

Utilização da escória de aciaria em combinação com solo para uso em camadas de pavimentação rodoviária

O estudo avaliou a possibilidade da utilização de escória de aciaria em conjunto com solo, como um material alternativo para uso em camadas de pavimentação rodoviária. O estudo foi baseado em resultados e pesquisas obtidos no laboratório de Pavimentação do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos – Porto Nacional (ITPAC-PORTO) seguindo todos os procedimentos adotados pelas normas ABNT. Para a análise realizou-se ensaios de granulometria, limites liquidez, limites de plasticidade, compactação, expansão e CBR. Foram realizados ensaios nas amostras de solo puro, escória pura e misturas de 15% escória com 85% solo e 30% escória e 70% solo. O solo utilizado na pesquisa tem predominância argilosa e pelos métodos de classificação SUCS e HRB foram identificados como ML ou AL e A-4 respectivamente. Na caracterização granulométrica da escória de aciaria notou-se que a mesma possuía seu diâmetro compatível com o diâmetro da brita 1 segundo o MME. À medida que se aumentou a quantidade de escória de aciaria da empresa SINOBRAZ sua massa específica aparente seca também aumentava, o contrário acontecia com o teor de umidade da mistura, que quanto mais escória menor o valor de teor de umidade. Concluímos a partir dos ensaios realizados que a escória de aciaria da empresa SINOBRAZ com a energia de compactação normal e solo com predominância argilosa não teve um aumento significativo em seu Índice de Suporte Califórnia, sendo possível a utilização das misturas de 15% e 30% de escória apenas em camadas de sub-base na pavimentação rodoviária.

Palavras-chave: Escória de aciaria; Pavimentação rodoviária; Caracterização física; Caracterização mecânica; Resistência Mecânica.

Use of aciaria slag in combination with soil for use in road paving layers

The study evaluated the possibility of using steel slag in conjunction with soil as an alternative material for use in road pavement layers. The study was based on results and research obtained from the Paving laboratory of the Tocantinense Institute President Antonio Carlos - Porto Nacional (ITPAC-PORTO) following all procedures adopted by ABNT standards. For the analysis it was performed tests of granulometry, limits liquidity, limits of plasticity, compaction, expansion and CBR. Tests were performed on samples of pure soil, pure slag and mixtures of 15% slag with 85% soil and 30% slag and 70% soil. The soil used in the research has clay predominance and the classification methods SUCS and HRB were identified as ML or AL and A-4 respectively. In the granulometric characterization of the steelmaking slag it was noted that it had its diameter according to the MME compatible with the diameter of the gravel 1. As the amount of steelmaking slag of the company SINOBRAZ increased its apparent specific dry mass also increased., the opposite happened with the moisture content of the mixture, which the more slag the lower the moisture content value. We conclude from the tests performed that the SINOBRAZ steelmaking slag with normal compaction energy and clay predominant soil did not have a significant increase in its California Support Index, being possible to use mixtures of 15% and 30% of slag only in sub-base layers in road paving.

Keywords: Steel slag; Road surfacing; Physical characterization; Mechanical characterization; Mechanical resistance.

Topic: **Engenharia Geotécnica**

Received: **05/12/2019**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Approved: **15/02/2019**

Silas Nunes Costa 

Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0244362160249371>
<http://orcid.org/0000-0001-5855-694X>
sillasnunes@hotmail.com

Rafaella Oliveira Guimarães Santos

Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2006870316534982>
rafaellaguimaraes.eng@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2020.001.0007

Referencing this:

COSTA, S. N.; SANTOS, R. O. G.. Utilização da escória de aciaria em combinação com solo para uso em camadas de pavimentação rodoviária. **Engineering Sciences**, v.8, n.1, p.57-66, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2020.001.0007>

INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, as questões ambientais vêm sendo destacadas, tornando grande o impulso dado por diversas áreas do conhecimento para realizações de pesquisas que abordam o tema. Na Engenharia Civil, o foco tem se voltado, principalmente em relação ao aprimoramento de tipo de materiais utilizados, assim como no gerenciamento sustentável de resíduos gerados na construção civil. Em consequência disso notam-se os recentes avanços nos aperfeiçoamentos de novos materiais e aproveitamento de resíduos de outros setores geradores (PAGNUSSAT, 2004).

O gerenciamento de resíduos produzidos tem se tornado de grande importância para empresas que visam aperfeiçoar seus produtos e processos. A acirrada disputa do mercado não permite que empresas negligenciem os desperdícios dos materiais, sendo consagrados processos de reciclagem como a utilização de Resíduos da construção civil (RCD), resíduos da fabricação do aço e até mesmo cascas de grãos como soja, arroz.

Do ponto de vista técnico a escória de aciaria possui características mecânicas que habilitam o seu uso em construção civil, e até mesmo em áreas de pavimentação rodoviária desde que seja devidamente tratada. Do aspecto econômico é vantajoso devido ao baixo custo de aquisição comparado ao da brita desde que não esteja muito distante do centro gerador de escória (PEDROSA, 2010). Deste modo, o presente trabalho visa realizar estudos de caracterização mecânica para verificar se a escória de aciaria misturada com solo possui resistências e expansão adequadas para o uso em estrutura de pavimentação rodoviária com intuito de ampliar o uso de materiais alternativos reciclados.

REVISÃO TEÓRICA

Pavimentação rodoviária

Segundo DNIT (2006), a pavimentação de uma rodovia é uma superestrutura composta de camadas específicas apoiadas sobre o terreno natural ou terreno de fundação sendo este considerado teoricamente como uma estrutura infinita. As camadas referidas são estruturas compactadas uma sobreposta a outra como apresentado na Figura 1, constituídas e executadas de maneiras distintas.

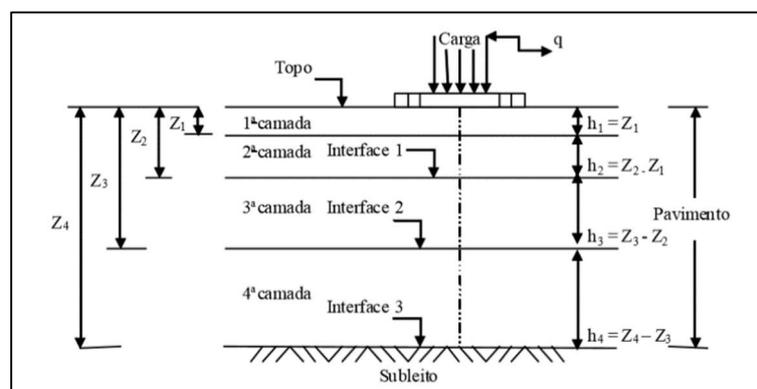


Figura 1: Camadas da Pavimentação Rodoviária.

As funções destas superestruturas têm como objetivos principais fornecer a possibilidade de

deslocamento de veículos de forma segura e confortável, distribuir os esforços atuantes sobre sua superfície de rolamento e resistir os desgastes proveniente de esforços horizontais, acarretando uma maior vida útil para a via.

Os pavimentos podem ser classificados como flexíveis e rígidos e o DNIT (2006), entende-se como pavimento flexível aquele que toda sua estrutura sofre deformação elástica sob o carregamento aplicado, distribuindo-se de maneira semelhante entre suas camadas. Neste tipo de pavimento pode haver deformações até certo limite controlado, não acarretando uma ruptura do mesmo. Pavimentos rígidos, são aqueles que sofrem pouca deformação, tem sua base constituída principalmente de concreto de cimento, e quando ficam sujeitos a deformações sofrem ruptura por tração na flexão (SENÇO, 2008).

As amostras para serem utilizadas nas camadas da pavimentação deverão conter os parâmetros especificados abaixo segundo a norma do DNIT (2006): Material para execução de reforço de subleito: CBR $\geq 12\%$, expansão $\leq 1,0\%$; Material para execução de sub-base: CBR $\geq 20\%$, expansão $\leq 1,0\%$; Material para execução de base de pavimento: CBR $\geq 80\%$, expansão $\leq 0,5\%$ e para caso de rodovias vicinais CBR $\geq 60\%$, expansão $\leq 0,5\%$.

Escória de aciaria

Segundo Souza (2007) na indústria siderúrgica existe diferentes tipos de aço assim as características e propriedades das escórias variam de forma muito ampla. Os graus do aço fabricado podem ter variação no seu teor de carbono. Em casos em que aço tenha um alto teor de carbono para que aconteça sua redução, é necessária uma maior quantidade de fundentes para a remoção da impureza do aço líquido, ocasionando a produção de um maior volume de escória.

Na produção do aço são produzidos inúmeros tipos de escória. Basicamente existem três processos de refino do aço: O Siemens-Martim (Open Heart – OH), o conversor a oxigênio (Linz e Donawitz – LD ou Basta Oxygen Furnace – BOF) e o forno elétrico a arco (Electric Arca Furnace - EAF). Os processos de refino mais utilizado mundialmente são a fusão e o refino de sucata em fornos elétricos a arco e o refino em conversores a oxigênio. Com a evolução tecnológica as fases do processo siderúrgico estão tendo tempo reduzido, assegurando uma maior velocidade na produção (ROHDE, 2002).

Segundo Gerar (2011) no processo de refino utilizando o conversor a oxigênio (LD) existe a mistura do ferro Gusa, escorificantes e oxigênio, não havendo a necessidade de uma fonte de calor externa. Já o método do forno elétrico a arco (EAF) segundo Branco (2004) necessita de uma fonte de calor externa para o refino diferenciando do método citado no parágrafo anterior.

Utilização de escória na pavimentação

Na pavimentação a escória compete principalmente com os agregados como areia e brita, sendo considerado um material adequado devido sua dureza, durabilidade e drenagem livre. Outro fator de grande importância técnica e econômica é a sua elevada resistência ao esmagamento permitindo a utilização por longos períodos e manutenção mínima. No Brasil a utilização da escória nas estruturas de pavimentação já

vem de longas datas, havendo trechos executados há mais de 20 anos (ROHDE 2002).

Segundo Freitas et al. (2008) uma das características da escória que preocupa em estruturas de pavimentação é sua capacidade de expansão, motivado pelo teor de CaO e MgO presente em sua composição. Segundo Cardoso et al. (2014) vários países utilizam a escória de aciaria na pavimentação rodoviária, porém há vários relatos de problemas, principalmente as erupções de trincas causadas pela expansão volumétrica dessa escória. Devido a estes problemas o uso de escória na estrutura rodoviária é restringido para obras de menor responsabilidade técnica.

METODOLOGIA

Materiais utilizados

Os materiais utilizados na pesquisa foram: Solo e Escória de Aciaria. A água utilizada e os equipamentos necessários para o desempenho das atividades experimentais foram cedidos pelo laboratório de Pavimentação do ITPAC-PORTO. As descrições dos materiais estão especificadas abaixo.

Solo

O solo utilizado foi coletado no município de Porto Nacional, no setor Novo Horizonte na latitude (10°41'4.22") Sul e longitude (48°23'37.23") Oeste no estado do Tocantins (Figura 2) e encaminhado para o laboratório de Pavimentação do ITPAC PORTO, sendo posteriormente feito a secagem previa, destorroamento e o armazenamento para em seguida ser estudado.



Figura 2: Ponto de coleta do solo estudado.

Escoria de aciaria

As amostras de escória de minério proveniente do processo de beneficiamento do ferro foram coletadas da empresa SINOBRAS situada no município de Marabá/PA localizado a 860 km de Porto Nacional. A figura 3 apresenta uma bandeja de escória de aciaria da empresa SINOBRAS.



Figura 3: Escória de Aciaria SINOBRAZ.

Métodos

Os métodos e técnicas executados ao longo do estudo foram baseados e fundamentados em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O solo natural passou por ensaios de granulometria, massa específica e limites de consistência. Já na amostra de escória de aciaria realizaram-se ensaios de granulometria. Os estudos mecânicos de compactação, CBR e expansão foram realizados no solo natural e ambas as misturas de solo-escória.

Para a análise do comportamento destes materiais simulando as condições de campo especificadas para esse estudo e visando a influência das proporções de materiais nas características mecânicas as amostras foram preparadas da seguinte maneira: Solo Natural; Escoria Pura; Mistura composta de 15% de escoria e 85% de solo; Mistura composta de 30% de escoria e 70% de solo.

Caracterização geotécnica

A coleta do solo ocorreu de acordo com NBR 9604 (ABNT, 2016) — Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas — Procedimento. Após a coleta as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Pavimentação do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos de Porto Nacional.

Procederam-se então, a secagem previa, desmanche dos torrões evitando a quebra dos grãos, e o armazenamento das amostras para um posterior estudo. O preparo da amostra de solo foi fundamentado na NBR 6457 (ABNT, 2016) - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Para caracterização geotécnica da amostra de solo foram realizados os ensaios de análise granulométrica, limites de liquidez e de plasticidade e para a escória pura, foi realizada a análise granulométrica. Os ensaios foram realizados seguindo o descrito em normas da ABNT e são descritos a seguir.

Análise granulométrica

A análise da granulometria foi realizada usando o método de peneiramento para as partículas maiores que 0,074mm e as partículas menores que 0,074mm se utilizou o método de sedimentação. Os ensaios especificados foram fundamentados na norma NBR 7181 (ABNT, 2016) - Solo - Análise

granulométrica.

Limites de consistência - liquidez e plasticidade

O Limite de Liquidez (LL) é determinado com o uso do aparelho denominado Casagrande que por meio excêntrico imprime-se ao aparelho repetidamente, quedas da altura de 1 cm e de intensidade constante até encontrar o número de golpes necessários para provocar o fechamento do sulco longitudinal, feito com auxílio do cinzel. O procedimento é repetido variando a umidade presente na amostra onde o teor de umidade correspondente a 25 golpes será o LL. O ensaio baseou-se na NBR 6459 (ABNT, 2016) — Solo — Determinação do limite de liquidez.

Já o ensaio de limite de plasticidade (LP) foi baseado na norma da NBR 7180 (ABNT, 2016) — Solo — Determinação do limite de plasticidade. A amostra foi passada pela peneira de 0,42 mm, a parte passante é rolada com a mão, em um movimento de vaivém, formando uma amostra cilíndrica de três mm de diâmetro sobre uma placa de vidro fosco até que se rompa ou forme trincas. Após o rompimento ou aparecimento de trincas determina-se a umidade correspondente.

Ensaio de comportamento mecânico

Os ensaios de compactação, expansão e CBR foram realizados nas amostras de solo natural e solo-escória. Para a correta execução será seguido às normas NBR 7182 (ABNT, 2016) — Solo — Ensaio de compactação e NBR 9895 (ABNT, 2016) — Solo — Índice de suporte Califórnia (ISC) — Método de ensaio.

Ensaio de Compactação

Na execução do ensaio de compactação separou-se a amostra de solo em 5 quantidades iguais. Adicionando uma quantidade de água conhecida a cada uma das 5 amostras de forma que a curva de compactação se defina em 5 pontos. A umidade do primeiro ponto deve estar em aproximadamente 5% abaixo da umidade ótima. Sendo cada um dos outros pontos acrescidos 2% de umidade em relação ao ponto anterior, para que assim acrescido de 2% em 2%, os três últimos pontos decresçam. A partir destes dados é possível plotar a curva parabólica intitulada curva de compactação. O ensaio de compactação pode ser realizado por diferentes energias de compactação, sendo elas: Normal, Intermediária e Modificada. Para a execução deste trabalho foi utilizado a energia de compactação Normal.

Expansão e índice de suporte Califórnia (ISC)

Após a realização das moldagens necessárias para caracterizar a curva de compactação, os corpos de prova foram submetidos à imersão em água, a temperatura ambiente e por um período de 96 horas. As medidas das expansões foram anotadas em um intervalo de 24 em 24 horas. Terminado o período de embebição, cada molde contendo o corpo de prova foi retirado e deixado escoar a água durante 15 minutos. Passando este tempo o corpo de prova ficou preparado para a penetração. No ensaio de penetração foram obtidas as curvas de Índice de Suporte Califórnia x Umidade para todos os corpos de provas estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse tópico apresenta e analisa os resultados obtidos dos ensaios de laboratório abordado pela pesquisa. Primeiramente serão discutidos os ensaios para caracterizar e classificar o solo e escória. Posteriormente analisam-se os ensaios de classificação mecânica (Compactação, CBR e Expansão) do solo e misturas.

Ensaio de caracterização geotécnica

Os ensaios de caracterização são indispensáveis para conhecer as características dos materiais que serão empregados na pavimentação rodoviária. Possibilitando classifica-los quanto ao seu potencial de uso.

Caracterização do Solo

A figura 4 apresenta a curva de distribuição granulométrica do solo puro, sendo este um solo predominantemente argiloso.

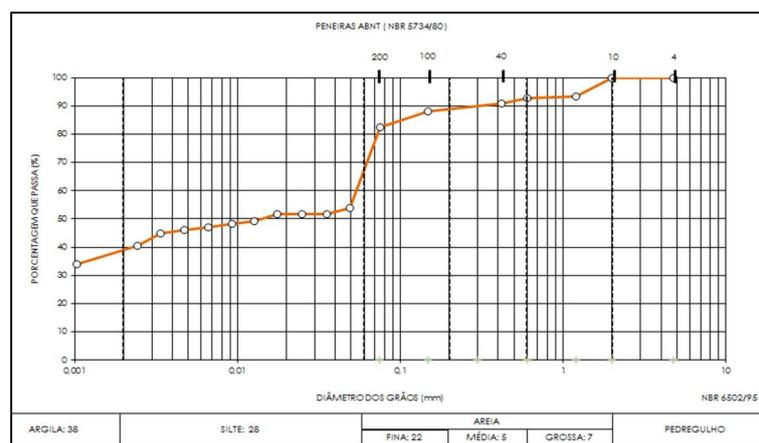


Figura 4: Curva granulométrica.

Os valores de limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP) para o solo puro estão apresentados no quadro 1, sendo LL = 35, LP = 29 e IP = 6.

Quadro 1: Índices de Consistência.

Ensaio	Solo Puro
Limite de Liquidez (LL)	35
Limite de Plasticidade (LP)	29
Índice de Plasticidade (IP)	6

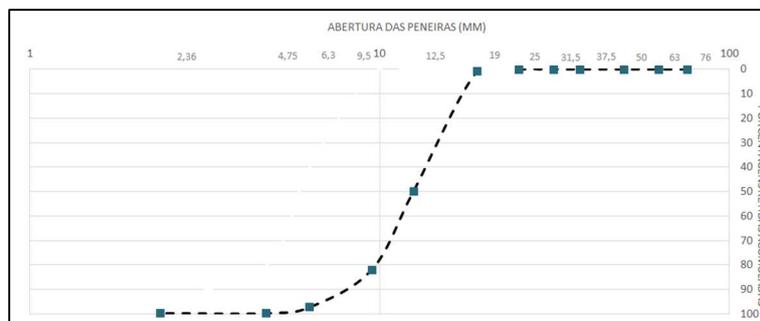
De acordo com os resultados obtidos no ensaio de granulometria e limites de consistência também foi possível classificar o solo pelos métodos SUCS e HRB, onde os mesmos podem ser identificados na tabela 1. Pelo método SUCS o solo foi classificado como ML ou OL (Silte de baixa compressibilidade ou Solo orgânico de baixa compressibilidade), e pelo HRB foi identificado como A-4 (Areias em que os finos presentes constituem a característica secundária).

Tabela 1: Classificação SUCS E HRB.

SUCS	ML ou OL
HRB	A-4

Caracterização da Escória de Aciaria

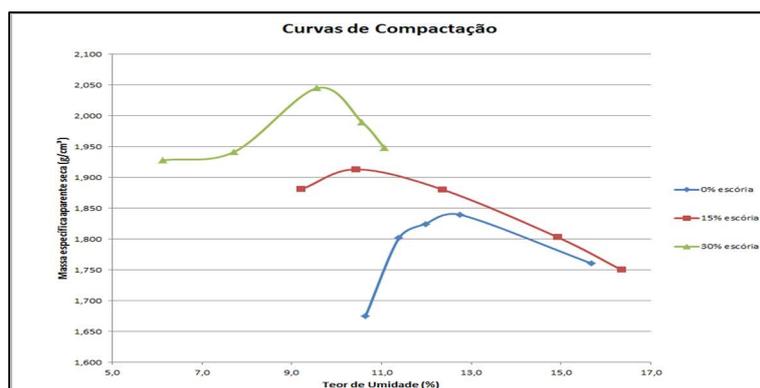
A escória de aciaria da empresa SINOBRAS possui em sua granulometria um diâmetro máximo de 19 mm como pode ser visto na figura 5. Sendo esta característica identificada pelo Ministério de Minas e Energia (MME), como brita 01.

**Figura 5:** Granulometria Escória de Aciaria.

Ensaio de caracterização mecânica

Compactação

A figura 6 apresenta os valores de massa específica seca máxima (g/cm^3) e umidade ótima (%) para o solo puro, misturas de 15% e 30% de escória. De acordo com o gráfico analisado foi possível observar que o maior valor de massa específica seca foi da mistura que incluía em sua composição 30% de escória de aciaria, com valor de $2,046 \text{ g}/\text{cm}^3$ e umidade ótima de 9,6%. A partir dos estudos, notou-se que quanto maior a adição de escória no solo, maior a massa específica seca e menor o teor de umidade ótima.

**Figura 6:** Curvas de Compactação.

Expansão e ISC

A partir de um solo compactado é possível medir sua resistência de suporte, parâmetro muito importante para o dimensionamento de obras rodoviárias. O ensaio que determina essa resistência é conhecido como Índice de Suporte Califórnia (ISC), que consiste na determinação da associação entre a pressão necessária para produzir a penetração de um pistão num corpo de prova de solo, correlacionada

com a pressão imposta para penetrar uma mistura padrão de brita estabilizada granulometricamente.

Os resultados dos ensaios de expansão e ISC para as misturas de 15% e 30% estão identificados no gráfico abaixo, e a caracterização do solo puro será descrito neste parágrafo. Os resultados do solo contendo 0% de escória apresentaram um ISC máximo de 18,77%, teor de umidade ótima de 12,7% e expansão apresentando 0,042%.

Com a confrontação dos resultados entre solo puro e misturado com escória de aciaria nota-se que o resultado de ISC se comporta semelhante ao de compactação, mantendo a mistura com inclusão de 30% de escória um maior valor de ISC, e menor teor de umidade. A mistura de 15% de escória apresentou um CBR de 21,29% com teor de umidade ótima de 10,4% e a mistura de 30% apresentou CBR de 22,42% e umidade ótima de 9,6%. As expansibilidades máximas das misturas foram de 0,0051% e 0,00% para 15% e 30% respectivamente.

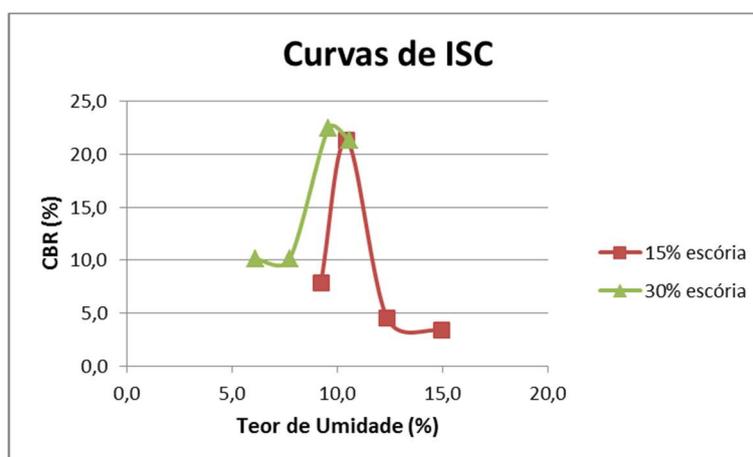


Figura 7: Curvas de ISC.

O Índice de Suporte Califórnia é usado como parâmetro para verificar a possibilidade da utilização de materiais em camadas de pavimentação rodoviária, sendo necessário o cumprimento das normas de resistência estabelecidas pelo (DNIT, 2006), sendo portando material para reforço de subleito $ISC \geq 12\%$ com expansão $\leq 1,0\%$, para Sub-base $ISC \geq 20\%$ e expansão $\leq 1,0\%$ e para camadas de base $ISC \geq 80\%$ e expansão $\leq 0,5\%$.

De acordo com tais resultados e os parâmetros estabelecidos pelo (DNIT, 2006), as misturas contendo 15% e 30% de escória de aciaria utilizando a energia de compactação normalmente podem ser utilizados tanto para reforço de subleito e camadas de sub-base já que seu valor de ISC foi maior que 20% e expansão menor que 1%.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos em laboratório foi possível chegar à conclusão, que para misturas de escória de aciaria com solos de predominância argilosa, quanto mais adição de escória for acrescentada maior sua massa especifica aparente seca e menor o teor de umidade, como pode ser acompanhado na mistura contendo 30% de escória. Para a análise do ISC notou-se uma semelhança com os resultados de compactação sendo a mistura com maior porcentagem de escória mantendo o melhor

desempenho.

Já para a utilização do material para camadas de pavimentação asfálticas, conclui-se que o solo misturado com a escória de aciaria da empresa SINOBRAS não aumentou de forma significativa sua resistência. Seguindo os parâmetros de ISC pelo (DNIT, 2006) ambas as misturas só podem ser utilizadas como camadas de reforço de subleito e sub-base por apresentarem um CBR $\geq 20\%$ e expansão $\leq 1,0\%$.

Portanto, pode-se concluir que a mistura de solo e escória de aciaria SINOBRAS pode ser utilizada na pavimentação em camadas de reforço de subleito e sub-base já que os parâmetros estabelecidos por normas foram atendidos. Além disso, se a execução dos serviços rodoviários for situada próxima à indústria geradora de escória, torna viável a utilização por tratar-se de um material descartado e/ou de custo bem inferior ao de materiais convencionais, além do fato de minimizar os impactos ambientais causados pelo descarte destes resíduos.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Norma Técnica. **NBR 6457**: Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT. Associação Brasileira de Norma Técnica. **NBR 6459**: Solo: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT. Associação Brasileira de Norma Técnica. **NBR 7180**: Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT. Associação Brasileira de Norma Técnica. **NBR 7181**: Solo: Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT. Associação Brasileira de Norma Técnica. **NBR 7182**: Solo: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT. Associação Brasileira de Norma Técnica. **NBR 9895**: Solo: Índice de suporte Califórnia (ISC): Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT. Associação Brasileira de Norma Técnica. **NBR 9604**: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BRANCO, V. T. F. C.. **Caracterização de misturas asfálticas com o uso de escória de aciaria como agregado**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

CARDOSO, A. V. M.; DIAS, F. M.. A utilização de escória de aciaria para manufatura de blocos de pavimentação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E SOARES,

LINDOLFO. 2014. p.831-896.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **IPR -719: Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

FREITAS, H. B.; MOTTA, L. M. G.. Uso de escória de aciaria em misturas asfálticas de módulo elevado. **Transportes**, São Paulo, v.16, n.2, p.5-12, 2008.

PAGNUSSAT, D. T.. **Utilização de Escória Granulada de Fundação em Blocos de Concreto Para Pavimentação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PEDROSA, R. A. A.. **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica do Uso de Agregados de Escória de Aciaria em Concreto Betuminoso Usinado a Quente**. Dissertação (Mestrado em Geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

ROHDE, L.. **Escória de Aciaria Elétrica em Camadas Granulares de Pavimentos - Estudo Laboratorial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SENÇO, W.. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2 ed. São Paulo: Pini, 2007.

SOUZA, E. B. O.. **Escórias de Aciaria e Resíduos de Concretos Refratários em Componentes de Pavimentação**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.