

## ESTUDO DE MELHORAMENTO DE TRAÇO PARA BASE DE PAVIMENTO FLEXÍVEL EM BRITA GRADUADA SIMPLES

Miguel Contini<sup>1</sup>  
Gislaine Luvizão<sup>2</sup>

### Resumo

O modal mais utilizado no Brasil para tráfego e transportes é o rodoviário, e com isso se faz necessário melhorar cada vez mais as condições dos pavimentos, bem como o controle da execução do pavimento como um todo, partido das camadas inferiores. Com base nisso, este estudo buscou avaliar o processo de dosagem e execução de base estabilizada granulometricamente por empresa localizada no município de Ibicaré/SC, visando solucionar possíveis problemas relacionados ao resultado final do processo. Inicialmente acompanhou-se o processo de execução do traço dosado pela empresa, sendo possível identificar incoerências como variação da britagem e perda de materiais finos durante o processo de homogeneização, transporte e espalhamento da mistura. Com isso, se tornou essencial a elaboração de um traço experimental buscando minimizar as perdas, atendendo as exigências das normas técnicas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Os resultados da nova mistura foram relacionados com a mistura da empresa e com os parâmetros normativos. É importante evidenciar que o ensaio da viga de Benkelman foi de extrema importância, visto que ele é responsável por apresentar e identificar a deflexão máxima da camada de estudo juntamente com seu raio de curvatura. A correção de filler na mistura se deu com a adição de 5% de filler durante o processo de homogeneização, valor da perda encontrado após ensaios de granulometria de várias misturas. Contudo, a variação da britagem não foi corrigida, mas, partindo dos resultados das granulometrias periódicas executadas pela empresa, foi possível obter um valor médio de variação e um desvio padrão, tendo assim uma granulometria mais próxima do real. Para aferir o desempenho em campo foi executada pista experimental em um trecho de 20 metros em obra de pavimentação no município de Capinzal/SC. Os resultados da nova mistura foram positivos relacionados com a mistura da empresa e com os parâmetros normativos. O ensaio da viga de Benkelman se mostrou positivo, atendendo as prescrições adotadas apresentando valor calculado de  $61 \times 10^{-2}$  mm de deflexão máxima e 188 metros de raio de curvatura. Por fim, conclui-se que a adição de filler a fim de corrigir a perda do mesmo na homogeneização apesar de melhorar o traço, não se torna a solução mais econômica para a empresa pois isso pode encarecer cerca de R\$ 6,40 reais na tonelada da mistura. Porém em contrapartida o problema na perda de filler pode ser solucionado alte-

<sup>1</sup> Engenheiro Civil, e-mail: miguelcontini2014@gmail.com.

<sup>2</sup> Professora Doutora, Universidade do Oeste de Santa Catarina, e-mail: gislaine.luvizao@unoesc.edu.br.

rando o método de homogeneização de forma mecânica por pá carregadeira para centrais de dosagem, esta que a empresa já possui, mas será necessário um estudo para adequação. Palavras-chave: Pavimentação; Base; Estabilização granulométrica.

## 1 INTRODUÇÃO

O modal mais utilizado no Brasil para tráfego e transportes é o rodoviário. A grande utilização deste meio aliado as condições climáticas geram a deterioração da infraestrutura das vias, trazendo insegurança e desconforto aos usuários. Com base nestas condições, é de extrema importância se atentar a qualidade da execução das camadas e dos materiais utilizados, não somente da camada de rolamento em si, mas todas que envolvem um pavimento.

Segundo a CNT (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE, 2017), apenas 12,4% das rodovias brasileiras são pavimentadas. Este fato aumenta o custo do transporte, reduz a segurança dos usuários e contribui negativamente para o crescimento econômico do país.

A brita graduada simples é um dos principais tipos de materiais empregados em base de pavimentos asfálticos no Brasil, sendo inserida na década de 1960. Ela é composta por material granulométrico bem graduado, com diâmetros máximo não excedendo 38mm e finos entre 3 e 9% passante na peneira Nº 200. Estes materiais são dosados respeitando quantidades estabelecidas por normas, neste caso a norma ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010).

Este trabalho busca analisar traços da brita graduada simples executados por uma empresa localizada no município de Ibicaré/SC a fim de obter características físicas e determinar possíveis incoerências com o que descreve a norma ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010).

Complementando o estudo com a execução de um traço experimental de brita graduada simples, sendo realizada a caracterização dos materiais e a adequação do enquadramento granulométrico. Avaliou-se propriedades como umidade ótima, densidade de campo, grau de compactação, ISC (Índice de Suporte Califórnia), deflexão total e por fim um estudo de viabilidade para o resultado encontrado comparado com a mistura padrão da empresa.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 PAVIMENTO

De acordo com Brasil (2006), denomina-se pavimento a superestrutura constituída por um sistema de camadas finitas, sobre uma infraestrutura ou fundação a qual é designada como subleito. O pavimento é uma estrutura composta por matérias de diferentes resistências

e deformabilidades onde compactadas resultam em um elevado grau de complexidade capaz de resistir as cargas impostas pelo tráfego.

Bernucci *et al.* (2007, p. 9) registrou que:

[...] pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnico e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

De uma forma geral segundo Bernucci *et al.* (2007) os pavimentos são classificados como flexíveis, semirrígidos e rígidos:

- a) Flexível: aquele em que todas as suas camadas sofrem deformação elástica, dividindo essa deformação em parcelas equivalentes entre as elas. Exemplo típico o pavimento constituído por uma base de brita graduada.
- b) Semirrígido: este tipo é caracterizado por uma base cimentada com adição de algum aglutinante com propriedades cimentícias, neste caso, camadas de solo cimento.
- c) Rígido é o tipo de pavimento revestido por uma camada com uma rigidez elevada em relação as camadas inferiores, sendo assim, absorve praticamente todas as tensões aplicadas pelo tráfego.

Os pavimentos flexíveis, geralmente associados aos pavimentos asfáltico, são constituídos pela camada de revestimento asfáltico, o qual é sustentado pelas camadas de base, sub-base e subleito formados por materiais granulares, solos e misturas de solos (BERNUCCI *et al.*, 2007).

Como este trabalho está voltado ao estudo da camada de base, apenas esta será tratada de forma detalhada nesta revisão.

### 2.1.1 Base

A Base é a última camada inferior ao revestimento. Sua principal função é resistir e distribuir os esforços gerados pelas cargas oriundas do tráfego. Os materiais empregados são agregados, solos ou a mistura dos dois, devendo ser bem graduados para cumprir com a função da camada (BRASIL, 2006).

A base estabilizada granulometricamente é constituída por solos, britas de rochas, escoria de alto forno ou pela mistura destes materiais. Esta camada se estabiliza através da compactação do material granulométrico devidamente apropriado, fixado através de especificações conhecidas. Sendo assim, quando uma base é executada somente com produtos de origem britada, tem-se uma base de brita graduada (BRASIL, 2006).

Estes materiais são dosados respeitando quantidades estabelecidas por normas, neste caso a ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010). A mistura pode ser efetuada por centrais de dosagem ou através de carregadeiras por meio de medidas conhecidas em metros cúbicos.

No local da execução, a distribuição sobre o subleito é executado com o auxílio de uma motoniveladora e compactado com um rolo liso com vibração ou não, respeitando limites estabelecidos pela ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010).

Para a execução de uma base, são necessários diversos métodos de seleção e caracterização dos materiais. A seleção é uma etapa de extrema importância a fim de averiguar as suas características naturais para ser empregada aos pavimentos, uma vez que suas características podem interferir na compactação da base (BERNUCCI *et al.*, 2007).

Lima e Motta (2015), após pesquisa realizada por meio de ensaios para se avaliar a deformação permanente, ressaltam a importância da realização de ensaios mais específicos e não apenas ensaios típicos, bem como análise do esqueleto granulométrico do material e aplicação de ensaios de cargas repetidas, a fim de avaliar e evitar deformações permanentes no pavimento.

Após serem submetidos à ensaios de caracterização bem como: análise granulométrica por peneiramento descrito pela norma NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), determinação de abrasão de "Los Angeles" descrito por ME 035 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 1998), equivalente de areia descrito por ME 54 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 1997) e índice de forma descrito por ME 424 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2020).

É importante também se manter atento a outras especificações descritas pela ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010), materiais passantes na peneira nº 200 não devem ultrapassar 2/3 da porcentagem que passa na peneira nº 40 e o resultado do ensaio de desgaste por abrasão não pode exceder 55 %, caso contrário o material não pode ser utilizado.

Bernucci *et al.* (2007) ainda enfatiza uma atenção elevada no dimensionamento da estrutura, pois as mesmas precisam resistir à numerosas solicitações de carga sem que ocorra danos estruturais, sendo eles: deformação permanente e fadiga.

Para o dimensionamento das estruturas do pavimento no Brasil, o principal parâmetro é a caracterização mecânica através do ISC, este que é regulamentado pela norma ME 172 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2016) (BERNUCCI *et al.*, 2007). Porém no decorrer dos anos, diversas pesquisas apontam que este método de dimensionamento, por se tratar de um método empírico, não considera fatores importantes como, qualidade dos materiais, controle tecnológico da obra, qualidade da mistura asfáltica, desempenho à fadiga e à deformação permanente dos insumos utilizados, fazendo com que um novo método de elaboração de projeto fosse desenvolvido.

Desta forma, o método MeDiNa foi criado considerando fatores importantes no dimensionamento que podem interferir na vida útil do pavimento: clima, tráfego e desempenho dos materiais empregados. Deste modo o método necessita de diversos parâmetros para a entrada, estes que são módulos de resiliência e deformação permanente.

De acordo com Bernucci *et al.* (2007), para matérias de reforço do subleito, estipula-se em geral 1% para valor máximo admissível de expansão axial e 0,5 % para bases e sub-bases, já para o Índice de suporte Califórnia, deverá ser superior a 60%.

É de extrema importância ressaltar que o resultado do ensaio ISC obtido em laboratório podem ser divergentes com o resultado obtido no campo, devido a fatores como diferença de sobre carga, perda de umidade, entre outros (BERNUCCI *et al.*, 2007).

De acordo com Retore (2005), no meio rodoviário as deformações elásticas são conhecidas como resilientes, ou seja, ela retrata a energia deformada por um corpo elasticamente a qual é recolhida o corpo quando a carga e retirada da mesma.

O crescente emprego de módulo resiliente de materiais no país vem com objetivo a aplicação de métodos mecânicos-empíricos em dimensionamento de pavimentos. Destacando que, utiliza-se uma aproximação da teoria de elasticidade pois os materiais de pavimentação não são elásticos (BERNUCCI *et al.*, 2007).

Retore (2005) afirma que as deformações plásticas são cumulativas através das cargas socialistas pelos veículos, apresentando-se através do afundamento de trilha de roda podendo levar o pavimento a ruptura. A trilha de rodas, além de causar ruptura, por ser um local preenchido por água sendo possível a ocorrência de aquaplanagem, causando assim acidentes e danos materiais.

Lima e Motta (2015) constatam ainda que o índice de vazios é um ótimo parâmetro para verificar se a proporção da mistura poderá resultar em deformações permanentes, mostrando a importância de um material granular que apresente menor quantidade de vazios.

O estudo de deflexão é de extrema importância para identificar o comportamento da camada desde o subleito até a camada de rolamento após serem submetidas a cargas. Desta forma quanto maior o valor da deflexão da camada, maior é a sua resiliência e sua elasticidade, mantendo um melhor comprometimento estrutural (PINTO, 2015).

A parcela de deslocamento resiliente após a aplicação da carga é obtida através de ensaio de viga de Benkelman, a qual mede a distância de deslocamento vertical em centésimo de milímetros (BERNUCCI *et al.*, 2007). O ensaio da viga é regido pela norma ME 24 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 1994).

## 2.2 ESTUDO REALIZADOS

Em busca de conhecimento para o comportamento mecânico de modelos racionais de dimensionamento de pavimentação no Brasil, Fernandes e Trichês (2000) caracterizaram o comportamento da brita graduada "in situ" a partir da retroanálise das bacias de deflexão

medidas com a viga Benkelman e de resultados analisados pelo programa ELSYN5®, acreditando que a partir dos intervalos encontrados, é possível estimar valores modulares.

Fernandes e Trichês (2000) concluem após a pesquisa que a retroanálise dos módulos elásticos partindo das deflexões encontradas é uma ferramenta muito útil e promissor para a avaliação do comportamento mecânico do pavimento, tanto para dimensionamento utilizando o ELSYN5® como para o controle tecnológico do processo executivo utilizando a viga de Benkelman.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO

O estudo foi baseado e executado com base nos traços e agregados de uma empresa que está localizada no município de Ibicaré-SC afim de identificar e solucionar possíveis erros durante a elaboração e execução do traço após um questionamento da própria empresa, ao relatar que o atual traço não estava atendendo as prescrições da norma ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010).

Inicialmente, realizou-se a coleta do material na pedreira localizada no município de Ibicaré/SC, a fim de realizar ensaios de caracterização para dar início ao estudo do traço. Neste mesmo período, entrou-se em contato com a empresa buscando a disponibilidade da coleta de amostra do atual traço de brita graduada simples e a autorização em relação ao acompanhamento de determinadas obras para a realização do estudo.

#### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS QUE COMPÕE A MISTURA

Realizou-se ensaios de granulometria de todos os agregados que compõem a mistura, sendo eles: brita 1, brita 2, pedrisco, pó de pedra, areia artificial e filer, seguindo como referência a NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Com a aferição granulométrica dos agregados, foi possível enquadrá-los em outros ensaios de suma importância. Visto que todos os agregados são originados da mesma jazida, apenas 1 tipo de material foi utilizado para cada ensaio, sendo os ensaios:

- a) Abrasão de "Los Angeles" - sendo determinado pela norma ME035 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 1998). Para a realização do ensaio foi utilizado como análise apenas a brita 1. A mesma encaixou-se na graduação B, com 2 amostras de 5000 g de material lavado, com carga abrasiva de 11 esferas de aço e com 500 rotações do tambor.
- b) Índice de forma com crivos - determinado pela norma ME 424 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2020). Para a realização do ensaio

também foi utilizado como análise apenas a brita 1. A mesma enquadrava-se na faixa C, o qual orienta o peneiramento do material com crivos circular e após isso nos crivos redutores.

- c) Equivalente de areia - determinado pela norma ME 54 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 1997). Para a realização deste, foi utilizado o pó de pedra.

Após a homogeneização dos traços, uma nova granulometria era efetuada, a fim de aferir se a dosagem dos materiais na mistura estava conforme a previsto, seguindo a ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010).

### 3.3 MISTURA DA EMPRESA

A mistura de brita graduada simples utilizada pela empresa que foi coletada para a caracterização e aferição dos agregados, era oriunda de uma obra de implantação de pavimentação asfáltica no interior de Treze Tílias/SC, mais precisamente na linha São Roque. A coleta foi feita anteriormente ao espalhamento na pista pela motoniveladora.

A mistura da empresa foi acompanhada desde a sua homogeneização até a sua execução. Durante o processo foi realizado a coleta de amostras não trabalhadas, ou melhor, antes do início da compactação, para a aferição de granulometria, umidade, densidade, ISC e expansão. Além disso, foram realizados ensaios *in situ* como deflexão máxima por viga de benkelman e frasco de areia.

O material que compõe a base é misturado através de conchas de uma carregadeira Caterpillar 924K no pátio do parque fabril, onde o operador recebe o traço a ser executado com a determinada quantia de conchas de cada material e as homogeneiza. Geralmente a mistura é composta por 12 conchas, rendendo aproximadamente 40 toneladas de material. Este processo de mistura é permitido segundo a norma ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010) quando não se tem um misturador específico disponível.

É importante ressaltar que a empresa dispõe de um centro de usinagem, o qual é utilizado para a dosagem do material asfáltico, e não é utilizado para a mistura de base porque o mesmo possui apenas 4 silos de armazenamento, sendo utilizados brita 2, brita 1, pedrisco e pó de pedra. Já na base são necessários 5 silos, pois como o pó de pedra não possui a demanda necessária de filler, é necessário um silo específico para este agregado. Mas caso necessita-se de migrar o modo de mistura para este método, as peneiras da britagem deverão ser alteradas de modo a obter uma granulometria adequada utilizando apenas 4 tipos de agregados para compor a mistura.

O material foi transportado da pedreira, onde foi misturado, até a obra com um caminhão basculante com capacidade de aproximadamente 18 toneladas. Ao chegar

na obra, o caminhão bascula o material em até 3 montes próximos um ao outro, a fim de facilitar o espalhamento com a motoniveladora.

O material logo é espalhado na pista com uma camada mais espessa que a exigida para a compactação, de aproximadamente 14 cm, isso se dá para facilitar a homogeneização em campo. Com o material espalhado, o caminhão pipa faz o início do umedecimento da mistura deixando-a próximo a umidade ótima enquanto a motoniveladora faz a homogeneização do material, a fim de manter uma umidade uniforme.

O início do nivelamento da base se dá quando o material se encontra com um bom nível de umidade, próximo da umidade ótima, aproximadamente 4% da umidade, pois o último lançamento de água é executado durante o processo de compactação, esta que foi executada com o rolo de chapa liso Dynapac CA30D. A espessura, como descrito pela norma ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010) e o projeto executivo, atende os parâmetros, ficando com aproximadamente 12 cm.

Logo após o final do nivelamento, iniciou-se a compactação com rolo compactador liso. Para a compactação da mistura executada, a empresa adotou inicialmente 12 passadas com o rolo, sendo permitida a execução de mais se o operador julgar necessário seguindo método empírico. De acordo com o operador do rolo compactador, a compactação da base se dá por pronta ao ficar visível pequenas rachaduras na superfície, demonstrando que a umidade está correta e que o material atingiu seu limite de compactação.

Para poder analisar se a base que estava em campo atenderias aos parâmetros estipulados em laboratório, uma amostra não trabalhada foi devidamente coletada e submetida a ensaios.

### 3.4 NOVA MISTURA

Com o resultado de granulometria da mistura da empresa obtido, possibilitou observar que a granulometria pode variar, isso ocorre por vários motivos, dentre eles: possíveis peneiras furadas, material de outra jazida, aumento na demanda de produção, dentre outras. Para ter uma aproximação da granulometria correta, solicitou-se os ensaios de granulometria executados pela empresa. Com os dados obtidos, realizou-se a média, utilizando o valor da mesma para dar continuidade a pesquisa.

Portanto, tendo conhecimento da granulometria correta a ser seguida, executou-se um novo traço, já considerando perda durante a mistura e o transporte. Após o espalhamento da mistura na pista experimental, coletou-se uma nova amostra, a fim de fazer novos ensaios de granulometria, umidade, densidade, ISC e expansão, além de ensaios *in situ* e deflexão máxima, para analisar se o resultado foi positivo ou negativo comparando com a mistura utilizada pela empresa.

Realizou-se o enquadramento granulométrico conforme a ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010) adotou-se a Faixa C indicada pelo DNIT pelo fato que a porcentagem passante nas peneiras estar mais condizente com a mesma.

### 3.4.1 Pista experimental

Para a execução da pista experimental, a empresa disponibilizou aproximadamente 40 toneladas de material para executar a nova mistura, e um trecho de 20 metros de pista para a execução do traço. Esta pista fica localizada no município de Capinzal, mais especificamente na Estrada Municipal, acesso a comunidade de Linha Guarani, próximo a UNOESC *campus* de capinzal.

Por ser uma via de aproximadamente 600 metros de extensão, o local específico da nova mistura foi entre a estaca 8 e 9, em frente a uma mecânica automotiva.

A execução da pista experimental seguiu os mesmos padrões de execução da empresa sendo espalhada com uma motoniveladora Caterpillar 120K, mantendo uma espessura de aproximadamente 12 cm e para a compactação foi adotado 12 feches com rolo Caterpillar CS54B.

Nas Fotografias 1 e 2, é possível observar o local específico da pista experimental.

Fotografia 1 - Pista experimental (a)



Fonte: os autores.

Fotografia 2 - Ensaio in situ na pista experimental (b)



Fonte: os autores.

### 3.5 ANÁLISE DAS MISTURAS

Com intuito de analisar e comparar as duas misturas, uma série de ensaios laboratoriais e *in situ* foram realizados.

### 3.5.1 Enquadramento granulométrico

Para execução da granulometria a amostra foi dividida em frações com o auxílio de um quarteador, instrumento utilizado para separar amostras deixando-as homogêneas. Ao final do quarteamento as 2 amostras tiveram uma massa de aproximadamente 7 kg.

O processo de peneiramento foi executado com as 7 peneiras destinadas pela ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010) as quais os responsáveis pelo laboratório utilizaram para fazer o enquadramento do atual traço.

Por se tratar de uma mistura com diversas granulometrias, inclusive material fino, a granulometria é executada em duas etapas. Primeiramente toda a amostra é peneirada até a peneira com abertura nº4, o que passar desta, será feita um novo quarteamento, a fim de deixar apenas uma amostra com massa de aproximadamente 500 g. Este processo se repete para as duas amostras

### 3.5.2 Ensaios de compactação proctor

Para a determinação da umidade ótima de compactação e da massa específica aparente seca máxima, realizou-se o ensaio de compactação Proctor, seguindo o especificado na ME 162 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 1994). Utilizou-se a energia modificada para a compactação da base, sendo realizada em 5 camadas de 55 golpes cada camada.

### 3.5.3 Enquadramento granulométrico

A empresa utiliza a própria concha da carregadeira para efetuar a medição da quantidade de cada tipo de material utilizado na mistura. Identificou-se que durante o processo de mistura ocorre a perda de material fino para o meio, uma vez que este processo é feito à céu aberto. Considerando a necessidade em quantificar esta perda, para posteriormente corrigir o traço, executou-se o processo de mistura de forma manual, com auxílio de uma pá. Obtendo-se a diferença de massa entre a amostra inicial e a final, em cada peneira, foi possível avaliar a perda de material fino.

### 3.5.4 Ensaio de Índice suporte Califórnia

A fim de obter a resistência máxima que a base poderá ser submetida, as amostras foram submetidas ao ensaio de Índice de suporte Califórnia. Para isso foram moldadas 5 amostras com umidades diferentes, iniciando em 4% e terminando em 8%.

Após a compactação com energia modificada, os moldes foram deixados por 4 dias submersos para depois serem levados para o rompimento. A finalidade da imersão é analisar a sua expansão, dado que pode interferir na vida útil do pavimento.

O rompimento foi executado em uma prensa cbr/marshall automat 220v-50/60hz, a qual fornece os resultados da carga aplicada em função do deslocamento do pistão sobre a amostra. Dentre os resultados esperados, a densidade seca e a umidade são de extrema importância, pois com base neles é possível analisar se o material de campo foi devidamente executado, através do grau de compactação (GC).

Este ensaio é especificado pela norma ME 172 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2016). Realizou-se o primeiro ensaio com intenção de obter um valor de índice de suporte e expansão da mistura que é utilizada pela empresa atualmente. O segundo ensaio, realizou-se após obter o enquadramento por meio de ensaios de caracterização sendo especificados pela norma, obtendo uma mistura distinta a mistura do primeiro ensaio, sendo essa de acordo com a faixa C do DNIT. Para a moldagem, utilizou-se 7000 g de material com energia de compactação modificada, com umidades variando entre 4% e 8%.

### 3.5.5 Ensaios *in situ*

A fim de aferir o resultado dos ensaios de laboratórios, executou-se alguns ensaios após compactação da camada de base. Os ensaios foram: determinação da massa específica da base através do método do frasco de areia e determinação da umidade com emprego do "speedy" especificado, métodos normalizados pela norma ME 92 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 1994).

Com o intuito de aferir a deflexão da estrutura do pavimento, realizou-se o ensaio de viga de Benkelman, tanto no traço executado pela empresa, como no traço da pesquisa, a fim de comparar seus resultados ao final. O ensaio seguiu a ME 24 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 1994).

## 3.6 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA COMPOSIÇÃO DA BASE

O principal intuito do estudo é analisar e corrigir o atual traço de base, e com a nova mistura foi realizado um simples levantamento de custo, baseando-se nas quantidades de base executadas pela empresa nos últimos meses, para que assim, seja possível obter o valor do traço da empresa e o valor da nova mistura dadas as composições de cada mistura.

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

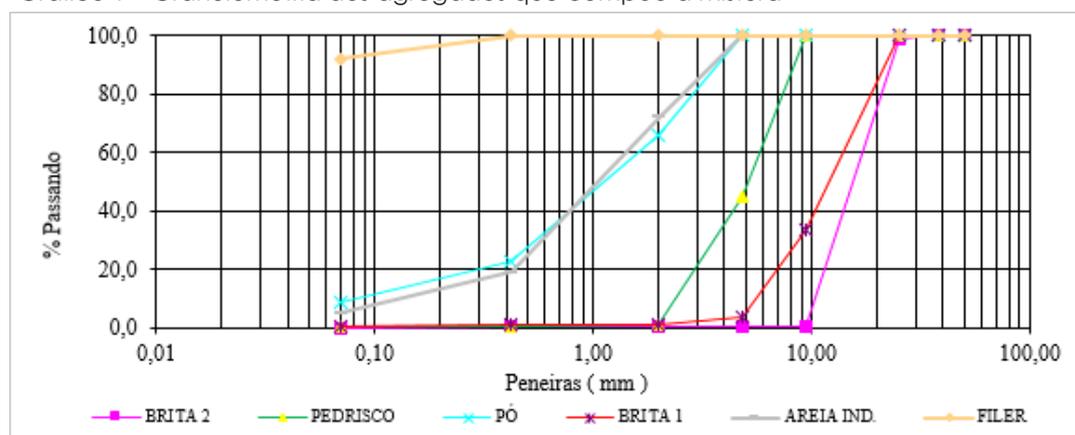
O resultado da abrasão de Los Angeles foi de 8,3% de perda de massa, estando assim inferior ao limite máximo permitido pela ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010) que é de 55%.

Através dos ensaios de crivos foi possível determinar que o índice de lamelaridade das pedras é de 0,93 estando dentro do limite descrito pela ME 424 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2020) que determina que o índice não pode ser superior a 3.

O resultado do equivalente de areia também foi positivo, obtendo um resultado de 68,5 %, também estando de acordo com a norma, a qual recomenda um resultado superior que 30%.

A granulometria das amostras coletadas diretamente na saída das correias esta demonstrada no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Granulometria dos agregados que compõe a mistura



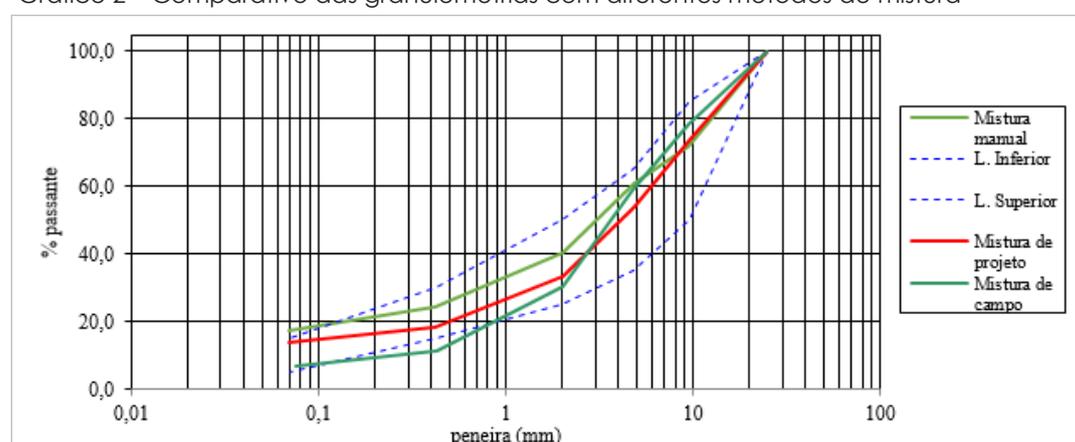
Fonte: os autores.

## 4.2 ANÁLISE DOS TRAÇOS

### 4.2.1 Enquadramento granulométrico da mistura da empresa

Ao final da granulometria do material que foi coletado no campo, comparou-se a granulometria de campo com a granulometria de projeto e a mesma esta apresentada no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Comparativo das granulometrias com diferentes métodos de mistura



Fonte: os autores.

De acordo com os dados, são notórias a variação granulométrica e a perda de material fino na mistura obtida no campo comparado com o material previsto na mistura de projeto da empresa.

A variação da granulometria, pode ser explicada por diversos fatores, desde um possível problema na britagem como uma peneira furada, como também na variação da demanda da britagem, pois se a demanda aumenta e os motores trabalham com maior velocidade, a eficiência do peneiramento diminui, alterando o formato da curva granulométrica.

Para tentar diminuir essa variação apenas se baseando em dados, foi solicitado aos responsáveis do laboratório da empresa os dados das granulometrias periódicas das britagens, para que juntas fosse possível chegar a um valor médio e um desvio padrão, possuindo assim valores mais confiáveis para a elaboração da mistura.

Os dados obtidos foram referentes as últimas 18 coletas de amostras da britagem de brita 1, pedrisco e pó de pedra, visto que essas três granulometrias são as que mais variam dentre todas.

Com relação a perda de material fino, este problema pode ser relacionado ao método de mistura adotada pela empresa e durante o processo de transporte, já que a mesma faz a mistura com uma pá carregadeira, fazendo com que os finos se dissipem no ar. Na Fotografia 3 tem-se um exemplo da mistura.

Fotografia 3 - Execução da mistura de forma mecânica



Fonte: os autores.

Para ter conhecimento do percentual fino perdido entre o processo de britagem até o espalhamento da mistura em campo uma nova mistura foi executada, porém em menor escala, mas respeitando as dosagens que a empresa utilizou para a mistura que foi a campo. O material usado na mistura foi coletado na saída da correia do britador, ou seja, na parte superior dos montes do estoque, pois, por se tratar de montes com elevadas alturas conforme o material chega ao estoque, ocorre automaticamente um processo de separação de material, fazendo com que o material de maior granulometria se acomodasse na parte inferior e enquanto uma pequena porcentagem de material fino se perdesse no ar.

No topo do monte em contrapartida possui um material totalmente homogêneo, ideal para a elaboração de uma curva granulométrica como sugere a norma.

A homogeneização da mistura foi executada manualmente com auxílio de uma pá, até que toda a mistura ficasse visivelmente homogênea e após isso a granulometria foi executada.

Analisando o enquadramento granulométrico da mistura feita com materiais coletados na saída da esteira do britador com o material que chega ao campo ocorre uma perda de aproximadamente 6% de material fino. Contudo, é possível considerar que o maior responsável pela perda de material é o método de mistura, este que não é considerado pelos responsáveis durante a elaboração do traço, porém, na nova mistura que será executada na pista experimental, essa porcentagem de perda será considerada.

#### 4.2.2 Enquadramento granulométrico da nova mistura

Tendo em mãos a média da variação da granulometria e a perda de material fino, uma nova mistura foi elaborada, seguindo as orientações da ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010) e executada em um trecho de 20 metros em uma outra obra, localizada no município de Capinzal. A nova mistura está descrita na Tabela 1.

Tabela 1 – Percentual de material utilizado em cada mistura

Material	Mistura empresa (%)	Nova Mistura (%)
Brita 2	13	12
Brita 1	20	20
Pedrisco	19	23
Pó de pedra	37	34
Filer	11	11

Fonte: os autores.

A nova mistura é semelhante a que foi utilizada pela empresa, porém contém alguns ajustes devido aos dados obtidos com a média das amostras.

Para repassar a nova mistura para o operador da carregadeira executar a homogeneização, foi necessário converter a porcentagem de material em quantidades conhecidas, ou seja, em números de conchas. Para isso foi mantido um total de 12 conchas cada mistura, sendo essa a quantidade de material liberado pela empresa para a execução da pista experimental.

É importante ressaltar que uma quantia de 5% de material fino foi adicionada a mistura, aproximadamente  $\frac{1}{2}$  concha, está que representara a perda de material até a chegada a obra. Outro detalhe importante é o arredondamento, pois o operador só consegue trabalhar com conchas 100% cheias ou com 50% de sua capacidade. Para conhecimento das quantidades de cada material, o mesmo está representado na Tabela 2.

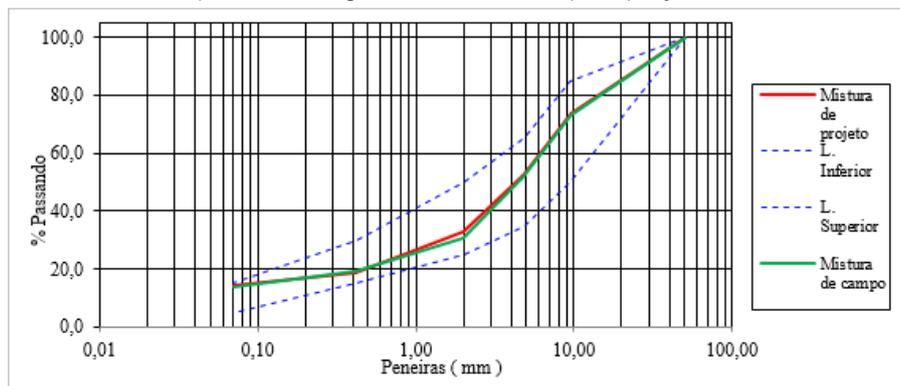
Tabela 2 – Quantidade de conchas para execução da homogeneização da nova mistura

Material	Nº real de conchas	Nº aproximado de conchas
Brita 2	1,4	1,5
Brita 1	2,4	2,5
Pedrisco	2,76	2,5
Pó	4,08	4
Filer	1,32	2
Total	12	12,5

Fonte: os autores.

Após a homogeneização, transporte e espalhamento do material na pista, coletou-se uma amostra não trabalhada para aferir a granulometria do material. Para a melhor compreensão dos resultados, os mesmos estão apresentados no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Comparativo da granulometria campo x projeto da nova mistura



Fonte: os autores.

No Gráfico 3 fica evidente e notório que a perda de material foi muito próxima a prevista, mostrando que a maior variação ocorreu na peneira Nº10 sendo de apenas 2% e que a adição de 5% de material fino foi fundamental para compor o material perdido e deixar a mistura de campo semelhante à de projeto.

#### 4.2.3 Índice de suporte Califórnia

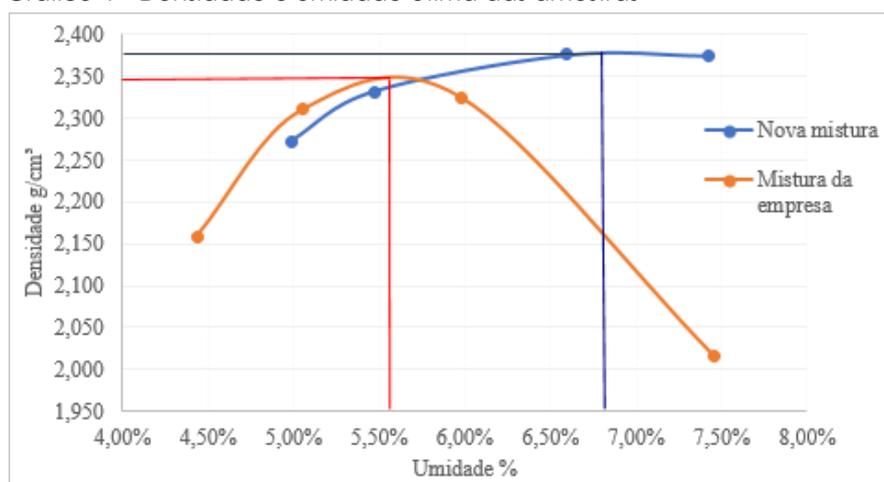
Através do ensaio de ISC foi possível extrair os valores de compactação e de umidade ótima dos dois traços. O resultado está representado no Gráfico 4.

Dessa forma, os valores das umidades ótimas da nova mistura e da mistura executada pela empresa são respectivamente 6,8 e 5,6% e a massa específica aparente seca máxima 2,381 g/cm<sup>3</sup> para a mistura experimental e 2,350 g/cm<sup>3</sup> para a mistura executada pela empresa.

A nova mistura apresentou umidade de compactação maior que a mistura executada pela empresa, devido a maior quantidade de finos, estes que necessitam de quantidade maior de água para ficarem umedecidos.

Com o ensaio, também foi possível obter o valor de Índice de Suporte Califórnia e o valor de expansão da amostra. Segundo ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010), o ISC obrigatoriamente deve ser superior a 80% para amostras com  $N > 5$ , o que se aplica para este caso, pois obteve-se um valor de 440%. A expansão obrigatoriamente deve ser inferior a 0,5% o que condiz com a norma, que já que foi obtido um valor de 0,05% de expansão.

Gráfico 4 – Densidade e umidade ótima das amostras



Fonte: os autores.

Os resultados de ambas as amostras mostraram um resultado positivo se comparado a norma. E resultados semelhantes se comparados um ao outro.

#### 4.2.4 Grau de compactação

Para o ensaio foi utilizado o método do frasco de areia, que por meio da escavação de uma pequena cava e com areia padrão, foi possível determinar a densidade do material compactado. O ensaio seguiu as orientações da norma ME 92 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1994).

Para a mistura da empresa foi realizado 4 pontos, um a cada 100 metros, intercalados entre bordo esquerdo, eixo e bordo direito da pista. Os dados coletados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise de dados in situ da mistura da empresa

	ESTACA 22	ESTACA 27	ESTACA 32	ESTACA 37
Dens. Aparente úmida (gm/cm³)	2,603	2,443	2,504	2,636
Umidade (%)	6	5,6	5	5,5
Dens. Aparente seca (gm/cm³)	2,456	2,313	2,427	2,498
Dens. Média laboratório (gm/cm³)	2,325	2,325	2,325	2,325
Grau de compactação (%)	105,6	99,94	104,3	106,4

Fonte: os autores.

Para a obtenção do valor final do ensaio foi realizado a média dos valores encontrados, resultando em uma umidade de 5,5% e densidade seca de 2,451 g/cm<sup>3</sup>. Com o valor da densidade de campo e com a densidade de laboratório encontrada e descrita no item 4.2.3, o grau de compactação resultante para a mistura é de 104,31% estando em conformidade com o que especifica a norma do ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010) onde cita que não são aceitos valores de grau de compactação inferiores a 100%.

O mesmo ensaio se repetiu para a nova mistura, porém como a pista experimental possuía apenas 20 metros, teve apenas 3 pontos de coleta. Os dados coletados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise de dados in situ da nova mistura

	ESTACA 8	ESCATA 8 + 10	ESTACA 9
Dens. Aparente úmida (gm/cm <sup>3</sup> )	2,696	2,680	2,580
Umidade (%)	5,0	6,0	5,5
Dens. Aparente seca (gm/cm <sup>3</sup> )	2,567	2,528	2,445
Dens. Média laboratório (gm/cm <sup>3</sup> )	2,381	2,381	2,381
Grau de compactação (%)	107,8	106,17	102,9

Fonte: os autores.

As amostras resultaram em uma umidade média de 5,5% e uma densidade de 2,514 g/cm<sup>3</sup>. Com isso o grau de compactação resultante é de 105,6%.

Analisando a umidade de campo da mistura experimental é possível concluir que o resultado do ensaio se demonstrou em acordo com o que prescreve a norma do ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010), pois a variação da umidade de campo comparada com a de laboratório atendeu o limite permitido pela norma de até menos 2 pontos percentuais. Porém, como a pista experimental foi executada juntamente com uma pista com o traço da empresa, a quantidade de água adicionada foi correspondente ao que é adicionada frequentemente, justificando a mesma umidade entre as amostras.

Contudo, conhecendo a quantidade de água adicionada e que a mistura experimental possui uma porcentagem de finos maior que a mistura da empresa, é possível concluir que o comportamento da mistura experimental foi melhor que a da empresa, ou seja, se a umidade na execução da base experimental fosse a ótima, ou até mesmo se a intensidade ou quantidade de feches de rolo compactador fossem maiores, o grau de compactação seria ainda maior, resultando em uma base mais densa, logo mais rígida.

#### 4.2.5 Deflexão máxima

O ensaio realizado para se obter os valores das deflexões da camada de base foi realizada seguindo as prescrições da norma ME 24 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1994). O ensaio foi realizado no município de Capinzal/SC, local onde as

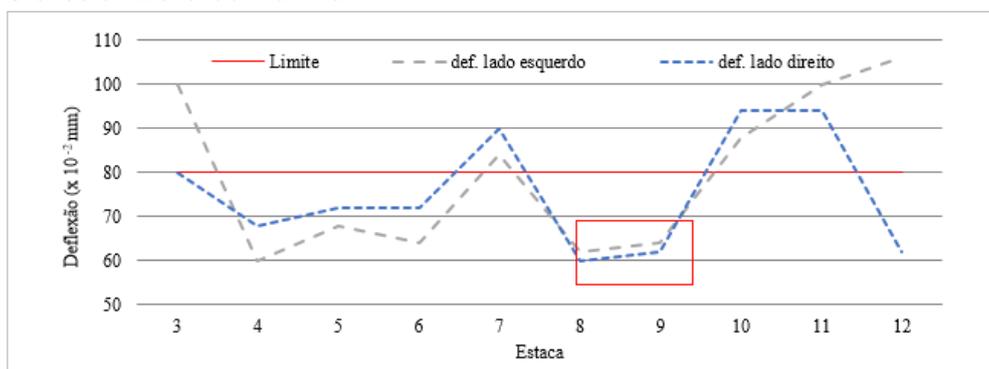
misturas foram executadas praticamente no mesmo momento, o que é melhor para fazer a comparação, já que a execução seguiu o mesmo processo para os dois traços.

Para se ter um parâmetro de análise da deflexão, foi adotado um limite de  $80 \times 10^{-2}$  mm de deflexão com base em suas características, bem como a faixa de enquadramento e a espessura da camada. O correto a se fazer era respeitar a deflexão máxima de projeto, porém para este projeto não havia essa informação.

O ensaio foi executado nos dois bordos de cada estaca do pavimento. Os valores correspondentes as estacas 8 e 9 são referentes ao traço da nova mistura que a empresa disponibilizou para estudo e os demais pontos são do traço da mistura da empresa. O resultado do ensaio está demonstrado no Gráfico 05.

A deflexão máxima característica calculada para o lado esquerdo e o direito respectivamente são  $101,4 \times 10^{-2}$  mm e  $91,5 \times 10^{-2}$  mm. Como estes valores excedem o limite previsto de  $80 \times 10^{-2}$  mm, é necessário fazer uma avaliação de forma mais específica afim de compreender qual das camadas está com maior deflexão, para isso é utilizando a bacia de deflexão.

Gráfico 5 – Deflexão máxima



Fonte: os autores.

Porém analisando somente a pista experimental que se encontra entre as estacas 8 e 9 é possível identificar dois pontos com uma deflexão permanente, sem variações e com valores significante, ou melhor, dentro do limite esperado para a mistura.

É importante ressaltar que a pista experimental não está em sua compactação ótima, devido a umidade de campo estar abaixo da prevista em laboratório, ou seja, os dados podem ser ainda melhores se for devidamente elaborada seguindo os parâmetros de laboratório.

#### 4.2.5.1 Bacia de deflexão

Através da bacia de deflexão é possível determinar a deflexão de cada camada inferior a camada de análise.

A bacia de deflexão é analisada de forma gráfica e elaborada com dados obtidos através da deflexão de várias distâncias partindo de um ponto de análise. Estas distâncias são

12,5 cm, 25cm, 50 cm e 100cm. Com a bacia de deflexão pronta, é possível obter o seu raio de curvatura, valor importante que pode indicar possível presença de deformação permanente.

Para a análise da camada de base, é necessário analisar a deflexão entre a distância 0 até 25 cm respeitando o limite adotado para este projeto que é  $80 \times 10^{-2}$  mm.

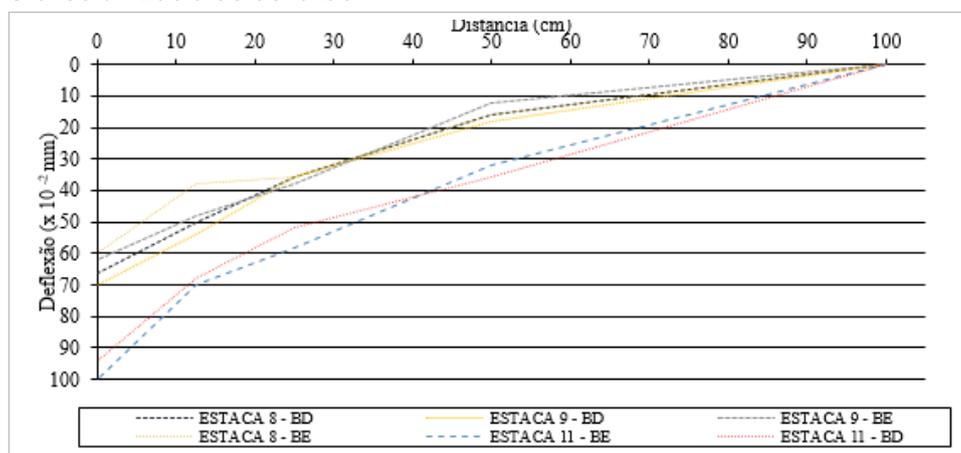
Os dados da bacia de deflexão dos 4 pontos da pista experimental e do ponto da pista com mistura da empresa está demonstrado no Gráfico 6.

A primeira análise a ser feita, é semelhante a análise feita no item anterior, a qual fica evidente que a deflexão nova mistura está abaixo do limite adotado para a pista, enquanto a mistura da empresa ultrapassa este valor.

E a segunda análise é com base no raio de curvatura. É recomendado que o raio de curvatura seja acima de 100 m, mas não proíbe a ocorrência abaixo disso, porém quando este valor está acima de 100 m significa que a deflexão recuperada está dentro dos parâmetros possuindo uma menor deformação plástica.

Com base nisso, ambas as misturas tiveram valores acima de 100m. A nova mistura se mostrou melhor e com menos possibilidades de apresentar deformação plástica apresentando um raio de curvatura médio de 188m. já o raio de curvatura médio da mistura da empresa foi de 112m, ou seja, acima do recomendado, mas sendo necessário um cuidado maior, pois apensar de estar acima do recomendado, a deflexão máxima ultrapassou o limite de  $80 \times 10^{-2}$  mm, o que torna necessário uma possível melhora na camada de base pois a mesma poderá apresentar deformações.

Gráfico 6 – Bacia de deflexão



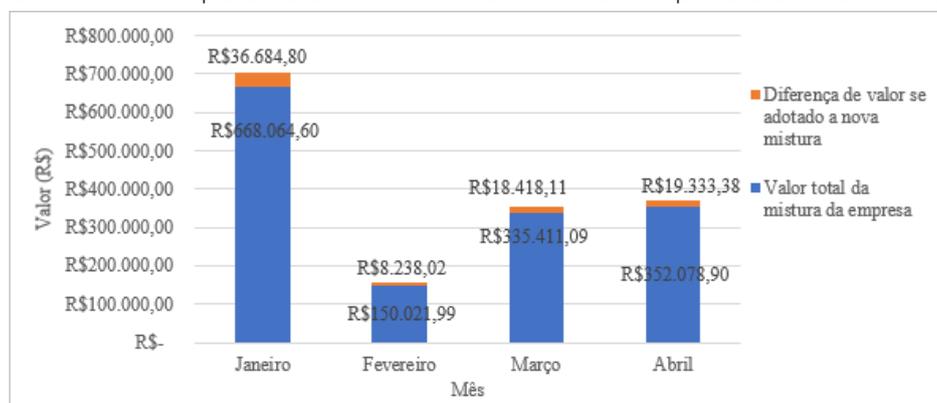
Fonte: os autores.

### 4.3 VIABILIDADE

Para entender melhor o impacto da adição de filer na mistura, a quantidade de base executada pela empresa no ano de 2021 foi solicitada aos seus colaboradores e com base nestes dados foi calculado o valor gasto em cada mês. Sobre estes valores foram adicionados R\$ 6,40 reais a tonelada, que representam uma adição de 5% de filer na mistura.

Para entender melhor a diferença, um gráfico foi criado demonstrando o real gasto com a base da empresa, e o gasto adicional se neste período fosse adotado a nova mistura. Os resultados estão apresentados no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Comparativo de custo entre a mistura da empresa e a nova mistura



Fonte: os autores.

Dessa forma, a adição se torna inviável por 2 fatores. O primeiro é que essa adição irá ultrapassar o limite do custo do orçamento para a base, já que no dimensionamento dificilmente é considerada perda de materiais. E outro fato, é a falta de filer na empresa, já que atualmente ela destina toda sua parcela de filer a uma nova empresa de fertilização. Com isso o melhor a se fazer é tentar inibir a perda de material, alterando seu processo de mistura.

#### 4.4 ANÁLISE FINAL

De uma forma geral as duas misturas desde seu enquadramento granulométrico até sua execução se mostram de acordo com o que especifica a normativa ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010). Além disso o resultado da caracterização foi positivo, mostrando que o material atende aos parâmetros para pavimentação.

Com o resultado da deflexão máxima é foi possível compreender o que foi descrito por Lima e Motta (2015), onde citam a importância de um material granular para se obter uma base com boa compactação e que resista aos esforços aplicados sobre ela, sem apresentar deformação permanente e fadiga.

Logo, é possível assimilar o que foi dito por Bernucci *et al.* (2007), onde enfatiza uma atenção elevada no dimensionamento da estrutura, pois as mesmas precisam resistir à numerosas solicitações de carga sem que ocorra danos estruturais, o que não foi visto no projeto de pavimentação executado pela empresa, a qual não continha dados importantes, bem como a deflexão máxima permitida.

Ainda analisando as duas misturas, o estudo da deflexão foi fundamental para concluir que a nova mistura se mostrou mais eficiente que a mistura da empresa, bem como citou Pinto (2015), onde afirmou que quanto maior o raio de curvatura, maior é a sua elasticidade.

## 5 CONCLUSÃO

O resultado da pesquisa traz muitos dados valiosos e ressalta a importância de um ótimo controle tecnológico além de demonstrar a importância de se ter uma mistura homogênea e composta por materiais devidamente caracterizados e conhecidos.

Dessa forma, uma das principais conclusões obtidas é que o problema não se dá especificamente nos materiais que compõem a mistura, mas sim no método que a mistura é executada. Para entender melhor é possível observar que a maior diferença entre a nova mistura e a mistura da empresa é simplesmente a quantidade de material fino, visto que o material adicionado na mistura tem como objetivo repor o material perdido no processo. Além disso, essa pequena perda de material fino, causa uma grande diferença no comportamento final da base como foi possível perceber nos ensaios de deflexão.

Após analisar o custo adicional de filer na nova mistura, é possível concluir que não é viável para a empresa adotar essa medida como solução. A melhor solução seria alterar o método de mistura deste material sabendo que a empresa dispõe de uma central de usinagem, porém necessita de um estudo para adequação para a nova utilidade.

Esta pesquisa se resume em alterar a britagem, a fim de deixar os agregados com um índice maior de finos, para que não seja necessário ter um silo específico para filer e também é claro, para que não seja necessário corrigir o traço com a adição de filer com uma pá carregadeira já que com este método a perda seria praticamente zero.

Se adotado esta medida mitigadora, a qualidade da base se elevara, o que resultara em um pavimento que absorverá melhor os esforços sem apresentar deformações, aumentando assim sua vida útil.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NORMA BRASILEIRA 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003- 06 p.

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica:** formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras, 2007. 501 p. ISBN 8585227842.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Manual de pavimentação.** 3ª edição – Rio de Janeiro – 2006. 277 pg. (IPR, Publ. 719).

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2017: relatório gerencial.** Confederação Nacional dos Transportes, Brasília, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME 24/94. Pavimento - Determinação das deflexões pela viga Benkelman.**, Rio de Janeiro. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME 35/94. Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”.** Rio de Janeiro. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME 54. Equivalente de areia.** Rio de Janeiro. 10 pg. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME 92/94. 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 162/94. Ensaio de compactação utilizando amostras não trabalhadas.** Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **DNIT ES 141. Pavimentação – base estabilizada granulometricamente.**, Rio de Janeiro. 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **DNIT ME 172/16. Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas.** Brasília, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **DNIT ME 424/20. pavimentação – agregado – determinação do índice de forma com crivos.** Rio de Janeiro, 2020.

FERNANDES, Ivy Souza; TRICHÊS, Glicério. **Contribuição à caracterização do comportamento mecânico da camada de brita graduada “in situ”.** Florianópolis, 2000.

LIMA, Caroline Dias; MOTTA, Laura Maria. **Influência na variação granulométrica de brita graduada simples na deformação permanente.** XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, ano 2015, 13 nov. 2015.

PINTO, Salomão. **Pavimentação asfáltica: conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos.** Rio de Janeiro LTC 2015 1, 2015. (recurso online), ISBN 978-85-216-2916-0.

RETORE, Taís. **Comportamento mecânico de agregados de basaltos alterados para pavimentação, rejeitos de garimpos de Ametista.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.