

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFRAESTRUTURA URBANA

MIRIAN CARLA SOARES BITTENCOURT

**ESTUDO TÉCNICO DA APLICAÇÃO DA MISTURA DO REVSOL® COM DOIS
TIPOS DE SOLOS DA REGIÃO DE SANTA LEOPOLDINA-ES NA
PAVIMENTAÇÃO DE UMA ESTRADA COM BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO**

Vitória

2023

MIRIAN CARLA SOARES BITTENCOURT

**ESTUDO TÉCNICO DA APLICAÇÃO DA MISTURA DO REVSOL® COM DOIS
TIPOS DE SOLOS DA REGIÃO DE SANTA LEOPOLDINA-ES NA
PAVIMENTAÇÃO DE UMA ESTRADA COM BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO**

Trabalho final de curso apresentado à
Coordenadoria do Curso de Pós-Graduação Lato
Sensu em Engenharia de Infraestrutura Urbana do
Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória,
como requisito parcial para a obtenção do título de
Especialista Engenharia de Infraestrutura Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo F. R. Pacheco

Vitória

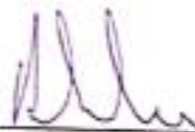
2023

MIRIAN CARLA SOARES BITTENCOURT

**ESTUDO TÉCNICO DA APLICAÇÃO DA MISTURA DO REVSOL® COM
DOIS TIPOS DE SOLOS DA REGIÃO DE SANTA LEOPOLDINA-ES NA
PAVIMENTAÇÃO DE UMA ESTRADA COM BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO**

Trabalho final de curso apresentado à
Coordenadoria do Curso de Pós-Graduação
Lato Sensu em Engenharia de Infraestrutura
Urbana do Instituto Federal do Espírito
Santo, Campus Vitória, como requisito
parcial para a obtenção do título de
Especialista Engenharia de Infraestrutura
Urbana.

Aprovado em 28 de março de 2023



Orientador: Prof. Dr. Ronaldo F. R. Pacheco

Ao Rei dos Reis, meu amado Deus.

Para Isabelle e Raphael, razões da minha vida.

Para Vanda e Geraldo, que me deram a vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao meu Deus, maravilhoso, que me deu forças, sabedoria, determinação e persistência para seguir nessa jornada de muito trabalho e dedicação, sem Ele não seria possível.

Agradeço ao meu amado esposo Raphael Puccini de Souza, por estar ao meu lado me apoiando, sendo o suporte emocional e assumindo as responsabilidades em casa para que eu pudesse realizar mais esse sonho.

Agradeço a minha filha Isabelle Bittencourt Puccini de Souza, minha linda menina por entender minha ausência, ser essa doce criança compreensiva e amorosa.

Agradeço a minha família, principalmente aos meus pais, por acreditarem, me incentivarem no estudo e serem meu suporte quando eu precisava no decorrer do curso.

Agradeço imensamente ao meu Orientador Ronaldo, que esteve junto a mim em todos os ensaios laboratoriais, sendo meu mestre e me guiando nos estudos, assim como um ser humano incrível.

Aos colegas da pós-graduação pela troca de conhecimento, pelas palavras amigas e principalmente pelas interpretações e discussões.

Aos amigos do trabalho que estiveram junto a mim nessa caminhada, que conhecem bem a motivação e as dificuldades deste trabalho.

Agradeço pelo apoio da Siderúrgica Arcelor Mittal, em especial ao Ricardo Filipe T. Moreira | Especialista em Desenvolvimento de Coprodutos, pela disponibilidade de fornecer as informações técnicas e material para a realização da pesquisa.

Disse a flor para o pequeno príncipe: é preciso que eu suporte duas ou três larvas se quiser conhecer as borboletas.

(SAINT-EXUPÉRY, Antoine de. O pequeno príncipe.)

RESUMO

O mundo tem sofrido constantemente com as mudanças climáticas, sendo o modo de produção industrial responsável por parte dessas mudanças, uma vez que são geradores de poluição. A siderúrgica Arcelor Mittal para minimizar os impactos na degradação do meio ambiente de sua atuação e dar uma destinação final adequada aos seus resíduos, desenvolveu, a partir da escória de aciaria, um subproduto na produção do aço, o coproduto REVSOL®, que é utilizado para pavimentação de estradas vicinais. As estradas vicinais são as que ligam as propriedades rurais às rodovias, sendo as principais vias na cadeia de distribuição da produção agrícola. Nesse cenário, os estudos para viabilizar a melhoria das vias rurais com matérias primas de baixo custo, pode proporcionar a diminuição de emissões de poluentes pelos veículos, já que otimiza o tempo gasto no deslocamento e diminui os custos de manutenção dos veículos, além de melhorar a qualidade de vida da comunidade, proporcionando a garantia de acesso ao local. Desta forma, o presente estudo foi realizado na estrada vicinal que liga Paraíso x Crubixá, no município de Santa Leopoldina – ES, com a utilização do REVSOL® junto aos solos para a implementação do revestimento primário na estrada. No laboratório os ensaios consistiram em determinar o tipo de solo utilizado que confirmariam a caracterização distinta das amostras, que apesar de serem de uma mesma região tem características divergentes. A metodologia utilizada neste trabalho foi o estudo através de programa experimental em laboratório da análise dos materiais dos solos com a realização de ensaios de caracterização destes, determinação da umidade ótima e do Índice De Suporte Califórnia (ISC). Este estudo demonstrou que o REVSOL® pode ser utilizado na pavimentação, com excelentes resultados de resistência a compressão, mesmo em situações de solos distintos, desde que sejam realizadas as proporções corretas encontradas nos ensaios para cada tipo de solo.

Palavras-chave: Resíduos Siderúrgicos. Escória de Aciaria. REVSOL®. Pavimentação.

ABSTRACT

The world has constantly suffered from climate change, and the industrial production mode is responsible for part of these changes, since they are responsible for generating pollution. Arcelor Mittal which is a steel company, in order to minimize the impacts on the degradation of the environment of its operations and provide an adequate final destination for its residues, developed, from steel slag, a by-product in the production of steel, the co-product REVSOL®, which is used for paving side roads. The side roads are those that connect the rural properties to the highways, being the main routes in the agricultural production distribution chain. In this scenario, studies are important to enable the improvement of rural roads with low-cost raw materials and also can provide a reduction in pollutant emissions by vehicles, since it optimizes the time spent in displacement and reduces vehicle maintenance costs, in addition will improving the community's quality of life, providing guaranteed access to the final local. The present study was developed on the side road that connects Paraíso x Crubixá, in the city of Santa Leopoldina - ES, which used REVSOL® next to the soils for the implementation of the primary coating on the road. In the laboratory, the tests consisted of determining the type of soil used that would confirm the distinct characterization of the samples, which, despite being from the same region, have different characteristics. The methodology used was the study through experimental programs in an analysis laboratory, analyzing materials of the soils with the accomplishment of characterization tests of these, determination of the optimum humidity and of the Index of Support California (CSI). This study demonstrated that REVSOL® can be used in paving even in situations where the soils are different, as long as the correct proportions found in the tests for each type of soil are used.

Keywords: Steel Waste. Steel Slag. REVSOL®. Paving.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 GERAL	11
2.2 ESPECÍFICOS	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 RODOVIAS.....	12
3.2 REVESTIMENTO PRIMÁRIO.....	13
3.3 ESCÓRIA DE ACIARIA	13
3.4 REVSOL®	14
3.5 ENSAIOS LABORATORIAIS.....	15
4. METODOLOGIA	17
4.1 MÉTODOS	17
5. PROGRAMA EXPERIMENTAL	18
5.1 Ensaio de Granulometria (Solo 01 e Solo 02)	19
5.2 Limite de liquidez (LL) - Solo 01 e Solo 02	20
5.3 Limite de Plasticidade (LP) - Solo 01 e Solo 02	21
5.4 Classificação dos Solos (SOLO 01 e 02)	22
5.5 Classificação dos Solos (REVSOL®)	23
6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	24
6.1 Ensaio de Compactação	24
6.2 Ensaio de Determinação do ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC)	25
7. CONCLUSÃO	28
8. REFERENCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

O mundo tem sofrido constantemente com as mudanças climáticas, sendo o ser humano o maior causador dos impactos ambientais, por influência deste destaca-se as grandes indústrias na fabricação dos seus produtos, como as maiores poluidoras. Dentre as indústrias, podemos considerar as siderúrgicas como grandes fontes de poluição, devido aos processos de transformação do ferro-gusa em aço, que produzem quantidades enormes de resíduos (Souza, 2007).

Ainda segundo Souza (2007) a pressão social, política e tecnológica fez com que a indústria siderúrgica investisse em melhoramento do seu processo, bem como estudos para aproveitamento dos coprodutos gerados na fabricação do aço.

Nesse cenário a siderúrgica Arcelor Mittal, desde meados da década de 1990, investe na realização de estudos para minimizar os impactos na degradação do meio ambiente, bem como dar uma destinação final adequada aos seus resíduos, dentre estes destaca-se a escória de aciaria, que é um subproduto na produção do aço, gerador do coproduto REVSOL® (Programa Novos Caminhos - Mobilidade com sustentabilidade, 2015).

A utilização da escória de aciaria é uma realidade na aplicação de revestimento primário para pavimentação nas vias vicinais das zonas rurais no Estado do Espírito Santo, como exemplo foi lançado o edital TP 006/2022 para a contratação de empresa especializada na execução de revestimento primário com REVSOL® na estrada de acesso a comunidade de Paraíso-Crubixá, no município de Santa Leopoldina/ES, possibilitando um melhor fluxo e escoamento da produção dos produtores da localidade.

Além da melhoria do escoamento, a pavimentação com a escória de aciaria nas vias rurais melhora a qualidade de vida da comunidade com a diminuição dos custos de manutenção dos veículos, a otimização do tempo gasto no deslocamento que reflete em menos emissões de poluentes pelos veículos e garantia de acesso ao local (SEAG - Secretaria de Estado Agricultura, 2020).

A utilização desse coproduto se mostra vantajosa, visto o seu valor de aplicação ser inferior ao da pavimentação asfáltica, uma vez que o REVSOL® é doado para Órgãos Públicos através do Programa Socioambiental “Novos Caminhos”, segundo a SEAG - Secretaria de Estado Agricultura (2020), além do seu processo para pavimentação primária realizar a mistura in loco com a possibilidade de utilização do material existente da própria via, segundo o Manual de Aplicação REVSOL® (2006), reduzindo os custos de implementação, proporcionando uma melhor trafegabilidade.

Diante desse cenário é imprescindível estudos para o aprimoramento na aplicação deste material, com intuito de garantir a maior durabilidade nas pavimentações, trazendo possibilidade de ampliação nas aplicações e atendimento a mais localidades.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Identificar através de estudo laboratorial a melhor aplicação e durabilidade do coproduto REVSOL®, por meio de ensaios de caracterização com análise da granulometria, determinação do limite de liquidez, plasticidade, umidade ótima e compactação.

2.2 ESPECÍFICOS

- Realizar ensaios com as duas amostras para caracterização dos tipos dos solos;
- Determinar as classes de cada solo;
- Verificar se os tipos de solos trabalhados atendem as normas do DNIT para pavimentação;
- Determinar a umidade ótima dos solos;
- Determinar a umidade ótima da mistura dos solos junto ao REVSOL®;
- Determinar o Índice de Suporte Califórnia (ISC);
- Analisar qual amostra trará uma melhor resistência junto ao REVSOL®;
- Verificar possibilidade de utilização em revestimento primário dos solos ao REVSOL®.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RODOVIAS

No Brasil a maior modalidade de transporte é o transporte rodoviário, as rodovias são as principais vias de escoamento dos produtos, segundo o Ministério da Infraestrutura (2019), sendo responsável por cerca de 65% da movimentação de cargas no ano de 2015, conforme dados da Empresa de Planejamento e Logística S.A.

A principal via de ligamento do país para transportar a produção agrícola e industrial são as rodovias, elas exercem um papel fundamental no desenvolvimento econômico do país, além disso, o transporte rodoviário é responsável pela mobilidade de 95% dos passageiros e pelo transporte de 70% dos produtos de consumo doméstico. (TRINDADE, T.P. et al., 2005).

Segundo o Ministério da Infraestrutura (2019), a malha rodoviária federal do Brasil, possui o total de 75,8 mil km, dos quais 65,4 mil km correspondem a rodovias pavimentadas e 10,4 mil km correspondem a rodovias não pavimentadas.

Quando falamos em meio de transporte e escoamento, que utilizam primordialmente as rodovias, temos que lembrar da origem desses produtos, que ocorrem em áreas rurais com a utilização das vias vicinais. Entende-se por vias vicinais a ligação entre dois lugares, com início e fim determinados.

Estas vias são fundamentais para cadeia de distribuição da produção agrícola, uma vez que ela é meio de ligação entre as áreas rurais e urbanas, as estradas rurais ou vicinais permitem o acesso e a inserção das áreas remotas aos centros urbanos (Silva et al, 2014).

No Estado do Espírito Santo, de acordo com o estudo de Silva et al, 2014, 61,2% do sistema viário é composto de estradas vicinais, considerando que é preponderante o número de habitação no meio rural, com a fonte de renda nas produções agrícolas

transportadas através dessas estradas, as condições destas impactam diretamente nas atividades econômicas.

3.2 REVESTIMENTO PRIMÁRIO

Uma alternativa para solucionar os problemas de trafegabilidade nessas vias são a utilização de revestimentos de baixo valor, sendo um destes os resíduos oriundos das indústrias mineradoras para execução de revestimento primário (Medeiros, 2019).

O revestimento primário trata-se de uma camada acima do subleito regularizado, proveniente da mistura de dois materiais, um argiloso e outro granular, com intuito de melhorar o rolamento da via a um custo baixo, sem grandes investimentos na execução (Medeiros, 2019).

O acréscimo da argila ao material granular age como forma de ligação para corrigir a superfície final da via, já o material granular aumenta a aderência da estrada (Medeiros apud ODA, 2019).

3.3 ESCÓRIA DE ACIARIA

Um dos materiais granulares utilizado na pavimentação é o gerado no processamento do ferro gusa, quando passa pela transformação para a produção do aço, gerando no processo resíduos, ao qual obtemos a escória de aciaria, nominado como coproduto, que é empregado em diversas áreas e uma delas é na pavimentação (Gomes, 2018).

Com a necessidade de preservar o meio ambiente, sendo a sustentabilidade uma questão central nos tempos atuais, a indústria siderúrgica na produção dos seus insumos, que gera grande volume de resíduos, foi aprimorando seus processos e dando destinação a estes materiais, sendo hoje 90% reaproveitados em várias áreas (IABR, 2020).

No Relatório de Sustentabilidade 2020, consta que somente neste ano foram gerados 622 kg de coprodutos e resíduos por tonelada de aço bruto, aonde a escória de aciaria representa 25% (IABR, 2020).

O que outrora poderia ser um problema ambiental, visto a demanda de grandes espaços para seu armazenamento, no ano de 2020 os dados informam que ocorreram um reaproveitamento de 93% da escória de aciaria, sendo 78% empregados em agregados no setor de pavimentação (IABR, 2020).

A escória de aciaria é uma das alternativas utilizadas já em diversos países, assim como no Brasil para melhoramento das condições das vias, muito empregada como revestimento primário, bases e sub-bases, demonstrando ser um coproduto eficiente para este fim (IABR, 2017).

3.4 REVSOL®

O Programa Caminhos do Campo instituído em 2006 foi criado para estudar e conhecer melhor a utilização da escória de aciaria em revestimentos primários, definindo assim os processos para melhor empregar este material (Ribeiro, 2015).

Neste processo foram realizados estudos de análises do comportamento do material referente ao meio ambiente, verificando o risco ao empregar este nas vias vicinais. O resultado foi satisfatório por não gerar riscos à saúde humana e ao meio ambiente, ao qual o material ganhou nome e marca de REVSOL® (Programa Caminhos do Campo - Ribeiro, 2015).

O REVSOL® se mostrou um material que possibilita ser empregado junto ao material existente da estrada, sendo de baixo custo, uma vez que este é doado através de parceria público privado, onde há o beneficiamento da indústria que não arcará com grandes áreas para estocamento e levará uma correção, regularização e resistência da via ao qual for aplicado o material (Programa Caminhos do Campo - Ribeiro, 2015).

3.5 ENSAIOS LABORATORIAIS

Para conferir segurança na aplicação dos insumos, bem como as medidas corretas de aplicação do produto, possibilitando uma vida longa ao revestimento primário, é fundamental os ensaios laboratoriais.

Para a realização dos ensaios o DNER (Departamento Nacional de Estradas e Rodagem), segundo a Norma DNER-ME 041/94, estabelece procedimentos de preparação da amostra para proceder os ensaios de granulometria, obtenção da umidade higroscópica, verificar o Limite de Liquidez, plasticidade, ensaio de compactação e o Índice de Suporte California.

A Norma DNER-ME 080/94, determina o procedimento para realizar o ensaio de granulometria por peneiramento, permitindo alcançar o peso que cada faixa especificada e tamanho de partículas. Mediante os resultados encontrados será possível traçar a curva granulométrica, fundamental para a classificação dos solos, bases estabilizadas e permeabilidade.

Uma vez realizado o ensaio de granulometria, a determinação do limite de liquidez deverá ser realizada, segundo a norma DNER-ME 122/94, bem como o limite de plasticidade, segundo a norma DNER-ME 082/94.

Segundo o Mercury apud Santos (2010, p.3),

[...]O limite plástico (LP) indica a quantidade de água mínima que um solo, uma argila ou uma massa cerâmica deve conter para ser conformada por extrusão a vácuo. O limite de liquidez (LL) corresponde à máxima quantidade de água que a argila ou massa cerâmica pode conter para ainda ser moldável; enquanto o índice de plasticidade (IP) representa a diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade, indicando a quantidade de água que ainda pode ser adicionada a partir do limite de plasticidade, sem alterar o estado plástico.

A fim de estabelecer uma homogeneidade a pavimentação, bem como proporcionar uma estabilidade, aumentar a resistência e a determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente é indispensável os ensaios de compactação,

segundo a norma DNER-ME 129/94, e o Índice de Suporte California, definido pela Norma 049/94.

4. METODOLOGIA

A presente pesquisa pode ser classificada como aplicada, já que visa a aplicação imediata na realização da implementação da pavimentação primária da via Paraíso-Crubixá; com a abordagem primordialmente quantitativa e descritiva, uma vez que busca comprovar as proporções ideais de mistura para a melhor aplicação na via; e por fim, os procedimentos para a realização da pesquisa são bibliográficos e experimental.

A metodologia utilizada neste trabalho é o estudo através de programa experimental em laboratório de análise dos materiais dos solos da estrada da comunidade de Paraíso x Crubixá no município de Santa Leopoldina – ES, junto ao material granular de escória de aciaria, registrado como REVSOL®.

4.1 MÉTODOS

Após a revisão bibliográfica sobre a aplicação da escória de aciaria na pavimentação primária das vias rodoviárias foram realizados os seguintes ensaios físicos:

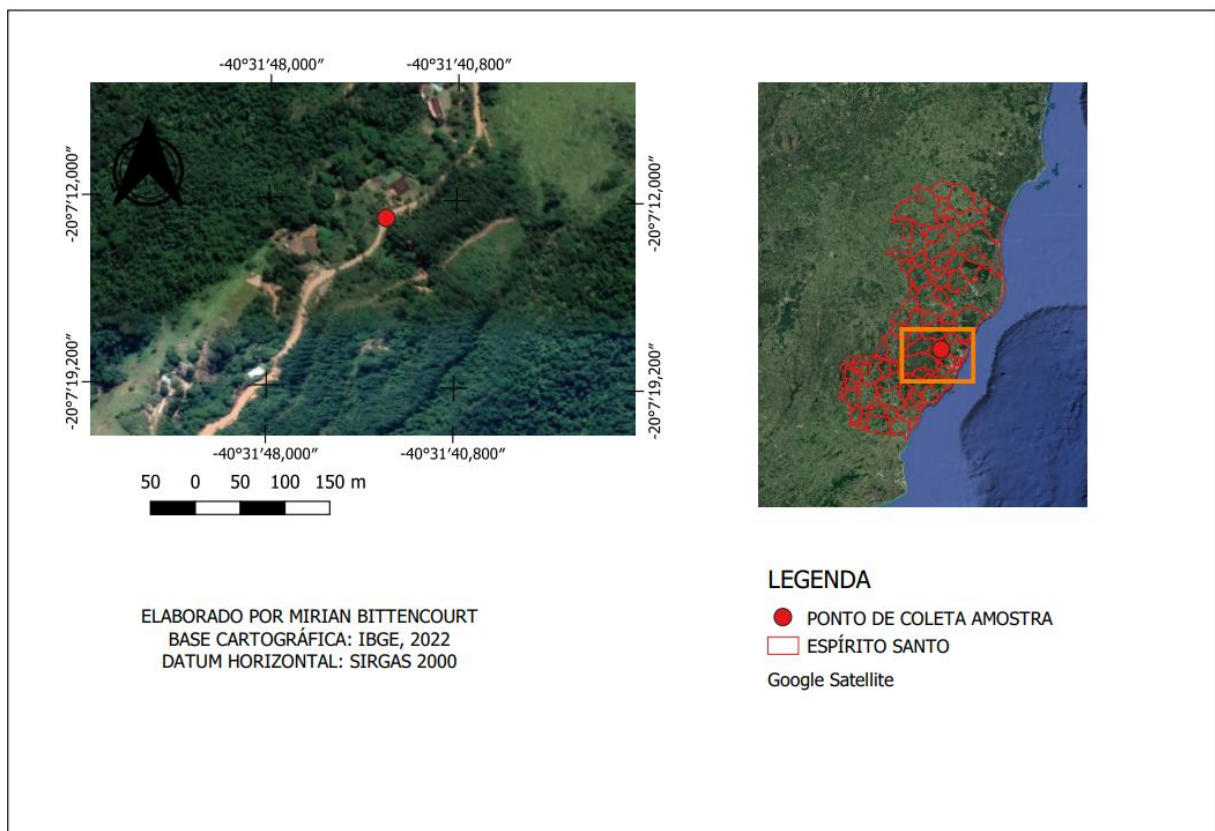
- Granulometria;
- Limite de liquidez;
- Limite de Plasticidade;
- Ensaio de compactação;
- Ensaio do Índice de Suporte California.

5. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Dada a relevância da pesquisa e estudo para comprovação da efetividade do material, foram realizados os ensaios em duas amostras coletadas em 04 de abril de 2022 na estrada vicinal da comunidade Paraíso x Crubixá no município de Santa Leopoldina/ES, conforme mapa georreferenciado com Latitude: -20.120198° e Longitude: -40.528749° . O Mapa, como mostra a Figura 1, referência o local de coleta das amostras 01 e 02.

As amostras apresentavam aspectos visuais e de textura distintos, apesar de colhidas em uma mesma localidade, conforme observados nas Figuras 2 e 3.

Figura 1- Mapa Georreferenciado de Localização



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 2 - Local de coleta Solo 01



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 3 - Local de coleta Solo 02



Fonte: Elaborado pela autora

Diante disso, iniciaram-se os ensaios para caracterização física dos solos a serem estudados neste trabalho.

5.1 Ensaio de Granulometria (Solo 01 e Solo 02)

Os ensaios de granulometria por peneiramento permitem a separação dos solos de forma a alcançar a classificação deste e determinar ao qual grupo pertence, segundo as normas do DNIT. Ao realizar os ensaios foi possível definir a classificação, bem como o grupo do Solo 01 e Solo 02.

O Solo 01 ao ser submetido ao peneiramento, após a amostra passar pelo quarteamento, resultou em uma porcentagem de 22,51% de amostra que passa na peneira nº 200.

O Solo 02 ao ser submetido ao peneiramento, após a amostra passar pelo quarteamento, resultou em uma porcentagem de 39,68% de amostra que passa na peneira nº 200.

A Figura 4 se trata de um repartidor de amostras, que foi utilizado para realizar o quarteamento, já a Figura 5 são as peneiras utilizada para a realização da granulometria.

Figura 4 - Repartidor de amostras



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 5 – Peneiras de granulometria



Fonte: Elaborado pela autora

5.2 Limite de liquidez (LL) - Solo 01 e Solo 02

Para a caracterização de um solo, não basta somente a análise granulométrica, uma vez que a umidade influencia diretamente em suas partículas, o limite de liquidez é um dos fatores que determinam a consistência dos solos. Esse limite define a transição do estado do solo de plástico para líquido.

Foram utilizados para esse ensaio o aparelho normalizado Casagrande (Figura 6), com a ação de 25 golpes na concha sobre a base do aparelho.

Após realização dos ensaios com os dois tipos de solos foram obtidos os seguintes resultados:

- Limite de Liquidez do Solo 01 - LL 35;
- Limite de Liquidez do Solo 02 - LL 38.

Figura 6 - Aparelho de Casagrande



Fonte: Elaborado pela Autora

5.3 Limite de Plasticidade (LP) - Solo 01 e Solo 02

Sabemos que os limites de liquidez e plasticidades são índices fundamentais para determinação de resistência e trabalhabilidade dos solos, elementos estes de grande importância no traço de suas propriedades físicas, orientando um melhor preparo para o solo.

Os solos aqui estudados foram trabalhados para juntamente ao REVSOL® resistissem a força de tração, compressão e cisalhamento nas vias vicinais que forem aplicadas.

Para realização dos ensaios utilizaram-se os utensílios de uma cápsula de porcelana, espátula com lâmina flexível, para a mistura do solo com a água, placa de vidro de superfície esmerilhada e cilindro de comparação de 3mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento.

Ao realizar os ensaios não foi possível determinar o índice de plasticidade do solo 01, pois se trata de um solo mais arenoso e se demonstrou um solo não plástico.

Entretanto, ao proceder com a experimentação no solo 02, foi possível obter resultados com indicadores.

As Figuras 07 e 08 apresentam imagens dos ensaios realizados nos solos 01 e 02, respectivamente, com a utilização da placa de vidro e cilindro de comparação. Desse modo, os ensaios determinaram os seguintes resultados:

- Limite de Liquidez do Solo 01 – LP NP / IP NP / IG 0;
- Limite de Liquidez do Solo 02 – LP 24,34 / IP 13,66 / IG 1,79.

Figura 7 - Solo 01 - LP Não Plástico



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 8 - Solo 02 - LP Determinado



Fonte: Elaborado pela autora

5.4 Classificação dos Solos (SOLO 01 e 02)

A partir dos ensaios de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade foi possível a classificação dos solos estudados, que utilizou o Sistema de Classificação do H.R.B (Highway Research Board) - Sistema Rodoviário de Classificação, conforme Tabela 1, obtendo os seguintes resultados:

- Solo 01: P200 <35, LL 35, IP NP, IG 0 – GRUPO A-2-4;
- Solo 02: P200 >35, LL 38, IP13,66, IG 1,79 – GRUPO A-6.

Tabela 1 - Sistema de Classificação dos Solos H.R.B.

Classificação geral	Materiais granulares (p) (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (p) (mais de 35% passando na peneira de nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Grupo											
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	38 mín.	38 mín.
Características da fração que passa nº 40: Limite de Liquidez - LL - (%) Índice de Plasticidade - IP - (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Grupo (IG) . . .	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra britada, pedreg. e areia.		Areia fina	Areia e areia siltosa ou argilosa				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como sub-leito.	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Fonte: Manual de Pavimentação – DNIT 2006

5.5 Classificação dos Solos (REVSOL®)

Na ficha do coproduto fornecida pela Arcelor Mittal, REVSOL® 0 a 19 mm, foi obtido os seguintes resultados de características técnicas:

- Granulometria 0 a 22 mm;
- Índice Suporte Califórnia ISC > 80% PM (Proctor Modificado);
- Densidade compactada - 2,35 t/m³;
- Densidade solta - 1,75 t/m³;
- Massa Específica Real - Variável de 3,2 a 3,4 t/m³;
- Equivalente de Areia > 60%;
- Umidade ótima – variável de 12 a 14%;
- Limites de Atenberg – NP (não plástico).

6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na classificação dos solos as amostras demonstraram serem materiais distintos, traçando características de um solo arenoso e outro argiloso, solo 01 A-2-4 (Solo arenoso com silte) e solo 02 A-6 (Solo argiloso), com isso foram submetidas aos ensaios de compactação e determinação do ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC).

O presente estudo analisou se o tipo de solo misturado ao REVSOL® influenciava no valor para determinação do CBR (California Bearing Ratio), o que demonstraremos a seguir.

6.1 Ensaio de Compactação

O ensaio de compactação é imprescindível para determinar o teor de umidade e obter a massa específica do solo.

Para realização deste ensaio foram usados os aparelhos de tabuleiro circular (Figura 9), que possibilita a mistura e umidificação do solo, cilindro e soquete (Figura 10) e macaco hidráulico para retirada de molde (Figura 11).

Os ensaios dos Solos 01 e 02 foram utilizados a energia de compactação proctor normal, compactando-se 05 camadas com aplicação de 12 golpes em cada uma delas.

Resultado obtidos das amostras:

- SOLO 01: Umidade ótima 13%;
Massa específica máxima 2,05g/cm³.
- SOLO 02: Umidade ótima 12,49%;
Massa específica máxima 2,07g/cm³.

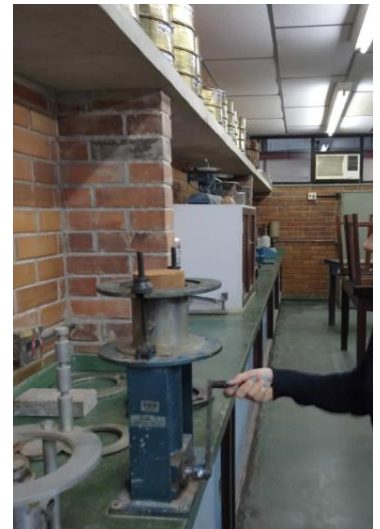
Figura 9 - Tabuleiro circular



Figura 10 - Cilindro e soquete



Figura 11 - Macaco hidráulico



Fonte: Elaborado pela autora

Posteriormente, foram realizados os ensaios de compactação de proctor intermediário com a mistura dos solos, solo 01 mais REVSOL® e solo 02 mais REVSOL, com uma proporção de 50% de cada material, aplicando-se 26 golpes por camada, totalizando 05 camadas no cilindro.

Desses ensaios foram obtidos os seguintes resultados:

- SOLO 01: Umidade ótima 7,50%;
Massa específica máxima 2,33g/cm³.
- SOLO 02: Umidade ótima 12,50%;
Massa específica máxima 2,05g/cm³.

6.2 Ensaio de Determinação do ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC)

Os pontos fundamentais para determinação da resistência de um solo e demonstração de que o material atende as normas do DNIT, para utilizá-lo em revestimentos, de modo a indicar qual camada melhor se aplica é através do ensaio de determinação do ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC).

Para a realização desse ensaio foram utilizado o material de 7.000 gramas de amostras e os dispositivos de um tabuleiro circular para mistura e umidificação da amostra, cilindro, disco espaçador maciço, soquete cilíndrico, tripé porta-extensômetro (Figura 12), disco anelar de aço para sobrecarga (Figura 13), extensômetro e prensa com macaco hidráulico para determinação do CBR (California Bearing Ratio). A Figura 13 trata-se de uma amostra após realização do ensaio de CBR.

Figura 12 - Extensômetro



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 13 - Disco anelar



Fonte: Elaborado pela autora

O material ensaiado teve a seguinte mistura:

- Solo 01 mais REVSOL®, proporção de 50% de cada amostra;
- Solo 02 mais REVSOL®, proporção de 50% de cada amostra.

Dessa maneira, foram obtidos os seguintes resultados:

- SOLO 01: Umidade ótima 7,50%;
Expansão 0,62%;
ISC 299,96%.
- SOLO 02: Umidade ótima 12,49%;
Expansão 0%;
ISC 185,25%.

Na Tabela 2 apresenta-se os resultados consolidados.

Tabela 2 - Resultados

RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS				
AMOSTRAS	CBR	EXP	UMIDADE ÓTIMA	CBR MÍNIMO EXIGÍVEL
SOLO 01	3%	0%	13%	-
SOLO 02	20%	0,62%	12,49%	20
SOLO 02 + 50% DE REVSOL®	185%	0%	12,50%	80
SOLO 01 + 50% DE REVSOL®	299,96	0,03%	7,50%	80

7. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- a) Os ensaios consistiram em determinar o tipo de solo utilizado que confirmaram a diferenciação das amostras, que apesar de serem de uma mesma região possuem características divergentes;
- b) Na classificação dos solos as amostras indicaram um material arenoso e outro argiloso;
- c) Os materiais se mostraram satisfatório para utilização em subleitos e sub-base, não demonstrando necessidade de reforço do subleito, para a área do estudo;
- d) O estudo realizado foi capaz de confirmar que a proporção de 50% dos solos 01 ou solo 02 mais 50% de REVSOL® é possível obter uma ótima trabalhabilidade e resistência a compressão;
- e) O estudo apresentou condições técnicas favoráveis para utilização do REVSOL® na pavimentação como revestimento primário mesmo em situações que os solos sejam distintos;
- f) Os resultados demonstraram que os CBRs atingiram fatores muito acima do exigido em norma;
- g) Com a adição de mais umidade ficou demonstrado que o CBR teve uma queda em sua resistência a compressão no solo 01 e aumento no solo 02, necessitando de estudos com outros materiais agregados para aumento da resistência;
- h) A amostra do solo 01 apresentou junto ao REVSOL® um desempenho maior que o solo 02 junto ao REVSOL® nos ensaios de laboratório, com ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC) 299,96%, utilizando a umidade ótima;
- i) O REVSOL® junto a ambas as amostras demonstraram ser excelente alternativas para pavimentação em vias vicinais de baixo fluxo de veículos.

Em recomendação para futuras pesquisas, sugere-se:

- Estudo do desempenho do REVSOL® no Revestimento primário em vias já executadas com o material;
- Estudo do comportamento do Revestimento primário com REVSOL® quando aplicado ligantes na sub-base;

- Estudo na empregabilidade de outros materiais agregados ao solo e REVSOL® para retardar expansão.

8. REFERENCIAS

- ARCELORMITTAL (Brasil). **Programa novos caminhos: Mobilidade com sustentabilidade**. Serra: [s. n.], 2015. 78 p. ISBN 978-85-69822-00-4.
- ARCELORMITTAL (Brasil). **Revsol: Manual de Aplicação**. Serra: [s. n.], 2006. 43 p.
- CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, VII., 2014, Vitória/ES. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2014. 12 p.
- 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>
- FERREIRA, Rafael Magno. **Dimensionamento de um pavimento experimental para o tráfego de caminhões fora-de-estrada em planta de mina**. 2007. 277 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - MG, 2007.
- GOMES, Juliana F. **Estudo laboratorial de misturas asfálticas mornas com agregados de escória de aciaria**. 2018. 99 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2018.
- IABr. (2020). Relatório de Sustentabilidade 2020. Instituto Aço Brasil. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/sustentabilidade/>>. Acesso em: junho de 2020.
- MEDEIROS, K. P. M. de. **Estudo do uso da escória siderúrgica de alto forno e estéril de mineração como alternativa de revestimento primário em estradas não pavimentadas**. 2019. 80 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.
- MERCURY, J.M. Rivas; GALDINO, L.G.; VASCONCELOS, N.S.L.S. Vasconcelos; PAIVA, A.E.M; CABRAL, A.A.; ANGÉLICA, R.S. Estudo do comportamento térmico e propriedades físico-mecânicas da lama vermelha. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 15, ed. 3, p. 445-460, 2010.
- MT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma Técnica, 049/1994**. Solos - determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Distrito Federal, 1994.
- MT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma Técnica, 129/1994**. Solos - compactação utilizando amostras não trabalhadas. Distrito Federal, 1994.
- ROHDE, Luciana. **Escória de aciaria elétrica em camadas granulares de pavimentos - estudo laboratorial**. 2002. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade do Rio Grande do Sul, Poto Alegre/RS, 2002.

SCHNEIDER, Denise S G. **Estudo da viabilidade técnica e ambiental do Revsol® para camada de revestimento primário em estradas com baixo volume de tráfego**. 2020. 93 p. Trabalho Final de Curso (Pós-graduação) - Instituto Federal do Espírito Santo, [S. l.], 2020.

SILVA, Taciano Oliveira da et al. Avaliação do subleito de rodovias vicinais de baixo volume de tráfego por meio de ensaios geotécnicos. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v. 35, ed. 4, p. 825-833, 20 abr. 2011.

SOUZA, E. B. de O. e. **Escórias de aciaria e resíduos de concretos refratários em componentes de pavimentação**. 2007. 111 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

TRINDADE, Tiago Pinto da et al. Estudo da durabilidade de misturas solo-rbi grade 81 com vistas à aplicação em estradas florestais e camadas de pavimentos convencionais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, ed. 4, p. 591-600, 2005.