

## **BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CAROLINA RAMOS LEITE**

### **USO DE BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO EM PAVIMENTAÇÕES**

**CARAGUATATUBA**

**2021**

**CAROLINA RAMOS LEITE**

**USO DE BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO EM  
PAVIMENTAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Câmpus Caraguatatuba como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Professor Leandro Cesar de Lorena Peixoto

**CARAGUATATUBA**

**2021**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
Serviço de Biblioteca e Documentação do IFSP Câmpus Caraguatatuba

L533u Leite, Carolina Ramos  
    Uso de brita graduada tratada com cimento em  
    pavimentações. / Carolina Ramos Leite. -- Caraguatatuba,  
    2022.  
    22 f. : il.

    Orientador: Prof. Dr. Leandro César de Lorena Peixoto.  
    Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em  
    Engenharia Civil) -- Instituto Federal de São Paulo,  
    Caraguatatuba, 2022.

    1. Engenharia Civil. 2. BGTC. 3. Pavimentação. 4.  
    Materiais. 5. Semirrígido. I. Peixoto, Leandro César de Lorena,  
    orient. II. Instituto Federal de São Paulo. III. Título.

CDD: 624

ATA N.º 16/2022 - DAE-CAR/DRG/CAR/IFSP

Ata de Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **JO DE BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO EM PAVIMENTAÇÕES** apresentado(a) pelo(a) aluno(a) **Carolina Ramos Leite (CG1701126)** do Curso **SUPERIOR EM BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**, (Câmpus Câmpus Caraguatatuba). Os trabalhos foram iniciados às 17:00 do dia 18 de fevereiro de 2022 pelo(a) Professor(a) presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

Membros	IES	Presença (Sim/Não)	Aprovação/Conceito (Quando Exigido)
Leandro César de Lorena Peixoto (Presidente/Orientador)	IFSP	Sim	Aprovado
Elaine Regina Barreto (Examinador 1)	IFSP	Sim	Aprovado
João Dalton Daibert (Examinador 2)	IFSP	Sim	Aprovado

**Observações:**

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo da monografia, passou à arguição do(a) candidato(a). Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo(a) aluno(a), tendo sido atribuído o seguinte resultado:

Aprovado(a)                       Reprovado(a)

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Câmpus Caraguatatuba, 18 de fevereiro de 2022

Avaliador externo:  Sim  Não

Assinatura:

Documento assinado eletronicamente por:

- Leandro Cesar de Lorena Peixoto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/02/2022 22:56:33.
- Elaine Regina Barreto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/02/2022 10:03:24.
- Joao Dalton Daibert, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/02/2022 09:36:59.
- Carolina Ramos Leite, CG1701126 - Discente, em 21/02/2022 23:32:49.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 18/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifsp.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 299631  
Código de Autenticação: 5b3adc61c4



Dedico esse trabalho a minha mãe, Eliane, por todo esforço para me proporcionar as melhores condições de estudo, e pelo apoio, juntamente à minha irmã, Rafaela, e ao meu noivo, Pablo. Aos professores do Instituto Federal de São Paulo – campus Caraguatatuba, pela dedicação e ensinamentos recebidos. Às colegas de classe, Cláudia e Michele, pelo companheirismo e dedicação no curso e na vida, ao longo desses cinco anos.

*“A mente que se abre a uma nova ideia  
jamais voltará ao seu tamanho  
original.”*

**(Albert Einstein)**

**RESUMO:** Durante a década de 1910, na Europa, iniciaram-se os estudos de estabilidade dos solos utilizando cimento. A fim de obter um material com baixo custo, a partir de concreto magro, para base de pavimentos, foi que desenvolveu-se a brita graduada tratada com cimento – BGTC. A BGTC é resultado da mistura usinada de brita, cimento e água, usada principalmente em pavimentações semirrígidas. No Brasil, é usada geralmente como base para pavimentos asfálticos ou de intertravados. Em estradas onde não há fluxo intenso e o tráfego é majoritariamente de veículos de carga e deseja-se investir um menor valor, seu uso é recomendado. A resistência mecânica deste material é influenciada pela porção de cada elemento na mistura, a origem mineral destes e pela forma de aplicação, de compactação no momento da pavimentação. O objetivo deste trabalho é reunir informações sobre uso, resistência, execução e fabricação de BGTC, extraídas por meio de revisão bibliográfica de diversas fontes científicas, como teses, normas técnicas e trabalhos acadêmicos, e estudar a viabilidade do uso de pavimentos semirrígidos no município de Caraguatatuba, no litoral norte do estado de São Paulo.

**Palavras-chaves:** Brita graduada tratada com cimento; BGTC; Pavimentação; Materiais; Semirrígido.

**ABSTRACT:** During the 1910s, in Europe, soil stability studies using cement began. In order to obtain a material with low cost, from lean concrete, for the base of pavements, the graded gravel treated with cement - BGTC was developed. BGTC is the result of a machined mixture of crushed stone, cement and water, mainly used in semi-rigid paving. In Brazil, it is generally used as a base for asphalt or interlocking pavements. On roads where there is no intense flow, the traffic is mostly from cargo vehicles and intends to invest a smaller amount, use is recommended. The mechanical strength of this material is influenced by the portion of each element in the mixture, their mineral origin and by the form of application and compaction at the time of paving. The objective of this work is to gather information on the use, resistance, execution and manufacture of BGTC, extracted through a bibliographic review of several scientific sources, such as books, theses, technical standards and academic works, and to study the feasibility of using semi-rigid pavements in the municipality of Caraguatatuba, located on the northern coast of the state of São Paulo.

**Keywords:** Graded crushed stone treated with cement; BGTC; Paving; Materials; semi-rigid.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO GERAL.....	2
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	2
3.1. PAVIMENTO RODOVIÁRIO .....	2
3.2. CONSTRUÇÃO DE VIAS.....	3
3.2.1. PAVIMENTAÇÃO FLEXÍVEL, SEMIRRÍGIDAS E RÍGIDAS.....	3
3.3. DEFINIÇÃO TÉCNICA DO MATERIAL.....	4
3.3.1. DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS COMPONENTES.....	4
3.4. RECOMENDAÇÕES DE UTILIZAÇÃO DA BGTC.....	5
3.4.1. CLIMA.....	5
3.4.2. TRÁFEGO.....	6
3.4.3. VIDA ÚTIL E MANUTENÇÃO .....	6
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	7
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	7
5.1. CARACTERIZAÇÃO DO PAVIMENTO.....	7
5.2. APLICAÇÃO DO MATERIAL .....	7
5.3. VIABILIDADE DO USO EM CARAGUATATUBA/SP .....	10
6. CONCLUSÃO.....	14
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	15

## 1. INTRODUÇÃO

A grande marca para o desenvolvimento das estradas e rodovias do Brasil foram conhecidos como “anos dourados”, compreendido no período entre 1956 a 1961, durante o governo de Juscelino Kubitschek, quando foi fortemente defendida e executada a política econômica de desenvolvimento.

De acordo com Rosilene Dias Montenegro, doutorada em História e professora na Universidade Federal de Campina Grande, o Brasil era até então um país agrário, ou seja, não urbanizado. As distâncias mais longas, entre estados por exemplo, eram realizadas por meio de trens. Porém, as linhas férreas não eram tão extensas, o que tornava grande área do país inacessível, rural, ou não desenvolvida. Um histórico publicado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, relata que até a década de 50 o país não somava 1000 km de extensão entre rodovias federais e estaduais.

Foi durante este governo que ocorreu a grande mudança. Com o processo de industrialização, começou a interligação do país por meio das rodovias, ligação de áreas isoladas e até a ocupação de novas regiões, inúmeras construções foram iniciadas, tanto de obras particulares, grandes indústrias, como obras públicas, por exemplo a capital, Brasília. Com o incentivo das grandes montadoras de carros vindas para o Brasil, na década de 80 o país já passava dos 47.000 km de extensão da malha rodoviária, interligando todas as capitais estaduais, exceto as capitais do estado de Amazonas e Pará, Manaus e Belém, respectivamente.

As primeiras rodovias do país foram construídas por métodos simplórios e imaturos, poucas eram pavimentadas, as que recebiam uma camada de pavimento seguiam métodos e modelos europeus de pavimentação.

Portanto, na década de 60, no Brasil, eram usadas pavimentações do tipo flexíveis, ou seja, com bases granulares, constituídas principalmente de Brita Graduada Simples – BGS. Mas, com o desenvolvimento do país, houve aumento progressivo no tráfego acarretando deterioração cada vez mais rápida no pavimento. Com isso, tornou-se necessário desenvolver um tipo de pavimento que apresentasse maior durabilidade, e então, na década de 70, foi trazido ao Brasil a Brita Graduada Tratada com Cimento – BGTC – material a ser usado como base ou sub-base de

pavimentos asfálticos ou intertravados, constituindo a pavimentação do tipo semirrígida.

A BGTC surgiu com o intuito de estabilizar materiais pétreos de solos com a adição de cimentos, teve seu estudo iniciado na Europa, entre 1910 e 1922, como “concreto magro compactado”, em 1960 tornou-se objeto de estudo por apresentar dificuldades na execução (BALBO, 2002).

Este material é constituído da mistura usinada de brita granular, cimento Portland e água, com a possível adição de aditivos, em dosagens pré-determinadas experimentalmente para seu uso específico, atendendo aos padrões de qualidade (ARTERIS, 2016).

## 2. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo principal apresentar uma revisão bibliográfica sobre os benefícios do uso de Brita Graduada Tratada com Cimento em camadas de base ou sub-base de pavimentações semirrígidas, através de informações coletadas na literatura de diferentes bancos de dados, como normas técnicas e trabalhos acadêmicos e científicos.

### 2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Através da revisão de bibliografias, objetiva-se agregar fundamentação teórica sobre a Brita Graduada Tratada com Cimento, apresentar os diversos tipos de tráfego e climas, afim de comparar e indicar onde o material desenvolve melhor resistência, apontar as vantagens e desvantagens de seu uso, diferenciar bases flexíveis e bases semirrígidas, e ainda estudar a viabilidade do uso deste material no município de Caraguatatuba/SP.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1. PAVIMENTO RODOVIÁRIO

São denominadas rodovias as vias de transporte interurbanos, podendo ser classificadas como federais, aquelas que fazem a conexão entre estados, ou estaduais, que realizam a ligação entre municípios de um mesmo estado. Estas podem ou não serem pavimentadas.

De acordo com as notas de aula publicadas pelo professor Geraldo Marques, da UFJF, toda via pavimentada, seja rodovia, rua, ou outra, é a qual recebe, após as obras de terraplanagem e preparo do leito natural do terreno, camadas denominadas sub-base, seguidas pela base e posteriormente a estrutura chamada de “pavimento”, referente a superfície cuja função é oferecer segurança e conforto para o tráfego. Cada camada é constituída de diferente material, ou seja, apresentam entre si resistência e deformação variadas.

### 3.2. CONSTRUÇÃO DE VIAS

De modo efetivo, já com o projeto executado, a construção de vias públicas se dá em duas etapas, primeiramente de terraplanagem, onde é executado a abertura do caminho, desmatamento e limpeza do local, o estaqueamento e a terraplanagem. A segunda, é a etapa de pavimentação, enquadrando as camadas de reforço do subleito, se necessário, e a execução de sub-base, base e do revestimento. O pavimento pode ser classificado em três tipos: flexível, semirrígido ou rígidos, dependendo do material que compõe cada camada.

#### 3.2.1. PAVIMENTAÇÃO FLEXÍVEL, SEMIRRÍGIDAS E RÍGIDAS

Uma pesquisa publicada pelo Centro de Pesquisas Rodoviárias, afirma que a DERSA – Desenvolvimento Rodoviária S. A., empresa pública privada, administrada pelo governo do Estado de São Paulo, que possui a concessão de algumas rodovias, é uma das empresas que utilizam de BGTC como base de pavimentos asfálticos semirrígidos, e no uso de BGS – brita graduada simples – como base e a BGTC como sub-base para pavimentos semirrígidos invertidos.

Pavimentos asfálticos semirrígidos são caracterizados por possuírem a camada de rolamento com material flexível, e as camadas de base ou sub-base rígidas, constituídas de material estabilizado com adição de cimento, segundo uma matéria publicada no blog “Mapa da obra”, da marca Votorantim Cimentos. Ainda baseado nessa fonte, pode se afirmar que aqueles pavimentos construídos com placas concretadas na camada de rolamento, chamados pavimentos rígidos, entre os três tipos de pavimentação, é o que apresenta maior resistência a cargas estáticas, e à ação química dos óleos evacuados dos veículos, logo requer menos manutenção. Seu uso é indicado, por exemplo, em paradas de ônibus, pontos onde acontecem

muitas frenagens de veículos. Já o pavimento flexível é constituído de camada de rolamento e bases de material flexível, isto é, revestimento asfáltico e bases granulares, concebidas de brita graduada.

### 3.3. DEFINIÇÃO TÉCNICA DO MATERIAL

De acordo com uma designação publicada pela ARTERIS, em 2016, a brita graduada tratada com cimento é a definição da junção de agregados minerais, cimento Portland e água, em alguns casos específicos também há a junção de aditivos à mistura, esta deve ser realizada em usina. A proporção dos materiais foi determinada experimentalmente, a fim de atender padrões de qualidade pré-definidos de acordo com uso específico do material.

Os agregados minerais que compõe a mistura, podem ser tanto de origem basáltica, como granítica. Porém estudos realizados pela CCR NovaDutra, empresa concessionária da BR-116 (Rodovia Presidente Dutra – trecho RJ/SP), apontam que os basálticos apresentam maior resistência a compressão simples, a tração e melhor módulo dinâmico, que se refere a rigidez. Este mesmo estudo apresentou também, através de resultado dos testes realizados, que quanto maior o teor de cimento, mais resistente e rígida será a camada, mas quando o teor de umidade é aumentado obtém-se menor rigidez e resistência.

#### 3.3.1. DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS COMPONENTES

A EM 036/1995 do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER determina que a usinagem da mistura pode utilizar os diferentes tipos de cimento, como: Cimento Portland Comum (CP I e CP I-S nas classes 25, 32 e 40), de acordo com a NBR 5732/1991; Cimento Portland de Alto Forno (CP III nas classes 25,32 e 40), especificado pela NBR 5735/1991; ou Cimento Portland Pozolânico (CP IV nas classes 25 e 32), determinado pela NBR 5736/1991.

Enquanto a água a ser usada não pode conter matérias orgânicas, conforme especificado pela NBR NM 137/1997 que determina os padrões de água para ser utilizada na preparação de argamassas e concretos.

Em relação ao agregado que compõe a mistura usinada, a ME 089/94 do DNER, estabelece que deve ser obtido da britagem de rocha sã, e separados apenas as britas duras, não lamelares (caso haja, é permitido numa proporção inferior a 10%),

nem alongadas, e posteriormente lavadas, a fim de livrarem-se das partículas macias ou estranhas à pedra, que podem prejudicar a resistência final do material. Também devem ser submetidas ao ensaio de abrasão na máquina Los Angeles, conforme determinado pela NBR 7211/2009, o desgaste não pode ser superior a 50%. O índice de forma necessita representar entre 0,5 e 1, com base na NBR 7809/2006, que tem fator 1 como forma ideal. O último critério para definição do agregado ideal é o ensaio de durabilidade, estabelecido ainda pela ME 089/1994 do DNER, a qual descreve que a perda ideal no sulfato de sódio precisa ser menor que 20% e no sulfato de magnésio inferior a 30%.

### 3.4. RECOMENDAÇÕES DE UTILIZAÇÃO DA BGTC

Como todo material, a BGTC requer cuidados e detêm padrões para aplicação e manutenção.

#### 3.4.1. CLIMA

Baseado no artigo publicado por Silva Filho, na revista Núcleo do Conhecimento, em 2018, devido ao material ser resultado de uma mistura na qual contém água e cimento, é preferível que sua aplicação seja executada a temperatura ambiente próximo aos 27°C, com a temperatura muito superior a este nível, ocorre a evaporação precoce da água que hidrata o cimento, antecipando o processo de cura do concreto, tendo a finalidade de fazer com que o concreto permaneça saturado até que os espaços ocupados pela água na mistura, tornem se preenchidos pelo aglomerante, afim de resultar em um concreto menos poroso e mais resistente.

O processo de cura do concreto acontece, quando em contato com a água o cimento realiza uma liberação de energia, uma reação exotérmica, que propicia a dilatação dele. Caso ocorra rapidamente, devido a diferença entre o fator de dilatação dos componentes, a dilatação do cimento não preenche todos vazios do concreto, acarretando microfissuras na superfície de contato entre o agregado e o cimento solidificado, causando trincas e resultando numa menor resistência.

Logo, em casos de clima quente e seco, como em grande parte do nordeste brasileiro, o material requer cuidados especiais na mistura e na forma de aplicação, como implementação de aditivos retardadores de pega, ou na técnica de execução, aplicando uma fina camada de emulsão de RR-2C (ligante asfáltico) sobre a BGTC,

imediatamente após sua compactação, com o objetivo de bloquear a evaporação precoce da água.

#### 3.4.2. TRÁFEGO

Segundo o artigo publicado por Andrade, em 2017, os pavimentos semirrígidos são ideais para tráfegos de cargas por eixo, ou seja, seu uso é recomendado em estradas com tráfego de veículos pesados, como caminhões ou carretas, onde o volume e o fluxo do trânsito não sejam intensos, para que não haja cargas estáticas.

#### 3.4.3. VIDA ÚTIL E MANUTENÇÃO

Ainda que realizado a pavimentação de acordo com as normas técnicas, a degradação é algo que acontece naturalmente. A patologia mais encontrada é a fissuração, sendo a maior problemática do uso deste material e a mais estudada.

De acordo com a ABNT NBR 6118/2003, a fissuração em elementos estruturais de concreto é inevitável, mesmo quando dosado em quantidades ótimas, por motivo de variabilidade dos componentes, baixa resistência do concreto à tração, retração plástica térmica, ou pelas reações químicas do mesmo.

Um experimento, desenvolvido pela PUC-Rio – Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro, inseriu Borracha Moída de Pneu – BMP como agregado, à BGTC, juntamente com agregados minerais de origem granítica. Este estudo mostrou que com a adição, há redução na resistência a compressão e a tração em torno de 30%, porém ocorre grande ganho de resistência nos ensaios cíclicos e estáticos, além de maior absorção de energia, melhora geotécnica, e, principalmente, significativa redução nas deformações permanentes e fissuras, auxiliando ainda ao meio ambiente, reduzindo os impactos causados pelos descartes de pneus em aterros sanitários.

Outro estudo, realizado desta vez num trecho da BR-116, na Bahia, apontou que outra alternativa para impedir que a fissuração da camada de BGTC resulte em danos à camada de revestimento asfáltico, foi a inserção de geogrelhas de 1 metro de largura, por toda extensão da fissura, antes da aplicação do Binder, material responsável pela ligação entre a camada de base e a de revestimento, que objetiva inibir a penetração de águas e distribuir as cargas do pavimento.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desse estudo de revisão bibliográfica foram analisados diversos artigos científicos, teses e normas técnicas relacionadas ao tema proposto, e selecionados os quais apresentavam melhores conteúdos e informações.

A partir da seleção destes, foi realizada uma leitura analítica destacando as principais informações acerca do assunto. Essas foram reunidas e correlacionadas neste trabalho, a fim de propagar maior conhecimento sobre a utilização do material Brita Graduada Tratada com Cimento, tanto em bases, como em sub-bases de pavimentações asfálticas ou de intertravados, caracterizando a pavimentação semirrígidas, destacando a viabilidade de seu uso no município de Caraguatatuba – São Paulo.

#### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DO PAVIMENTO

O uso de BGTC no pavimento, caracteriza pavimentação semirrígida, pois possuem a brita graduada, um agregado mineral ideal para ser utilizado por ser inerte, isto é, não reage com os demais materiais, além de ser muito resistente, a adição do cimento, que é essencial para preencher os vazios entre as pedras e quando transformado em concreto, ou seja, cristalizado, também adquire alta resistência a tração e a compressão. Porém, não é um pavimento que suporta grandes cargas estáticas, devido a isso, seu uso é recomendado para vias com volume leve de veículos.

O tipo de pavimentação mais utilizado em vias públicas no Brasil, principalmente pelo fato de ser mais econômico em um primeiro momento, de execução, é o flexível. Apesar do baixo custo de inserção desse pavimento, o mesmo se degrada com mais facilidade e requer muita manutenção. Os reparos são fáceis de serem executados, mas devido a frequência com que ocorrem, tornam-se inviáveis para algumas vias.

##### 5.2. APLICAÇÃO DO MATERIAL

Para a execução de bases ou sub-bases com esse material, é necessário que o transporte entre a usina e o local de aplicação não ultrapasse o período máximo de

três horas, uma vez que passado este período se dá início a cristalização do cimento, o que por final pode interferir negativamente na trabalhabilidade da aplicação do material sobre o leito a ser pavimentado, juntamente com a diminuição da resistência final do pavimento, ou seja, diminuindo sua vida útil devido ao aparecimento precoce de fissuras.

Para a aplicação do material, é necessário a realização de um estudo do solo, aferindo os padrões de limite de plasticidade e liquidez, definindo um teor de umidade ótimo e a compactação do mesmo, afim de obter um solo estável. A seguir, com o solo natural limpo e compactado dentro dos padrões estabelecidos após a testagem do solo, faz-se necessário a dispersão de água não potável em pequena quantidade, sem exceder o teor de umidade ideal do leito e para não intervir na umidade da BGTC.



Figura 1: Leito compactado e umedecido. Fonte: Autor.

Com o leito preparado, a mistura usinada, pode ser despejada e distribuída sobre toda a extensão da via com o auxílio de um trator motonivelador.



Figura 2: Despejamento do material já em solo preparado. Fonte: Autor.



Figura 3: Distribuição do material pelo terreno com motoniveladora. Fonte: Autor.

Posteriormente é realizado o adensamento do material utilizando um trator com rolo compactador liso. A dispersão do material deverá ser realizada em uma camada mais espessa que a estipulada em projeto, visto que após a compactação haverá diminuição no volume e atingirá a medida projetada.



Figura 4: Compactação com rolo vibro acabador. Fonte: Autor.

Um ensaio de compactação, realizado pela CCR NovaDutra, dentro dos parâmetros da ABNT NBR 7182/1986, apontou que quando a compactação é realizada com energia modificada, ou seja, com 55 golpes, apresenta maiores valores de resistência a tração, a compressão simples e de rigidez, do que quando utilizada energia intermediária, 26 golpes. Portanto, em obra, com o rolo vibro acabador é recomendado que a máquina passe 2 vezes sobre cada trecho, para obter a compactação ideal.

### 5.3. VIABILIDADE DO USO EM CARAGUATATUBA/SP

Com base nos dados apresentados no item “revisão bibliográfica”, o uso da BGTC é recomendado para áreas onde há tráfego de veículos pesados, mas que não haja parada desses veículos, por isso é usado comumente em rodovias. Um exemplo de onde a aplicação do pavimento semirrígido seria eficaz em Caraguatatuba é na rodovia BR 101 – trecho conhecido como Rio-Santos, a rodovia corta a cidade de Norte e Sul, em alguns pontos há travessia de pedestres, trechos sinuosos e cruzamentos em nível, logo não seria interessante o uso do material nesses locais, porém em trechos retilíneos e com velocidade constante seria uma boa opção. Para exemplificar, foi selecionado um trecho de 1 quilometro de extensão da rodovia, que é reto e sem paradas, na região central da cidade, entre os bairros Jardim Aruan e Jardim Britânia.

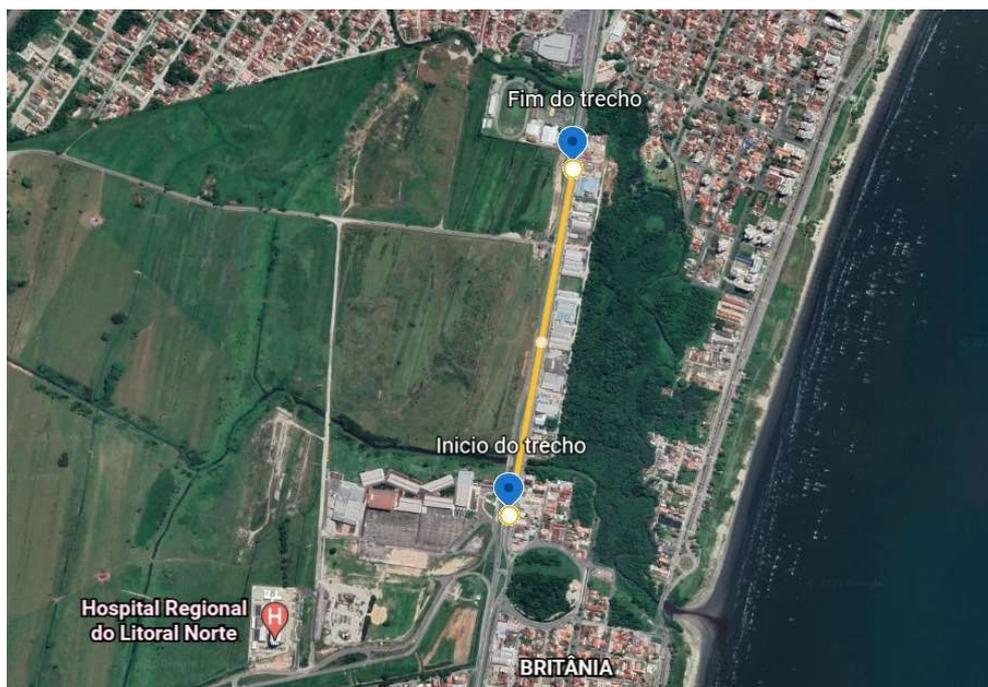


Figura 5: Trecho selecionado da BR 101 para estudo. Fonte: Google Earth.

O trecho selecionado recebe muitos veículos pesados, por fazer parte da rota de escoamento do porto de São Sebastião e do porto de Santos, para cidades industriais, como São José dos Campos, Jacareí e São Paulo.

Atualmente, é um trecho com pavimentação asfáltica, do tipo flexível. Com o peso dos veículos, as camadas de base não suportam e se deformam, como pode ser observado nas figuras 6, 7 e 8, extraídas do site “*Google Street View*”.



Figura 6: Deformação da camada de pavimentação fina. Fonte: Autor.



Figura 7: Deformação da camada de pavimentação final. Fonte: Autor.



Figura 8 Deformação da camada de pavimentação final. Fonte: Autor.

Ao observar as imagens é notório que a deformação é maior na faixa da direita, por onde o tráfego de veículos pesados é maior.

Para fins de comparação, foram extraídas as dimensões desse trecho pelo aplicativo “Google Earth”, resultando em 1 quilometro de extensão por 6 metros de largura, dado que é uma via dupla, utilizou-se a medida de 12 metros em uma camada de 15 centímetros. Utilizando como base de custos a SINAPI, não desonerado, de São Paulo, do mês 11 de 2021, foram comparados os custos para utilização de base de BGS – pavimentação flexível, e base de BGTC – pavimentação semirrígida, obtendo-se a tabela comparativa abaixo.

Tabela 1 Comparação de custos

FORTE	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UN	QUANT	CUSTO UNITÁRIO	TOTAL
SINAPI	96393	USINAGEM DE BRITA GRADUADA SIMPLES	M3	1800	R\$ 112,00	R\$ 201.600,00
SINAPI	96394	USINAGEM DE BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO	M3	1800	R\$ 158,11	R\$ 284.598,00

Visivelmente o custo da usinagem de brita graduada simples é menor para o momento da execução do pavimento, portanto como não é o tipo de pavimento mais

indicado para o local, com baixa resistência para o tipo de tráfego da via, a longo prazo, terá sido investido um valor muito maior em manutenção, se comparado ao uso do material mais indicado, a brita graduada tratada com cimento.

## 6. CONCLUSÃO

Através desse estudo é possível concluir diversos parâmetros ideais para o uso da BGTC (Brita Graduada Tratada com Cimento) em pavimentações semirrígidas, sendo eles:

- Tráfego contínuo de veículos pesados, por exemplo em rodovias;
- Municípios nos quais a temperatura média ambiente seja próxima aos 27°C;
- Implementação de aditivos para melhorar a eficiência e aplicabilidade;
- Mistura composta por agregados extraídos de rocha sã, cimento Portland e água sem matéria orgânica;

Porém, ainda que seguindo todos os parâmetros ideais de utilização, pode ocorrer a deterioração, que é comum após o início do uso da via e as ações do tempo. A principal patologia apresentada pelo material é a fissuração, e pode ser minimizada já na aplicação com a adição de BMP – borracha moída de pneu, ou na manutenção sendo possível a inserção de geogrelhas, sobre a fissura na camada de base, para que não propague a patologia à camada de revestimento.

Em Caraguatatuba, seria viável a implantação desse tipo de pavimento, semirrígido, na rodovia Rio-Santos, BR 101, por atender aos parâmetros de utilização do material.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### NORMAS TÉCNICAS E REFERÊNCIA DE CUSTOS:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **ABNT NBR 5732, Cimento Portland comum.** Rio de Janeiro. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **ABNT NBR 5735, Cimento Portland de alto forno.** Rio de Janeiro. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **ABNT NBR 5736, Cimento Portland Pozolânico.** Rio de Janeiro. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **ABNT NBR 6118, Projeto de estruturas de concreto.** Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **ABNT NBR 7182, Ensaio de compactação Proctor.** Rio de Janeiro. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **ABNT NBR 7211, Agregados para concreto.** Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **ABNT NBR 7809, Agregado graúdo.** Rio de Janeiro. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **ABNT NBR NM 137, Argamassa e concreto.** Rio de Janeiro. 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER. **DNER ME 089, Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio e de magnésio.** 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER. **DNER EM 036, Cimento Portland – recebimento e aceitação.** 1995.

FARIA, Valéria C. de; KLINSKY, Luís M. G. **Parâmetros mecânicos da brita graduada tratada com cimento.** CENTRO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS – CCR NOVADUTRA. São Paulo. 2019.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL, SINAPI. **SINAPI, custos desonerados, novembro de 2021, São Paulo.** 2021.

### TESES E ARTIGOS CIENTÍFICOS:

ALMEIDA, Damires C.; et al. **Avaliação de pavimentos semirrígidos invertidos no Brasil através da curvatura da bacia de deflexões**. 33º congresso de pesquisa e ensino em transporte da ANPET. Balneário Camboriú, SC, 2019.

ALMEIDA, Damires C.; et al. **Comparação entre valores de módulos elásticos retro analisados por diferentes softwares em pavimentos semirrígidos invertidos**. 33º congresso de pesquisa e ensino em transporte da ANPET. Balneário Camboriú, SC, 2019.

ANDRADE, Lucas R. de. **Comparação do comportamento de pavimentos asfálticos com camadas de base granular, tratada com cimento e com estabilizantes asfálticos para tráfego muito pesado**. Universidade de São Paulo. versão corr. – São Paulo, 2017. 178 p

BALBO, José Tadeu. **Britas graduadas tratadas com cimento: uma avaliação de sua durabilidade sob enfoque de porosidade, tenacidade e fratura**. 2006. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BALBO, José T.; CINTRA, Jorge P. **Estudo das propriedades mecânicas das misturas de brita e cimento e sua aplicação aos pavimentos semirrígidos**. 1993. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO – CDT. **ESPECIFICAÇÃO PARTICULAR: Brita graduada tratada com cimento – BGTC**. Designação ARTERIS – ES 009. Rev.09. abril, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Histórico do rodoviarismo**. São Paulo.

MONTENEGRO, Rosilene D. **Juscelino Kubitschek: Trajetórias**. XXIX Simpósio Nacional de História. Brasília, DF. 2017. 15 p.

NASCIMENTO, Rodrigo da S.; MENDONÇA, Airton T. de; ALBUQUERQUE, Fernando S. **Desempenho de base de brita graduada tratada com cimento em trecho monitorado de Sergipe**. 44º RAPv – Reunião anual de pavimentação e 18º ENACOR- Encontro nacional de conservação rodoviária. Foz do Iguaçu, PR. 2015.

SILVA FILHO, Aristóteles Marçal da; et. al. **Análise comportamental do pavimento composto de base com brita graduada tratada com cimento na duplicação da**

**BR 116 do Km 446+625 ao Km 473+400.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 01, Vol. 01, pp. 20-37, janeiro. 2018. ISSN:2448-0959  
TESSARI, Ciro L. **Análise do comportamento de brita graduada tratada com cimento com a adição de borracha de pneus para aplicação em camadas de base de pavimentos.** Pontifícia Universidade Católica. Rio de Janeiro. 2017.

SITES E BLOGS:

ECivil, descomplicando a engenharia. **Pavimento semirrígido.** Disponível em: <[www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-pavimento-semi-rigido.html](http://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-pavimento-semi-rigido.html)> Acesso em outubro de 2021.

Google Earth website. Disponível em: <<http://earth.google.com/>> Acesso em novembro de 2021.

Google Street View website. Disponível em: <<http://google.com.br/maps/preview/>> Acesso em novembro de 2021.

Mapa da obra, Votorantim cimentos. **Pavimentos para vias públicas: conheça os tipos.** Disponível em: <[www.mapadaobra.com.br/capacitacao/conheca-os-diferentes-tipos-de-pavimentacao-para-vias-publicas/](http://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/conheca-os-diferentes-tipos-de-pavimentacao-para-vias-publicas/)> Publicado em agosto de 2016.