

# Reuso de coproduto siderúrgico para revestimento primário em estradas

**Denise Souza Gotardo Schneider**  
*Instituto Federal do Espírito Santo – Brasil*  
[degotardo@gmail.com](mailto:degotardo@gmail.com)

**Rodrigo José Costa Nóbrega**  
*Universidade de Vila Velha – Brasil*  
[rjcnobrega@gmail.com](mailto:rjcnobrega@gmail.com)

**Aecio Guilherme Schumacher**  
*Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil*  
[aecioschumacher@gmail.com](mailto:aecioschumacher@gmail.com)

## ABSTRACT

The present study evaluated the behavior of the Revsol + soil mixture for a sustainable application on unsurfaced gravel roads used in low medium volume daily transport routes. The analyzed soil was collected in the municipality of Vila Velha, in a loan box, near the road where the unsurfaced gravel roads is to be executed. The Revsol coproduct obtained from the processing of the slag from the steelworks generated by the transformation of pig iron into steel was provided by the steelmaker ArcelorMittal. In the study, the 70% Revsol + 30% soil dosage was used in relation to dry soil mass. Characterization test, as well as support index california, physical indexes and compaction were performed, using compaction energies in the normal and intermediate proctor. The study showed that it is technically, economically and environmentally viable to use Revsol as an aggregate on unsurfaced gravel roads when compared to the technical requirements listed in DER / PR ES-T 07/18. It also showed that there is no need to apply a higher energy, since we can obey a low cost floor by applying energy in the normal proctor.

**Keywords:** Coproduct; Reuse; Unsurfaced gravel roads.

## 1. INTRODUÇÃO

A importância de pesquisar, estudar e investigar a utilização de materiais recicláveis e coprodutos está cada vez mais notório em diversas áreas da construção civil, principalmente na pavimentação rodoviária.

Dentre os principais motivos para o crescimento dos estudos, pesquisas e divulgação de coprodutos alternativos na construção de estradas, certamente, destaca-se o grande número de tipos de solos necessários dentro de uma mesma obra e, onde as suas características têm um papel preponderante na qualidade e no custo final das construções. No entanto, trabalhar com solos locais buscando minimizar custos de transportes, nem sempre é possível, pois muitas vezes, esses materiais não atendem a todos os requisitos técnicos necessários para a utilização.

Com a falta de investimento no setor rodoviário e a crise econômica que o país, os estados e os municípios têm enfrentado nos últimos anos, é notável o quadro de descaso e abandono das rodovias brasileiras que pouco se alterou com o passar do tempo, devido à escassez de recursos financeiros. Diante disso, torna-se necessário estudar materiais alternativos que possam ser utilizados na construção rodoviária, sob o ponto de vista da sustentabilidade (técnico-econômico, ambiental e social).

Segundo a planilha referencial de Custos do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) de 07/2017, o custo por quilometro na execução de pavimentos varia de R\$2.160.000,00/Km a R\$7.607.000,00/Km, dependendo da classe e do tipo da rodovia, se mostrando uma alternativa bastante onerosa para a execução de pavimentos de estradas vicinais de baixo volume de tráfego diário.

Extensas áreas dos parques industriais estão sendo ocupadas por esses materiais, gerando limitações ao plano de expansão e elevadíssimo ônus aos serviços de bota-fora. Em alguns estados do Brasil, como Espírito Santo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e outros, a utilização de coprodutos provenientes da produção de aço com controle tecnológico tem sido utilizada como alternativa em pavimentos do tipo revestimento primário de estradas vicinais.

A falta de uma política efetiva de aproveitamento desses materiais industriais, a crescente produção de produtos acabados e de insumos para outros segmentos do mercado e a necessidade de encontrar alternativas técnicas que reduzam o custo da construção de estradas, foi o que motivou a trabalhar com aproveitamento do coproduto siderúrgico – Revsol, o qual aparece como uma alternativa técnica promissora de baixo custo em substituição do agregado, na execução de revestimento primário.

Esta pesquisa está diretamente relacionada a estudos geotécnicos de misturas Revsol + solo local em laboratório, cujo seu emprego no teor 70% com um solo específico da região, associando a melhor energia de compactação para confecção de revestimento primário em estradas vicinais, com baixo volume médio diário, trouxe resultados significantes para a engenharia rodoviária.

A metodologia adotada para alcançar os objetivos com o estudo do coproduto Revsol + solo local, contemplou ensaios como compactação, caracterização, CBR e expansão, bem como a avaliação do seu potencial de suporte mecânico quando submetido a duas diferentes energias de compactação (proctor normal e intermediário). Os ensaios com a mistura dosada com 70% Revsol e 30% solo local foram realizados em laboratório, com objetivo de avaliar a viabilidade técnica, assim como a viabilidade econômica-ambiental, referente a execução de camadas de revestimento primário em uma estrada vicinal municipal pertencente ao município de Vila Velha/ES/Brasil.

## **2. REVISÃO**

### **2.1 Processos siderúrgicos e geração de coprodutos**

Atualmente há um crescimento e desenvolvimento da sociedade em grande escala, o que nos propõe pesquisar, estudar e gerar desafios cada vez maiores em relação ao uso racional dos recursos naturais utilizados na transformação dos espaços.

Ao mesmo tempo, a reutilização ou destinação adequada e eficiente de resíduos provenientes das atividades industriais vem sendo utilizado, uma vez que passam a ser determinantes ao desenvolvimento da atividade econômica, seja por questões legais ou socioambientais.

Nesse sentido, a transformação de resíduos industriais em coprodutos que possam ser aproveitados em processos construtivos ou industriais, ganha especial atenção e interesse da sociedade, na medida em que possibilitam o seu avanço de forma sustentável.

É importante lembrar que a construção e melhoria de estradas, certamente, é a área da engenharia que envolve o maior número de tipos de solos dentro de uma mesma obra, portanto, a utilização do agregado siderúrgico pode ter um papel preponderante na qualidade e no custo final das construções. No entanto, trabalhar com solos locais buscando minimizar custos de transportes, nem sempre é possível, pois, muitas vezes, esses materiais não atendem a todos os requisitos necessários para a utilização. Nesse sentido, esses coprodutos podem ser utilizados como agregado em revestimento primário de estradas (Magalhaes, 2018).

Tavares, Oda e Motta (2011) realizaram um estudo de Utilização do Agregado Siderúrgico (Escória de Aciaria) em Pavimentação onde mostraram que do ponto de vista econômico, que o uso de escória de aciaria em obras rodoviárias é vantajoso pelo seu baixo custo de aquisição, que geralmente gira em torno de a 12% do custo do agregado natural. Do ponto de vista técnico, com os processamentos hoje realizados pelas empresas beneficiadoras a questão da expansão fica mais bem equacionada, e é sabido que o agregado siderúrgico tem grãos duros e formato cúbico, o que contribui para um bom desempenho quando empregados em obras de pavimentação

Segundo Rodrigues (2010) as escórias de aciaria são resíduos provenientes da indústria siderúrgica gerados na fusão de metais ou da redução de minérios com o objetivo de obter o ferro gusa líquido, e posteriormente o aço.

O agregado siderúrgico tem sido regularmente empregado no Brasil em pavimentação há décadas, sendo sua utilização regulamentada pelas Normas DNER-EM 262/94 e DNER-PRO 263/94, as quais descrevem as principais vantagens da sua utilização: permite a substituição dos agregados pétreos tradicionais, devido a sua maior resistência mecânica requer então menor utilização de finos durante a compactação da obra; melhor comportamento para o efeito da água devido à inexistência de fração fina plástica e, conseqüentemente melhor drenabilidade; permite a redução de espessuras de camadas asfálticas sobre base de escória.

Delgado et al (2014), estudaram a utilização do coproduto Açobrita nas camadas estruturais de base e sub-base em trechos experimentais da BR-101/ES, onde foi utilizado bica corrida, brita graduada, aceritas (um tipo de coproduto siderúrgico) puras e misturas de acerita com solo. Neste estudo, verificou-se que os segmentos homogêneos compostos por misturas apresentaram um melhor comportamento funcional e estrutural, sendo que a mistura utilizada para base com 80% Aço brita e 20% solo possivelmente possui a melhor matriz granulométrica, pois apresentou as menores deflexões, maior ISC e melhores condições funcionais.

Magalhaes (2018) realizou um estudo com objetivo de avaliar o comportamento das diferentes misturas (com teores de 50, 60, 70 e 80% respectivamente em relação à massa de solo seco, com o coproduto Revsol+Solo e Revsol Plus+Solo para uma aplicação sustentável e inovadora em pavimentos

rodoviários do tipo revestimentos primários empregados em vias rurais. O estudo demonstrou que o coproduto REVSOL pode ser incorporado em misturas para serem utilizadas em revestimento primário de estradas vicinais.

### 2.1.1 *Revsol*

De acordo com a Arcelor Mittal Tubarão (2015, p.18) um dos coprodutos criados a partir de pesquisas para transformar resíduos de seu processo industrial em materiais que possam ser utilizados internamente ou comercializados para empresas de outros setores é o Revsol. Obtido a partir do beneficiamento da escória de aciaria, gerada na transformação do ferro-gusa em aço. Os estudos para a criação do coproduto envolveram diversos experimentos até chegar à forma adequada, que foi chamada de Solução em revestimento e, depois, de REVSOL.

A transformação é feita, basicamente, com um ajuste da granulometria da escória, que precisa ser reduzida e uniforme, e a posterior mistura com argila, em um potencial adequado, em geral na proporção de três partes de REVSOL para uma parte de argila para pavimentos do tipo revestimento primário. O ajuste da granulometria é fundamental para a qualidade do revestimento.

### 2.2 Solos

De acordo com DNIT (2006), solo é o material oriundo da decomposição das rochas pela ação de agentes do intemperismo. É encontrado na superfície da crosta terrestre, podendo ser orgânico ou inorgânico, não consolidado ou parcialmente cimentado, onde se apóiam as obras da engenharia civil. Ou seja, é qualquer material que possa ser escavado com pá, picareta, escavadeiras, etc, sem necessidade de explosivos. É um material abundante e muito utilizado na construção civil e apresenta baixo custo quando comparado a outros insumos da construção. Como boa parte das obras de engenharia é apoiada no solo, pois este serve de base e suporte para a fundação, é imprescindível conhecer suas características para que se possa prever seu comportamento diante das solicitações.

### 2.3 Estabilização de solos

Na fase construtiva de uma rodovia dificilmente se encontrará solos que satisfaçam totalmente o projeto, fazendo-se necessário a busca de materiais em regiões distantes tornando a obra onerosa e longa, sendo assim, é de fundamental importância o melhoramento do solo da região onde será construída a obra, a fim de torná-lo capaz de resistir aos esforços, sendo um método utilizado, o método de estabilização granulométrica.

Estabilizar um solo, ou mistura de solos, significa melhorar suas características, como deformação e resistência, de forma a garantir que o mesmo suporte uma determinada carga. As técnicas de estabilização podem ser classificadas em químicas e mecânicas.

Estabilizar um solo mecanicamente implica em alterar propriedades do mesmo através da adição de agregados pétreos ou somente através de esforços mecânicos, podendo ser de dois tipos, compactação e estabilização granulométrica, onde estabilização por compactação consiste na aplicação ao solo de pressão, impacto ou vibração, sem a adição de outro material (BUENO, 1996).

### 2.4 Agregados

A NBR 9935/2005, que estabelece a terminologia dos agregados, define agregado como sendo um material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassas e de concreto.

O agregado utilizado em pavimentação deve apresentar propriedades que permitam suportar tensões impostas na superfície do pavimento e também em seu interior.

De acordo com (BERNUCCI et al 2008), a escolha do agregado a ser "utilizado para pavimentação é feita em laboratório por meio de uma série de ensaios para a predição do seu comportamento posterior quando em serviço, podendo ser classificados em três grandes grupos, segundo sua natureza, tamanho e distribuição granulométrica".

### 3. METODOLOGIA

O estudo foi realizado, coletando-se amostras nas pilhas homogêneas de solo (argila) e Revsol presentes no campo (canteiro de obras), conforme a **Figura 1**, utilizando um carrinho-de-mão e uma pá. Elas foram identificadas e acondicionadas em sacos e, posteriormente conduzidas até o laboratório de solos, asfalto e concreto do Departamento de Estradas de Rodagem do ES, onde foram submetidas aos ensaios de compactação, caracterização física de solos, CRB e expansão, bem como o seu potencial mecânico quando submetido a duas diferentes energias de compactação (proctor normal e intermediário) na dosagem de 70% de Revsol e 30% solo.

**Figura 1.** (a) Revsol utilizado no estudo e (b) Argila utilizada no estudo.



Fonte: Schneider, 2018.

#### 3.1 Plano experimental

O experimento consiste em realizar ensaios de compactação, caracterização física de solos, CRB e expansão, bem como o seu potencial mecânico quando submetido a duas diferentes energias de compactação (proctor normal e intermediário), conforme normas DNER-ME 041/94, DNER-ME 049/94, DNER-ME 082/94, DNER-ME 122/94, DNER-ME 129/94, DNER-ME 152/95, DNER-ME 054/97, na dosagem de 70% de Revsol e 30% solo.

Os testes foram iniciados em 05/07/2018 e realizados no laboratório de solos, asfalto e concreto do Departamento de Estradas de Rodagem do ES, conforme a **Figura 2**.

**Figura 2.** Laboratório do DER/ES (a) tanque de compactação e (b) balanças e estufa.



Fonte: Schneider, 2018.

Os procedimentos para a realização do experimento foram: seleção previa do material, revisão bibliográfica da dosagem mais indicada das porcentagens de Revisol normalmente utilizadas para misturas em revestimento primário, coleta das amostras de Revisol (150 kg) e de solo argiloso local (70 kg) e, por fim, os ensaios laboratoriais.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a análise dos resultados dos ensaios de caracterização, densidade máxima seca, índices físicos, CBR, presentes na **Tabela 1**, chegou-se a conclusão que a mistura 70% de Revisol + 30% solo local atende os requisitos gerais listados na norma DER/PR ES-T 07/18 (trata de especificações para revestimento primário), tanto quanto na aplicação das energias de proctor intermediário, quanto para de proctor normal.

**Tabela 1:** Resultados dos ensaios da mistura 70% Revisol + 30% solo local.

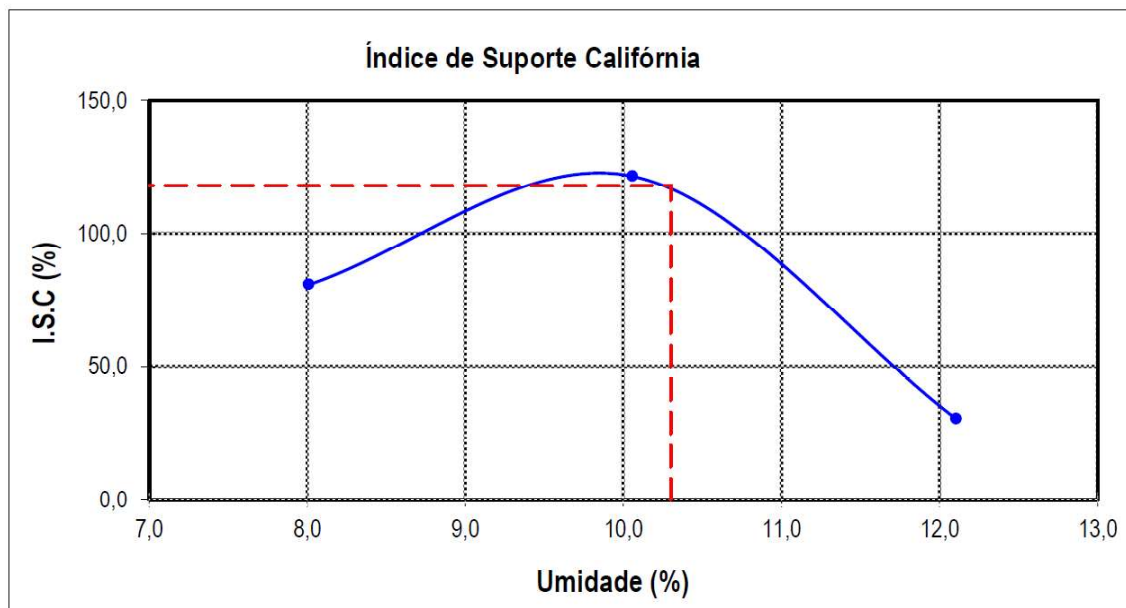
Proctor	Parâmetros			
	ISC (%)	IP (%)	LL (%)	Expansão (%)
Normal	107,00	10,00	32,50	0,00
Intermediário	118,00	10,00	32,50	0,00
Norma	> 20,00	≤10,00	≤ 40,00	< 1,00

Fonte: Schneider, 2018.

O CBR encontrado nesta mistura foi de 118,0% e 107,0% quando aplicadas as energias intermediárias (26 golpes), **Gráfico 1**, e normal (12 golpes), **Gráfico 2**, respectivamente, portanto ambas

atendem a especificação técnica utilizada como parâmetro neste estudo, que diz que para o CBR > 20%. A expansão encontrada foi de 0%, tanto quando aplicada as energias de intermediárias e normal, atendendo a norma que prevê a expansão < 1%. O comportamento granulométrico está dentro da faixa do "D" do DNIT, conforme o **Gráfico 3**.

**Gráfico 1:** Resultado do CBR da mistura 70% Revsol + 30% solo - Proctor Intermediário.

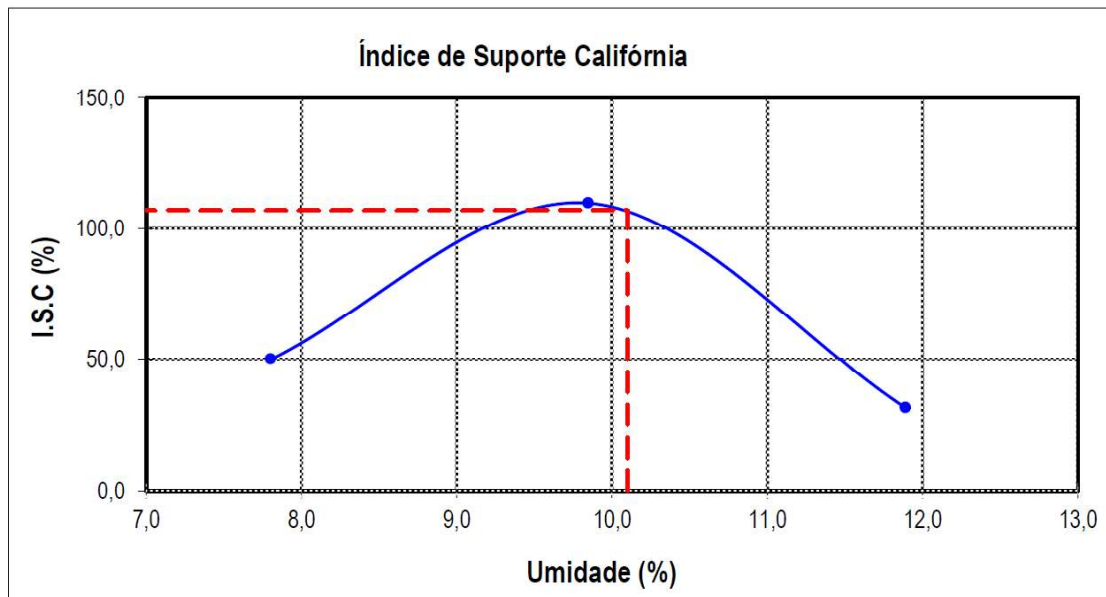


I.S.C. (%)	118,0
------------	-------

Umidade (%)	10,3
-------------	------

Fonte: Schneider, 2018.

**Gráfico 2:** Resultado do CBR da mistura 70% Revsol + 30% solo - Proctor Normal.

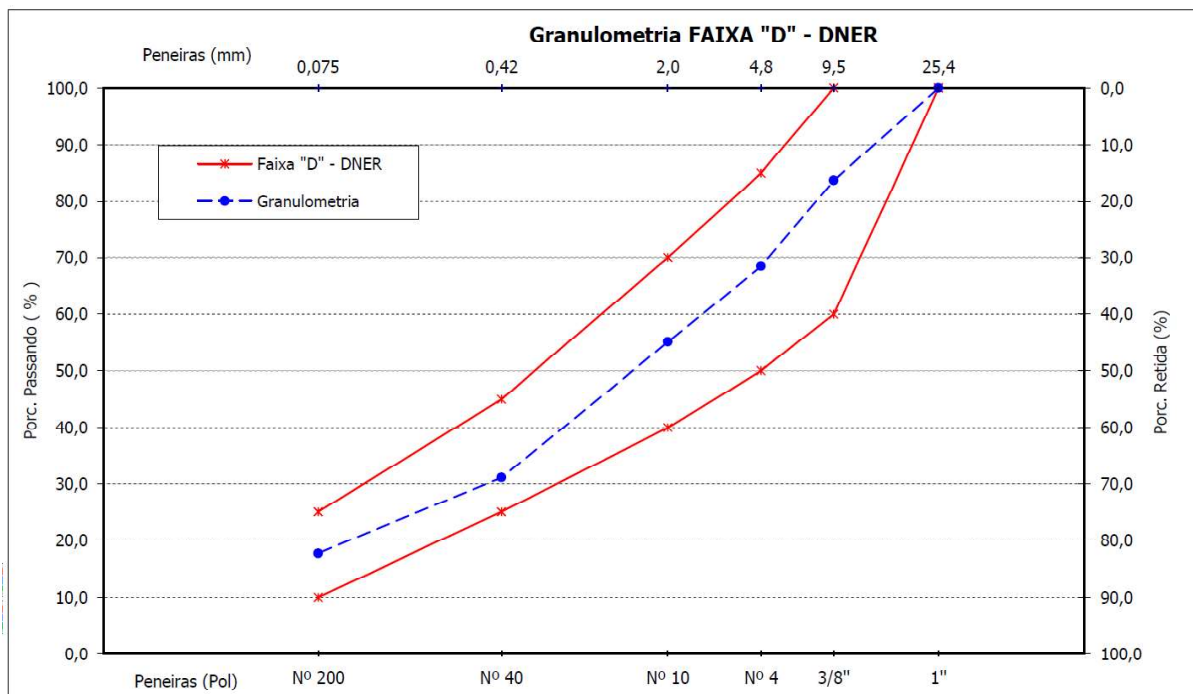


I.S.C.	(%)	107,0
--------	-----	-------

Umidade	(%)	10,1
---------	-----	------

Fonte: Schneider, 2018.

Gráfico 3: Granulometria da mistura 70% Revsol + 30% solo.



Fonte: Schneider, 2018.

O índice de plasticidade apesar de estar dentro do limite especificado no norma ( $IP \leq 10$ ), mostrou-se como o limitador para o aumento a porcentagem de argila estudada (disponível no local) na



mistura Revsol + solo, o que tornaria a execução do pavimento em revestimento primário ainda mais econômico, devido os custos com a aquisição e transporte do Revsol.

### 5. COMENTÁRIOS FINAIS

O estudo mostrou que é uma alternativa viável do ponto de vista técnico, econômico e ambiental o uso do Revsol como agregado em pavimentos do tipo revestimento primário quando comparada aos requisitos técnicos listados na norma DER/PR ES-T 07/18. Isso porque promove melhorias na tráfegabilidade na via, reduz os custos com a aquisição de agregados in natura e possibilita o reúso de um resíduo, dando um destino nobre a ele. Além disso o Revsol, apesar de sofrer expansão, também é ideal para ser utilizado em revestimento primário, porque é um tipo de pavimento não confinado.

Concluiu-se também através dos ensaios de determinação do CBR e de compactação que não há necessidade da aplicação de uma maior energia **para atendimento das normas**, tendo em vista que podemos obter um pavimento de baixo custo aplicando-se a energia no proctor normal.

Apesar do custo para a aquisição e transporte do Revsol ser mais econômico (sobretudo na região da Grande Vitória) que a utilização de agregados in natura, recomenda-se que para outras soluções similares em que o revestimento primário outros projetos de pavimentos do tipo revestimento primário, seja feito ensaios para a definição de novas dosagens da mistura Revsol + solo, de modo a se verificar a viabilidade técnica do aumento da porcentagem de solo à mistura, fato que tornaria ainda mais vantajosa do ponto de vista econômico.

### 6. REFERÊNCIAS

ARCELOR MITTAL TUBARÃO. **Programas Novos Caminhos: Mobilidade com Sustentabilidade**, Serra, 2015.

BERNUCCI, L. B.; Motta, L. M. G., CERATTI, J. A. P., SOARES, J. B. 2008, **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 1ed. Petrobras. Rio de Janeiro, RJ Brasil.

BUENO, B.S. **Aspectos de estabilização de solos com uso de aditivos químicos e de inclusões plásticas aleatórias**. 1996. 99 f. Texto Sistematizado (Livre Docência em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1996.

DELGADO, A. K. C.; SILVA, J.D.; FUJII, L.; DELLABIANCA, L. Estudo do comportamento do coproduto açobrita na pavimentação rodoviária. **XVII Congresso Brasileiro de Mecânica de Solos**, Goiânia, 2014.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ – DER/PR. **Terraplenagem: Revestimento Primário** – DER/PR ES-T 07/18. Paraná, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Análise Granulométrica de Solos por Peneiramento** - DNIT-ME 80-94, 1994.

\_\_\_\_\_. Emprego de escórias de aciaria em pavimentos rodoviários - DNIT-PRO 263/94. Rio de Janeiro, 3p, 1994.

\_\_\_\_\_. Escórias de aciaria para pavimentos rodoviários - DNIT-PRO 262/94. Rio de Janeiro, 4p, 1994.

\_\_\_\_\_. Índice de Suporte Califórnia de Solos, Método de Ensaio - DNIT - ME 50-64, 1964.



# Sustentabilidade Urbana

## 14ª Jornada Urbanere e 2ª Jornada Cires



\_\_\_\_\_. Pavimentação - base estabilizada granulometricamente - DNIT-ES 141/2010. Rio de Janeiro, 7p., 2010.

\_\_\_\_\_. Limite de Liquidez, Método de Ensaio - DNIT-ME 122/94. Rio de Janeiro, 7p., 1997.

\_\_\_\_\_. Limite de Plasticidade, Método de Ensaio - DNIT-ME 082/94. Rio de Janeiro, 7p., 1997.

\_\_\_\_\_. Compactação nos Proctors Intermediários, Modificado e Normal - DNIT-ME 129/94. Rio de Janeiro, 7p., 1997.

\_\_\_\_\_. Ensaio de Equivalente de Areia, Método de Ensaio - DNIT-ME 054/97. Rio de Janeiro, 7p., 1997.

\_\_\_\_\_. Ensaio de Compactação do Solos - DNER-DPT-M 047/97. Rio de Janeiro, 7p., 1997.

\_\_\_\_\_. Ensaio de Compactação do Solos Proctor Normal - DNER-DPT-M 048/97. Rio de Janeiro, 7p., 1997.

MAGALHÃES, A. J. **Sustentabilidade e inovação de revestimento primário utilizando misturas revsol+solo em vias rurais.** 2018. 215 f. Trabalho de conclusão de curso (Pós-graduação em Engenharia Geotécnica – Fundações e Obras de Terra) – Universidade Cidade de São Paulo, Serra, 2018.

RODRIGUES, S. A. L. **Utilização da escória de aciaria em pavimentação asfáltica.** 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

TAVARES, D. S.; ODA, S.; MOTTA, L.M.G. **Utilização do agregado siderúrgico (escória de aciaria) em pavimentação asfáltica.** 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.