

## **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O USO DO SOLO MELHORADO COM CIMENTO E A BRITA GRADUADA SIMPLES NA PAVIMENTAÇÃO DA AVENIDA BRASIL EM ANÁPOLIS-GO**

André de Almeida Fonseca

*Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis  
(andrealmeida@hotmail.com)*

Andressa Lorrane Pereira Reis

*Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis  
(andressalorrane2009@hotmail.com)*

Vanessa Honorato Domingos

*Professora Mestre, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis  
(vhdomingos@gmail.com)*

### **RESUMO**

Com o presente trabalho, deseja-se contribuir para um conhecimento mais aprofundado de dois materiais comumente utilizados na base da pavimentação: o solo melhorado com cimento (SMC) e a Brita Graduada Simples (BGS). Para isso, são descritas as especificações de cada material, e os respectivos mecanismos envolvidos e os fatores que influenciam as propriedades no geral. Tem-se como objetivo geral um estudo sobre as características de resistência e trabalhabilidade de ambos os materiais que são utilizados na camada final, a qual deve resistir a esforços provenientes de veículos, distribuindo-os para suas camadas subjacentes, pois é sobre esta camada que será construído o revestimento. O programa experimental apresentado baseia-se no comparativo de ensaios laboratoriais para classificação do solo e parâmetros geotécnicos comumente ensaiados para solos de pavimentação de acordo com as normas brasileiras. Para isso foram realizados ensaios de umidade, granulometria para uma classificação do solo, expansão, compactação e resistência para a verificação das exigências mínimas da DNER e DNIT para os dois solos analisados, um cascalho laterítico (solo tropical) e a brita graduada simples (produto da britagem de uma rocha sã). Após a verificação de ambos os materiais se nota maior resistência no solo melhorado com cimento (com teor de 2%) e a brita graduada simples apresentou melhor trabalhabilidade. Por fim, conclui-se que o solo melhorado com cimento é a opção mais viável por ter maior resistência e é encontrado com facilidade na região.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo melhorado com cimento. Brita graduada simples. CBR. Pavimentação

# 1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura do país ainda é considerada pouco modernizada, onde o crescimento nesse setor ocorre em um ritmo mais lento do que as necessidades da população. Segundo dados de pesquisas da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2018), estima-se que somente 12,3% das estradas no país são pavimentadas, além de ser um índice muito pequeno, apenas cerca de 43% apresentam condições satisfatórias. O descompasso nas estradas é tão expressivo que em uma análise da malha rodoviária, os pavimentos brasileiros ocuparam o 111º lugar em um ranking de 138 países (CNT, 2017). Soma-se a isso que durabilidade dos pavimentos no Brasil é menor do que a de países mais desenvolvidos, em torno de 8 a 12 anos, devido a baixa qualidade, falta de fiscalização e manutenção, o que faz com que as patologias no surjam mais rápido do que o esperado.

Segundo dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2019), a cidade de Anápolis, localizada a 53 km da capital Goiânia, possui uma frota de 268.290 veículos emplacados, um número que vem crescendo bastante nos últimos anos. A cidade é um polo de indústrias farmacêuticas com um grande crescimento populacional, como consequência tem-se a expansão da frota, sendo necessário um investimento em infraestrutura para que sua área pavimentada suporte o grande fluxo de veículos.

A Avenida Brasil é uma das principais vias da cidade de Anápolis, sendo classificada como uma via arterial que cruza a cidade de Norte a Sul, possuindo um tráfego composto por veículos leves e pesados. Essa avenida liga diversos pontos importantes da cidade, como: a Sede da Prefeitura, a Câmara e Fórum municipal, o principal shopping da cidade, hospitais, agências bancárias, o Terminal Rodoviário, o Estádio Jonas Duarte, o Ginásio Internacional Newton de Faria, as maiores universidades anapolinas e vários outros pontos comerciais, e ainda dá acesso a outras vias não menos importantes.

Devido ao grande tráfego na avenida tornou-se necessário pensar em uma forma de melhorar a qualidade da via. A opção adotada pela Prefeitura Municipal de Anápolis foi um alargamento para criar a terceira faixa e um corredor exclusivo para ônibus, com o sistema *Bus Rapid Transit* (BRT), o que acarretará na melhoria da mobilidade urbana e economia de tempo no deslocamento para os usuários da via.

Segundo Balbo (2007), pavimentação é uma obra civil que tem o propósito de melhorar o tráfego criando uma superfície regular, mais aderente, garantindo maior conforto no deslocamento e segurança na pista molhada. Uma pavimentação executada com qualidade tem grande relevância para infraestrutura e transporte urbano, visto que a locomoção depende diretamente das condições da via. Já, um projeto planejado adequadamente evita futuros gastos com reparos e manutenções da obra.

Um pavimento é subdividido em camadas: base, sub-base, subleito e reforço do subleito (quando necessário), nas quais há variação de rigidez e espessura conforme a profundidade. Dentre essas camadas, o revestimento, que é responsável por receber diretamente a carga do veículo, pode ser do tipo rígido ou flexível. Os pavimentos são projetados observando as peculiaridades de cada situação, sendo o critério para a adoção de um pavimento rígido ou flexível está atrelada aos aspectos técnicos e financeiros.

Dentro dessa abordagem, a fim de garantir boas condições da Avenida Brasil, que tem um grande número de acessos diariamente, foi necessário que se fizesse as escolhas mais adequadas de materiais para a utilização no processo construtivo. Dos materiais mais utilizados, alguns se destacam no projeto dessa obra, sendo estes: a Brita Graduada Simples (BGS) e o Solo estabilizado com cimento, ambos localizados logo abaixo do revestimento, com grande rigidez e encontrados facilmente nas proximidades da obra.

Assim, surge a iniciativa de um estudo comparativo entre esses dois materiais utilizados na obra de alargamento e na faixa do BRT da Avenida Brasil em Anápolis-GO, onde os mesmos serão analisados quanto a trabalhabilidade, resistências e outros parâmetros geotécnicos para constatar qual dos dois oferece o melhor desempenho em termos de qualidade e durabilidade para a via, obedecendo as normas vigentes.

## **2 CONTROLE TECNOLÓGICO DE LABORATÓRIO**

Para saber a qualidade do material que será usado é preciso analisar o comportamento geomecânico e hidráulico do solo e suas respectivas normativas no controle laboratorial e as influências, tais como: umidade, granulometria, compactação, expansão, índice de suporte califórnia.

O controle de umidade tem como função ajustar as partículas do solo, esse controle é muito importante para alcançar uma compactação apropriada. Proctor (1933) relatou que na medida em que se acrescenta água ao solo ocorrem efeitos de lubrificação entre suas partículas que produzem arranjos mais compactos. Aumentos sucessivos no teor de umidade implicam na diminuição de vazios até um ponto em que os mesmos são mínimos e a densidade é máxima para o método de compactação utilizado, atingindo-se o par de valores: massa específica aparente seca máxima e umidade ótima.

Granulometria é a distribuição das partículas que constituem o solo, caracterizadas a partir de um estudo que define o tamanho e a quantidade de partículas que compõe uma amostra. A análise granulométrica é padronizada pela NBR 7181 (ABNT, 2016), que prescreve o método realizado por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento.

O ensaio de compactação divide-a em três energias; normal, intermediária e modificada. A compactação pode ser feita com soquetes diferentes; pequeno e grande, sendo de massas iguais a 2,5 kg e 4,5 kg, respectivamente. Cada soquete determinará uma energia de compactação diferente dependendo da quantidade de golpes, referenciadas na NBR 7182 (ABNT, 2016).

“Ensaio de expansibilidade de solo é o ensaio por meio do qual se determina o aumento do volume que certos solos apresentam, quando em contato com a água ou quando reduzida a pressão sobre eles.” DNIT 160 (2012).

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia é um método de avaliação de resistência dos solos o qual segue parâmetros definidos na NORMA NBR – 9895 (ABNT, 2016) Solo - Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio.

Os parâmetros definidos acima garantem maior controle de qualidade nas obras de pavimentação.

### **2.1 MATERIAIS**

#### **2.1.1 Solo melhorado com cimento**

Segundo a ES 142 (DNIT, 2010) o solo melhorado com cimento é um material proveniente da mistura de solo, cimento e água em proporções determinadas por dosagem em laboratório para que apresente melhoras em particularidades de resistência e durabilidade ao material resultante. Para estabilização de solo melhorado as quantidades usuais de cimento estão na faixa de 2 a 4%, do peso total da mistura. Usa-se o cimento CP II F 32, determinado pela norma NBR 12253 (2012) e que obedeçam às particularidades da DNER-EM 036 (1995), sem cimento empedrado.

De acordo com Núñez (1991), citado por Vendruscolo (1996) o melhoramento do solo é dado a àqueles que naturalmente não conseguem a resistência necessária, o emprego do estabilizante o deixará com as características para o emprego na pavimentação de bases, mesmo sendo um baixo teor de aditivo necessário para que ocorra esse melhoramento das propriedades mecânicas.

Macêdo (2004) mencionou em seu estudo que o solo melhorado com cimento (Figura 1) mostrou ser uma solução muito eficiente, técnica e economicamente viável para a utilização em várias regiões do Brasil, iniciada em 1935 em decorrência do crescimento da demanda por construção de rodovias.

**Figura 1- Solo melhorado com cimento**



Fonte: Própria Autoria.

### **2.1.2 Brita graduada simples (BGS)**

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) o BGS (Figura 2) é uma mistura em usina, de produtos de britagem de rocha sã que, em proporções adequadas, resulta no enquadramento em uma faixa granulométrica contínua que, quando devidamente compactada, resulta em um produto final com propriedades adequadas de estabilidade e durabilidade. Sua composição é definida pelo projetista ou quando há normas estaduais ou municipais que a caracterizam. Mesmo definindo a brita graduada simples em um projeto de norma o DNIT não normatiza o seu emprego, ficando a critério de outras normas.

O material estudado é proveniente da britagem de gnaiss na Pedreira Anápolis composta por pó de brita (menor que 4,8mm), brita 0 (4,8 a 9,5mm), brita 1 (9,5 a 19mm) e brita 2 (19 a 25mm).



**Figura 2 - Brita graduada simples**



Fonte: Própria Autoria.

Este tipo de solo é dosado e homogenizado em usina com controle de umidade e com a porcentagem de agregados nas diferentes faixas granulométricas atendendo a uma das faixas especificadas por norma. São elementos permeáveis a medianamente permeáveis, muito empregados como base ou sub-base em pavimentos asfálticos, sendo comum também sua aplicação como sub-base de pavimentos de concreto de cimento como exemplo em pavimentos rígidos.

## 2.2 CONTROLE TECNOLÓGICO LABORATORIAL

Os parâmetros analisados em laboratório como já citados anteriormente foram a umidade, granulometria, compactação, expansão e o Índice de Suporte Califórnia descritos e debatidos ao longo do trabalho.

Os critérios de aceitação da camada finalizada são definidos pelo DNIT (Tabela 1) com diferentes valores, a umidade e o grau de compactação são obtidos em campo através do método do *speedy* e o ensaio com frasco de areia, respectivamente. Para os parâmetros de expansão e ISC uma amostra de solo é coletada e levada para o laboratório.

**Tabela 1 – Condições mínimas para aceitação da camada estabilizada**

Camada	Umidade (%)	Grau de compactação (%)	Expansão (%)	ISC (%)
Base	± 2	≥ 100	≤ 0,05	≥ 80
Sub-base	± 2	≥ 100	≤ 1	≥ 20
Subleito	± 2	≥ 100	≤ 2	-

Fonte: Própria Autoria.

O ISC mínimo da base é definido de acordo com o tráfego da via, em vias mais movimentadas é maior ou igual a 80%, nas menos movimentadas maior ou igual a 60%.

Na camada subleito não é prescrito o valor mínimo do ISC pois é utilizado solo local, ficando a critério do projetista.

## 2.2.1 Ensaio de Umidade

Para o ensaio de umidade higroscópica, normalizado pela NBR 6457 (2016), foram utilizadas duas amostras para cada material da base. Em todas as amostras foram feitas as leituras da massa da cápsula, da cápsula com solo úmido e da cápsula com solo seco, onde essa verificação foi após 24 horas em uma estufa com a temperatura de 110°C, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Secagem de solo em estufa



Fonte: Autoria Própria.

De posse dos resultados foi possível calcular a umidade higroscópica média do Solo melhorado com cimento (SMC) e da Brita graduada simples (BGS). Os resultados estão dispostos na Tabela 2 e na Tabela 3, respectivamente.

Tabela 2 – Umidade higroscópica do SMC

Cápsula Nº	1	2
Cápsula (g)	14,32	15,83
Cápsula + Solo Úmido (g)	91,81	97,88
Cápsula + Solo Seco (g)	89,04	94,94
Água (g)	2,77	2,94
Solo (g)	74,72	79,11
Umidade (%)	3,71%	3,72%
Umidade Média (%)	3,71%	

Fonte: Autoria Própria.

O solo melhorado com cimento apresentou umidade higroscópica média de 3,71% e a brita graduada simples 0,17% o que era esperado pois o SMC tem grande concentração de ferro e alumínio em sua composição, retém mais água do tipo constituição e absorvida, já o BGS é composto por pedra britada que não tem muita retenção de água.

**Tabela 3 – Umidade higroscópica do BGS**

Cápsula N <sup>o</sup>	1	2
Cápsula (g)	16,82	13,41
Cápsula + Solo Úmido (g)	107,42	106,24
Cápsula + Solo Seco (g)	107,25	106,09
Água (g)	0,17	0,15
Solo (g)	90,43	92,68
Umidade (%)	0,19%	0,16%
Umidade Média (%)	0,17%	

Fonte: Aatoria Própria.

## 2.2.2 Ensaio de Granulometria

Foram realizados ensaios granulométricos baseados na NBR 7181 (ABNT, 2016) no qual houve peneiramento grosso realizado pelo conjunto de malhas 76,2 até 2,00 mm e peneiramento fino a partir da malha 1,2 até 0,074 mm, o procedimento aconteceu para o solo laterítico como mostrado na Figura 4 e também para o BGS como mostrado na Figura 5.

**Figura 4 – Ensaio de Análise Granulométrica do solo**



Fonte: Aatoria Própria.



**Figura 5 – Ensaio de Análise Granulométrica do BGS**



Fonte: Autoria Própria.

Após o peneiramento foram obtidos os resultados das massas pesadas com os dados dispostos na Tabela 4 para o SMC.

**Tabela 4 – Análise Granulométrica do SMC**

Malha (Pol.)	Peneiras (mm)	Peso (g)	% passante	% retida
3"	76,2	0,00	100,00	0,00
2"	50,8	0,00	100,00	0,00
1 1/2"	38,1	0,00	100,00	0,00
1"	25,4	313,60	84,20	15,77
3/4"	19,1	249,30	71,70	28,32
3/8"	9,52	753,88	33,80	66,24
4	4,76	192,55	24,10	75,93
10	2	148,80	16,60	83,40
16	1,2	9,61	15,20	84,80
30	0,6	9,88	13,80	86,20
40	0,42	5,45	13,00	87,00
60	0,25	7,67	11,90	88,10
100	0,15	5,69	11,10	88,90
200	0,074	5,50	10,30	89,70
Fundo	-	71,90	0,00	100,00

Fonte: Autoria própria.

Do mesmo modo o ensaio é feito para o BGS, realizando o peneiramento e a coleta de resultados, dispostos da Tabela 5.

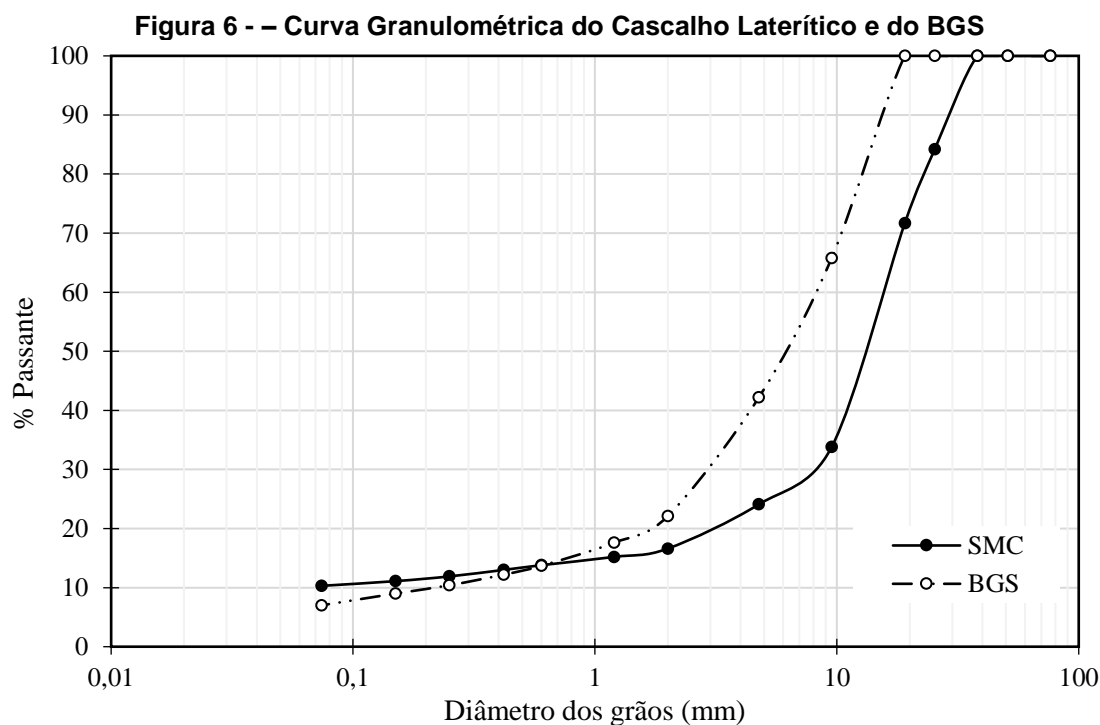


**Tabela 5 – Análise Granulométrica do BGS**

Malha (Pol.)	Peneiras (mm)	Peso (g)	% passante	% acumulada
3"	76,2	0,00	100,00	0,00
2"	50,8	0,00	100,00	0,00
1 1/2"	38,1	0,00	100,00	0,00
1"	25,4	0,00	100,00	0,00
3/4"	19,1	0,00	100,00	0,00
3/8"	9,52	683,22	65,80	34,17
4	4,76	473,21	42,20	57,84
10	2,0	400,94	22,10	77,90
16	1,2	24,60	17,60	82,40
30	0,6	20,79	13,70	86,30
40	0,42	8,12	12,20	87,80
60	0,25	9,95	10,40	89,60
100	0,15	7,36	9,00	91,00
200	0,074	11,19	7,00	93,00
Fundo	0	37,80	0,00	100,00

Fonte: Autoria Própria.

A partir dos dados do peneiramento podem-se traçar a curva granulométrica dos dois solos dispostos em conjunto no gráfico da Figura 6.



Fonte: Autoria Própria.

Com os dados obtidos a partir do peneiramento faz-se o resumo do solo como na Tabela 6 no qual separa-se em porcentagem o percentual de solo na faixa granulométrica de pedregulho, areias e finos.

**Tabela 6 – Resumo da faixa granulométrica do SMC**

Solo	Ø máx. (mm)	Ø min. (mm)	% SMC	% BGS
Pedregulho	-	4,8	75,9	57,8
Areia Grossa	4,8	2	7,5	20,1
Areia Média	2	0,42	3,6	9,9
Areia Fina	0,42	0,074	2,7	5,3
Passando Nº 200	0,074	-	10,3	7
TOTAL			100	100

Fonte: Autoria Própria.

A amostra SMC é classificado com um Pedregulho arenoso com poucos finos, pois possui cerca de 75,9% da faixa granulométrica. É nomeado como A-1-a, segundo a classificação HRB da AASHTO M145 (1973) e pela SUCS é GP (Pedregulho mal graduado).

A Brita Graduada simples se encontra como Pedregulho Arenoso com poucos finos, possuindo cerca de 57,8% dos grãos na faixa de pedregulho, também classificado como A-1- a, pela AASHTO e pela SUCS é um GW (Pedregulho bem graduado).

Como podemos observar a partir do ensaio granulométrico que os dois materiais são pedregulhos com diâmetros variados, ou seja, os grãos menores preenchem os vazios deixados pelos grãos maiores, tornando os solos mais densos.

### 2.2.3 Ensaio de Compactação

Para o ensaio de compactação, padronizado pela NBR 7182 (ABNT, 2016) foram moldados 5 corpos de prova em pontos de umidade diferentes, uma mais próxima da umidade ótima, duas no ramo seco e duas no ramo úmido e compactados, como mostrado na Figura 7.

**Figura 7- Compactação do corpo de prova de SMC**



Fonte: Autoria Própria.

Para o SMC tomou-se cerca de 6 kg de solo por corpo de prova. Padronizou-se a energia intermediária, portanto, de acordo com a Tabela de energias de compactação da ABNT NBR 7182 foi adotado o cilindro e soquete grande, disposto em 5 camadas e 26 golpes por camada, após os ensaios os resultados obtidos foram dispostos na Tabela 7.

**Tabela 7 – Dados de compactação proctor do SMC**

Cilindro Proctor N°		I	II	III	IV	V
Molde	(g)	4416	5234	4396	3408	2988
Volume	(cm <sup>3</sup> )	2199	2136	2165	2138	2201
Água adicionada	(g)	160	280	400	520	640
Umidade compactação	(%)	6,5	8,6	10,6	12,7	14,8
Molde + Solo úmido	(g)	9030	10132	9670	8570	8300
Solo úmido	(g)	4614	4898	5274	5162	5312
Massa específica natural	(g/cm <sup>3</sup> )	2,10	2,29	2,44	2,41	2,41
Massa específica seca	(g/cm <sup>3</sup> )	1,97	2,11	2,20	2,14	2,10

Fonte: Autoria Própria.

O BGS seguiu a mesma norma de compactação, porém utilizou-se 7 kg e para que se obtivesse um Índice de Suporte Califórnia (ISC) similar ou próximo do resultado do SMC e atingisse o ISC de projeto foi aplicada a energia modificada, com 55 golpes nas 5 camadas, moldados com cilindro e soquete grandes, com os resultados dispostos na Tabela 8. Foram utilizadas energias diferentes para compactação porque os materiais possuem características distintas sendo o solo melhorado com cimento (SMC) de natureza coesiva e a brita graduada simples (BGS) granular.

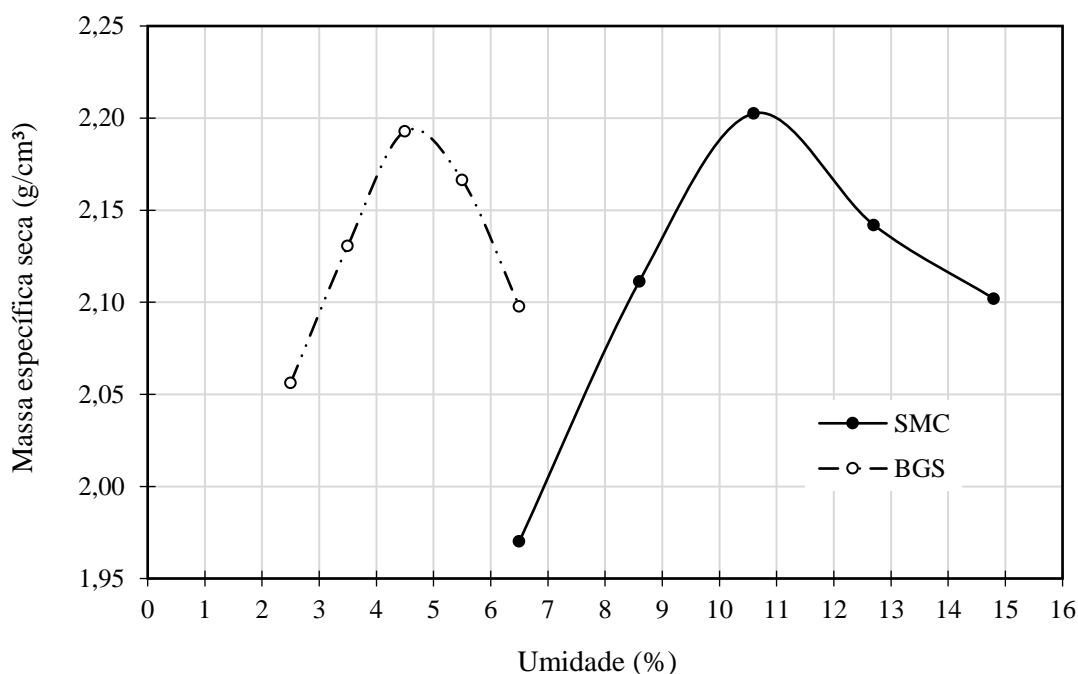
**Tabela 8 – Dados de compactação proctor do BGS**

Cilindro Proctor N°		I	II	III	IV	V
Molde	(g)	5714	4582	4252	2910	4348
Volume	(cm <sup>3</sup> )	2082	2056	2072	2150	2067
Água adicionada	(g)	160	230	300	370	440
Umidade compactação	(%)	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5
Molde + Solo úmido	(g)	10102	9116	9000	7824	8966
Solo úmido	(g)	4388	4534	4748	4914	4618
Massa específica natural	(g/cm <sup>3</sup> )	2,11	2,21	2,29	2,29	2,23
Massa específica seca	(g/cm <sup>3</sup> )	2,06	2,13	2,19	2,17	2,10

Fonte: Autoria Própria.

Com os resultados das Tabelas 7 e 8 foi possível traçar as curvas de compactação conjuntas para comparação dos materiais, obtidas no gráfico da Figura 8.

**Figura 8 – Comparação das curvas de compactação dos solos**



Fonte: Aatoria Própria.

Como observado a partir do ensaio conseguiu-se obter um valor da máxima densidade que o solo obteve, em análise, a compactação do SMC obteve uma densidade maior que a do BGS em uma compactação intermediária chegando a 2,203g/cm<sup>3</sup>, já o solo melhorado com cimento chegou a 2,195g/cm<sup>3</sup> mesmo com uma compactação moderada.

O SMC por ser uma laterita (solo tropical com fração argila do tipo caulinita e apresenta elevada concentração de ferro e alumínio) teve um comportamento típico de solos lateríticos, conforme observado por Nogami & Viillibor (1995) apresentando ramo seco da curva de compactação íngreme e de acordo com Pinto (2006) umidade ótima próxima de 12 a 14% e massa específica aparente seca superior a 1,9g/cm<sup>3</sup>. Esse tipo de solo tem a tendência de apresentar CBR elevados e baixa expansão.

O resultado do BGS está em consonância com o obtido por Pinto (2006) para um pedregulho bem graduado pouco argiloso e base estabilizada, cujos valores típicos de umidade e massa específica aparente seca são aproximadamente 6% e 2,05g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

#### **2.2.4 Ensaio de Expansão**

Para o ensaio da expansão do solo, normatizado pela ABNT NBR 9895/2016, leva-se os corpos de prova moldados para uma submersão em água para saturação por 4 dias, como notado na Figura 9 e anota-se os resultados de leitura do extensômetro (equipamento fixado ao corpo de prova que mede a expansão do solo durante o tempo de ensaio) com resultados dispostos na Tabela 9.



**Figura 9 – Corpos de prova submersos para expansão**



Fonte: Autoria Própria.

**Tabela 9 - Ensaio de expansão do Solo melhorado com cimento na umidade próxima a ótima**

Molde nº 783					
Data	Hora	Leitura	Diferença	%	Leitura
19/ago	10:00	5	0	0	5
20/ago	10:00	5	0	0	5
21/ago	10:00	5	0	0	5
22/ago	10:00	5	0	0	5
23/ago	10:00	5	0	0	5

Altura em mm 114

Fonte: Autoria Própria.

Do mesmo modo o ensaio ocorre com o BGS, com os resultados dispostos na Tabela 10.

**Tabela 10 - Ensaio de expansão BGS do corpo de prova com umidade ótima umidade ótima**

Molde nº 35					
Data	Hora	Leitura	Diferença	%	Leitura
19/ago	10:00	5	0	0	5
20/ago	10:00	5	0	0	5
21/ago	10:00	5	0	0	5
22/ago	10:00	5	0	0	5
23/ago	10:00	5	0	0	5

Altura em mm 114

Fonte: Autoria Própria.

Como demonstrado nas Tabelas 9 e 10, os solos não apresentaram expansão, o que era esperado visto que são solos em que a maior parte é granular, ou seja, não coesivos, que são solos menos expansivos, ambos os solos aprovados para utilização no emprego de base, sub-base e subleito segundo as normas do DNIT.

#### 4.2.5 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

O ISC é o parâmetro de resistência do solo, padronizado pela ABNT NBR 9895/2017, o corpo de prova usado na expansão é retirado da submersão e após 15 minutos de secagem é levado a prensa como na Figura 10 que mede a perfuração de um pistão ao longo de um tempo, as medidas da perfuração de 2,54mm e 5,08mm são os parâmetros do cálculo do ISC, onde é calculada uma pressão calculada e corrigida e adotado o maior valor entre elas.

Figura 10 – Perfuração do corpo de prova na prensa de ISC



Fonte: Autoria Própria.

A partir do ensaio anota-se os valores e calcula-se as pressões, como disposto na Tabela 11.

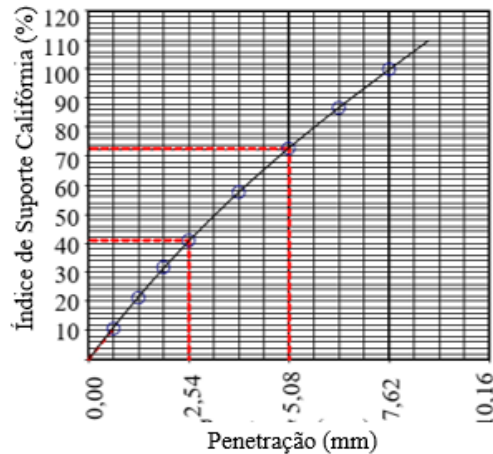
Tabela 11 – Resumo do ISC do solo melhorado com cimento

C.P.	Pressão padrão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Penetração (mm)	Tempo (minuto)	Leitura Extens. (mm)	Pressão		ISC (%)	ISC final (%)
					Calculada (kgf/cm <sup>2</sup> )	Corrigida (kgf/cm <sup>2</sup> )		
II	70,31	2,54	2	362	41,1	41,1	58,4	69
	105,46	5,08	4	641	72,7	72,7	69	
III	70,31	2,54	2	592	67,1	68,5	97,5	113,2
	105,46	5,08	4	1041	118	119,4	113,2	
IV	70,31	2,54	2	505	57,3	61,4	87,3	97,9
	105,46	5,08	4	881	99,9	103,2	97,9	

Fonte: Autoria Própria.

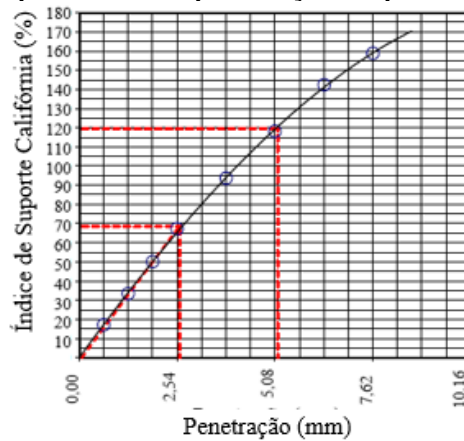
A partir dos valores faz-se os gráficos das Figuras 11, 12 e 13, onde o eixo das abcissas é a penetração em mm e das ordenadas o ISC em porcentagem.

**Figura 11– Comportamento à penetração do pistão do SMC no CP II**



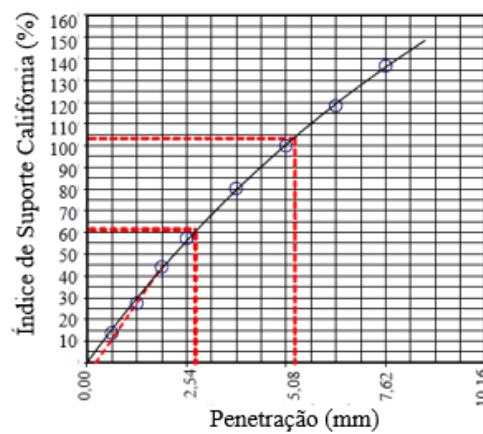
Fonte: Autoria Própria.

**Figura 12– Comportamento à penetração do pistão do SMC no CP III**



Fonte: Autoria Própria.

**Figura 13 - - Comportamento à penetração do pistão do SMC no CP IV**



Fonte: Autoria Própria.

Do mesmo modo o ensaio é realizado para os corpos de prova moldados com o BGS, como vemos os resultados na Tabela 12.

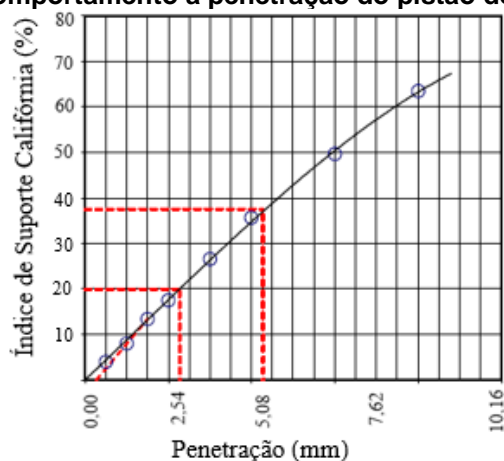
**Tabela 12 – Ensaio de ISC do BGS**

C.P.	Pressão padrão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Penetração (mm)	Tempo (minuto)	Leitura Extens. (mm)	Pressão		ISC %	ISC FINAL (%)
					Calculada (kgf/cm <sup>2</sup> )	Corrigida (kgf/cm <sup>2</sup> )		
II	70,31	2,54	2	154	17,5	19,9	28,3	35,6
	105,46	5,08	4	314	35,6	37,5	35,6	
III	70,31	2,54	2	424	48,1	54,6	77,7	100,4
	105,46	5,08	4	889	100,8	105,8	100,4	
IV	70,31	2,54	2	295	33,5	38,6	54,9	68,4
	105,46	5,08	4	602	68,3	72,1	68,4	

Fonte: Autoria Própria.

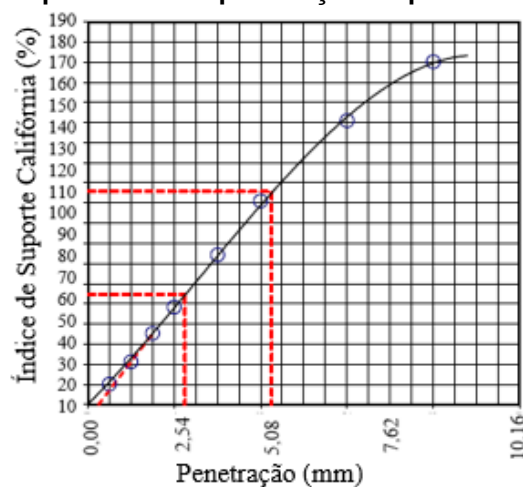
Do mesmo modo é traçado o gráfico para o BGS, como disposto nos gráficos das Figuras 14, 15 e 16.

**Figura 14– Comportamento à penetração do pistão do BGS no CP II**



Fonte: Autoria Própria.

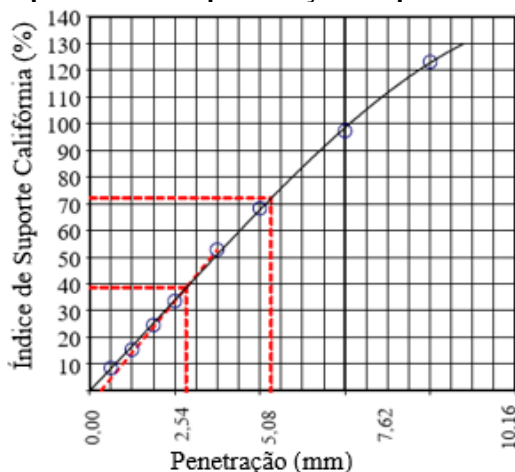
**Figura 15 – Comportamento à penetração do pistão do BGS no CP III**



Fonte: Autoria Própria.



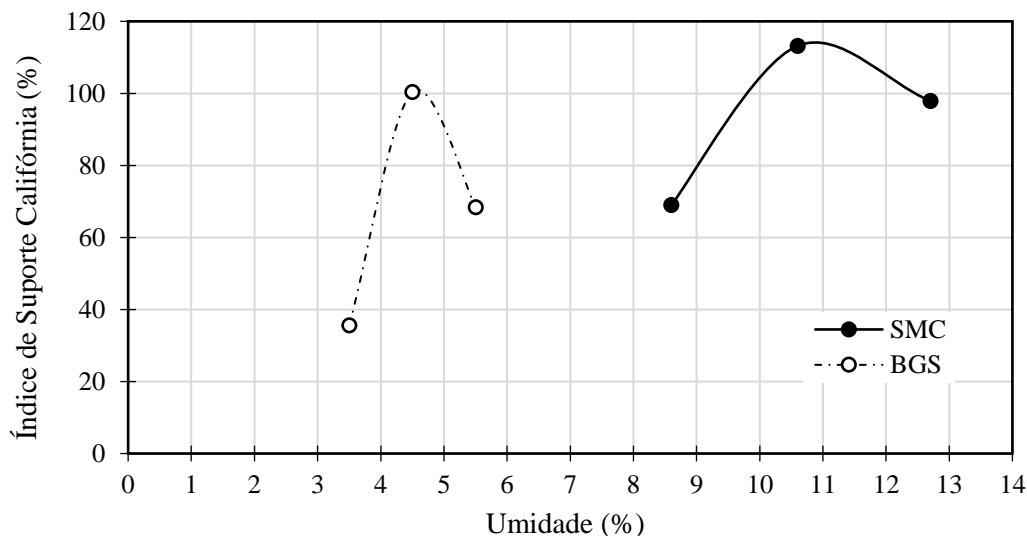
**Figura 16 – Comportamento à penetração do pistão do BGS no CP IV**



Fonte: Autoria Própria.

Monta-se o gráfico da Figura 17 para uma comparação entre o ISC final dos dois materiais para melhor visualização.

**Figura 17 – Comparação entre o ISC do SMC e BGS**



Fonte: Autoria Própria.

Pela análise, observa-se que o desenvolvimento de resistência no ensaio foi maior no solo melhorado com cimento, chegando a 114,3% de ISC, já o BGS chegou a 101,7% na umidade ótima, o solo melhorado com cimento obteve cerca de 12,39% mais de resistência.

## 5. CONCLUSÃO

Conclui-se para esse presente trabalho que, os solos estudados trouxeram resultados satisfatórios para a pesquisa, apresentando características positivas no emprego de obras de pavimentação e estando de acordo com os parâmetros de fiscalização nos quesitos mencionados.

Diante os resultados da granulometria conclui-se que as amostras apresentaram uma faixa granulométrica bem graduada sendo considerados pedregulhos, o que é o ideal para pavimentação de base e sub-base. Essa faixa granulométrica influenciou bons resultados na compactação do solo já que as partículas pequenas possibilitam o encaixe entre os vazios das partículas maiores. Para a expansão trouxe ótimos resultados, visto que o limite expansivo da camada mais exigente é de 0,5%, tanto o SMC quanto o BGS não expandiram, ou seja, o que é bom pois a alta expansividade do solo poderia acarretar problemas na pavimentação, a diferença volumétrica acarretaria futuras trincas.

Para análise de resistência teve-se resultados maiores que o mínimo exigido para pavimentação, sendo a camada de base mais exigente, maior ou igual a 80%, o SMC apresentou ISC de 114,3% e o BGS de 101,7% na umidade ótima, demonstrando bons resultados no controle tecnológico.

No contexto geral, a trabalhabilidade dos solos é analisada em campo. O SMC é produzido logo na jazida misturado em proporção de cimento para um volume de material enquanto o BGS é um material usinado e pronto, no controle de umidade do solo o SMC tem um risco maior de ultrapassar o limite de mais ou menos 2, o que raramente acontece com o BGS por questões do material apresentar uma textura mais uniforme, isso implica em um atraso de obra visto que o material deverá passar por uma escarificação e secagem ao sol. Na compactação o BGS apresenta maior trabalhabilidade, o material que chega uniforme é espalhado na pista e compactado diretamente, raramente há discrepância no grau de compactação, enquanto o SMC pode chegar na obra com torrões que deverão ser quebrados, podendo alterar a umidade e atrasando a execução do serviço. Ou seja, a partir da análise conclui-se que o BGS é um solo que possui uma melhor trabalhabilidade quando comparado ao SMC, pois tem uma maior uniformidade.

Portanto, conclui-se que o SMC foi a melhor opção de solo para a camada de base, pois na região centro-oeste a laterita é encontrado com facilidade, o solo é mais resistente, tem menor custo quando comparado com BGS. A brita graduada simples entra como alternativa quando não há disponibilidade de solo com as características necessárias para utilização dessa camada (como em outras regiões do país), ou quando definido em projeto como no caso do pavimento rígido da BRT.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO M 145**: Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes, 1973.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253**: Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16092**: Solo – Determinação do teor de umidade – Método expeditos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.

BALBO, Jose Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo; Oficina de Textos, 2007.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2018 – Relatório gerencial**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2018. Disponível em: <[www.cnt.gov.br](http://www.cnt.gov.br)>.

CNT. **Por que os pavimentos das rodovias no Brasil não duram?** Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2018. Disponível em: <[www.cnt.gov.br](http://www.cnt.gov.br)>.

DENATRAN. **Frota de veículos – 2019**. Brasília: Departamento Nacional do Trânsito, 2019. Disponível em <[www.denatran.gov.br](http://www.denatran.gov.br)>.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ES 303/97**: Pavimentação – base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 036/95**: Cimento Portland – recebimento e aceitação. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 083/98**: Agregados – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 092/94**: Solo – determinação da massa específica aparente “in situ”, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 213/94**: Solos – determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 137/2010- ES**. Pavimentação – Regularização do subleito – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 139/2010- ES**. Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 141/2010- ES**. Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 142/2010- ES**. Pavimentação – Base de solo melhorado com cimento – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 049/2013- ES**. Pavimentação – Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrmas deslizantes – Especificação de serviços. Rio de Janeiro, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 160/2012- ME**. Solos – Determinação da expansibilidade – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT IPR - 719**. Manual de Pavimentação. 3<sup>o</sup> edição. Rio de Janeiro, 2006.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PROCTOR, R.R. **Fundamental Principles of Soil Compaction**, Engineering News Record, 1933.

VILLIBOR, Douglas F.; NOGAMI, Job S.; CINCERRE, José R.; SERRA, Paulo R. M.; NETO, Alexandre Z. **Pavimentos de Baixo Custo para Vias Urbanas: Bases alternativas com Solos Lateríticos, Gestão de Manutenção de Vias Urbanas**. 2. ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 196 p.