

# **CARACTERIZAÇÃO DOS REJEITOS DE MINERAÇÃO PARA APLICAÇÃO NA PAVIMENTAÇÃO**

Camila Lie Miyazaki – liemiyazaki@hotmail.com

Giovanna Oliveira Santos – giovannaosantos27@gmail.com

Kaique Bomjardim Martins – kaiquebjmt@gmail.com

Mariana Peres de Barros – mari.p.barros@hotmail.com

Patricia Barboza da Silva (Orientador) – patricia.silva1@mackenzie.br

## **RESUMO**

Atualmente a responsabilidade ambiental e a conservação do meio ambiente são pautas de alta relevância, sendo necessário desenvolver pesquisas que visem minimizar os impactos causados pela disposição dos rejeitos de mineração, de modo que parte desse material possa ser reaproveitado ou descartado de forma sustentável. O presente trabalho tem como objetivo realizar a caracterização dos rejeitos de mineração para avaliar a viabilidade técnica na utilização em camadas de pavimentos, como substitutos de materiais usualmente empregados. Os materiais avaliados foram os rejeitos de magnetita e de calcário dolomítico provenientes de uma mina em Cajati–São Paulo, os quais foram submetidos aos ensaios de granulometria, massa específica, equivalente de areia e o método das pastilhas, para caracterização física, e, por fim, aos ensaios de compactação e de índice suporte Califórnia (ISC), para avaliar os desempenhos mecânicos em vista da aplicação em pavimentação. Verificou-se que o rejeito de magnetita apresentou resultados compatíveis com o solo brita, para a camada de sub-base, enquanto o rejeito de calcário não apresentou desempenho mecânico suficiente para a aplicação em estruturas de pavimentos.

Palavras-chave: Beneficiamento. Rejeito de mineração. Pavimentação.

## **CHARACTERIZATION OF MINE TAILINGS FOR ITS USE ON PAVING**

### **ABSTRACT**

Environmental responsibility and conservation are current topics of high relevance, which poses a necessity to develop research aimed to minimize the impact caused by mine waste disposal, targeting reuse of part of this material or sustainable forms of disposal. The current study plans to outline a characterization of the mine tailings' composition in order to assess the technical feasibility on the use on pavement layers, as a substitute for other commonly used materials. The assessed materials were the magnetite and dolomite waste in Cajati-São Paulo's mine, which were submitted to tests of granulometry, specific mass, sand equivalent, and tablets method, for physical characterization, and

lastly, to the compaction and California Bearing Ratio (CBR), to evaluate the mechanical performance for paving application. It was found that the magnetite residue presented results that are compatible with gravel soil, used in the subbase layer, while the dolomite residue mining didn't present sufficient mechanical performance for use in pavement.

Keywords: Beneficiation. Mining tailings. Paving.

## 1 INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial no fim do século XIX impulsionou o aumento da produção de resíduos, gerando impactos ambientais e sociais no mundo (DEUS; BATTISTELLE; SILVA, 2015). Com o intuito de reduzir tais danos, foram realizadas cúpulas como a ECO-92 e a Rio+20 com o objetivo de promover o desenvolvimento ordenado e sustentável das nações.

Posto isto, as empresas e pesquisadores têm desenvolvido novas técnicas de reaproveitamento de seus materiais, resultando na diminuição de recursos econômicos e insumos em alguns setores da indústria, e melhorando a imagem das empresas no mercado ao criar laços entre estas e os consumidores (G. LAB, 2018). Entretanto, a reutilização de rejeitos e resíduos torna-se muitas vezes economicamente inviável ou impossibilitada devido à falta de tecnologia.

Essa condição pode ser observada no setor da mineração, no qual é gerada uma grande quantidade de rejeitos com pouca ou nenhuma utilidade para as mineradoras. Os altos volumes gerados decorrem do fato de que a obtenção do minério exige a movimentação de grandes quantidades de solo ou rochas para extrair a concentração necessária no processo de beneficiamento (BOSCOV, 2008).

Usualmente os rejeitos são depositados direto na superfície do terreno, em bacias de deposições conhecidas como barragens de rejeito. Esse tipo de deposição gera insegurança para a população vizinha e maiores gastos às mineradoras, que devem realizar a manutenção e o gerenciamento dessas estruturas, uma vez que os materiais dispostos têm diferentes características geológicas, mineralógicas e físico-químicas que exigem maiores controles para manter a estabilidade (AMORIM, 2007).

Após a ruptura da barragem de rejeitos de Fundão no município de Mariana, Minas Gerais, o Ministério Público Federal (MPF) emitiu a Recomendação nº 014 (BRASIL, 2016), na qual recomenda ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) não aprovar o Plano de Aproveitamento Econômico (PAE) de lavra de minério de ferro que não siga as determinações quanto à disposição dos resíduos de maneira sustentável.

No Brasil, o setor de mineração tem grande representatividade na economia nacional, representando cerca de 4,0% do Produto Interno Bruto (PIB) no ano de 2017 (BRASIL, 2019), e, ainda, estimativas realizadas afirmam que a produção de rejeito proveniente da mineração quase

dobrará no ano de 2030 (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2012). Os indicadores e as novas políticas sustentam a necessidade de reintroduzir o material em outros campos, como uma medida de redução de impactos ambientais pela sua disposição, além de otimizar o potencial do rejeito.

Essa necessidade vai ao encontro de alguns dos 17 objetivos apresentados pela Organização das Nações Unidas (ONU) que visa um plano de ação para garantia do desenvolvimento sustentável no mundo todo. O objetivo mais relevante para o presente trabalho é o de número 12 que diz respeito aos padrões de produção e consumo sustentável, no qual encontram-se metas como: a redução da geração de resíduos e incentivo as empresas para adoção de práticas sustentáveis (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015).

Atualmente, os rejeitos de mineração estão sendo reutilizados em diversas áreas da construção civil, como por exemplo, para fabricação de blocos pré-moldados e cerâmicos, tijolos, ladrilhos hidráulicos, pigmento para tintas e, ainda, o setor de pavimentação tem desenvolvido diversos estudos que comprovam a sua aplicabilidade. No entanto, ainda não se estabeleceu um padrão que facilite a escolha de seu emprego nas camadas de base e sub-base que compõem o pavimento, levando em consideração o sistema de produção e os minerais predominantes.

Majoritariamente, o acervo disponível no meio técnico sobre este tema revolve sobre o rejeito de minério de ferro, vista a importância e a abundância deste mineral no território nacional. Em estudos realizados por Galhardo (2015), Dantas (2015), Campanha (2011) e pela Rede de Pesquisas Aplicadas à Pavimentação (REDE) (2018), foi comprovada a possibilidade de se obter uma mistura com solo e rejeito de minério de ferro, que apresentasse comportamento compatível com o esperado e determinado em norma para aplicação nas camadas granulares do pavimento.

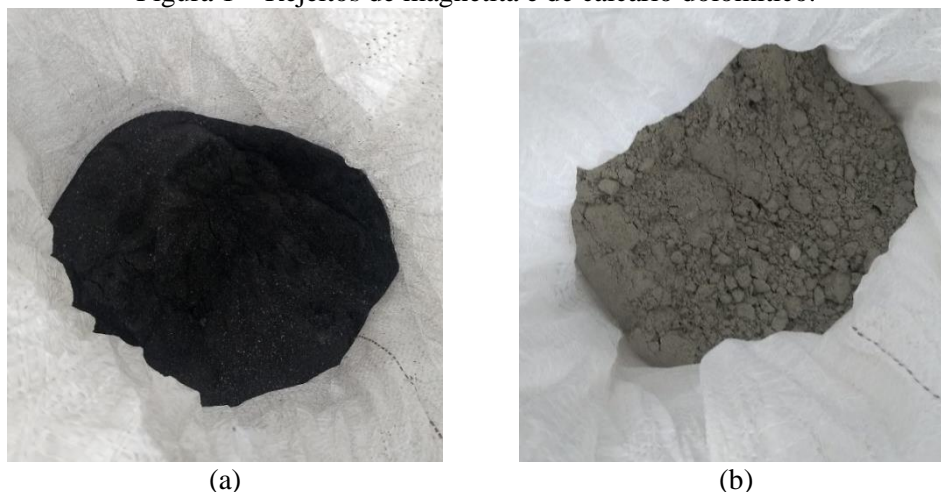
Em vista disso, através da revisão bibliográfica acerca das características dos rejeitos obtidos na produção mineral e à respeito das propriedades necessárias para os materiais empregados nas estruturas do pavimento e, principalmente, por meio da realização de ensaios de caracterização física e de avaliação do comportamento mecânico, o presente trabalho visa verificar a viabilidade técnica do uso dos rejeitos de magnetita e de calcário dolomítico em camadas de pavimentos. Além de agregar conhecimento ao meio técnico em função dos ensaios realizados com os rejeitos puros, o trabalho também apresenta uma compilação dos principais parâmetros necessários para a certificação da capacidade do material e a validação de seu emprego nas camadas de base ou sub-base, segundo as normas vigentes para o estado de São Paulo.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Os materiais estudados foram os rejeitos de magnetita (Figura 1a) e de calcário dolomítico (Figura 1b), provenientes de uma mina de beneficiamento de fosfato, localizada no município de

Cajati – São Paulo. Para os dois materiais foram realizados ensaios de caracterização física e de comportamento mecânico.

Figura 1 – Rejeitos de magnetita e de calcário dolomítico.



Fonte: Acervo próprio.

Para a caracterização física, os materiais foram submetidos aos ensaios de granulometria descrito na norma NBR 7181 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016c), massa específica dos grãos conforme NBR 6458 (ABNT, 2016b), equivalente de areia de acordo com a norma DNER-ME 054 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1997) e classificação MCT pelo método das pastilhas (NOGAMI; VILLIBOR, 1994).

Já com o intuito de analisar o comportamento mecânico dos rejeitos foram realizados os ensaios de compactação e de Índice de Suporte Califórnia (ISC) (ABNT, 2017) para determinação do ponto ótimo do ensaio de compactação (massa específica aparente seca máxima -  $\rho_{d \text{ máx}}$  e da umidade ótima -  $w_{ot}$ ) com os respectivos resultados de ISC e de expansão no referido ponto, para ambos os resíduos estudados.

Os resultados obtidos foram comparados com os limites normativos dos materiais comumente utilizados na pavimentação, sendo eles a brita graduada simples (BGS), o solo brita, o solo cal e o solo cimento. Para facilitar o processo de comparação, os parâmetros de interesse foram compilados em um quadro matriz.

Ao final das análises, foi possível verificar se as propriedades dos materiais estudados atendem àquelas requeridas para os materiais comumente empregados, permitindo assim, identificar o seu potencial na aplicação em determinadas camadas de pavimentação.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Nesta seção serão abordados os principais conceitos envolvidos no presente estudo, englobando desde noções a respeito do setor mineral, das características, normas e dos processos de

beneficiamento dos materiais utilizados no estudo (magnetita e calcário), até conhecimentos da área de pavimentação, e verificando os estudos realizados no meio técnico sobre a aplicação de rejeitos de mineração em pavimentação.

### 3.1 MINÉRIOS E MINERAIS EXPLORADOS NO BRASIL

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) (2015), o Brasil beneficia 72 tipos de minérios, sendo 23 metálicos, 45 não metálicos e 4 energéticos. Em 2014 o país bateu o recorde de produção de alguns minerais, metais e ligas, sendo esses agregados para construção civil (areia e pedra britada), minério de ferro, bauxita, alumínio primário, fosfato, potássio concentrado, cobre, liga de nióbio, níquel contido e ouro.

Durante a produção mineral brasileira de 2016, as substâncias metálicas representaram em torno de 77,0% do total explorado no país. Nas quais somente oito dessas substâncias corresponderam a 98,6% da produção comercializada, sendo essas o alumínio (bauxita), cobre, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel e ouro (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2017).

No processo de mineração existe uma etapa que separa o minério dos demais materiais sem valor comercial denominada de beneficiamento. De acordo com Presotti (2002), nessa etapa o minério recebe o tratamento necessário para atender às especificações do mercado. Os minérios quando submetidos ao processo de beneficiamento geram os chamados rejeitos de mineração (GOMES, 2017).

Estes rejeitos provenientes do beneficiamento devem passar obrigatoriamente por um processo de amostragem, caracterização e classificação a fim de que se possa aferir que não representam riscos à saúde pública e como forma de proporcionar uma gerência mais adequada e disposição em local apropriado desses. Estes procedimentos encontram-se prescritos nas normas NBR 10004 (ABNT, 2004a), NBR 10005 (ABNT, 2004b), NBR 10006 (ABNT, 2004c) e NBR 10007 (ABNT, 2004d), que dissertam sobre a classificação dos resíduos sólidos, os procedimentos necessários para obtenção tanto do extrato lixiviado quanto do solubilizado, e sobre a os requisitos para a aquisição das amostras, respectivamente.

#### 3.1.1 Ferro - Magnetita

Os minérios de ferro estão entre os elementos mais abundantes na crosta terrestre, além de serem amplamente utilizados no ciclo industrial. No âmbito nacional, o minério de ferro tem importância expressiva no setor de mineração, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial de minério de ferro, responsável por 15,5% da produção mundial e correspondendo a 25,0% das exportações mundiais (BRASIL, 2019).

De acordo Menezes (2012), os principais minérios de ferro são a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), a hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), a limonita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) e a pirita ( $\text{FeS}_2$ ). Além destes, o autor também inclui como minérios de ferro a ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ), a goethita ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ) e a siderita ( $\text{FeCO}_3$ ). Sendo que a magnetita, que possui densidade de  $5,2 \text{ g/cm}^3$ , é o mais rico minério de ferro e leva esse nome pela capacidade de ser atraída por um ímã.

Os resíduos oriundos das barragens de minério de ferro possuem características mineralógicas, geotécnicas e físico-químicas variáveis em função do tipo de minério explorado e do processo de beneficiamento (SANT'ANA FILHO, 2013).

Para eliminação destas impurezas e obtenção do ferro concentrado, o processo de beneficiamento do minério de ferro é constituído pelas seguintes etapas: britagem, peneiramento, moagem, deslamagem e flotação em colunas. O rejeito gerado durante esse processo pode ser descartado na forma sólida, semissólida ou líquida (polpa) (ARAUJO, 2006).

### 3.1.2 Calcário

O calcário é uma das rochas sedimentares com maior aplicabilidade, podendo estar presentes em materiais de construção, tais como cimento Portland, agregados e cal, bem como ser empregada como rocha ornamental, além de ser amplamente aplicado na agricultura para corrigir acidez do solo e melhorar o crescimento das plantas, e nas indústrias de tintas, vidro, cerâmica e outros (LUZ; LINS, 2008).

Sua classificação é baseada na sua composição química, podendo ser calcítico ou dolomítico. No primeiro caso, o mineral predominante é a calcita composta basicamente por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Já no segundo caso, ocorre a dolomitização em que parte do cálcio presente no calcário é substituído por magnésio, formando a dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) (DANA, 1993 *apud* MELO, 2005, p. 40).

A calcita possui dureza 3,0 na escala de *Mohs* e densidade  $2,72 \text{ g/cm}^3$ , apresentando, comumente, cor branca ou não possuindo cor (hialino) e são coloridas quando contém impurezas, que podem variar tanto em tipo quanto quantidade (LUZ; LINS, 2008). Já a dolomita, segundo Sampaio e Almeida (2005), possui dureza de 3,5 a 4,0 na escala de *Mohs* e densidade de  $2,87 \text{ g/cm}^3$ . Normalmente, apresentam cor branca e rósea, e possuem teores de óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) de 30,4 % e de óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ) de 21,95 %.

Ainda pode também ser encontrado em jazidas de fósforo, que usualmente são compostas por rochas sedimentares, ígneas e biogénicas, sendo um rejeito do seu processo de beneficiamento (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2001).

## 3.2 MATERIAIS PARA CAMADAS DE BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS

O pavimento consiste em uma estrutura construída após terraplanagem com o intuito de resistir e distribuir os esforços verticais causados pelo tráfego em qualquer condição climática, além de melhorar as condições de rolamento tendo em vista a segurança e a comodidade (BALBO, 2007; BERNUCCI *et al.*, 2010; SANTANA, 1993). Comumente, estas camadas são divididas levando em conta o seu papel estrutural no projeto de pavimento e a natureza de seu material constituinte, obedecendo a seguinte nomenclatura: revestimento, base, sub-base, reforço de subleito e subleito.

O pavimento pode ser classificado quanto à forma como trabalha frente as solicitações. Os pavimentos flexíveis sofrem deformações elásticas em todas as camadas, sendo constituídos de material asfáltico na camada de revestimento, e por materiais granulares nas demais. Já os rígidos são executados com um revestimento de rigidez elevada, como placas de concreto de cimento Portland, que absorvem as principais tensões advindas do carregamento de roda. E por último, existem os chamados semirrígidos, que apresentam na camada de base ou sub-base material granular estabilizado tendo características intermediárias entre os dois primeiros citados de acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (2006).

Segundo o DNIT (DNIT, 2010a; DNIT, 2010b), as camadas de base e sub-base, têm a função de suportar as solicitações verticais provenientes do tráfego e conduzi-las para a camada subsequente, sendo a sub-base considerada um complemento da base.

Tais camadas podem ser compostas por diferentes materiais de acordo com as necessidades do projeto. Portanto, serão brevemente descritos os principais materiais utilizados, apresentando as suas características físicas e parâmetros de comportamento mecânico.

A brita graduada simples é composta por agregados provenientes da britagem de rocha sã, cuja dosagem é realizada em usina para garantir a estabilidade e a durabilidade da camada por meio de uma distribuição granulométrica bem graduada (DER-SP, 2005b). Tal material é amplamente utilizado em camadas de base e sub-base em pavimentos asfálticos e de sub-base em pavimentos de concreto (BERNUCCI *et al.*, 2010). As especificações técnicas quanto a granulometria, equivalente de areia, ISC e expansão podem ser obtidas na norma ET-DE-P00/008 (DER-SP, 2005b).

O material do tipo solo brita pode ser utilizado em base e sub-base de pavimentos, e consiste em uma mistura de solo e agregado pétreo britado, com o objetivo de resistir as cargas do tráfego e a ação do clima (DER-SP, 2006c). A mistura de solo brita com distribuição granulométrica bem graduada garante alta densidade, baixa permeabilidade e contato grão a grão, o que resulta em menor deformabilidade (BERNUCCI *et al.*, 2010). Os parâmetros normativos quanto a granulometria, equivalente de areia, ISC e expansão estão contidos na especificação técnica ET-DE-P00/006 (DER-SP, 2006c).

O solo cal é uma composição de solo e cal, cuja dosagem é determinada experimentalmente e, quando compactado de maneira adequada, assegura a durabilidade e estabilidade frente a água e

solicitações de tráfego. A mistura pode compor as camadas de reforço do subleito, base ou sub-base. As características necessárias a esse material podem ser obtidas nas especificações correntes (DER-SP, 2006b).

O solo-cimento é aplicado nas camadas de base e sub-base de pavimentos rígidos e pode ser definido como um material resultante da mistura de solo, cimento e água em quantidades determinadas através da dosagem em laboratório. O teor de cimento empregue varia na faixa de 5% a 9% em relação a massa total (BERNUCCI *et al.*, 2010) de modo que a mistura final apresente certas características de resistência e durabilidade (DNIT, 2010c). Tanto o material como a mistura devem atender aos limites impostos pela especificação técnica vigente (DER-SP 2006a).

### 3.3 UTILIZAÇÃO DE REJEITOS E RESÍDUOS DE MINERAÇÃO EM CAMADAS DE BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTAÇÃO

Em vista da crescente demanda por agregados naturais para uso na construção civil e da preocupação com geração de resíduos sólidos, de forma a beneficiar a sustentabilidade ambiental, a aplicação de rejeito de minério de ferro como infraestrutura rodoviária mostra-se uma opção viável para diminuir os passivos ambientais ocasionados pelos rejeitos de mineração (BASTOS, 2013).

Galhardo (2015) e Dantas (2015) enfatizam que as avaliações tradicionais para previsão do comportamento dos solos nem sempre são exatas, principalmente no tocante de solos de regiões tropicais. Ao classificar a mistura de solo com resíduos oriundos do beneficiamento do minério de ferro segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e o Highway Research Board (HRB), estes foram considerados impróprios para pavimentação. No entanto, prosseguindo com os ensaios de ISC e expansão, foi possível constatar que as amostras obtiveram resultados que atenderam aos respectivos limites normativos exigidos para os materiais utilizados em base e sub-base de pavimentos.

O estudo elaborado por Campanha (2011) englobou a caracterização de dois tipos de rejeito de minério de ferro, o concentrado e o coletado da etapa de flotação do beneficiamento. Segundo a classificação HRB o rejeito concentrado é A-3 (areias finas) e o de flotação A-4 (Solos siltosos com pequena quantidade de material grosso e de argila) e suas características granulométricas atendem a norma NBR 12253 para utilização em camadas de solo cimento (ABNT, 2012b). O rejeito de flotação apresentou resultados equiparáveis aos exigidos para solo melhorado com cimento no ensaio de ISC para energia intermediária e normal indicando a possibilidade de ser usado para camada de sub-base de pavimentos flexíveis. Além disso, comparando-se os dois materiais, o de flotação se mostra mecanicamente mais resistente, com base nos resultados obtidos nos ensaios de ISC e de resistência à compressão simples, graças a fração fina presente em sua composição, o que garante maior coesão.



Foi constatado em estudo realizado pela REDE (2018) que a mistura de solos lateríticos com rejeito de minério de ferro com teores acima de 20% de rejeito melhora o ISC do solo, em contrapartida, o aumento da dosagem leva à queda do módulo de resiliência. Por fim, através dos ensaios de compactação *Mini-MCV* (Moisture Condition Value) e de perda de massa por imersão, todas as amostras foram classificadas como LA' (solo arenoso laterítico), indicando pouca influência do rejeito no resultado desta classificação, e confirmando a possibilidade da sua utilização em bases de pavimentos por serem pouco erodíveis e com alta capacidade de suporte.

Em suma, as pesquisas aqui apresentadas que tratam da aplicação do uso de rejeitos de mineração para aplicação em pavimentação ressaltam que os rejeitos não apresentam um padrão. Como observado na compilação dos resultados, existem diversos fatores que influenciam no seu comportamento, tais como o tipo de mineral, o tipo de beneficiamento, o momento de coleta do material, a etapa do beneficiamento na qual o resíduo é gerado e a alteração de apenas um destes já é suficiente para mudar as características obtidas nas avaliações do rejeito. Desta forma, é imprescindível realizar a caracterização do material antes de sua aplicação, garantindo assim, o maior conhecimento sobre este.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física, de compactação e de ISC. Por fim, estes resultados foram comparados com os limites normativos de diferentes materiais convencionais de camadas de base e sub-base para se determinar a melhor aplicação do rejeito em uma camada de pavimentação.

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA**

Os resultados dos ensaios de massa específica e de equivalente de areia, bem como a classificação dos rejeitos segundo o método HRB estão compilados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de caracterização física.

Parâmetro	Referência	Amostras	
		Rejeito de magnetita	Rejeito de calcário
Massa específica dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 6457 (ABNT, 2016a)	4,73	2,95
Equivalente de areia (%)	DNER-ME 054 (DNER, 1997)	82,78	62,11
Classificação HRB	ASTM D 3282 (2015)	A-3	A-2
Método das pastilhas	Nogami e Villibor (1994)	NA	NA

Fonte: Autores.

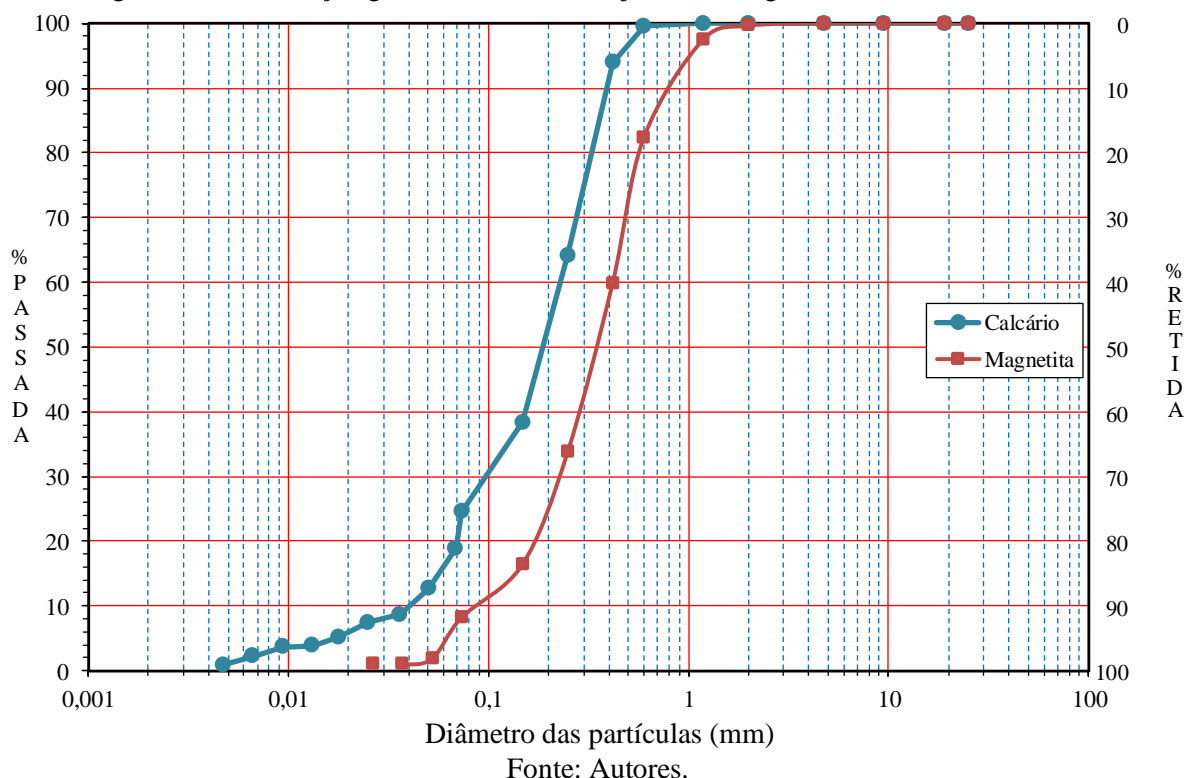
Segundo a classificação HRB (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2015), ambas as amostras foram classificadas como areias, sendo o rejeito de magnetita classificado como uma areia fina, e o rejeito de calcário como uma areia siltosa. Tal especificação aponta para um comportamento adequado como subleito de pavimento dos dois materiais (BALBO, 2007), e o calcário, ainda se enquadra nas especificações normativas de solos para ser empregado em misturas do tipo solo cimento (ABNT, 2012a).

Complementando e corroborando com este resultado, a classificação obtida por meio do método das pastilhas, indicou que ambos os rejeitos podem ser classificados como areias não lateríticas (NA). No entanto, divergindo com a interpretação do resultado anterior, por meio desta classificação, os dois rejeitos puros nem mesmo poderiam ser aplicados na camada de reforço de subleito, segundo a especificação ET-DE-P00/002 (DER-SP, 2005a). Balbo (2007) enfatiza que materiais com comportamento não laterítico geralmente não são indicados para aplicação em pavimentação, em vista das suas propriedades de permeabilidade e de expansão.

Em relação à massa específica dos grãos, os valores obtidos ficaram próximos aos valores de referência, apresentados nos subitens 3.1.1 (magnetita) e 3.1.2 (calcário). As variações dos valores obtidos podem ser justificadas devido a presença de impurezas na composição dos materiais, que pôde ser comprovada pelo ensaio de equivalente de areia, no qual o rejeito de magnetita indicou menor contaminação em relação ao calcário.

Ainda, comparando os valores obtidos com os usualmente encontrados em solos, que variam entre 2,65 g/cm<sup>3</sup> e 3,00 g/cm<sup>3</sup> (PINTO, 2002), o rejeito de calcário encontra-se neste intervalo, enquanto a magnetita supera o maior valor em 57,67%. A elevada massa específica dos grãos da magnetita pode ser decisiva no momento da escolha do material utilizado na obra, uma vez que este parâmetro faz parte na composição do custo do transporte.

Figura 2 – Distribuição granulométrica dos rejeitos de magnetita e calcário dolomítico.



A curva granulométrica do rejeito de magnetita (Figura 2) atende as especificações previstas para os solos utilizados na composição da mistura de solo cimento para camada de base (DER-SP, 2006a), bem como para a composição do solo brita utilizado em camadas de base e sub-base (DER-SP, 2006c). Enquanto o rejeito de calcário (Figura 2) se enquadra apenas na faixa granulométrica de solos utilizados em base de solo cimento (DER-SP, 2006a).

O rejeito de calcário apresentou 24,58% de material fino, ou seja, de material passante na peneira N° 200 (0,074 mm), e 93,95% de material passante na peneira N° 40 (0,42 mm). Já o rejeito de magnetita era composto por 8,30% de material fino e 59,84% de material passante na peneira N° 40. Essas quantidades indicam que os dois materiais podem ser utilizados nas misturas de BGS e solo brita, que segundo especificações (DER-SP, 2005b; DER-SP, 2006c) a porcentagem de material passante na peneira N° 200 não deve ser maior que 2/3 da quantidade que passa na peneira N° 40.

#### 4.2 DESEMPENHO MECÂNICO

Para a avaliação do comportamento mecânico foram realizados ensaios de compactação e ISC, conforme NBR 9895 (ABNT, 2017), utilizando energia normal de compactação. Na tabela 2 são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de compactação e ISC.

Parâmetro	Amostra	
	Rejeito de magnetita	Rejeito de calcário
$W_{ótima}$ (%)	6,3	7,4
$\rho_{d\ máx}$ (kg/m <sup>3</sup> )	2911	1874
ISC (%)	35	11
Expansão (%)	0	0

Fonte: Autores.

Por meio da curva de compactação foi obtida a massa específica aparente seca máxima ( $\rho_{d\ máx}$ ) e a umidade ótima ( $W_{ótima}$ ). Dentre os dois rejeitos, a magnetita apresentou maior  $\rho_{d\ máx}$ , de 2911 kg/m<sup>3</sup> superior ao intervalo de 1400 a 2300 kg/m<sup>3</sup>, comumente atingido pelos solos (DNIT, 2006). Este resultado pode ser explicado devido à elevada massa específica dos grãos da magnetita, como constatado anteriormente e não estar, necessariamente, relacionado com a diminuição dos vazios.

Ao comparar o resultado obtido de ISC para o rejeito de magnetita com o valor mínimo estipulado de 30% para o solo brita (DER-SP, 2006c), verificou-se que este rejeito poderia ser empregado na camada de sub-base. Entretanto, sua capacidade de suporte não seria suficiente para sugerir a sua aplicação em camada de base, cujo ISC mínimo admitido é de 80%.

A mesma constatação é dada ao confrontar com os limites do solo cal (DER-SP, 2006b), já que supera o ISC de 30% imposto para camada de sub-base; e não atinge o resultado 60% de ISC obrigatório para resistir às solicitações como camada de base de baixo volume de tráfego.

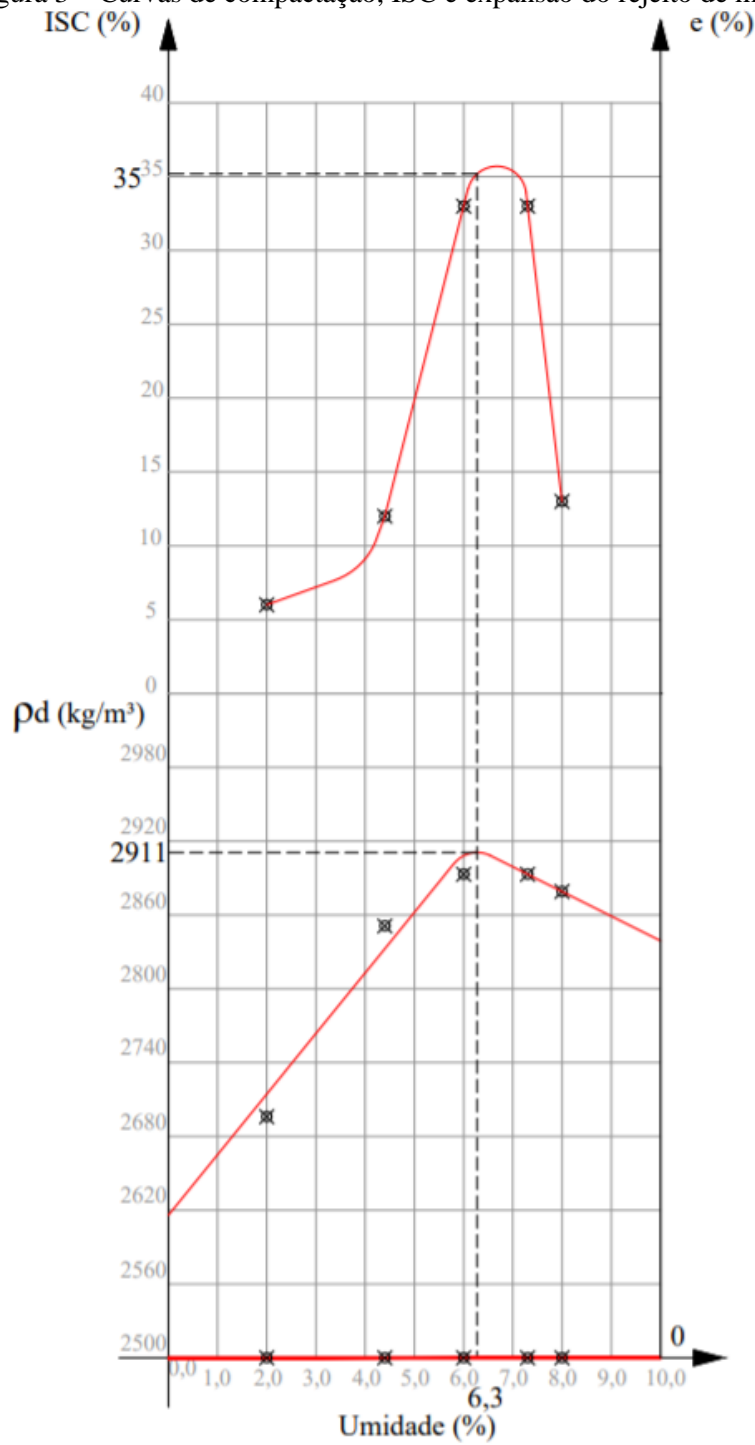
E ao compará-lo com os requisitos estabelecidos para materiais do tipo BGS (DER-SP, 2005b), o desempenho do material não atinge o mínimo necessário, equivalente a 100%.

Já no caso do rejeito de calcário, o ISC obtido não atende a nenhuma das especificações dos materiais estudados como referência, devido sua capacidade de suporte não apresentar resultados adequados para ser empregado nem como camada de sub-base e tão pouco como camada de base.

Nota-se que para ambos os materiais avaliados a expansão é nula. Tal resultado é compatível com as exigências normativas do solo brita (DER-SP, 2006c) e do solo cal (DER-SP, 2006b), uma vez que o máximo permitido para utilização em base é de 0,5% e para sub-base é de 1,0%; e da BGS, cujo parâmetro é limitado à 0,3% (DER-SP, 2005b).

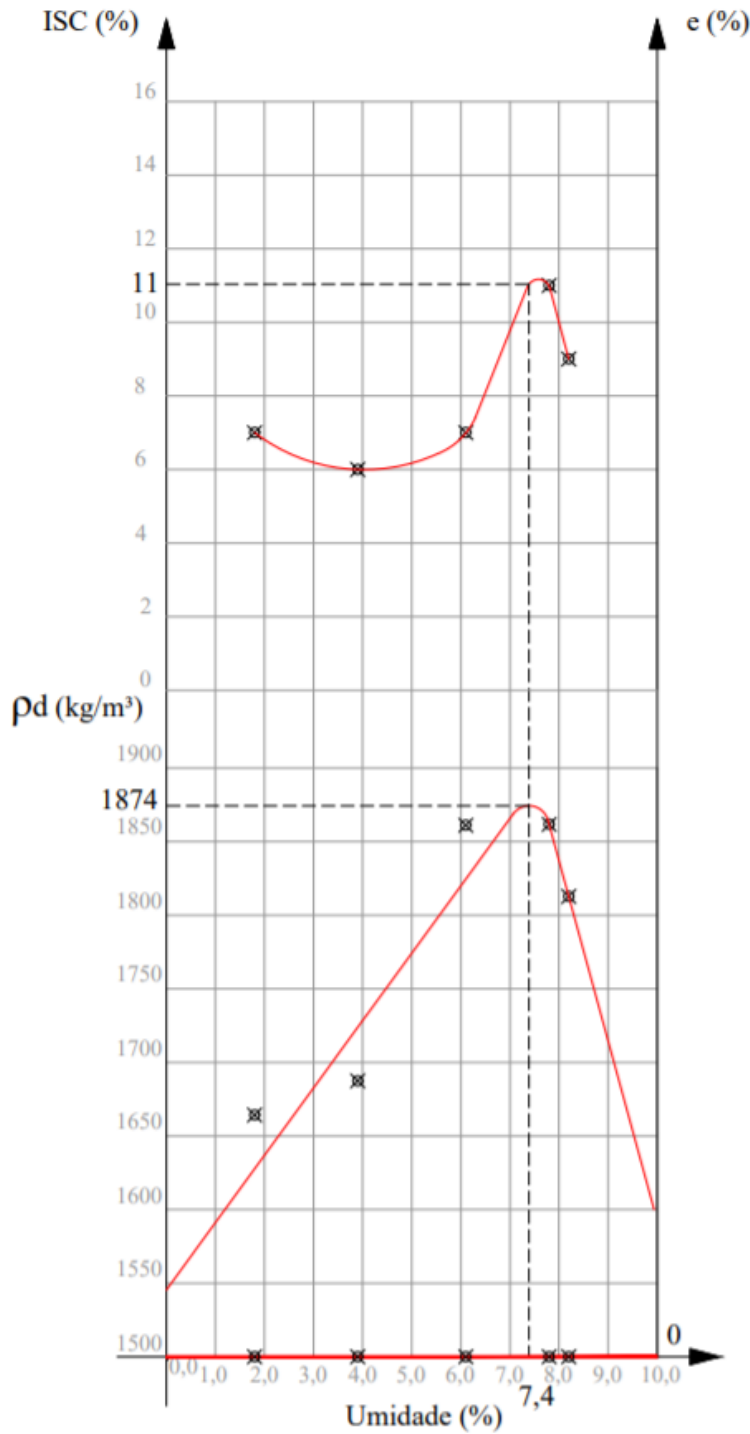
Nas figuras 3 e 4 são apresentadas as curvas obtidas para os ensaios de compactação, expansão e ISC, respectivamente para o rejeito de magnetita e para o rejeito de calcário.

Figura 3 – Curvas de compactação, ISC e expansão do rejeito de magnetita.



Fonte: Autores.

Figura 4 – Curvas de compactação, ISC e expansão do rejeito de calcário dolomítico.



Fonte: Autores.

#### 4.3 MATRIZ DE COMPARAÇÃO

Na Tabela 3, encontram-se compilados os resultados obtidos nos ensaios físicos e mecânicos realizados sobre os rejeitos estudados e os valores de cada um destes parâmetros preconizados pelas especificações de materiais comumente empregados em bases e sub-bases de pavimentos, a fim de possibilitar uma melhor visualização e comparação das propriedades dos rejeitos estudados com os materiais usualmente empregados em pavimentação.

Tabela 3 – Matriz para comparação dos resultados obtidos na caracterização dos rejeitos.

Material	Granulometria	Equivalente de areia (%)	ISC (%)	Expansão (%)	
<b>Rejeito</b>	<b>Magnetita</b>	-	82,78	35	0
	<b>Calcário dolomítico</b>	-	62,11	11	0
<b>BGS</b>	DER-SP ET-DE-P00/008 (2005b)	> 55 <sup>1</sup>	> 100 <sup>3</sup>	≤ 0,3	
<b>Solo brita</b>	<b>Base</b>	DER-SP ET-DE-P00/006 (2006c)	> 30 <sup>2</sup>	≥ 80 <sup>3</sup>	≤ 0,5
	<b>Sub-base</b>		> 30 <sup>2</sup>	≥ 30 <sup>4</sup>	≤ 1,0
<b>Solo cal</b>	<b>Base</b>	DER-SP ET-DE-P00/005 (2006b)	-	≥ 60 <sup>4</sup>	≤ 0,5
	<b>Sub-base</b>		-	≥ 30 <sup>4</sup>	≤ 1,0
<b>Solo cimento</b>	<b>Base</b>	DER-SP ET-DE-P00/004 (2006a)	-	-	-
	<b>Sub-base</b>		-	-	-

<sup>1</sup> Se refere a especificações quanto ao tipo de solo utilizado; <sup>2</sup> Se refere a especificações quanto ao tipo de agregado empregado; <sup>3</sup> Valor para energia modificada; <sup>4</sup> Valor para energia intermediária.

Fonte: Autores.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos estudos desenvolvidos de caracterização dos rejeitos de magnetita e de calcário dolomítico se pôde averiguar que estes apresentam certas características físicas semelhantes as existentes em alguns materiais usualmente empregados nas camadas de base e sub-base de pavimentos.

Dentre os dois materiais analisados, a magnetita foi o que apresentou resultados mais adequados para aplicação como material para camadas de pavimentos. A granulometria do referido rejeito apresentou resultado semelhante àquela indicada para solos utilizados nas misturas de solo cimento, aplicado em camadas de base, e de solo brita aplicado em camadas de base e sub-base.

Quanto ao seu desempenho mecânico, os valores de ISC e expansão obtidos também a qualificam a ser empregada como camada de sub-base de solo brita. Sendo assim, analisando estas informações verificou-se que o rejeito de magnetita pode ser considerado um material viável tecnicamente para solos empregados em materiais do tipo solo brita para camadas de sub-base. Entretanto, sua alta massa específica dos grãos pode limitar a sua larga aplicação, visto que o seu transporte a grandes distâncias poderá ter um custo elevado, tornando-o economicamente inviável para concorrer diretamente com este material.

Já o calcário, apesar de não ter apresentado problemas quanto a massa específica, estando dentro dos limites esperados para um solo comum, e de sua faixa granulométrica e de expansão estarem dentro dos limites preconizados pelas especificações do DER-SP (2006a) para solos a serem utilizados em bases de solo cimento, o mesmo não apresenta condições mecânicas suficientes para que se possa sugerir sua aplicação em estruturas de pavimentos. Os resultados de ISC obtidos foram inferiores ao mínimo estabelecido por norma para os materiais comumente utilizados em camadas de pavimentos.

Vale ressaltar que apesar de ambos os rejeitos terem sido classificados como areias não lateríticas (NA), por meio dos ensaios de comportamento mecânico foi possível constatar que a classificação pelo método das pastilhas (NOGAMI; VILLIBOR, 1994) pode não ser capaz de prever com precisão as propriedades do material, e, conseqüentemente, subestimar ou superestimar o seu comportamento.

Portanto, o uso dos rejeitos, como os estudados, nas camadas de pavimento pode contribuir para preservação do meio ambiente, uma vez que esses materiais são gerados em grande quantidade pelo setor de mineração, tendo pouca ou nenhuma utilidade para as mineradoras e sendo, normalmente, descartados e dispostos em barragens.

Com a finalidade de dar continuidade ao estudo desenvolvido com os rejeitos provenientes da extração mineral e aprimorar o conhecimento técnico existente na área, recomenda-se para trabalhos futuros:

- a) adicionar o rejeito de mineração nas misturas dos materiais usualmente utilizados em camadas de pavimento e avaliar a influência da adição do rejeito no comportamento da mistura;
- b) realizar outros ensaios para avaliação do comportamento mecânico como módulo de resiliência, para identificar a rigidez destes materiais e quais as aplicações compatíveis a esta;
- c) realizar dosagens com cal e cimento Portland para aferir o comportamento mecânico quando comparados a misturas convencionais do tipo solo cimento e solo cal;
- d) avaliar as possíveis interferências no campo magnético decorrente da aplicação do rejeito de magnetita como material de pavimentação.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 3282 - 15**: Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. 2 ed. West Conshohocken: ASTM International, 2015. 12p. Acesso em: 04 nov. 2019.

AMORIM, Enio Fernandes. **Efeitos do processo de deposição hidráulica no comportamento de um rejeito de mineração de ouro**. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia



Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em:  
<<https://www.geotecnia.unb.br/downloads/dissertacoes/161-2007.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

ARAUJO, Cecília Bhering. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro.** 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:  
<<https://docplayer.com.br/3306129-Contribuicao-ao-estudo-do-comportamento-de-barragens-de-rejeito-de-mineracao-de-ferro-cecilia-bhering-de-araujo.html>>. Acesso em: 26 mai. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:** Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2 ed. [s.l.]: ABNT Editora, 2016a. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458:** Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. 2 ed. [s.l.]: ABNT Editora, 2016b. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:** Solo – Análise granulométrica. 2 ed. [s.l.]: ABNT Editora, 2016c. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895:** Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. 2 ed. corrigida [s.l.]: ABNT Editora, 2017. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:** Resíduos sólidos - Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2004a. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005:** Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2004b. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006:** Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2004c. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007:** Amostragem de resíduos sólidos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2004d. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11798:** Materiais para base de solo-cimento - Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2012a. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253:** Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento - Procedimento. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2012b. 3 p.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica:** materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 560 p.

BASTOS, Lucas Augusto de Castro. **Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro como matéria prima para infraestrutura rodoviária.** 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em:  
<[https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6523/1/DISSERTA%20C3%87%20C3%83O\\_Ut%20iliza%20C3%A7%20C3%A3oRejeitoBarragem.pdf](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6523/1/DISSERTA%20C3%87%20C3%83O_Ut%20iliza%20C3%A7%20C3%A3oRejeitoBarragem.pdf)>. Acesso em: 02 jun. 2019.

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobrás; Abeda, 2010. 504 p. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/264785655\\_Pavimentacao\\_Asfaltica\\_Formacao\\_Basica\\_para\\_Engenheiros](https://www.researchgate.net/publication/264785655_Pavimentacao_Asfaltica_Formacao_Basica_para_Engenheiros)>. Acesso em: 26 mai. 2019.

BOSCOV, Maria Eugenia Gimenez. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 248 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Sinopse 2018**. 2019 Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732837/C%C3%B3pia+de+SINOPSE-2018+-+atualizada+em+26-2-2019.pdf/d630c97b-d247-4dee-bb70-94918ec3cc38?version=1.0>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério Público Federal. **Recomendação nº 014 /2016**. 2016. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/mg/sala-de-imprensa/docs/recomendacao-dnmp>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

CAMPANHA, Ângela. **Caracterização de rejeitos de minério de ferro para uso em pavimentação**. 2011. 106 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3752/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 26 mai. 2019.

DANTAS, André Augusto Nóbrega. **Caracterização de Resíduos oriundos do Beneficiamento do Minério de Ferro para Uso em Pavimentação**. 2015. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. Disponível em: <<http://arquivos.info.ufrn.br/arquivos/201506719299e325064590b79fe977f69/DissertaooficialAndreAugusto.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO (SÃO PAULO). **ET-DE-P00/002**: Reforço de subleito. São Paulo: Secretaria dos Transportes, 2005a. Disponível em: <<http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Documentos/Tecnicas.aspx#>>. Acesso em: 08 nov. 2019.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO (SÃO PAULO). **ET-DE-P00/004**: Sub-base ou base de solo-cimento. São Paulo: Secretaria dos Transportes, 2006a. Disponível em: <<http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Documentos/Tecnicas.aspx#>>. Acesso em: 08 set. 2019.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO (SÃO PAULO). **ET-DE-P00/005**: Sub-base ou base de solo-cal. São Paulo: Secretaria dos Transportes, 2006b. Disponível em: <<http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Documentos/Tecnicas.aspx#>>. Acesso em: 04 mai. 2019.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO (SÃO PAULO). **ET-DE-P00/006**: Sub-base ou base de solo brita. São Paulo: Secretaria dos Transportes, 2006c. Disponível em <<http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Documentos/Tecnicas.aspx#>>. Acesso em: 01 mai. 2019.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO (SÃO PAULO). **ET-DE-P00/008**: Sub-base ou base de brita graduada. São Paulo: Secretaria dos Transportes, 2005b. Disponível em <<http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Documentos/Tecnicas.aspx#>>. Acesso em: 01 abr. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (BRASIL). Ministério dos Transportes. **DNER-ME 054/97**: Equivalente de areia. Rio de Janeiro: Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, 1997. 10 p. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me054-97.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (BRASIL). Ministério dos Transportes. **DNIT 140/2010 - ES**: Pavimentação – Sub-base de solo melhorado com cimento – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro: Instituto de pesquisas rodoviárias, 2010a. 9 p. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit140\\_2010\\_es.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit140_2010_es.pdf)>. Acesso em: 01 mai. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (BRASIL). Ministério dos Transportes. **DNIT 142/2010 - ES**: Pavimentação – Base de solo melhorado com cimento – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro: Instituto de pesquisas rodoviárias, 2010b. 9 p. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit142\\_2010\\_es.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit142_2010_es.pdf)>. Acesso em: 01 mai. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (BRASIL). Ministério dos Transportes. **DNIT 143/2010 - ES**: Pavimentação – Base de solo-cimento - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2010c. 10 p. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit143\\_2010\\_es.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit143_2010_es.pdf)>. Acesso em: 01 mai. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (BRASIL). Ministério dos Transportes. **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2006. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual%20de%20Pavimenta%E7%E3o\\_05.12.06.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Pavimenta%E7%E3o_05.12.06.pdf)>. Acesso em: 26 mai. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (BRASIL). **Anuário mineral brasileiro**: Principais Substâncias Metálicas. Brasília, 2017. 43 p. Disponível em: <[http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb\\_metalicos2017](http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_metalicos2017)>. Acesso em: 11 abr. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (BRASIL). **Balanco Mineral Brasileiro 2001**: Fosfato. Brasília, 2001. 31 p. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-fosfato>>. Acesso em: 04 ago. 2019.

DEUS, Rafael Mattos; BATTISTELLE, Rosane Aparecida Gomes; SILVA, Gustavo Henrique Ribeiro. **Resíduos sólidos no Brasil**: contexto, lacunas e tendências. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [s.l.], v. 20, n. 4, p.685-698, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020040129347>>. Acesso em 05 mar. 2019.

G. LAB. **Sustentabilidade cria laços entre empresas e consumidores**. 2018. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/patrocinado/bluevision-braskem/bluevision-braskem-2/sustentabilidade-cria-lacos-entre-empresas-e-con>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

GALHARDO, Daniel Corrêa. **Estudo sobre a viabilidade técnica da utilização de rejeitos de mineração de ferro em camadas de pavimentos rodoviários**. 2015. 186 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em:

<<http://transportes.ime.eb.br/DISSERTA%C3%87%C3%95ES/2015%20DANIEL%20CORR%C3%8AA%20GALHARDO.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2019.

GOMES, Ana Cláudia Franca. **Estudo de aproveitamento de rejeito de mineração**. 2017. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em:

<[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-AN9QQC/anacl\\_udiagomes\\_disserta\\_\\_ofinal.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-AN9QQC/anacl_udiagomes_disserta__ofinal.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 01 mai. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações sobre a Economia Mineral Brasileira 2015**. Brasília: Ibram, 2015. 25 p. Disponível em:

<<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>> Acesso em: 26 mai. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos de atividade de mineração de substâncias não energéticas**: Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012. 46 p. Disponível em:

<[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7702/1/RP\\_Diagn%C3%B3stico\\_2012.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7702/1/RP_Diagn%C3%B3stico_2012.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2019.

LUZ, Adão Benvido da, LINS, Fernando A. Freitas. **Rochas & Minerais Industriais**: Usos e Especificações. 2 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 990 p.

MELO, Karoline Alves de. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filler calcário**. 2005. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/101755>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

MENEZES, Sebastião de Oliveira. **Minerais comuns e de importância econômica**: Um manual fácil. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 128 p.

NOGAMI, Job Shuji; VILLIBOR, Douglas Fadul. Identificação expedita dos grupos da classificação MCT para solos tropicais. In: **X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações**, 5, 1994, Foz do Iguaçu. Anais... p. 1293-1300. Disponível em: <<https://portaldetecnologia.com.br/wp-content/uploads/Identifica%C3%A7%C3%A3o-Expedita-Solos-Tropicais.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (Org.). **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em:

<<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 02 out. 2019.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso básico de mecânica dos solos**: em 16 aulas. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 367 p.

PRESOTTI, Ednelson da Silva. **Influência do teor de ferro nos parâmetros de resistência de um rejeito de minério de ferro**. 2002. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2002. Disponível em:

<[https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6430/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Influ%C3%AanciaTeorPar%C3%A2metros.pdf](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6430/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Influ%C3%AanciaTeorPar%C3%A2metros.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2019.

REDE DE PESQUISAS APLICADAS À PAVIMENTAÇÃO (REDE). **Estudo da viabilidade técnica de utilização de rejeitos de minério de ferro em pavimentos rodoviários**. Nova Lima, MG, 2018. Disponível em:

<[http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/RDT\\_VIA040\\_REL\\_FINAL\\_REJEITOS\\_DE\\_MINERACAO.pdf](http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/RDT_VIA040_REL_FINAL_REJEITOS_DE_MINERACAO.pdf)>. Acesso em: 06 mai. 2019.

SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. Calcário e Dolomito. In: LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antonio Freitas. **Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações**. Rio de Janeiro: Cetem, 2005. p. 327-350. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1051/1/15.CALCARIO%20e%20DOLOMITA.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

SANT'ANA FILHO, Joaquim Nery de. **Estudos de reaproveitamento dos resíduos das barragens de minério de ferro para uso na pavimentação de rodovias e fabricação de blocos intertravados**. 2013. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <<http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/DissertacaoJoaquim.pdf>>. Acesso em: 07 mai. 2019.

SANTANA, Humberto. **Manual de Pré-Misturados a Frio**. IBP/ Comissão de Asfalto. Rio de Janeiro, RJ, 1993. 297 p.