



Substituição do Agregado de Pó de Brita Pelo Rejeito da Areia de Fundição Para o Uso de Base de Pavimentação.

Denian Lucas Dauhs¹, Fábio Bertoldi¹, Kaleandra Chaves de Almeida¹.

(denian.dauhs@gmail.com, fabiobertoldi2009@gmail.com, kaleandrachaves@outlook.com)

Professora orientadora: Homero Ramos Duarte.

Coordenação de curso de Engenharia Civil

Marcelo Pita

Resumo

No presente, o maior problema das empresas de fundição é o desenvolvimento de grandes quantidades de resíduos e locais apropriados para o seu descarte. O principal resíduo das indústrias de fundição é a areia de fundição de descarte que segundo a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA, 2020), no Brasil são geradas cerca de 3 milhões de toneladas de resíduos de fundição por ano. Priorizando a preservação dos recursos naturais e a degradação do meio ambiente com a exploração do agregado miúdo, a reutilização da areia de descarte de fundição na base de pavimentação apresentado nesse trabalho, comprava tecnicamente a possibilidade da reutilização desse material. Este trabalho avaliou a possibilidade de reutilizar a areia de fundição como base em pavimentações, utilizando uma mistura de brita graduada simples com a substituição parcial ou por completo do agradável pó de brita pela areia de fundição. Os resultados dos ensaios mostraram a viabilidade mecânica quanto a seu uso, pois atendem os requisitos estipulados pela norma DNIT 141/2010 - ES.

PALAVRAS-CHAVE: Reaproveitamento, rejeito de areia de fundição, sustentabilidade.

ABSTRACT

At present, the biggest problem for foundry companies is the development of large amounts of waste and appropriate sites for its disposal. The main waste from foundry industries is discarded foundry sand, which, according to the Brazilian Foundry Association (ABIFA, 2020), generates around 3 million tons of foundry waste per year in Brazil. Prioritizing the preservation of natural resources and the degradation of the environment with the exploitation of fine aggregate, the reuse of foundry waste sand in the paving base presented in this work, technically bought the possibility of reusing this material. This work evaluated the possibility of reusing foundry sand as a base in paving, using a mixture of simple graded crushed stone with partial or complete replacement of the pleasant crushed stone powder by foundry sand. The test results showed the mechanical viability of its use, as it meets the requirements stipulated by the DNIT 141/2010 - ES

KEYWORDS: Reuse, foundry sand tailings, sustainability.

¹ Graduação em Engenharia Civil – Sociedade Educacional de Santa Catarina (UNISOCIESC).

1. INTRODUÇÃO

O crescimento no setor industrial tem um grande significado, com o aumento de resíduos sendo a areia descartada de fundição (ADF) e suas quantidades geradas, passam a constituir um perigo ao meio ambiente, segundo KLINSKY, 2008, o gerenciamento destes resíduos tem se convertido em um item importante para a sociedade, cada vez mais ciente da preservação do meio ambiente. Os processos de fundição são responsáveis pela fabricação de matérias primas de diversos setores, como o automotivo, de ferramentas e motores elétricos. Segundo a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA,2020), no Brasil são geradas cerca de 3 milhões de toneladas de resíduos de areia de fundição por ano. Tendo em vista que nossa região é extremamente cercada por nascentes, riachos e rios, com a legislação vigente inviabiliza o licenciamento de tais áreas para o armazenamento da areia residual de fundição, para que posteriormente seja dada uma destinação sustentável, na proposta deste artigo ser utilizada na base de pavimentação. Alves (2012) comenta que a disposição das ADF em aterros industriais é uma alternativa de elevado custo em função das questões ambientais, além de representar um desperdício de matéria prima que poderia ser reutilizada em outros processos, como a pavimentação, cooperando na redução em emissões de gases de efeito estufa. Nesse artigo, visamos apresentar os testes granulométricos e o CBR (Califórnia Bearing Ratio), demonstrando que a areia descartada de fundição (ADF), também pode ser empregada na construção de rodovias e introduzido como agregado no asfalto maleável.

2.0 Indústria de Fundição

Nas fundições são capazes de reproduzir até quarenta tipos de resíduos, entre eles sólidos, como areias descartadas de fundição (ADF), escórias, poeiras de filtros, rebarba e lama de depuração.

O procedimento de fundição tem como propósito a conclusão de peças, por depósito de ligas fundidas de metais ferrosos e não ferrosos em moldes com formatos desejados, no qual o material é solidificado pelo esfriamento (ADEGAS,2007).

Cerca de 86% dos resíduos gerados correspondem as areias descartadas de fundição (CHELSEA CENTER FOR RECYCLING AND ECONOMIC DEVELOPMENT, UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS LOWELL, 2000). Quanto aos moldes COUTINHO NETO, 2004 aborda que eles têm que suportar o calor elevado, alterações nas propriedades e apresentar a forma em negativo, que corresponde ao produto desejado. As areias de fundição representam um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção (ABIFA,2022). No Brasil são gerados cerca de 3 milhões de toneladas por ano. A maior parte destes resíduos é disposta em aterros industriais, com custos para os geradores e impactos para o meio ambiente (Carnin, 2008).

2.1 Areia de Fundição

Os principais motivos do descarte são a perda de volumes e descaracterização dos componentes da mistura. A areia, após seu uso repetido, perde características importantes devido à degradação pelo calor, o qual torna as partículas muito finas para uso posterior (CWC, 1995). Uma porção de areia é misturada com novos materiais com o intuito de manter as propriedades necessárias para a fundição, sendo descartado do ciclo como subproduto (SINGH; SIDDIQUE, 2012). Após o procedimento do vazamento e resfriamento do metal, vem o processo de desmoldagem da peça, o material que vem a compor a peça voltará para o início do processo para ser reutilizado, para que isso ocorra acontece um tratamento antes da reutilização. Já no final do processo, a areia vai ser encontrada no formato de torrões sendo

levada em uma plataforma vibratória, para que o material obtenha uma colisão para a desagregação para o rendimento de cada caso.

De maneira geral a ADF é classificada como um resíduo não perigoso, classe II A, de acordo com a NBR 10.004 (ABICHOU et al., 2004), mesmo assim, com boas características de engenharia, são na maioria das vezes descartadas em aterros industriais em vez de ter seu reaproveitamento. Nas camadas estruturais dos pavimentos comprovam boas alternativas para o reaproveitamento da areia de fundição, em quantidades maiores. Assim, Klinsky e Fabbri (2009), Santos (2015) e Yazoghili et al., (2014) entre outros, desenvolveram uma pesquisa para analisar o reaproveitamento do resíduo em camadas estruturais de pavimentos.

2.2 Agregado Miúdo - Pó de brita

A NBR 7225 (ABNT, 1993) define agregado como um material natural com propriedades adequadas ou obtidas pela fragmentação de pedra, podendo apresentar dimensão nominal máxima inferior a 100 mm e dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075mm.

Para Petrucci (1998), o agregado pode ser representado como um material, sem forma e volume definidos, inerte com formas utilizadas em obras e na área de engenharia. O pó de brita é resultado do processo natural da britagem das pedras maiores, que é feito através da trituração por equipamentos mecânicos onde seu diâmetro pode variar de acordo com cada região do país (LODI, 2006).

Para Weidmann (2008) a aplicação do pó de brita “in natura” é em pequena escala e sazonal, sendo essencialmente utilizado como base, sub-base em concreto asfáltico nas obras de pavimentação, constituindo grandes estoques nas pedreiras, sendo muitas vezes considerado como subproduto, resíduo ou até mesmo rejeito. A fragmentação dos blocos de minérios tem como finalidade atingir uma granulometria compatível para a sua utilização direta ou indireta após seus processamentos, seguido de diversas etapas de britagem para redução.

2.3 Pavimentação

O pavimento consiste em uma estrutura composta por uma ou mais camadas assentes sobre um subleito. O comportamento estrutural está condicionado à interação, rigidez e espessura das camadas, bem como composição do subleito (BERNUCCI et al., 2008). De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), as estruturas de pavimento são diferenciadas de acordo com a rigidez do conjunto, sendo classificadas em flexíveis, semi-rígidos e rígidos. Os pavimentos flexíveis possuem como característica a dissipação das tensões entre as camadas em parcelas aproximadamente equivalentes, sendo usualmente relacionados aos pavimentos asfálticos (DNIT, 2006). Caracteriza-se como pavimento semirrígido uma estrutura formada por uma base cimentada (mistura entre solo e aglutinante cimento) e revestimento com uma camada asfáltica (DNIT, 2006). Caracterizam-se pela elevada rigidez do revestimento em relação às demais camadas, o qual, conseqüentemente, absorve maior parcela das tensões resultantes dos carregamentos (DNIT, 2006).

3.0 MATERIAL E METODOLOGIA

Neste capítulo descreve o material e os procedimentos utilizados no desenvolvimento do trabalho durante a fase experimental da pesquisa. A areia de fundição utilizada nos testes foi coletada na empresa FUNDIFER, localizada na cidade Corupá/SC. Os testes foram realizados no laboratório da instituição UNISOCIESC na cidade de Joinville/SC. Os testes realizados compreendem em California Bearing Ratio (CBR) ou Índice de Suporte Califórnia (ISC), teste de Proctor e o ensaio de granulometria.

3.1 AREIA DE FUNDIÇÃO

Conforme apresentado no capítulo 2.1 sobre o processo de descarte da areia, o material foi coletado direto no depósito da Empresa FUNDIÇÃO FUNDIFER LTDA, Município de Corupá, estado de Santa Catarina. As amostras foram armazenadas em local ideal para manter as suas propriedades físicas e químicas e a cura a frio (cold-box), utilizando 98,56% de areia de quartzo; 1,2% de resina fenólica e 0,24% de catalisador (20% do teor da resina), empresa descarta aproximadamente 300 t/mês de areia. Este material apresenta coloração escura e uma textura arenosa, com finos aderidos às partículas de areia, devido às altas temperaturas utilizadas no processo de fundição, eliminando qualquer tipo de elemento orgânico da areia conforme apresentado na figura 01. Conforme relatório interno da empresa a areia se enquadra nos requisitos mínimos pedidos para a análise do material e controle de riscos.

Figura 01: Material utilizado na pesquisa



Fonte: elaborado pelos autores

3.2 METODOLOGIA

No Brasil o dimensionamento de pavimento é fundamentado através de parâmetros pelos testes de California Bearing Ratio (CBR) ou Índice de Suporte California (ISC) e o módulo de resistência (MR). O CBR consiste em uma das metodologias pioneiras utilizadas para avaliação do desempenho de materiais em obras de pavimentação e se fundamenta na determinação da resistência à penetração de um pistão em determinado material saturado e comparação da pressão necessária para produzir a mesma penetração numa brita padronizada (DNIT, 2006). Através de correlações empíricas relaciona-se a capacidade de suporte obtida no ensaio com o desempenho das estruturas, o que culminou em um método de dimensionamento de pavimento, em que dependendo do CBR do subleito é fixada uma espessura mínima necessária da estrutura para limitar tensões e evitar a ruptura (BERNUCCI et al., 2008). De acordo com a NBR 9895 (ABNT, 2016), antes da execução da penetração para determinação da resistência, o corpo de prova é colocado em imersão por 96h para buscar a condição de saturação. Neste período é possível realizar aferições da expansão do material ensaiado por meio de extensômetro acoplado à estrutura. Usualmente é definido que a expansão da base não ultrapasse 0,5%, caso isso ocorra, deve-se prever a troca do solo ou estabilização dele. (BERNUCCI et al., 2008). É importante destacar que existe uma tendência de aumento do CBR com a diminuição da expansão axial, no entanto, pelo fato de não se ter uma boa correlação entre o comportamento citado, a expansão depende dos valores de CBR do solo, sendo utilizada como um fator limitante (BERNUCCI et al., 2008).

Para realizar os ensaios buscaram-se normas que compõem o setor rodoviário, como o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte–DNIT e normas ABNT dos respectivos ensaios.

Ensaio de Proctor: realizado com base na norma ABNT NBR-7182/2016, com o intuito de obter a umidade ótima de cada mistura proposta, para tal ensaio foi utilizado a energia normal de compactação sendo realizada com 3 camadas aplicando 25 golpes por camada com o soquete de 2,5kg caindo de 30,5 cm de altura, sendo o volume útil do molde cilíndrico tem o valor de 1000 cm³. Para tal ensaio foram moldados 5 corpos de prova para cada proposta, a variação da umidade foi de 200ml de água para cada ensaio para determinar a curva de compactação. O ensaio consiste em compactar uma porção da mistura em um cilindro de volume conhecido, fazendo variar a umidade de forma obter o ponto de máxima massa específica aparente seca, sendo essa a umidade ótima para a mistura (RIO GRANDE DO SUL, 2001).

Ensaio de CBR (California Bearing Ratio), também conhecido como ensaio ISC (Índice de suporte Califórnia), foi realizado com base na norma DNIT 172/2016 - ME, serve para avaliar a resistência do material proposto, determinado à relação entre a pressão necessária para a penetração de um cilindro padronizado com relação a penetração em uma brita padrão, ou seja, compara as propriedades mecânicas do material proposto a uma brita padrão. O resultado é apresentado em percentual dessa penetração (RIO GRANDE DO SUL, 2001). Foram moldados três corpos de prova para cada proposta efetuando o ensaio com a energia modificada (cinco camadas aplicado 55 golpes com o soquete de 4,536 Kg). Foi utilizado para esse ensaio a prensa Marshall elétrica automática com leitor de parâmetros digitais.

O ensaio de granulometria forneceu a curva granulométrica para cada material proposto, sendo assim possível a análise da faixa granulométrica de projeto definido pela norma do DNIT 412/2019 – ME. Para tal ensaio, foram utilizadas 12 peneiras, sendo elas de 50mm, 25mm, 19mm, 12,50mm, 9,50mm, 4,75mm, 2,00mm, 1,18mm, 0,60mm, 0,425mm, 0,15mm e 0,075mm. O equipamento utilizado foi o agitador de peneiras mecânico, pelo tempo de 90 (noventa) segundos, com 1,5 kg de material de cada proposta. O ensaio de granulometria é fundamental para caracterização física do material baseado na norma do Departamento

Nacional de Infraestrutura de Transportes DNIT 412/2019 - ME, executado o peneiramento, resulta em uma curva granulométrica, traçada relacionando-se o tamanho dos grãos à porcentagem de material passante ou retido (em massa) para determinada granulometria do material (RIO GRANDE DO SUL, 2001).

Com a utilização de software, foram elaboradas a escolha de 3 tipos de misturas de materiais para a realização dos ensaios, no qual foram substituídos de até 40% em massa da mistura total dos materiais. Tendo em vista que foram utilizados a areia de fundição de acordo com a necessidade granulométrica para adequação da curva segundo a faixa de projeto do DNIT A para a proposta 1 e faixa B para a proposta 2 e 3 conforme a Tabela 01.

Tabela 01: Misturas Adotadas

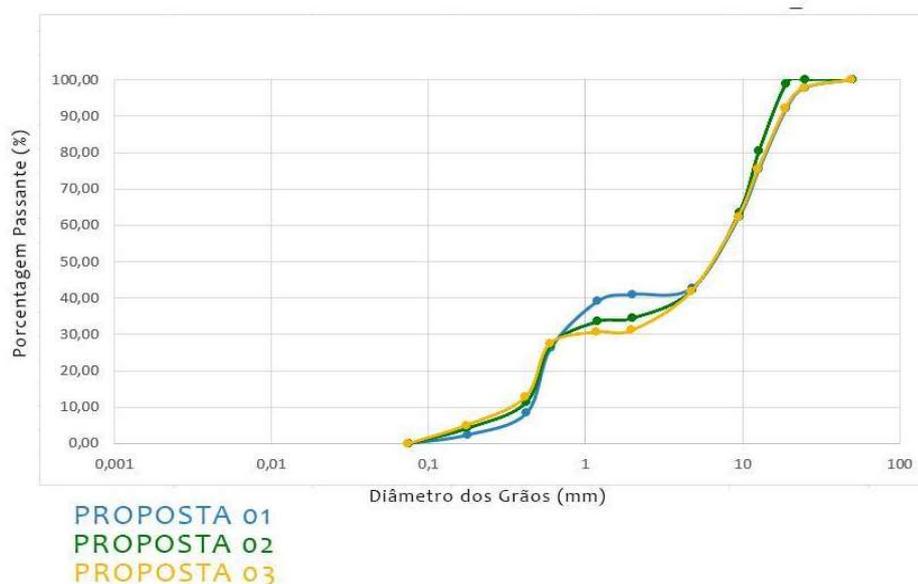
Material/Proposta	1	2	3
Brita 2	10%		10%
Brita 3/4"	30%	40%	30%
Brita 3/8"	20%	20%	20%
Pó de Pedra		20%	30%
Areia de Fundição	40%	20%	10%

Fonte: elaborado pelos autores

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 02 são apresentados os resultados da curva granulométrica das propostas 01, 02, e 03, sendo possível a análise da diferença entre as misturas estudadas.

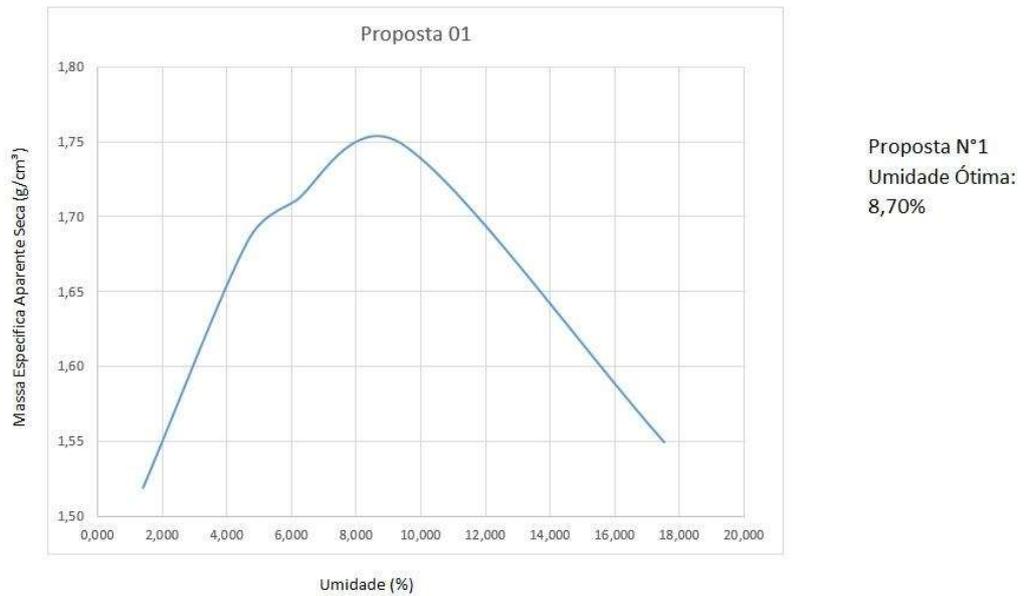
Figura 02: Curvas granulométricas das misturas



Fonte: elaborado pelos autores

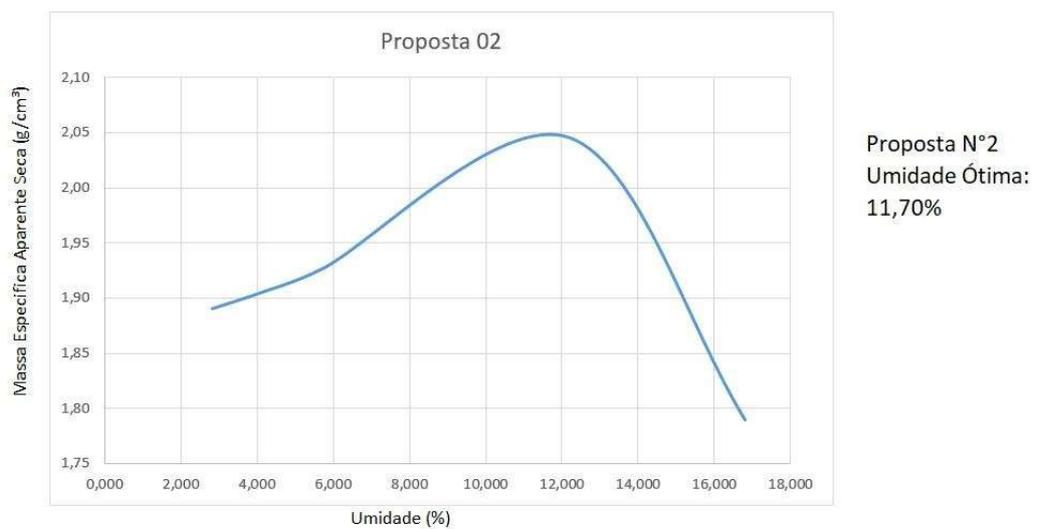
Realizados os ensaios de proctor foram obtidas as curvas de compactação da umidade ótima do material versus a massa específica seca. Sendo obtido uma umidade ótima para cada mistura proposta. Contudo é possível observar que a proposta 01 é necessária uma quantia de água menor para chegar à umidade ótima, comparadas as propostas 02 e 03. Conforme mostra as figuras 3, 4 e 5.

Figura 03: Curva de compactação da mistura, proposta 01.



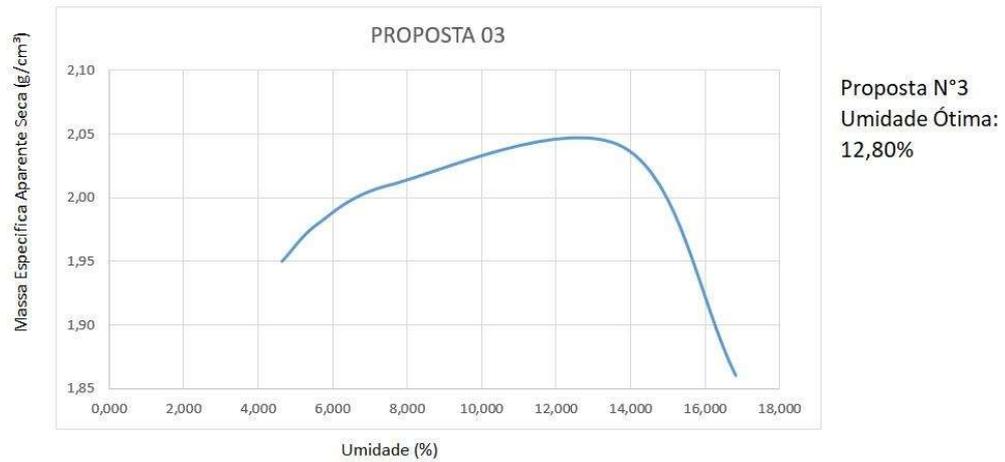
Fonte: elaborado pelos autores

Figura 04: Curva de compactação da mistura, proposta 02.



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 05: Curva de compactação da mistura, proposta 03.



Fonte: elaborado pelos autores

Com base nos resultados encontrados no ensaio de proctor e tendo encontrado a umidade ótima, foi possível a realização do ensaio de CBR, obtendo os seguintes resultados na tabela 2:

Tabela 02: Resultados ensaios ISC e expansão

MISTURA	UMIDADE	RESULTADOS					
		ENSAIO 01		ENSAIO 02		ENSAIO 03	
		ISC	EXPANSÃO	ISC	EXPANSÃO	ISC	EXPANSÃO
PROPOSTA 01	8,70%	267,70%	0,02%	202,80%	0,25%	231,50%	0,15%
PROPOSTA 02	11,70%	91,30%	0,02%	105,30%	0,05%	101,70%	0,04%
PROPOSTA 03	12,10%	110,80%	0,02%	125,90%	0,04%	115,10%	0,04%

Fonte: elaborado pelos autores

A areia de fundição estudada teve um bom desempenho junto com os demais materiais utilizados na substituição parcial ou completa dos agregados que são utilizados. Os ensaios obtidos no laboratório apresentaram viabilidade tecnológica positiva quando analisados os critérios de resistência à penetração (CBR/ISC) e à expansão das misturas, com base no manual do (DNIT, 2006) materiais para serem empregados como base na pavimentação requerem requisitos como $CBR \geq 80\%$, e sua expansão $\leq 0,5\%$, tendo em vista que resultados obtidos na mistura 01 foi encontrado o valor média obtido dos ensaios de CBR é de 234%, para a proposta 02 o valor médio obtido dos ensaios de CBR é de 99,43% e para a proposta 03 o valor médio obtido dos ensaios de CBR é de 117,26%, foi comprovada a possibilidade do uso da areia de fundição. Exemplificando, quando utilizada a areia descartada de fundição na execução de base com 15 cm de espessura, bem como apresenta os estudos deste artigo, utilizando 40% de areia verde conforme a proposta 01 o consumo seria de 0,11 toneladas de areia descartada por m^2 de base. Sua utilização em uma rua com 10 metros de largura a empregabilidade desse resíduo seria aproximadamente de 1,10 tonelada por metro linear, ou seja, 1.100 toneladas de areia por km pavimentado.

5. CONCLUSÕES

Com base nos nossos resultados, técnicos e mecânicos comprovou-se que a reutilização do rejeito de areia de fundição é assertiva para ser utilizada na base da pavimentação sendo assim, é uma forma sustentável e tecnicamente viável para favorecer o meio ambiente, evitando assim descarte inadequados ou até mesmo em aterros não licenciados por empresas de pequeno porte, atraindo o poder público para o manejo deste resíduo e principalmente para as empresas que precisam fazer o seu descarte. Com a utilização da areia descartada de fundição, a exploração de recursos naturais diminuiria, evitando-se assim que maquinário pesado precisaria extrair a areia de rios e encostas, tal essa que além de ser ecologicamente incorreta pois na sua extração há uma intervenção da vida dos rios e na sua aplicabilidade apresenta demasiados elementos orgânicos. Embasado nos resultados obtidos, é possível concluir que o aproveitamento da areia de fundição tem grandes benefícios tanto de forma mecânica quanto do ponto de vista ambiental.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a Unisociesc por disponibilizar o local, equipamentos e instrutora Camila Fortuna para que fosse possível a realização dos testes tecnológicos.

Agradecer a empresa Fundifer por apresentar o processo de fundição e disponibilizar a amostra de areia para realização deste trabalho. Ao professor Homero Duarte pelo suporte e direcionamento nas diretrizes no processo de aprendizado.

Por fim, agradecer a nossa família pelo apoio que recebemos durante esses anos, aos nossos vivos e finados pais, nosso obrigado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABICHOU, T.; BENSON, C. H.; EDIL, T. B. **Beneficial use of foundry by-products in highway construction. Geotechnical Engineering for Transportation Projects**, ASCE, v. 1, p. 715–722, jul. 2004.

ABIFA, **Anuário**, 2012.

ADEGAS, R. G. **Perfil ambiental dos processos de fundição ferrosa que utilizam areias no estado do Rio Grande do Sul**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) — Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ALVES, B. S. Q. **Estudo da viabilidade ambiental da reutilização das areias descartadas de fundição**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. **Resíduos sólidos – classificação**. 71 p. Rio de Janeiro: ABNT, 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502. **Rochas e solos**. 18 p. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182. **Solo - ensaio de compactação**. 10 p. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9895. **Solo - índice de suporte Califórnia - método de ensaio**. 14 p. Rio de Janeiro: 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B.; (2008). **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenharia**. Petrobras. Rio de Janeiro.

CARNIN, R. L. P. et al. **Desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado**. Revista Pavimentação, p.56,67, out./nov./dez.2010. Disponível em: <https://bityli.com/HA53V>. Acesso em: 15/09/2022.

CHELSEA CENTER FOR RECYCLING AND ECONOMIC DEVELOPMENT, UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS LOWELL. **Characterization of foundry sand waste**. Chelsea, Massachusetts, 2000. 71 p.

COUTINHO NETO, B. **Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição como agregado em misturas asfálticas densas**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) — Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA. **Manual de pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT (2006). **Manual de Pavimentação. Publicação IPR-179.** Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes, Rio de Janeiro.

DNIT 141/2010–ES: **Base Estabilizada Granulo metricamente** – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro – RJ, 2010.

DNIT 412/2019-ME. **Pavimentação – misturas asfálticas – análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – método de ensaio.** Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2019.

KLINSKY, L. M. G.; FABBRI, G. T. P. **Reaproveitamento de areia de fundição como material de base e sub-base de pavimentos flexíveis.** Transportes, ANPET, v. 17, n. 2, p. 36–45, dez. 2009.
LODI, Victor Hugo. **Viabilidade Técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento Portland na região de Chapecó- SC.** 2006. 129 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

NBR 7225: **Materiais de pedra agregados naturais.** Rio de Janeiro, 2013.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland.** São Paulo: Globo, 1998.

RIO GRANDE DO SUL, **Secretaria dos Transportes, Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, Unidade de Normas e Pesquisas. EL – 007/01 – Ensaio de Compactação.** Vol.1. Porto Alegre, 2001

SANTOS, L.C. **Estudo da estabilização de um solo expansivo através da incorporação de areia verde de fundição residual.** 2015. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Infraestrutura) - Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

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, Elsevier*, n. 26, p. 416–422, jul. 2012.

WEIDMANN, D. F. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland.** 2008. 273 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

YAZOGHLI, O. et al. **Recycling foundry sand in road construction-field assessment.** *Construction and Building Materials*, v. 61, p. 69–78, jun. 2014.