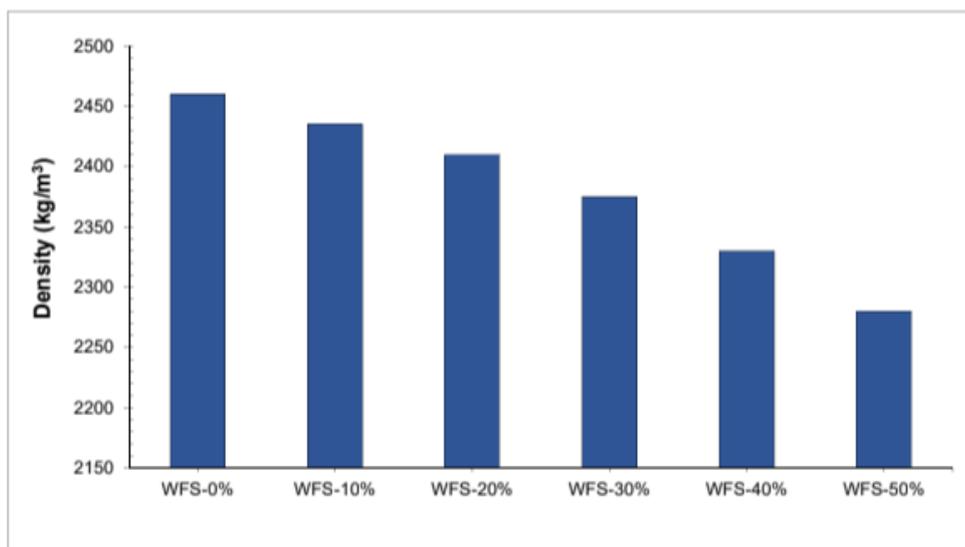


Figura 11. Densidade do concreto. (Ahmad J. et. al.)



No departamento de arquitetura da USP de São Carlos(IAU-USP) o professor Javier Mazariegos Pablos obteve uma patente produzindo concreto com areia de fundição substituindo 70% de agregado miúdo e escória de aciaria substituindo totalmente o agregado graúdo. Para o estudo foram fabricados peças de concreto para pavimentação (bloquetes). Em sua pesquisa, utilizou-se um método de encapsulamento dos resíduos sólidos, técnica conhecida por solidificação/estabilização (tecnologia s/s do inglês). Esse método consiste em usar aglomerantes ou invólucros para estabilizar os resíduos sólidos. A formulação consiste em cimento do tipo Portland CP V ARI, escória granulada de aciaria como agregado graúdo, areia de fundição como agregado miúdo, metacaulim, areia natural, superplastificante e uma relação água/cimento igual a 0,43. O agregado graúdo é de 100% escória que passou por uma britagem e peneiramento, já a ADF, oriunda da Tecumseh do Brasil Ltda, foi usada como 70% do agregado miúdo devido ao baixo módulo de finura e alto teor de materiais pulverulentos e 30% de areia virgem. Esta foi classificada de acordo com a norma NBR 10004, como sendo de classe IIA, não perigoso e não inerte. A adição do metacaulim (argilas calcinadas com alto teor de óxidos de silício e alumínio) tem como objetivo obter uma matriz com menor índice de vazios. O metacaulim atua na matriz de duas formas: como filler (os grãos ocupam os interstícios dos grãos de cimento aumentando a compactidade da matriz) e como pozolana (reage com hidróxido de cálcio, transformando-o em silicato de cálcio hidratado, cujo possui capacidade aglomerante, aumentando a resistência mecânica

da matriz). Com a adição do metacaulim, foram obtidas matrizes com alta eficiência de estabilização dos resíduos, objetivo do estudo. O superplastificante é constituído de policarboxilatos modificados. Através de testes variando a composição, a que obteve um melhor desempenho no teste de resistência a compressão aos 28 dias foi na seguinte proporção em massa: (cimento: areia: escória: metacaulim: água/cimento: superplastificante), (1:1:1:0,10:0,43:0,01). O processo de estabilização fixa os compostos tóxicos em polímeros impermeáveis, estabilizando o resíduo e minimizando seu potencial tóxico. A mobilidade dos contaminantes é reduzida pela diminuição drástica da área superficial exposta à lixiviação e/ou pela isolação dos resíduos nas capsulas impermeáveis.

Foram fabricados peças de pavimentação (bloquetes) para realizar teste de resistência à compressão, os bloquetes atenderam a norma NBR 9780/87 para “Peças de Concreto para Pavimentação” que devem superar 50 MPa exigidos.

Tabela 7. Testes de resistência para os bloquetes (Prof.Dr. Mazariegos,J.P.)

| CP (n°) | Massa (g) | Largura (mm) | Altura (mm) | Compr. (mm) | Fator (p) | Carga Ruptura (ton.f) | Carga Ruptura (N) | Resistência Corrigida (MPa) |
|---------|-----------|--------------|-------------|-------------|-----------|-----------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1 | 2856,5 | 101,27 | 60,37 | 200,42 | 0,951 | 40,06 | 392854 | 58,7 |
| 2 | 2950,5 | 102,13 | 60,99 | 201,12 | 0,952 | 38,94 | 381871 | 57,2 |
| 3 | 2858,8 | 100,56 | 61,01 | 200,33 | 0,953 | 38,18 | 374418 | 56,1 |
| 4 | 2906,7 | 102,24 | 61,91 | 201,64 | 0,955 | 39,46 | 386970 | 58,1 |
| 5 | 2920,7 | 100,81 | 61,79 | 201,02 | 0,954 | 35,86 | 351666 | 52,8 |
| 6 | 2992,7 | 102,14 | 61,55 | 201,16 | 0,954 | 38,10 | 373633 | 56,0 |

5. DISCUSSÃO

A geração de areia residual de fundição é intrínseca ao processo de produção de peças metálicas por moldagem em areia. A maioria das fundições realiza o processo de fundição com moldes de areia e machos, que são descartados após o uso (técnica do molde perdido). Isso gera uma grande quantidade de resíduos de areia, aproximadamente 60-85% do total de resíduos sólidos da fundição. O despejo de areia de fundição continua sendo um grave problema ambiental, em função de seu expressivo volume. Além disso, constitui uma oportunidade perdida, pois significa que uma enorme quantidade de material com propriedades interessantes para seu potencial de reciclagem (mineral de sílica com valor econômico) é depositado em aterros e, portanto, é desperdiçado.

A areia siliciosa, apesar de abundante, é um recurso não renovável, o que acarreta um elevado consumo de energia (combustíveis) na sua extração, processamento e utilização, uma vez que requer a utilização de maquinaria motorizada pesada. Isso gera impactos ambientais relacionados ao aquecimento global, poluição do ar (partículas), solo e paisagem, qualidade da água e ruído. Diante disso, um esforço deve ser feito para conservar esse recurso mineral e reduzir sua extração. Sua substituição por areias residuais de fundição recicladas seria benéfica para a preservação do meio ambiente, minimizando a necessidade de extração de novas areias e conservando as reservas existentes.

As areias descartadas constituem o principal resíduo gerado pelas indústrias de fundição. Seu manejo é considerado um problema mundial devido aos grandes volumes gerados e à necessidade de viabilizar práticas que tendam ao seu manejo integral. A areia de fundição descartada foi e é historicamente utilizada como material de enchimento de porões de pedreiras, olarias e terrenos baixos, situação que implica em perigo de contaminação do recurso hídrico subterrâneo, dada a presença potencial de metais, fenóis e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos aportados pela processo.

Porém, há grande desconhecimento sobre seus constituintes e características químicas por parte dos geradores, autoridades de aplicação e sistema científico acadêmico. Esse desconhecimento limita a tomada de decisões e contribui para que a areia descartada continue sendo descartada como resíduo de forma descontrolada, quando potencialmente pode ser utilizada como matéria-prima em outros processos produtivos, tendendo, assim, ao gerenciamento integral deste material. Visto isso

estudos estão sendo feitos ao longo dos anos buscando aplicações para esse resíduo e um setor com grande potencial é o de construção. Exemplos foram citados nos resultados desse trabalho, um consenso é que a ADF gera perda de desempenho mecânico do concreto, não sendo recomendado então sua substituição completa como agregado miúdo. Porém o consumo de concreto é muito maior que a quantidade de areia de fundição é descartada, logo a substituição parcial da ADF como agregado seria suficiente para absorver esse resíduo pelas construtoras. Para tornar esse processo de reutilização mais viável, o ideal seria que nas cidades que possuem uma fundição acontecesse uma parceria com as construtoras, concreteiras locais para assim minimizar qualquer custo de transporte.

Também foi exemplificado nesse trabalho que a areia verde descartada vem sendo usada na produção de asfalto, como material de enchimento, cobrimento de aterros, entre outros. Entretanto vale salientar que testes para classificar a toxicidade desse resíduo devem ser feitos, já que sua composição pode mudar de fundição para outra, estando de acordo com as normas ambientes a ADF poderá ser empregada nas situações vistas neste trabalho.

5.1 CONTEXTUALIZAÇÃO PARA A CIDADE DE SÃO CARLOS E SIMULAÇÃO DE REDUÇÃO DE CUSTOS

Há quatro fundições de metais ferrosos na cidade de São Carlos de maior destaque, Engemasa, JC Metals, Fultec Inox e Imbracel. A JC Metals (empresa em que o autor estagiou), produz em média 10 toneladas de peça limpa por semana, uma vez por mês um caminhão contendo 8,5 toneladas de areia nova descarrega na empresa apenas para confecção dos machos, estes que necessitam ter um maior acabamento e qualidade para conferir a peça um bom acabamento e dimensionamento interno. Esta areia não entra no processo de molde após a peça ser desmoldada, sendo descartada, portanto só de areia de macho descarta-se 8,5 ton/ mês com um custo de R\$300,00 a tonelada, sendo o custo de compra de R\$178,62 a tonelada. Já no processo de moldagem com areia verde um volume de areia mais antiga é descartada, em torno de 15 ton/mês, pois já foi muito degradada, areia nova na mesma proporção entra no sistema, os custos são os mesmo já citados acima.

Tabela 8. Gasto médio por mês com compra e descarte de areia

| | Areia adquirida | Areia descartada |
|-------------------------|-----------------|------------------|
| Custo areia moldagem | R\$2679,30 | R\$4500,00 |
| Custo areia de macharia | R\$1518,27 | R\$2550,00 |
| Total | R\$4197,57 | R\$7050,00 |

No setor industrial onde esta situada a JC Metals existe algumas concreteiras, que se situam a poucos metros, sendo um fator importante no caso de um acordo entre a fundição e a concreteira. Caso fosse feito um acordo de doação de areia de moldagem descartada, visto que essa é alvo da maioria dos estudos para sua reutilização na área de construção civil, para alguma concreteira utilizar na sua produção de concreto sem o custo de recolher esse material das dependências da fundição, devido a proximidade das mesma (figura 4), a fundição teria uma economia de em torno de R\$4500,00/mês, levando em consideração apenas a reutilização da areia verde, esta que é a mais estuda e é um consenso que sua utilização em concreto, asfalto é possível até certos limites, valor este que pagaria os custos com a compra de areia nova todos os meses.

Figura 12. recorte mapa distrito industrial CEAT São Carlos



Figura 13. recorte mapa distrito industrial CEAT São Carlos



Já a Engemasa, maior empresa do ramo na cidade, produz em torno de 4.800 ton/ano, contando forjados e centrifugados (<https://engemasa.com.br/engemasa-institucional/>), só de fundidos em torno de 200 ton por mês, gerando um descarte de 130 ton de areia para o aterro, podendo ter uma ideia do potencial de economia caso essa areia fosse doada pela empresa.

Segundo a São Carlos Ambiental, empresa que gerencia o aterro sanitário da cidade, por dia recebem 200 toneladas de resíduo domiciliar, o resíduo industrial não está considerado nesse dado, a figura 5 ilustra o principal da cidade de São Carlos.

Figura 14. Aterro sanitário de São Carlos- SP



6. CONCLUSÕES

O uso de areia de fundição como agregado miúdo em aplicações de construção oferece uma oportunidade para absorver as quantidades de areia recuperada que não são reutilizadas em fundições para fabricação de moldes e machos, contribuindo para práticas de construção sustentáveis, reduzindo a pegada ambiental e podendo gerar uma economia para a fundição reduzindo o custo de descarte desse resíduo.

O alto custo do aterro e os usos potenciais de subprodutos de fundição levaram à pesquisa de sua reutilização benéfica, entretanto essa areia descartada de fundição deve passar por uma análise de sua composição, visto que varia de empresa, atendendo as normas ambientais sua reutilização é possível em teores adequados para que não haja prejuízo da qualidade dos produtos a serem confeccionados. Embora muitos países tenham desenvolvido regulamentações para a reutilização de subprodutos industriais, grandes quantidades de resíduos de fundição ainda estão sendo aterradas em todo o planeta. No entanto, a reutilização de produtos de fundição está aumentando em uma variedade de áreas, incluindo transporte e indústrias de construção. Essas indústrias podem usar grandes quantidades de subprodutos de fundição para aterros e agregados do sistema de pavimentação. Essas aplicações são geralmente adequadas para grandes fundições, onde quantidades significativas de subprodutos estão disponíveis. Existem outras aplicações de reutilização para fundições menores, como produção de tijolos, blocos, cimento Portland e outras aplicações inovadoras geralmente relacionadas aos mercados locais. Contudo ainda falta estudos e um consenso na utilização da ADF para fabricar concreto, principalmente para o uso de sustentação de construções, concreto de alto desempenho e outros.

No contexto da cidade de São Carlos, visto as potenciais aplicações, podemos projetar o ganho econômico que as fundições poderiam ter, uma vez que há um custo para a disposição da areia descartada no aterro sanitário da cidade, além da diminuição de resíduo que iria ocupar espaço no aterro, já que são áreas com espaço físico limitados. Como foi visto acima, há possíveis empresas que poderiam receber essa ADF, além de estar situadas nas proximidades das fundições da cidade, algo que minimiza custos com transporte.

REFERÊNCIAS

- ABICHOU, T. et al. Foundry green sands as hydraulic barriers: laboratory study. **ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, vol. 126, no. 12, 2000, pp. 1174–1183.
- ABIFA; disponível em: (abifa.org.br), acesso- 02/05/2023
- Aggregates. Cement.org .Disponível em:<https://www.cement.org/cement-concrete/concrete-materials/aggregates#:~:text=Aggregates%2C%20which%20account%20for%2060,categories%2D%2Dfine%20and%20coarse>. Acesso em 27/02/2023
- Ahmad, J.; Martínez-García, R.; De-Prado-Gil, J.; Irshad, K.; El-Shorbagy, M.A.; Fediuk, R.; Vatin, N.I. Waste Foundry Sand in Concrete Production Instead of Natural River Sand: A Review. *Materials*, março de 2022.
- Andrade, L.B. Areia descartada de fundição para uso em concreto de cimento Portland: análise do agregado, UFSC, 2018.
- Araquari-SC, Gov; disponível em <https://www.araquari.sc.gov.br/noticia/1366/fundicao-tupy-doa-72-mil-toneladas-de-areia-de-moldagem-para-pavimentacao-da-costa-do-encanto-em-araquari>, acessado em 27/02/2023
- . Using waste foundry sand for hydraulic barriers. **ASCE American Society of Civil Engineers, Geotechnical Special Publication**, vol. 79, 1998, pp. 86–99.
- AKKAYA, U. **Use of Foundry Sand as a Landfill Cap Layer Material**. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, 2015.
- AMARAL, J. J. F. Como fazer uma pesquisa bibliográfica. - Ceará: Universidade Federal do Ceará, 2007.
- AMARAL, D. A.; COSTA, J. R. C.; CORRÊA, A. C.; FREITAS, V. A. B. A compostagem como mecanismo de aproveitamento dos resíduos sólidos produzidos em restaurantes e cozinhas industriais no município do Rio Grande - RS. In: IX SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 2014, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: SIQA, 2014.
- BARBOSA, E. M., S.; PRATA, A. P.; SILVA, E. S.; TIBA, C. Avaliação dos benefícios socioeconômicos em aplicações fotovoltaicas com finalidades produtivas - caso restaurante grota de angicos. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, San Miguel, v. 11, 2007b.
- Bastos, P.S.; FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO, UNESP Bauru; abril; 2019
- BAUER, L. ^a F. “Materias de Construção” volumes 1 e 2 , 2000 Editora Livros Técnicos e Científicos, São Paulo – SP.
- BAŞAR H. M.; AKSOY, N. D. H. M. “Investigation of usability of waste foundry sand in

ready-mixed concrete. **Journal of Engineering and Natural Sciences**, vol. 31, 2013, pp. 517–528.

Recovery applications of waste foundry sand. **Journal of Engineering and Natural Sciences**, vol. 30, 2012, pp. 205–224.

BATESON, M-C.; BATESON, G. Angels fear: towards an epistemology of the sacred. New York: Bantam Books, 1987.

BELLEN, Hans Michael van. Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: FGV, 2005. 253p.

BERLIM, Lilyan. Moda e Sustentabilidade: Uma reflexão necessária. São Paulo: Estação das Letras e Cores, 2012.

BOFF, Leonardo. Sustentabilidade: o que é – o que não é. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 05 de dezembro de 2022.

CAMPOS, M. A., et al.- BLOCOS DE CONCRETO COM AREIA DE DESCARTE DE FUNDIÇÃO: UM CASE DE SUCESSO DE VIABILIDADE ECONÔMICA, PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE DURABILIDADE, ABIFA, 2019.

CAVALCANTI, Clovis. (Org.), et al. Desenvolvimento e Natureza: Pesquisa para uma Sociedade Sustentável. INPSO/FUNDAGE, Instituto de Pesquisa Social, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério da Educação, Governo Federal, Recife, Brasil. Outubro de 1994. Disponível em: <<http://168.96.200.17/ar/libros/brasil/pesqui/cavalcanti.rtf> > Acesso em: 05 de dezembro de 2022.

Flavio Cioli , Alessandro Abbà, Carlotta Alias and Sabrina Sorlini , Reuse or Disposal of Waste Foundry Sand: An Insight into Environmental Aspects; 2022

CORAL, E. Modelo de planejamento estratégico para a sustentabilidade empresarial. 2002. 282 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

DANANJAYAN, R. R. T.; KANDASAMY, P.; ANDIMUTHU, R. Direct mineral carbonation of coal fly ash for CO₂ sequestration. **Journal of Cleaner Production**, vol. 112, 2016, pp. 4173–4182.

DEVAUX, P.; VECOVEN, J. Les déchets de sables de fonderie en technique routière. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, vol. 30, no. 1, 1984, pp. 375–378.

DAVIDOVITS, J. **Geopolymer Chemistry and Applications**. Institut Géopolymère, Saint Quentin, France, 2008.

DENG, A.; TIKALSKY, P. J. Geotechnical and leaching properties of flowable fill incorporating waste foundry sand. **Waste Management**, vol. 28, no. 11, 2008, pp. 2161–2170.

DIAS, R. Marketing ambiental: ética, responsabilidade social e competitividade nos negócios. São Paulo: Atlas, 2007.

Responsabilidade Social - Fundamentos e Gestão. São Paulo, SP: Atlas. 2012.

DOĞAN-SAĞLAMTIMUR, N. et al. Reuse study from Niğde, Turkey: the conversion of industrial ash to geopolymer. **Desalination and Water Treatment**, vol. 57, no. 6, 2016, pp. 2604–2615.

DONAIRE (1999). Gestão ambiental na empresa. (2a ed.). São Paulo: Atlas, 1999.

EDWARDS, Brian. Um guia básico para o desenvolvimento sustentável. 2ª edição. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.

ENVOLVERDE. Disponível em: <<http://envolverde.cartacapital.com.br/adidas-lanca-programa-de-logistica-reversa-para-incentivar-moda-esportiva-sustentavel/>>. Acesso em 05 de dezembro de 2022.

Fábio Friol Guedes de Paiva, Luis Fernando dos Santos, Jacqueline Roberta Tamashiro, Lucas Henrique Pereira Silva, Silvio Rainho Teixeira, Adela P. Galvín, Antonio López-Uceda, Angela Kinoshita, Effect of phenolic resin content in waste foundry sand on mechanical properties of cement mortars and leaching of phenols behaviour, Sustainable Chemistry and Pharmacy, Volume 31, 2023,100955, ISSN 2352-5541.

FARIA, D. M.; GASPAROTTO, D. P.; BARBOSA, R. A. T. Estudo sobre a economia de energia no restaurante universitário através do uso de aquecimento solar de água. Revista Ciências do Ambiente, Campinas, v. 1, n. 1, ago. 2005.

FARIAS FILHO, M C. Planejamento da pesquisa científica/ Milton Cordeiro Farias. São Paulo Editora Atlas, 2012.

FREITAS, C. F.; BARATA, R. A. R.; MOREIRA, L. S. M. Utilização do óleo de cozinha usado como fonte alternativa na produção de energia renovável, buscando reduzir os impactos ambientais. In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA AMBIENTAL, São Carlos, 2010. **Anais...** São Carlos: ENENGEP, 2010.

GÖNEN, T. et al. A review on new waste materials for concrete technology. **Electronic Journal of Construction Technologies**, vol. 8, no. 1, 2012, pp. 36–43.

GOULART, Rita Maria Monteiro. (2008). Desperdício de Alimentos: Um problema de saúde pública. Jul/Ago/Set. 2008. Ano XIV, nº 54, 285-288.

GREINERT, H. Biological remediation of the iron foundry wastes. **Soil and Environment**, vol. 5, 1995, pp. 1227-1228.

GRIGOLETTI, Giane de Campos; SATTLER, Miguel Aloysio. Estratégias ambientais

para indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul. In: Ambiente Construído. Porto Alegre: ANTAC, v3, n3, p. 19-32, 2003.

GUNEY, Y. et al. Re-usage of waste foundry sand in high-strength concrete. **Waste Management**, vol. 30, no. 8-9, 2010, pp. 1705–1713.

HAM, R. K.; BOYLE, W. C.; BLAHA, F. Leachability of foundry process solid wastes. **ASTM Special Technical Publication**, vol. 933, 1986, pp. 28–44.

JAVED S.; LOVELL, C. W. Use of waste foundry sand in civil engineering. **Transportation Research Board**, vol. 1486, 1994, pp. 109–113.

JAVED, S.; LOVELL, C. W.; WOOD, L. E. **Waste Foundry Sand in Asphalt Concrete**. Transportation Research Record, no. 1437, Transportation Research Board, Washington, DC, USA, 1994.

KAUR, I. **Mechanical Properties of Concrete Incorporating Used Foundry Sand, Thapar Institute of Engineering and Technology**. Thesis, Deemed University, Punjab, 2006.

KAYA T.; KARAKURT, C. Investigation of the engineering properties of implementation concrete paving stones. **Duzce University Journal of Science and Technology**, vol. 2, 2016, pp. 469–474.

KEPEZ, Ü. **Foundry Sector in Turkey-Iron Casting**. Turkey: Kocaeli, 2007.

KIRK, P. B. **Field Demonstration of Highway Embankment Constructed using Waste Foundry Sand**. Thesis, Purdue University, West Lafayette, 1998.

KRUGLIANSKAS, I; PINSKY, V. Gestão Estratégica da Sustentabilidade: Experiências brasileiras. Rio de Janeiro: Alta Books, 2017.

LAYRARGUES, P. P. (2000). Sistemas de gerenciamento ambiental, tecnologia limpa e consumidor verde: a delicada relação empresa-meio ambiente no ecocapitalismo. *Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, 40(2), 80-88.

LEITE, Paulo Roberto. *Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2013.

LOVELL, C. V.; SAYEED, J. Use of waste foundry sand in civil engineering. **Proceedings of Symposium on Engineering Geology and Geotechnical Engineering**, vol. 31, 1995, pp. 115–123.

MANZINI, Ezio; Vezzoli, Carlo. *O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: Os Requisitos Ambientais dos Produtos Industriais*. São Paulo: EDUSP, 2005.

MAST, D. G.; FOX, P. J. Performance evaluation of highway embankment constructed using waste foundry sand. **Geotechnical Special Publication**, vol. 79, 1998, pp. 66–85,

MEBRATU, D. (1997). Sustainability and sustainable development: Historical and conceptual review. *Environ Impact Asses Review*. Vol. 18, p. 493-520.

MICHEL, M. H. (2015). Metodologia e pesquisas científica em ciênciassociais. São Paulo, SP: Atlas.

MIKKOLA, M. Shaping professional identity for sustainability. Evidence in Finnish public catering. *Appetite*, v.53, n.1, p.56-65. 2009.

MILAN, Gabriel Sperandio; VITTORAZZI, Camila; VITTORAZZI, Camila. A Redução de Resíduos Têxteis e de Impactos Ambientais: Um Estudo Desenvolvido em uma Indústria de Confecções do Vestuário. In: XIII Seminários de Administração, 2010, São Paulo.

MONTEIRO, R. Z.; CIANCIARDI, G.; BRUNA, G. C. Projeto de retrofit para espaços destinados a serviços de alimentação. In: IV SEMINÁRIO INTERNACIONAL DA LARES - Mercado Imobiliário, 2004, São Paulo. Anais... São Paulo: LARES, 2004.

MORESI E. Metodologia da Pesquisa. Universidade Católica de Brasília – UCB. Brasília. Março. 2003. Disponível em: http://ftp.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/1370886616.pdf. Acesso em: 05 de dezembro de 2022

NERY, C. H. C.; CONTO, S. M.; ZARO, M.; PISTORELLO, J.; PEREIRA, G. S. Geração de resíduos sólidos em eventos gastronômicos: o Festiqueijo de Carlos Barbosa, RS. *Revista Rosa dos Ventos, Caxias do Sul*, v. 5, n. 2, abr./jun. 2013.

NUNES, Radilene. Gastronomia Sustentável. *Interação - Revista Científica da Faculdade das Américas, São Paulo*, ano III, n. 1, jan./jul. 2012.

OLIVEIRA, Lucas Rebello de et al. Sustentabilidade: da evolução dos conceitos à implementação como estratégia nas organizações. *Produção*. São Paulo, v. 22, n.1, p.70-82, jan./fev. 2012.

OLIVEIRA, L. H.; GONÇALVES, O. M. Metodologia para a implantação de programa de uso racional da água em edifícios. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1999. (Boletim Técnico, BT/PCC/247).

QUEIRÓZ, M. I. de P. O pesquisador, o problema da pesquisa, a escolha de técnicas: algumas reflexões. In: Lang, A.B.S.G., org. *Reflexões sobre a pesquisa sociológica*. São Paulo, Centro de Estudos Rurais e Urbanos, 1992. p. 13-29. (Coleção Textos; 2a série, 3).

RAMIRES, S. Casos de empresas que empregam técnicas e processos para o aproveitamento de resíduos. Trabalho da Disciplina HIP-26. UFRGS, 2009.

RATTNER, H. Sustentabilidade – Uma visão humanista. *Ambiente & Sociedade*, Vol. 5, 1999, pp. 233- 240.

REBELO, Catarina Ferraz Sotto-Major. Aplicabilidade de soluções sustentáveis em reabilitação. Mestrado - Curso de Arquitetura, Instituto Técnico Superior, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

REDDI, L. N.; RIECK, G. P.; SCHWAB, A. P. Stabilization of pheolics in foundry sand using cementitious materials. **Journal of Hazardous Materials**, vol. 45, 1996, pp. 89–106.

REINHARDT, F. L. Down to earth: applying business principles to environmental management. Boston: Harvard, 1999.

REIS, L. F. S. S. D.; QUEIROZ, S. M. P. Gestão ambiental em pequenas e médias empresas. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. Revista Metropolitana de Sustentabilidade, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 99-109, 2013.

SACHS, Ignacy. Rumo à ecossocioeconomia: teoria e prática do desenvolvimento. São Paulo: Cortez, 2007. 472p.

SANTOS, A. S. F.; AGNELLI, J. A. M.; MANRICH, S. Tendências e desafios da reciclagem de embalagens plásticas. Polímeros: Ciência e Tecnologia, São Carlos, v. 14, n. 5, p. 307-312, 2004.

SAROLDI, Maria. Termo de Ajustamento de Conduta na Gestão de Resíduos Sólidos. Editora Lumen, 2ª Edição, 2005.

SAVITZ, A. W.; WEBER, K. A empresa sustentável: o verdadeiro sucesso é olucro com responsabilidade social e ambiental. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

SCHNEIDER, R. C. S.; SANTOS, E.; KLAMT, R. A.; MACHADO, E. L. Gestão do uso de óleos vegetais em restaurante visando a produção mais limpa. In: 2nd INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, Santa Cruz do Sul, 2009. Anais... Santa Cruz do Sul: IWACP, 2009. p. 1-10.

SCHULTES, E. **Life ‘Hawaman’ Project, LIFE06 TCY/TR/000292**. Management of Hazardous Solid Waste generated from Foundries, 2006, in Turkish.

SERRÃO, M.; ALMEIDA, A.; CARESTIATO, A. Sustentabilidade: uma questão de todos nós. Rio de Janeiro: Senac Nacional, 2012.

SIDDIQUE, R. et al. Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete. **Construction and Building Materials**, vol. 23, no. 2, 2009, pp. 976–980.

SIDDIQUE, R. et al. Strength, durability, and micro-structural properties of concrete made with used-foundry sand (UFS). **Construction and Building Materials**, vol. 25, no. 4, 2011, pp. 1916–1925.

SIDDIQUE, R. et al. Waste foundry sand and its leachate characteristics. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 54, no. 12, 2010, pp. 1027–1036.

SIDDIQUE, R.; NOUMOWE, A. Utilization of spent foundry sand in controlled low-strength materials and concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 53, no. 1-2, 2008, pp. 27–35.

SILVA, C. R. Estudos de casos. Trabalho da Disciplina HIP-26. UFRGS, 2008.

SILVA, L. S. A; QUELHAS, O.L.G. (2006). **Sustentabilidade empresarial e o impacto no custo de capital próprio das empresas de capital aberto**. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2006000300003>. Acesso em: 05 de dezembro de 2022.

SINGH, G.; SIDDIQUE, R. Effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete. **Construction and Building Materials**, vol. 26, no. 1, 2012, pp. 416–422.

SOLLA, J.; SILVA, F. N. M. C. **Cadernos de Sustentabilidade da Rio+20**: diretrizes de sustentabilidade e guia de boas práticas da organização da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável. Brasília: FUNAG, 2012.

SOLMAZ, P. **Reuse of Waste Foundry Sand as Hydraulic Barriers**. Thesis, İstanbul Technical University, İstanbul, 2008.

SOUZA, M. T. S. Organização sustentável: indicadores setoriais dominantes de sustentabilidade - análise de um segmento do setor de alimentação. In: XXIV Encontro Anual de Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração - ENANPAD. Florianópolis, 2000. Anais... Florianópolis, 2000. v. 1. p. 200-215.

TARUN; R. N.; SHIW, S. S. Permeability of flowable slurry materials containing foundry sand and fly ash. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, vol. 123, no. 5, 1997, pp. 446–452.

UKWATTAGE, N. et al. A laboratory-scale study of the aqueous mineral carbonation of coal fly ash for CO₂ sequestration. **Journal of Cleaner Production**, vol. 103, 2015, pp. 665–674.

VASCONCELOS, Elizabeth Gonçalves Martins de. (2008) Redução do desperdício de alimentos com a produção de refeições para pessoas carentes – estudo de caso. 68 f. Monografia (Especialização em Gastronomia e Saúde). Centro de Excelência em Turismo – UNB.

VEIGA, J. E da. **Desenvolvimento sustentável**: o desafio do século XXI. Rio de Janeiro: Garamond, 2005. 226p.

VIEIRA, E.; HOFFMANN, V. E. Atores e práticas de sustentabilidade ambiental em empreendimentos hoteleiros. Barueri, SP: Manole, 2010.

YALÇIN, M.; GÜNEY, Y.; KOYUNCU, H.; BAŞ, F. Usability of waste foundry sand in concrete. **Proceedings of the 5th National Concrete**, vol. 30, 2003.

YAYLALI, G. New world, new trends, technologies and Turkish foundry sector. **Metallurgy Journal**, vol. 173, 2015, pp. 22–40,

YUSUF, T. O. et al. Impact of blending on strength distribution of ambient cured metakaolin and palm oil fuel ash based geopolymer mortar. **Advances in Civil Engineering**, vol. 2014, 2014.