

CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – FORMATO ARTIGO CIENTÍFICO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DE FÍLER EM MISTURAS
ASFÁLTICAS DENSAS SELECIONADAS GRANULOMETRICAMENTE
PELO MÉTODO BAILEY**

**Gustavo Menezes Carvalho Cavalcanti Ribeiro¹
Leonardo José Silva de Souza²**

RESUMO

O fíler como material componente da mistura asfáltica é capaz de modificar consideravelmente as propriedades do pavimento asfáltico, não sendo apenas um material inerte na mistura e que preenche os vazios deixados pelos agregados miúdos. É nesse sentido que muito se vem estudando sobre a sua capacidade de modificar fisicamente e quimicamente o pavimento, além de suas camadas de base e sub-base. Aliado as especificações trazidas pelo método Bailey de seleção granulométrica, o presente estudo avaliou a influência de uma variação de 3,50 a 6,00% na quantidade de fíler em quatro principais parâmetros das misturas asfálticas obtidas em trabalhos já publicados na literatura: vazios do agregado graúdo, porcentagem final dos agregados, proporções de análise da mistura pelo método Bailey e critérios Superpave e DNIT de análise da curva granulométrica gerada. Os resultados mostraram uma redução na quantidade do agregado fino em aproximadamente 10%, além de ter sido verificadas diminuições na quantidade de fíler a ser inserida na mistura de até 81% em função da presença prévia desse material nas outras frações dos agregados (fração graúda e fina). Em relação a Porção de Agregados Graúdos (AG), Porção Graúda dos Agregados Finos (GAF) e Porção Fina do Agregado Fino (FAF), notou-se que nas duas últimas ocorrem aumentos de, em média, 8,59% e 25,73%, respectivamente, gerando impactos significativos no atendimento a esses critérios do método Bailey. Por fim, essa variação na quantidade de fíler da mistura resultou em uma elevação da primeira metade da curva granulométrica, podendo impactar no atendimento aos padrões descritos nas metodologias Superpave e das faixas de referência do DNIT.

Palavras-chave: Granulometria; Fíler; Método Bailey.

1. INTRODUÇÃO

Considera-se a malha rodoviária de um país como um dos seus mais importantes bens e responsável por possibilitar o movimento de grande parcela da economia, principalmente naqueles em estado emergente de desenvolvimento (BEZERRA, 2020). Segundo o mesmo

¹ Aluno formando do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade Paraíso do Ceará [gustavoflorestano@gmail.com].

Artigo apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Paraíso do Ceará como parte obrigatória para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

² Professor Orientador. [leonardo.souza@fapce.edu.br]

autor, é por meio desse modal de transporte que as mercadorias podem chegar aos portos e aeroportos para exportação, pessoas podem se deslocar para destinos variados e que também é feita a conexão entre diferentes regiões do país para a abertura de relações nos campos sociais, culturais, econômicos, entre outros.

Segundo pesquisa realizada pela Confederação Nacional do Transporte, CNT (2019), no Brasil existem cerca de 1.720.700 km de rodovias, sendo 12,4% desse valor de estradas pavimentadas, um número bem inferior quando comparado a infraestrutura de transportes de países como Estados Unidos, China e Rússia. Em sua maioria, as rodovias pavimentadas são compostas por um revestimento betuminoso composto, basicamente, por agregados pétreos, ligante asfáltico e aditivos, os quais formam uma mistura consistente capaz de suportar as solicitações de tráfego imposto pelos diversos tipos de veículos e cargas (CNT, 2019).

Para se chegar a um produto final de qualidade, os materiais componentes dessas misturas asfálticas devem passar por criteriosos procedimentos laboratoriais visando atestar as suas características mecânicas e químicas, principalmente. Além disso, a determinação das quantidades de cada material, especialmente dos agregados, e a forma com que eles vão se relacionar dentro da mistura é de fundamental importância na produção de um pavimento de qualidade, além de proporcionar ao conjunto níveis satisfatórios de durabilidade e resistência. Entretanto, os diversos métodos de composição dos agregados para misturas não levam em consideração tais particularidades, além de utilizarem metodologias de tentativa e erro para esta atividade.

Nesse contexto, o uso de uma granulometria não adequada pode desencadear diversos tipos de patologia nos pavimentos como, por exemplo, as deformações permanentes. Embora este não seja o único fator considerado em uma análise, a consequência do aparecimento desses problemas é provocar um efeito prejudicial paralelo à segurança da rodovia e aos seus usuários, além de facilitar a ocorrência de acidentes e gerar dificuldades de conduzir o veículo.

Visando proporcionar um melhor embasamento teórico e um maior rigor técnico ao procedimento de seleção granulométrica, além de considerar os principais aspectos volumétricos da mistura para obter um esqueleto mineral mais resistente, foi desenvolvido o Método Bailey. Desenvolvido pelo engenheiro Robert Bailey na década de 80, o método possibilita um ajuste na quantidade de vazios, bem como na quantidade de cada porção de

agregados, para que posteriormente haja uma porcentagem de vazios adequada para receber o ligante asfáltico.

Tendo em vista tais aspectos, o presente trabalho busca utilizar tal método para avaliar, com o auxílio do software EA BAILEY e de dados coletados em trabalhos publicados na literatura, a influência da quantidade de fíler no desempenho de misturas asfálticas no que tange os critérios de avaliação apresentados por Bailey. Além disso, pretende-se disseminar a utilização do método Bailey para seleção granulométrica no país, levando em consideração os diversos benefícios gerados pelo seu uso.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MISTURAS ASFÁLTICAS

Para Bertollo (2002), misturas asfálticas são o resultado da junção de materiais granulares de variados tamanhos, material de enchimento (fíler) e ligante asfáltico, todos combinados nas suas proporções adequadas e estabelecidas previamente em projeto para, dessa forma, se ter um produto final satisfatório e pronto para seu uso específico.

Seu processo de produção pode ser realizado tanto em campo, geralmente quando se trata da aplicação de tratamentos superficiais, como por meio de usinas específicas (fixa ou móvel), as quais tem como resultado um revestimento betuminoso denominado de mistura usinada. Em relação ao ligante usado (material viscoso responsável por conferir, entre outras utilidades, a aderência entre as partículas dos agregados), dois tipos principais se destacam pelo recorrente uso no país, são eles: Concreto Asfáltico de Petróleo (CAP), aplicado a quente, ou a Emulsão Asfáltica de Petróleo (EAP), aplicada a frio (BERNUCCI *et al.*, 2008).

A etapa responsável por analisar e determinar os parâmetros dos materiais, bem como as suas proporções, é a dosagem. Em diversos métodos usados para essa atividade inicialmente busca-se determinar a curva granulométrica dos agregados que serão combinados como, por exemplo, no método Marshall. Esse passo do processo de dosagem, no Brasil, é especificado pelo DNIT, o qual prescreve três faixas granulométricas (A, B e C) em que a curva da mistura em análise deve ficar dentro dos limites marcados por elas. Um outro método bastante empregado em situações específicas de dosagem é o Superpave que, entretanto, não difere do Marshall no tocante a necessidade de se determinar inicialmente a curva granulométrica dos agregados disponíveis (BERNUCCI *et al.*, 2008).

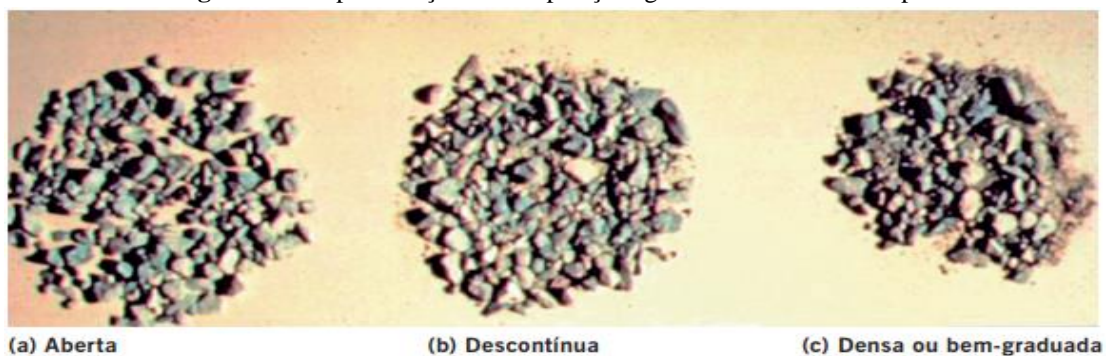
Especificamente no Brasil, o tipo de produção das misturas asfálticas mais utilizado é a usinada, podendo ser utilizado três tipos de distribuições granulométricas, os quais foram descritos por Bernucci *et al.* (2008):

- a) **Graduação Densa:** Representa as curvas granulométrica de característica contínua e que é considerada por pesquisadores como sendo bem graduada. A quantidade de vazios formada por esse tipo de graduação é baixa, proporcionando assim esqueletos minerais mais estáveis e resistentes as solicitações. Uma outro consequência relacionada a essa pequena quantidade de vazios é que a quantidade de ligante consumida na sua produção também será reduzida (4,5 a 6,0%) quando comparado aos outros tipos de graduação. O ponto negativo relacionado a distribuição densa é a sua alta susceptibilidade a pequenas variações na quantidade de ligante. Um aumento no teor pode provocar patologias como as deformações permanentes, e uma redução pode resultar numa insuficiência de ligante, diminuindo assim a resistência à tração do pavimento e aumentando o aparecimento de trincas.
- b) **Graduação Aberta:** Esse tipo de graduação é caracterizado pela formação de um esqueleto mineral com grande quantidade de vazios e pequena quantidade de agregados finos na mistura. Como resultado, a estrutura do pavimento é porosa e com características drenantes, ou seja, permite que a água percorra os vazios presentes até atingir as camadas inferiores ou ser direcionado para outro local. O revestimento formado por esse tipo de graduação é denominado de Camada Porosa de Atrito (CPA) e apresenta como benefício a redução do “*spray*” de água durante os períodos chuvosos, melhorando a visibilidade, redução de ruídos, alta aderência, entre outros. As desvantagens que podem ser citadas são: redução da permeabilidade em função da colmatação dos vazios, necessidade de um maior controle na execução, custo inicial elevado, quando comparado aos demais, alta desagregação superficial, entre outros.
- c) **Graduação Descontínua:** As características principais desse tipo de distribuição, segundo Neves Filho (2004), são a presença quase que integral de um mesmo tamanho de partícula de agregados e a menor quantidade de agregados de tamanho intermediário. Em consequência desse fato tem-se a presença de uma descontinuidade na curva granulométrica e uma maior interação entre as

partículas graúdas, proporcionando uma maior resistência a deformação permanente ao pavimento. Como exemplo de mistura com esse tipo de graduação pode-se citar a matriz pétreo asfáltica (Stone Matrix Asphalt – SMA).

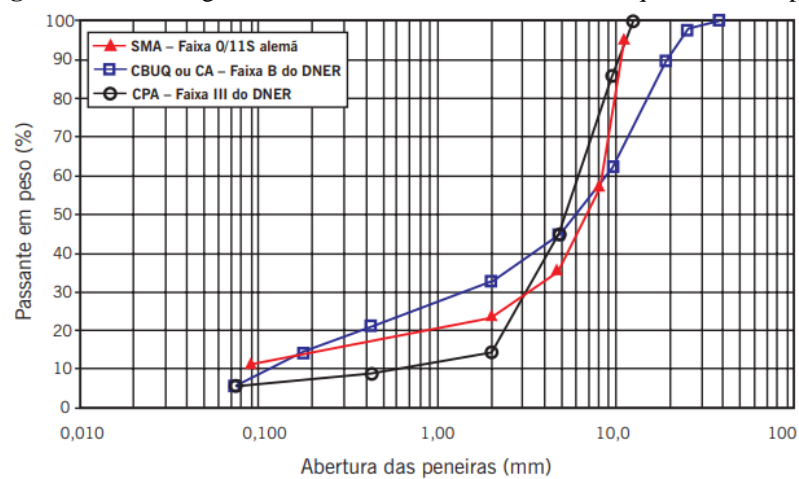
Esses três tipos de graduações podem ser observados nos exemplos de composições granulométricas de misturas a quente apresentados na Figura 01. Além disso, a Figura 02 traz a representação de curvas granulométricas que se encaixam nos padrões descritos em cada tipo de graduação.

Figura 01 - Representação de composições granulométricas - Exemplo



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008

Figura 02 - Curvas granulométricas de misturas asfálticas a quente - Exemplo



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008

2.2 O FÍLER E A SUA IMPORTÂNCIA NAS MISTURAS ASFÁLTICAS

O material de enchimento, ou fíler, é um material mineral inerte em relação aos demais componentes da mistura, finamente dividido, passando pelos menos 65% na peneira de 0,075 mm de abertura de malha quadrada (DNER 367/97).

O fíler é definido ainda como sendo o material responsável por ocupar os vazios entre as partículas de agregados maiores, a fim de reduzir tais espaços, aumentando assim a densidade e estabilidade da mistura asfáltica. Além disso, poderá funcionar como um material mineral que fica em suspensão no ligante asfáltico, aumentando a sua consistência. Este último, é denominado de Fíler Ativo e responsável por formar o mástique (BARDINI, 2013).

No processo de dosagem, o mástique tem influência sobre a lubrificação das partículas de agregados maiores, nas características de compactação e também sobre o teor ótimo de ligante asfáltico. Assim, um bom mástique será capaz de gerar, como consequência, mudanças nas respostas mecânicas de misturas asfálticas, bem como na sua trabalhabilidade. Sua rigidez exerce influência também nas tensões desenvolvidas e na resistência à fadiga a temperaturas intermediárias, bem como afeta a resistência à deformação permanente da mistura asfáltica a altas temperaturas e a resistência ao trincamento térmico (BARDINI *et al.*, 2010).

O processo de fadiga, por exemplo, resultado do crescimento de microfissuras no mástique, está diretamente relacionado às características do ligante asfáltico, às propriedades do fíler, à interação físico-química entre os dois e pela finura e características de superfície do fíler (BARDINI *et al.*, 2010).

Bardini (2013) reforça ao dizer que, além de preencher os vazios e aumentar a viscosidade do ligante, ativando-o, diminuindo a penetração, espessando-o e encorpando-o, é o responsável por tornar o mástique mais viscoso que o ligante asfáltico puro. Atrelado a isso, tem-se o aumento do ponto de amolecimento, diminuição da suscetibilidade térmica, aumento da resistência ao cisalhamento, no módulo de rigidez e na resistência à tração na flexão.

Tal material (fíler), tem como características principais a área superficial e sua habilidade de permanecer em suspensão, diferindo das partículas de agregado que, por sua vez, apresentam como características principais o seu volume, peso e inércia, que evita a suspensão e deixa a energia superficial em um papel secundário em relação à estabilidade interna (BARDINI, 2013).

Nesse contexto, percebe-se as propriedades trazidas pelo fíler às misturas asfálticas, além da sua dupla função quando incorporado a esta. A primeira, está relacionada a sua atividade como agregado, em que por meio do preenchimento dos vazios e contato entre as partículas confere ao esqueleto mineral uma maior estabilidade (interação física). A segunda se refere ao seu desempenho quando este reage com o ligante provocando alterações nas propriedades viscoelásticas e de adesividade da mistura (interação química).

A depender das características que se pretenda atribuir a mistura asfáltica, seguindo sempre especificações técnicas de projeto, o fíler terá papel essencial nesse processo devido às mudanças provocadas pela sua presença que, estando devidamente dosada a sua quantidade, será possível chegar aos fins desejados.

2.3 MÉTODO BAILEY DE SELEÇÃO GRANULOMÉTRICA

O método Bailey, criado na década de 80 pelo engenheiro do Departamento de Transporte de Illinois (IDOT) Robert Bailey, apresenta, basicamente, uma metodologia responsável por avaliar e entender melhor a interface entre a granulometria dos agregados e as propriedades das misturas asfálticas. Esta etapa do processo de dosagem (seleção granulométrica) é realizada pelos responsáveis técnicos, geralmente, por meio do método gráfico de Rothfuchs, ou simplesmente baseado na experiência prática de profissionais que há anos realizam essa atividade a fim de obter suas conclusões. Tal prática não é recomendada do ponto de vista técnico e executivo, tendo em vista a variabilidade dos materiais usados no decorrer do tempo e lugar (AURILIO *et al.*, 2005).

Ao levar em consideração as condições volumétricas da mistura para a sua dosagem, o Método Bailey estará trazendo para esse processo, paralelamente, informações relativas à compactação dos agregados em cada fração, aos Vazios do Agregado Mineral (VAM) e ao Volume de Vazios (Vv). Dessa forma, é proporcionado um alto índice de intertravamento da fração graúda além de ser possível utilizar o método em dosagens de agregados e ligantes por diferentes metodologias como Marshall, Hveem, Superpave e outras. (CUNHA, 2004).

Segundo Vavrik *et al.* (2001), a utilização desse método tem contribuído para a produção de misturas cada vez mais estáveis e com um VAM adequado a uma durabilidade satisfatória. Além disso, a possibilidade de se alterarem tais características volumétricas pela mudança na quantidade dos agregados é um importante fator que tem afirmado a sua utilização como ferramenta importante dessa etapa da dosagem (CUNHA, 2004).

2.3.1 Agregados graúdos e agregados finos

No processo de divisão das frações dos agregados, tradicionalmente é usado uma peneira como referência em que os agregados retidos são considerados graúdos e o material passante se trata dos finos (agregados miúdos e fíler). No Brasil, essa peneira se trata daquela

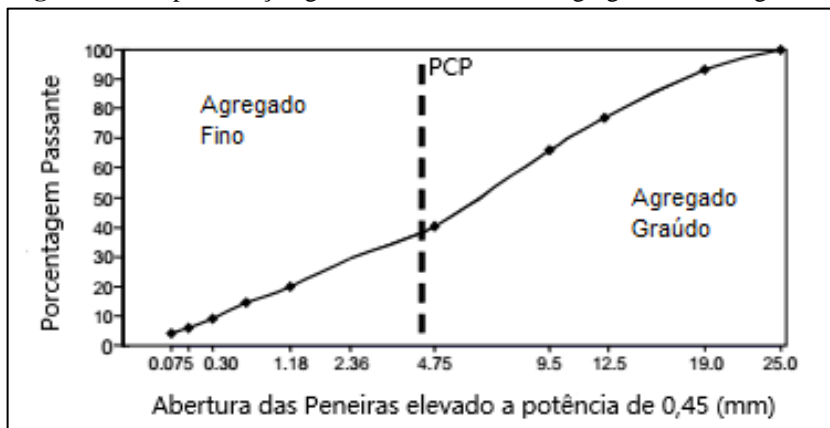
que tem abertura igual a 4,75 mm, segundo o que prescreve a norma regulamentadora DNIT 412/2019 – ME. Entretanto, para o método Bailey existe uma forma específica de realizar tal ação. Será feito, desse modo, utilizando-se de um cálculo que determinará a abertura da peneira usada nessa etapa.

Em posse do Diâmetro Máximo Nominal (DMN) dos agregados disponíveis, é possível determinar qual será essa peneira. O cálculo é feito multiplicando-se o DMN por um fator de valor igual a 0,22 que foi determinado experimentalmente por pesquisadores do método através de análises bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D) do arranjo de determinados agregados com formas variadas (VAVRIK *et al.*, 2001; GUARIN, 2009). A essa peneira dá-se o nome de Peneira de Controle Primário e a fórmula para o seu cálculo está representada pela Equação 01.

$$PCP = DMN \times 0,22 \quad (01)$$

Segundo Yu (2012), o método Bailey considera agregados graúdos aquelas partículas de tamanho maior na mistura e que ao se juntarem formarão vazios capazes de serem substituídos por agregados de tamanho menor, estes últimos considerados os agregados finos. Nesse contexto, é necessário obter-se mais informações acerca desses materiais para definir esta divisão, informações estas que são supridas pela obtenção do valor do Diâmetro Máximo Nominal (DMN) da mistura asfáltica. A Figura 03 traz um exemplo gráfico dessa divisão para uma mistura de DMN igual a 19,0 mm.

Figura 03 - Representação gráfica da divisão entre agregados finos e graúdos



Fonte: Adaptado de VAVRIK *et al.*, (2001)

2.3.2 Formação do arranjo de agregados

Sabe-se que uma das características das misturas asfálticas é a presença de vazios em sua composição, conforme mencionado em tópicos anteriores. Tais espaços podem variar a depender da forma, angularidade e textura das partículas, e do grau de compactação executado, gerando reflexos na estabilidade do pavimento às solicitações impostas pelo tráfego (MENDES, 2011).

Nesse contexto, para quantificar esses vazios e avaliar a combinação volumétrica dos agregados, o método Bailey necessita de informações adicionais que são obtidas por ensaios específicos, a depender da fração de agregados analisada. Em relação aos agregados graúdos faz-se necessário realizar os ensaios de Massa Específica Solta (MES) e Massa Específica Compactada (MEC). Para a parcela fina, é requerido apenas o ensaio de MEC, pois é nesse estado (compactada) que a sua estrutura possui uma adequada resistência a ser analisada no método (CUNHA, 2004). Obtidos esses dados, é possível aplicar boa parte das etapas que prescreve o método Bailey, além de se possível observar a forma com que agregados se estruturam no conjunto e deixam os vazios na sua condição intertravado.

2.3.3 Massa Específica Escolhida (MEE)

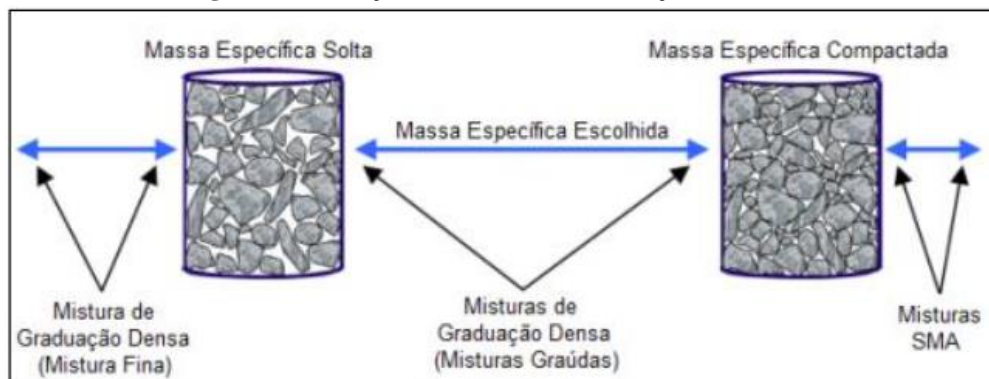
Outro ponto a ser mencionado e que foi também destacado por Cunha (2004) é que, na formação do arranjo de agregados, no método em questão se faz necessário a determinação pelo profissional técnico responsável pelo projeto do grau de intertravamento a ser aplicado na fração graúda dos agregados. Esse valor é representado por uma porcentagem da MES ou MEC, a depender do tipo de mistura, e a ele dá-se o nome de Massa Específica Escolhida (MEE).

Esse parâmetro é responsável por determinar o tipo de mistura que será projetada, podendo esta ser do tipo graúda ou fina. A primeira apresenta um maior volume de agregados graúdos, já a segunda, opostamente, apresenta um arranjo com quantidade insuficiente de agregados graúdos, deixando a mistura, desse modo, em função das propriedades dos agregados finos presentes, ou seja, a maioria das solicitações aplicadas serão resistidas pela estrutura formada majoritariamente por finos. Tal situação não é recomendável em alguns casos como, por exemplo, em rodovias de tráfego intenso e de cargas elevadas (VAVRIK *et al.*, 2001).

Em termos numéricos tem-se que valores de MEE entre 95 e 105% da MES dos agregados graúdos podem fornecer uma mistura que se aproxima das características daquelas

do tipo densa. Para porcentagens no intervalo de 110 a 125% da MEC resultarão misturas do tipo SMA, as quais tendem a apresentar mais partículas graúdas do que outros tipos, além possibilitar uma maior resistência ao pavimento. Por fim, o método traz que para valores de MEE inferiores a 95% da MES as misturas apresentaram características de misturas finas, conforme as mencionadas em parágrafos anteriores (MENDES, 2011). A Figura 04 traz uma representação ilustrativa desses limites associados ao tipo de mistura resultante.

Figura 04 – Relação entre a MEE e a formação de misturas



Fonte: Adaptado de VAVRIK *et al.*, (2001)

2.3.4 Procedimento de obtenção das porcentagens dos agregados

Ao obter os dados referentes aos ensaios laboratoriais com os agregados que comporão a mistura, mencionados em tópicos anteriores, pode-se aplicar o procedimento de cálculo e experimental recomendado pelo método em análise e descrito por Vavrik *et al.*, (2001) a fim de obter as porcentagens finais corrigidas dos agregados da mistura:

- a) Determinação da Massa Específica Escolhida da fração graúda, kg/m^3 ;
- b) Cálculo do volume de vazios nos agregados graúdos;
- c) Determinação da parcela de agregado fino suficiente para ocupar os vazios da fração graúda através da MEC em kg/m^3 ;
- d) Determinação da massa total (utilizando a densidade de cada agregado) seguida da transformação desse valor em porcentagens de agregados para cada fração;
- e) Correção da quantidade do agregado graúdo retirando a parcela de finos nela contida. Realiza-se a mesma correção para os agregados finos tendo em vista a presença de agregado graúdo em sua composição. Dessa forma o volume de agregados em suas duas porções principais estará adequado;

- f) Determinação das porcentagens ajustadas dos agregados;
- g) Sendo usado material de enchimento (fíler) na mistura, realiza-se uma diminuição da porcentagem de agregado fino para considerar esse material;
- h) Determinação das porcentagens corrigidas dos agregados, em peso, para possibilitar a aplicação na mistura calculada.

2.3.5 Procedimento de análise

Após obtidos os valores das porcentagens finais dos agregados e a sua curva granulométrica, segue-se para a análise da mistura calculada que consiste, inicialmente, em determinar novas peneiras de controle utilizando como base a PCP já calculada e o mesmo fator 0,22 mencionado anteriormente. As peneiras calculadas são: Peneira de Controle Secundário (PCS), Peneira de Controle Terciário (PCT) e Peneira Média (PM) (CUNHA, 2004).

Em conjunto com a PCP, tais peneiras tem a função de subdividir a mistura em frações, informando a porção de material que ficou retido em cada uma delas, bem como a porcentagem que passa para assim serem realizados os procedimentos de análise que traz o método Bailey (VAVRIK *et al.*, 2001). Essa etapa conta com a determinação de porções que são usadas para caracterizar o arranjo dos agregados da mistura, e foram descritas no estudo de Vavrik *et al.* (2001), são elas:

- a) Porção de Agregados Graúdos (Proporção AG): Essa proporção é usada para verificar e estudar o grau de compactação da fração graúda dos agregados e obter informações acerca dos vazios gerados pelo arranjo formado. Essa ação é possível por meio de um cálculo que estabelece uma relação entre as porcentagens passantes de material na PM e na PCP, conforme apresenta a Equação (02).

$$Proporção\ AG = \frac{\% \text{ passante na PM} - \% \text{ passante na PCP}}{100\% - \% \text{ passante na PM}} \quad (02)$$

Segundo Cunha (2004), uma redução no valor dessa proporção significará um aumento da compactação da fração fina, pois haverá uma quantidade menor de partículas passantes na PM, as quais são necessárias para provocar um limite na compactação dessas partículas graúdas.

Nos casos em que a Proporção AG se encontra abaixo dos limites recomendados pelo método Bailey, haverá na mistura uma insuficiência de partículas maiores, tornando a mistura mais suscetível a segregação e mais dependente do esqueleto mineral formado pelas partículas da fração fina. Em contrapartida, quando a Proporção AG está próxima a 1,0 ocorrerá um aumento no VAM da mistura, um desbalanceamento da fração graúda e um prejuízo ao intertravamento das partículas, gerando assim alguns reflexos em campo (problemas com a compactação e tendência a corrugação com a ação do tráfego).

Os limites citados nos parágrafos anteriores são organizados pelo DMN e podem ser observados na Tabela 01.

Tabela 01 - Intervalos recomendadas para as proporções de agregados de misturas densas

Proporção	Diâmetro Máximo Nominal - DMN, mm					
	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75
AG	0,80-0,95	0,70-0,85	0,60-0,75	0,50-0,65	0,40-0,55	0,30-0,45
GAF	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50
FAF	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50

Fonte: Adaptado de VAVRIK *et al.*, (2001)

- b) Porção Graúda do Agregado Fino (Proporção GAF): Esta representa as partículas maiores dos agregados que passaram pela PCP e ficaram retidos na PCS. Seu cálculo envolve a relação da porcentagem de material passante na PCS e na PCP, podendo ser expresso pela Equação (03).

$$\text{Proporção GAF} = \frac{\% \text{ passante na PCS}}{\% \text{ passante na PCP}} \quad (03)$$

Mendes (2011) explica que para valores maiores de Proporção GAF haverá um aumento no volume da fração fina, ou seja, do material que passa na PCP, possibilitando que esta fração se reorganize melhor na mistura. O autor recomenda ainda que esta proporção não ultrapasse o valor de 0,5 para que assim a mistura não fique com excesso desse material.

Por outro lado, para valores menores que 0,35 haverá uma tendência a formação de graduações não-uniformes e misturas abertas. Este tipo de mistura, em alguns casos, pode provocar certa instabilidade e complicações na etapa de compactação.

- c) Porção Fina do Agregado Fino (Proporção FAF): Esta propriedade se trata de um indicador do estado de compactação dos agregados finos da mistura, responsáveis por ocupar os vazios deixados pelas partículas analisadas na Proporção GAF. A determinação do seu valor pode ser expressa pela Equação (03). (04)

$$\text{Proporção FAF} = \frac{\% \text{ passante na PCT}}{\% \text{ passante na PCS}}$$

Eventuais diminuições nos valores dessa Proporção tendem a aumentar o VAM da mistura, não sendo recomendado que seja excedido os limites superior e inferior indicados na Tabela 01.

Em resumo, as Proporções aqui mencionadas são importantes indicadores de avaliação do VAM da mistura, sendo possível uma alteração nos seus valores com o objetivo de atender as especificações preestabelecidas em projeto. Tal alteração pode ser realizada modificando as quantidades iniciais de cada fração (CUNHA, 2004).

Feito o procedimento de cálculo para encontrar as Proporções AG, GAF e FAF, compara-se os valores resultantes com os limites apresentados na Tabela 01. Caso todos estes valores estejam no intervalo indicado, diz-se que a mistura está dentro dos padrões estabelecidos pelo Método Bailey, caso contrário, correções nas quantidades e tipos de agregados precisam ser estudadas e realizadas.

2.4 FERRAMENTA EA BAILEY

A ferramenta EA BAILEY foi desenvolvida pelo engenheiro José Emerson Alves Bezerra no ano de 2020 com a finalidade de fornecer aos profissionais da pavimentação asfáltica um programa que otimizasse a etapa de testes com os agregados para a criação de uma nova mistura. Além disso, seu estudo analisou a influência de variações na MEE sobre os parâmetros volumétricos das misturas (VAM e Vv), os critérios de avaliação das misturas especificadas pelo método Bailey e as principais implicações práticas das eventuais mudanças nesses parâmetros.

O programa citado apresenta cinco janelas dispostas em uma sequência que segue o passo a passo descrito pelo método Bailey. Em seu corpo são apresentadas informações que facilitam seu uso e evidenciam a necessidade de dados complementares para sua execução, a exemplo dos ensaios de MES e MEC dos agregados graúdos e finos, não comuns nos processos

convencionais de seleção granulométrica. A Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8 e Figura 9 apresentam as cinco janelas do programa e a Figura 10 traz um exemplo de curva granulométrica gerada pelo programa após o cálculo das porcentagens finais da mistura.

A Janela 01 do programa, apresentada na Figura 5, é responsável por receber os valores das granulometrias dos agregados escolhidos para serem usados no projeto da mistura. A Janela 02, Figura 6, são apresentados os dois tipos de mistura suportados pelo programa, ou seja, aquelas as quais o programa é apto a realizar a seleção dos agregados. Nesse passo o usuário deve selecionar o tipo desejado (Mistura Densa ou SMA), confirmar e observar as orientações expostas na janela logo abaixo antes de seguir para a próxima janela.

Na Janela 03, apresentada pela Figura 9, inicia-se o procedimento de inserir os dados dos ensaios realizados com os agregados: Diâmetro Máximo Nominal, MES, MEC. Além disso, nessa janela são inseridos os valores que cabem ao projetista decidir, tais como: porcentagem iniciais das frações, porcentagem de fíler desejada e MEE.

A Janela 04 (Figura 10) se trata apenas de uma forma de visualizar parte do procedimento até ali realizado. Em sua interface constarão os valores usados nas correções das porcentagens dos agregados tendo em vista a eventual presença de uma das frações em outra. Finalmente, na Janela 05, Figura 7, são exibidas as porcentagens finais dos agregados, os valores das proporções AG, GAF e FAF usadas na análise da mistura e o botão para gerar a curva granulométrica da mistura calculada, a exemplo da que é apresentada na Figura 10.

É importante ressaltar que a ferramenta EA BAILEY passou por um processo de validação realizada no estudo de Bezerra (2020), se encontrando, portanto, apta para proceder a execução de seleções granulométricas de misturas densas utilizando o método Bailey.

Figura 5 - Janela 01 – Granulometria dos agregados

Fonte: BEZERRA (2020)

Figura 6 - Janela 02 – Tipo de Mistura

Fonte: BEZERRA (2020)

Figura 7 - Janela 03 – Dados dos agregados

EA BAILEY Laboratório de Infraestrutura Viária (LIV) - UFCA

Janela 03

DMN mm

AGREGADOS GRAÚDOS (AG#)

	AG#1	AG#2	AG#3	(%)
Quantidades Iniciais	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Massa Específica Solta	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	(g/cm ³)
Massa Específica Compactada	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	(g/cm ³)
Massa Específica	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	(g/cm ³)

AGREGADOS FINOS (AF#)

	AF#1	AF#2	AF#3	(%)
Quantidades Iniciais	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Massa Específica Solta	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	(g/cm ³)
Massa Específica Compactada	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	(g/cm ³)

Massa Específica Escolhida do Agregado Graúdo. (MEE)

MEE (%)

Material de Enchimento (Filer)

Porcentagem Desejada (%)

Anterior Próximo

Fonte: BEZERRA (2020)

Figura 8 - Janela 04 – Valores para correção

EA BAILEY Laboratório de Infraestrutura Viária (LIV) - UFCA

Janela 04

Peneira de Controle Primário (PCP) mm

Vazios do Agregado Graúdo (%)

DADOS PARA CORREÇÃO DAS PORCENTAGENS DOS AGREGADOS
(VALORES RETIRADOS DA GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS FORNECIDOS)

% de material PASSANTE na PCP dos Agregados Graúdos:

AG#1	<input type="text"/> (%)	AF#1	<input type="text"/> (%)
AG#2	<input type="text"/> (%)	AF#2	<input type="text"/> (%)
AG#3	<input type="text"/> (%)	AF#3	<input type="text"/> (%)

% de material RETIDO na PCP dos Agregados Finos:

AG#1	<input type="text"/> (%)	AF#1	<input type="text"/> (%)
AG#2	<input type="text"/> (%)	AF#2	<input type="text"/> (%)
AG#3	<input type="text"/> (%)	AF#3	<input type="text"/> (%)

% de material PASSANTE na Peneira nº 200 dos Agregados Graúdos:

AG#1	<input type="text"/> (%)	AF#1	<input type="text"/> (%)
AG#2	<input type="text"/> (%)	AF#2	<input type="text"/> (%)
AG#3	<input type="text"/> (%)	AF#3	<input type="text"/> (%)

% de material RETIDO na Peneira nº 200 dos Agregados Finos:

AG#1	<input type="text"/> (%)	AF#1	<input type="text"/> (%)
AG#2	<input type="text"/> (%)	AF#2	<input type="text"/> (%)
AG#3	<input type="text"/> (%)	AF#3	<input type="text"/> (%)

Porcentagem de Filer passante na Peneira de abertura 0,075 mm (Nº 200) (%)

* CASO NECESSÁRIO, RETORNE A JANELA 1 E VERIFIQUE A CORRESPONDÊNCIA DOS VALORES ACIMA.

Anterior Próximo

Fonte: BEZERRA (2020)

Figura 9 - Janela 05 – Resultados

EA BAILEY Laboratório de Infraestrutura Viária (LIV) - UFCA

Janela 05

MISTURA CALCULADA

AG#1 AF#1 Filer

AG#2 AF#2

AG#3 AF#3

ANÁLISE DA MISTURA CALCULADA

PROPORÇÃO AG PROPORÇÃO GAF PROPORÇÃO FAF

Tabela 01 – Faixas de valores recomendadas para as proporções de agregados em misturas densas

Proporção	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75
AG	0,80-0,95	0,70-0,85	0,60-0,75	0,50-0,65	0,40-0,55	0,30-0,45
GAF	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50
FAF	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50

Tabela 02 – Faixas de valores recomendadas para as proporções de agregados em misturas SGA

Proporção	19,0	12,5	9,5
AG	0,35-0,50	0,25-0,40	0,35-0,50
GAF	0,60-0,85	0,60-0,85	0,60-0,85
FAF	0,60-0,85	0,60-0,85	0,60-0,85

Fonte: Vavrik et al., (2002)

Visualizar enquadramento com as faixas do DNIT:

Faixa A Faixa B Faixa C

Visualizar enquadramento com as faixas da AASHTO:

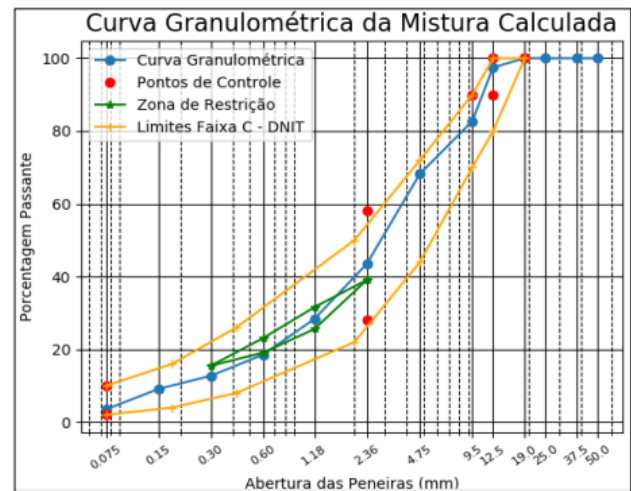
DMN 25 mm DMN 12,5 mm DMN 4,75 mm

DMN 19 mm DMN 9,5 mm

Janela 01 Janela 02 Janela 03 Janela 04

Fonte: BEZERRA (2020)

Figura 10 - Curva Granulométrica



Fonte: BEZERRA (2020)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico serão apresentadas informações acerca dos dados usados nos testes com as misturas selecionadas, o programa EA BAILEY, além de descrever os principais procedimentos e critérios usados na etapa de testes e análise dos resultados.

3.1 DADOS USADOS NOS TESTES

Para a realização dos testes com diferentes porcentagens de filer, foram reunidos estudos já publicados na literatura que também utilizaram o método Bailey em outras análises,

a fim de obter dados para alimentar o programa. Dessa forma, reuniu-se os trabalhos dos seguintes autores:

- a) Vavrik *et al.* (2001);
- b) Cunha (2004);
- c) Aurilio *et al.* (2005);
- d) Daniel e Rivera (2009);
- e) Melo (2010);
- f) Jebur e Abedali (2020).

Com esses estudos foi possível extrair um total de nove misturas do tipo densa para a realização dos testes a que se refere este trabalho. Os dados referentes a porcentagem inicial dos agregados, MES, MEC, massa específica, DMN e MEE estão expostos na Tabela 2 a Tabela 10. Os valores das granulometrias de cada agregado componente das misturas, e que serão aqui testadas, estão apresentados no Anexo A do trabalho de Bezerra (2020).

Tabela 2 - Informações da mistura obtida em Vavrik *et al.* (2001) para realização dos testes

DADOS	AGREGADOS				DMN (mm)	12,5
	GRAÚDOS		FINOS	FÍLER	MEE (%)	103
	AG1	AG2	AF1	MF		
% INICIAL	25%	75%	100%	-		
MES (kg/m ³)	1426,00	1400,00	-	-		
MEC (kg/m ³)	-	-	2167,00	-		
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,702	2,698	-	-		

Fonte: Adaptado de Vavrik *et al.* (2001)

Tabela 3 - Informações da mistura 1 obtida em Cunha (2004) para realização dos testes

DADOS	AGREGADOS				DMN (mm)	12,5
	GRAÚDOS		FINOS	FÍLER	MEE (%)	100
	AG1	AG2	AF1	MF		
% INICIAL	36%	64%	100%	-		
MES (kg/m ³)	1479,00	1549,00	-	-		
MEC (kg/m ³)	-	-	1784,00	-		
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,928	2,928	-	-		

Fonte: Adaptado de Cunha (2004)

Tabela 4 - Informações da mistura 2 obtida em Cunha (2004) para realização dos testes

DADOS	AGREGADOS				DMN (mm)	12,5
	GRAÚDOS		FINOS	FÍLER	MEE (%)	100
	AG1	AG2	AF1	MF		
% INICIAL	20%	80%	100%	-		
MES (kg/m ³)	1502,00	1374,00	-	-		
MEC (kg/m ³)	-	-	1696,00	-		
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,859	2,859	-	-		

Fonte: Adaptado de Cunha (2004)

Tabela 5 - Informações da mistura obtida em Aurilio *et al.* (2005) para realização dos testes

DADOS	AGREGADOS			DMN (mm)	9,5
	GRAÚDOS	FINOS	FÍLER	MEE (%)	100
	AG1	AF1	MF		
% INICIAL	100%	100%	-		
MES (kg/m ³)	1422,20	-	-		
MEC (kg/m ³)	-	1722,80	-		
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,630	-	-		

Fonte: Adaptado de Aurilio *et al.* (2005)**Tabela 6** - Informações da mistura 1 obtida em Daniel e Rivera (2009) para realização dos testes

DADOS	AGREGADOS				DMN (mm)	12,5
	GRAÚDOS		FINOS	FÍLER	MEE (%)	103
	AG1	AG2	AF1	MF		
% INICIAL	41%	59%	100%	-		
MES (kg/m ³)	1501,60	1510,60	-	-		
MEC (kg/m ³)	-	-	1713,60	-		
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,619	2,588	-	-		

Fonte: Adaptado de Daniel e Rivera (2009)

Tabela 7 - Informações da mistura 2 obtida em Daniel e Rivera (2009) para realização dos testes

DADOS	AGREGADOS					DMN (mm)	19	
	GRAÚDOS			FINOS		FÍLER	MEE (%)	101
	AG1	AG2	AG3	AF1	AF2	MF		
% INICIAL	35%	45%	20%	75%	25%	-		
MES (kg/m ³)	1492,50	1518,90	1556,70	-	-	-		
MEC (kg/m ³)	-	-	-	1740,40	1696,40	-		
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,691	2,722	2,707	-	-	-		

Fonte: Adaptado de Daniel e Rivera (2009)

Tabela 8 - Informações da mistura 1 obtida em Melo (2010) para realização dos testes

DADOS	AGREGADOS			DMN (mm)	19
	GRAÚDOS	FINOS	FÍLER	MEE (%)	103
	AG1	AF1	MF		
% INICIAL	100%	100%	-		
MES (kg/m ³)	1149,00	-	-		
MEC (kg/m ³)	-	1733,00	-		
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,052	-	-		

Fonte: Adaptado de Melo (2010)

Tabela 9 - Informações da mistura 2 obtida em Melo (2010) para realização dos testes

DADOS	AGREGADOS			DMN (mm)	19
	GRAÚDOS	FINOS	FÍLER	MEE (%)	103
	AG1	AF1	MF		
% INICIAL	100%	100%	-		
MES (kg/m ³)	1594,90	-	-		
MEC (kg/m ³)	-	1733,00	-		
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,639	-	-		

Fonte: Adaptado de Melo (2010)

Tabela 10 - Informações da mistura obtida em Jebur e Abedali (2020) para realização dos testes

DADOS	AGREGADOS				DMN (mm)	12,5
	GRAÚDOS	FINOS		FÍLER	MEE (%)	97
		AG1	AF1	AF2	MF	
% INICIAL	100%	25%	75%	-		
MES (kg/m ³)	1420,20	-	-	-		
MEC (kg/m ³)	-	1798,77	1692,22	-		
MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	2,590	-	-	-		

Fonte: Adaptado de Jebur e Abedali (2020)

3.2 PARÂMETROS OBSERVADOS E CRITÉRIOS CONSIDERADOS NA ANÁLISE DOS RESULTADOS

O trabalho usado como referência principal no tocante ao método Bailey é o de Vavrik *et al.* (2001) no qual consta entre os autores o seu criador, Robert Bailey. Nesse estudo é mostrado uma especificação em intervalo para o teor desejado de fíler, sendo recomendado uma porcentagem no intervalo de 3,5 a 6%. Para atingir o objetivo do presente trabalho foi

usado este intervalo variando-se tal porcentagem em parcelas de 1,25% (3,50% - 4,75% - 6,00%) a fim de observar o comportamento das alterações provocadas por tal ação.

Em relação aos parâmetros analisados, foram selecionados quatro principais, são eles:

- a) Vazios do agregado graúdo;
- b) Porcentagem final corrigida dos agregados;
- c) Proporções AG, GAF e FAF;
- d) Influência das alterações no atendimento aos critérios do método Superpave (pontos de controle e zona de restrição) e das faixas do DNIT (A, B ou C).

Todos esses parâmetros apresentam implicações técnicas e executivas que também foram abordadas na etapa de análise deste estudo. Mais especificamente em relação ao fíler, é importante reafirmar que a sua quantidade na mistura é determinante na formação do mástique, material capaz de influenciar o grau de cobertura dos agregados pelo ligante, o teor ótimo de ligante usado e as características de compactação da mistura.

Além destes aspectos, o material de enchimento tem a capacidade de influenciar na quantidade de vazios da fração graúda por ser ele o responsável em parte por preencher tais espaços dentro da mistura. Nesse sentido, como são feitas correções nas quantidades de agregados finos para que se adeque a porcentagem desejada de fíler, as porcentagens finais dos agregados tendem a ter certas variações, gerando reflexos na quantidade de material que deverá ser obtida para a execução da obra.

Em relação as proporções de análise da mistura calculada previstas pelo método Bailey (AG, GAF e FAF), por elas expressarem o grau de compactação de cada uma das frações, estas tendem a ter seus valores alterados, sendo a mais afetada a Proporção FAF. Tais variações tendem a provocar também mudanças no estado de atendimento da mistura aos limites especificados pelo método para cada uma das proporções.

Por fim, foi observado o comportamento da curva granulométrica gerada em cada uma das porcentagens desejadas de fíler em relação aos critérios gráficos do método Superpave (pontos de controle e zona de restrição) e as faixas DNIT. Os pontos de controle são pontos nos quais a curva deve passar obrigatoriamente entre eles de forma a garantir, segundo o método, a formação de uma mistura com quantidade adequada de vazios para posteriormente receber o ligante asfáltico. Em relação a zona de restrição, o método recomenda que a curva evite passar por essa área do gráfico a fim de que a mistura não contenha um excesso de areia fina em sua

composição, o que geraria um esqueleto mineral frágil, problemas de compactação e baixa resistência a deformação permanente.

Quanto as faixas especificadas pelo DNIT, seus critérios se encontram detalhados na norma DNIT 031/2006 – ES. As informações mais relevantes para o desenvolvimento deste trabalho são os percentuais de material passante em cada peneira da série padrão apresentada para cada tipo de faixa (A, B e C), devendo a curva gerada se encaixar entre tais limites para ser aceito pelo método em questão. Além disso, tal especificação de serviço afirma que a espessura do pavimento, determinada na fase de projeto, é um fator decisivo para a escolha do tipo de faixa a ser usada, sendo que o Diâmetro Máximo Nominal dos agregados que irão compor a mistura deverá ser menor do que $2/3$ da espessura dessa camada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 VARIAÇÕES NOS PARÂMETROS CONSIDERADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

4.1.1 Vazios do agregado graúdo

Em relação aos vazios do agregado graúdo não se verificou nenhuma alteração em seus valores com a respectiva mudança na porcentagem da quantidade de fíler desejada. Ao se observar a forma de cálculo dessa propriedade da mistura no método, viu-se que ela considera no seu cálculo apenas a Massa Específica Escolhida, a massa específica da fração graúda e a quantidade inicial desses agregados determinada preliminarmente pelo projetista. Esse procedimento de cálculo não considera a eventual presença de material fino na composição dos agregados graúdos, o que poderia alterar a real quantidade de vazios presentes nessa fração. Apenas depois de calcular as porcentagens finais de todos os agregados é que são feitas correções para levar em conta essa contaminação de uma fração na outra.

Dessa forma, concluiu-se que a não consideração da quantidade de finos, a qual foi alterada no decorrer dos testes para esse estudo, na etapa de cálculo da quantidade de vazios da fração graúda é um fator que pode influenciar na obtenção de porcentagens de agregados mais adequada a cada caso. Além disso, o objetivo principal do método Bailey em proporcionar uma mistura mais estável e resistente pode sofrer alterações, mesmo que em pequenas proporções, fato este que poderá ser melhor observado com a realização de ensaios complementares.

4.1.2 Porcentagem final corrigida dos agregados

a) Agregados Graúdos:

Para esta fração dos agregados não houve alteração em sua porcentagem em função da mudança no valor da quantidade de fíler desejada. Tal fato já era esperado devido a segregação proporcionada pelo método Bailey entre a fração graúda e fina.

b) Agregados Finos:

Por fazer parte da parcela fina considerada pelo método Bailey, os agregados finos apresentaram uma redução considerável em sua quantidade na proporção em que aumentou a quantidade de fíler. A Tabela 11 apresenta as porcentagens dos agregados finos em cada mistura em função da quantidade de fíler escolhida.

Tabela 11 - Variação na porcentagem final dos agregados finos

TRABALHOS	AGREGADOS FINOS	PORCENTAGEM DE FÍLER			VARIAÇÃO PERCENTUAL
		3,50%	4,75%	6,00%	
VAVRIK <i>et al.</i> (2001)	AF#1	45,11	43,73	42,34	6,54%
CUNHA (2004)	AF#1	18,11	16,86	15,61	16,02%
	AF#2	47,74	46,49	45,24	5,53%
AURÍLIO <i>et al.</i> (2005)	AF#1	34,44	33,02	31,6	8,99%
DANIEL E RIVERA (2009)	AF#1	29,18	27,62	26,06	11,97%
	AF#2	19,64	18,56	17,47	12,42%
	AF#3	6,39	6,04	5,69	12,30%
MELO (2010)	AF#1	31,45	30,2	28,95	8,64%
	AF#2	25,83	24,58	23,33	10,72%
JEBUR E ABEDALI (2020)	AF#1	10,14	9,78	9,43	7,53%
	AF#2	29,23	28,21	27,18	7,54%
MÉDIA					9,84%

Fonte: Autor

Além da influência da mudança na quantidade de fíler, observou-se que a presença inicial de material passante na peneira de 0,075 mm nesta fração faz com que haja uma compensação na quantidade de fíler desejada, realizada na etapa de correção, e, conseqüentemente, uma menor redução na sua quantidade.

Nesse contexto, verificou-se que a variação média na porcentagem final de agregados finos foi de 9,84%, um valor considerável que, em termos

econômicos, significa uma redução também nos gastos para obtenção desse material.

c) Material de Enchimento (Fíler):

A análise aqui feita em relação ao material de enchimento levou em consideração a variação da porcentagem desejada em função da presença de fíler nas outras frações de agregados (graúdos e finos), dado que a variação de uma porcentagem para outra do teste corresponde a mesma ocorrida na porcentagem do material de enchimento (1,25%). Observou-se que nessas frações de agregados, as quais continham porcentagem de material passante na peneira de 0,075 mm no intervalo de, aproximadamente, 1 a 3%, houve uma redução média de 81% para o teste com porcentagem desejada de fíler de 3,50%, 42% para a porcentagem de 4,75% e 26% para a porcentagem de 6,00%, conforme mostrado na Tabela 12.

Tabela 12 - Variação observada para o fíler

TRABALHOS	FÍLER	PORCENTAGEM DE FÍLER		
		3,50%	4,75%	6,00%
VAVRIK <i>et al.</i> (2001)	F#1	1,56	2,94	4,33
		124%	62%	39%
CUNHA (2004)	F#1	3,5	4,75	6
	F#2	3,5	4,75	6
		0%	0%	0%
AURÍLIO <i>et al.</i> (2005)	F#1	1,43	2,85	4,27
		145%	67%	41%
DANIEL E RIVERA (2009)	F#1	2,33	3,89	5,45
	F#2	2,16	3,59	5,03
		50%	22%	10%
		62%	32%	19%
MELO (2010)	F#1	1,83	3,08	4,33
	F#2	2,65	3,9	5,15
		91%	54%	39%
		32%	22%	17%
JEBUR E ABEDALI (2020)	F#1	2,19	3,57	4,95
		60%	33%	21%
	MÉDIAS	81%	42%	26%

Fonte: Autor

Da análise da Tabela 12 percebe-se que quanto maior for a quantidade desejada de fíler para a mistura, menor será a influência de uma contaminação desse material nas outras frações de agregados. Tal consideração é de fundamental importância para que se estime uma quantidade mais aproximada de fíler a fim de que este seja capaz de produzir um mástique mais efetivo em suas propriedades e benefícios proporcionados à mistura asfáltica.

4.1.3 Proporções AG, GAF e FAF

a) Proporção AG:

A variação na quantidade desejada de fíler provocou pequenas mudanças no valor da proporção AG, na ordem de 0,01. Esse comportamento era esperado tendo em vista que tal proporção tem a função de analisar o grau de compactação da fração graúda dos agregados, exercendo pouca influência sobre a fração fina. Segundo Vavrik *et al.* (2001), variações de 0,01 nos valores das proporções citadas neste item podem ser consideradas insignificantes, pois não são capazes de alterar o comportamento e as propriedades mecânicas da mistura.

b) Proporção GAF:

Para a proporção GAF foram obtidos os valores de variação percentual apresentados na Tabela 13 em função da mudança na quantidade de fíler desejada.

Tabela 13 - Variações na proporção GAF

TRABALHOS	PROPOÇÃO	PORCENTAGEM DE FÍLER			VARIÇÃO PERCENTUAL
		3,50%	4,75%	6,00%	
VAVRIK <i>et al.</i> (2001)	GAF	0,39	0,41	0,44	12,82%
CUNHA (2004)	GAF (M1)	0,43	0,45	0,47	9,30%
	GAF (M2)	0,44	0,46	0,48	9,09%
AURÍLIO <i>et al.</i> (2005)	GAF	0,6	0,62	0,64	6,67%
DANIEL E RIVERA (2009)	GAF (M1)	0,44	0,47	0,5	13,64%
	GAF (M2)	0,45	0,47	0,5	11,11%
MELO (2010)	GAF (M1)	0,87	0,87	0,88	1,15%
	GAF (M2)	0,95	0,96	0,96	1,05%
JEBUR E ABEDALI (2020)	GAF	0,4	0,43	0,45	12,50%
MÉDIA					8,59%

Fonte: Autor

Ao analisar a Tabela 13 percebe-se que há um aumento nos valores da proporção GAF devido a mudança já mencionada. É importante ressaltar que em misturas onde os valores iniciais da proporção se encontravam mais próximos de 1, como nas duas misturas de Melo (2010), a variação foi de menor proporção quando comparado as outras misturas. Esse fato se deve ao maior volume da fração fina na mistura quando comparado as outras frações, que resulta em um elevado valor na proporção GAF. Em outras palavras, a fração fina dos agregados se encontra em um estado de compactação satisfatório e, por isso, aumentos na sua quantidade provocam pequenas alterações no valor da propriedade analisada nesse tópico.

Por fim, viu-se que, no geral, a média do aumento na proporção GAF resultante foi de 8,59%.

c) Proporção FAF:

A proporção FAF foi a que sofreu mais alterações devido a mudança na quantidade de fíler desejada para a mistura no intervalo de 3,5 a 6,00%. As variações encontradas estão apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Variações na proporção FAF

TRABALHOS	PROPOÇÃO	PORCENTAGEM DE FÍLER			VARIACÃO PERCENTUAL
		3,50%	4,75%	6,00%	
VAVRIK <i>et al.</i> (2001)	FAF	0,40	0,45	0,50	25,00%
CUNHA (2004)	FAF (M1)	0,50	0,54	0,58	16,00%
	FAF (M2)	0,43	0,48	0,52	20,93%
AURÍLIO <i>et al.</i> (2005)	FAF	0,20	0,25	0,30	50,00%
DANIEL E RIVERA (2009)	FAF (M1)	0,36	0,43	0,49	36,11%
	FAF (M2)	0,41	0,47	0,52	26,83%
MELO (2010)	FAF (M1)	0,43	0,45	0,48	11,63%
	FAF (M2)	0,44	0,47	0,50	13,64%
JEBUR E ABEDALI (2020)	FAF	0,35	0,41	0,46	31,43%
MÉDIA					25,73%

Fonte: Autor

Observou-se que, em média, o valor da proporção FAF aumentou 25,73%, valor este considerado expressivo e capaz de alterar as propriedades de compactação e capacidade de se arranjar na mistura desta fração de agregados.

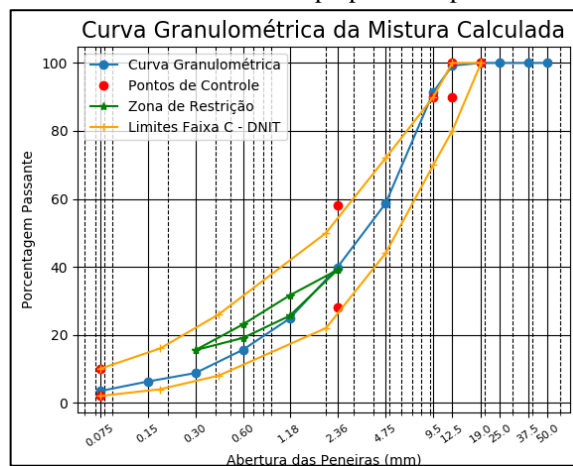
Outro ponto importante a se destacar é que em alguns casos como, por exemplo, nas misturas 1 e 2 de Cunha (2004) e na mistura 2 de Daniel e Rivera (2009), esta variação significou uma extrapolação ao limite especificado pelo método Bailey (0,35 – 0,50) para a aceitação da mistura no que tange a proporção FAF. Portanto, é necessário que se tenha cautela ao proceder a este tipo de alteração, além de ser imprescindível a realização de ensaios laboratoriais complementares para aferição das características em cada uma das situações.

4.1.4 Critérios Superpave e faixas DNIT

Nesse ponto da análise foi observado o comportamento da curva granulométrica em relação aos pontos de controle e zona de restrição do método Superpave e as faixas especificadas pelo DNIT (A, B e C). No geral, verificou-se uma elevação na posição da curva em sua primeira metade, ou seja, na parte atrelada aos agregados finos e material de enchimento. Nesse sentido, caso as variações fossem altas, alguns dos limites mencionados anteriormente poderiam ser excedidos.

Em relação aos pontos de controle, em nenhuma das misturas a variação na posição da curva significou o não atendimento a esse critério em relação a parte que efetivamente se alterou. O caso em que houve extrapolação é referente a fração graúda no estudo de Vavrik *et al.* (2001), como mostrado na Figura 11, porém, sem influência da fração fina nesse resultado.

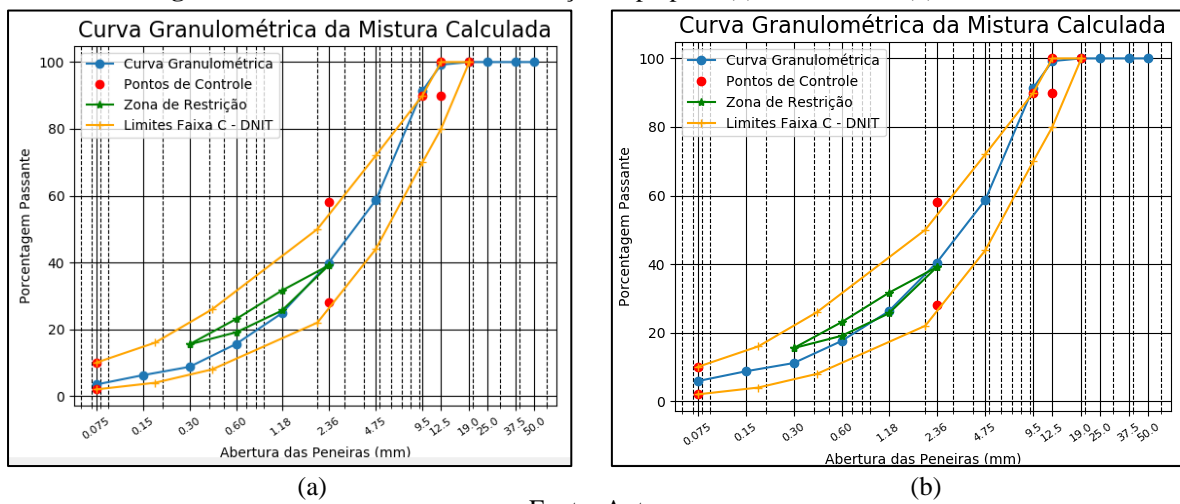
Figura 11 - Análise do critério Superpave dos pontos de controle



Fonte: Autor

Para a zona de restrição do método Superpave, embora a sua análise e aplicação esteja sendo diminuída em função das divergências para alguns tipos de agregados, foi encontrado no estudo de Vavrik *et al.* (2001), Figura 12(a) e Figura 12(b), um resultado em que a variação na quantidade de fíler representou a invasão dessa área pela curva. Esse fato poderá representar, para alguns tipos de materiais agregados, uma alta quantidade de areia fina na mistura e a conseqüente redução na capacidade resistente do seu esqueleto mineral. Tal fato poderá ser melhor considerado com a realização de ensaios específicos que avaliem este comportamento.

Figura 12 - Análise 1 da zona de restrição Superpave (a) fíler = 3,5%; (b) fíler = 6,00%



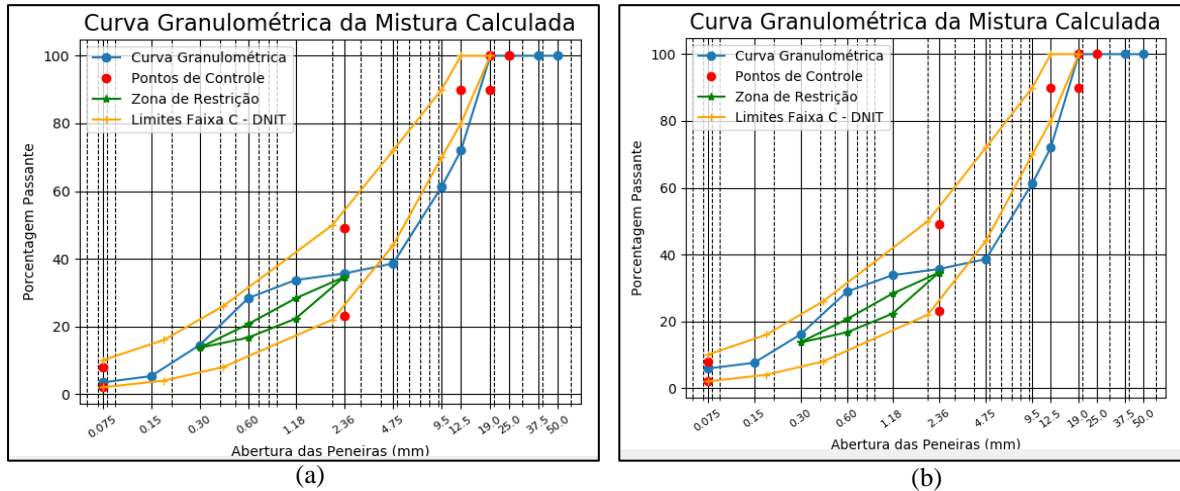
Fonte: Autor

Esse resultado representa ainda um alerta para aqueles casos em que a curva granulométrica se encontra próximo ou mesmo na face dessa zona ou dos limites propostos pelos outros critérios mencionados nesse item. Nesses casos deve-se ter um pouco mais de critério na determinação da quantidade de material fino a fim de que a curva resultante possa obedecer a essas especificações. Por outro lado, tal variação na posição da curva pode ser positiva quando, por exemplo, a curva se encontrar acima da zona de restrição, caso em que esta se afastara dessa área. Tal fato foi observado na mistura 1 do estudo de Melo (2010) e se encontra representado na Figura 13(a) e Figura 13(b).

Por fim, em relação as faixas especificadas pelo DNIT, apenas na mistura 2 do estudo de Daniel e Rivera (2009), Figura 14(a) e Figura 14(b), a variação na quantidade desejada de fíler provocou uma alteração significativa, no qual a curva se encontrava fora dos limites da faixa B e após a mudança esta se posicionou sobre a linha inferior do limite. É importante frisar que, considerando a tolerância trazida pela norma, todas as faixas puderam ser

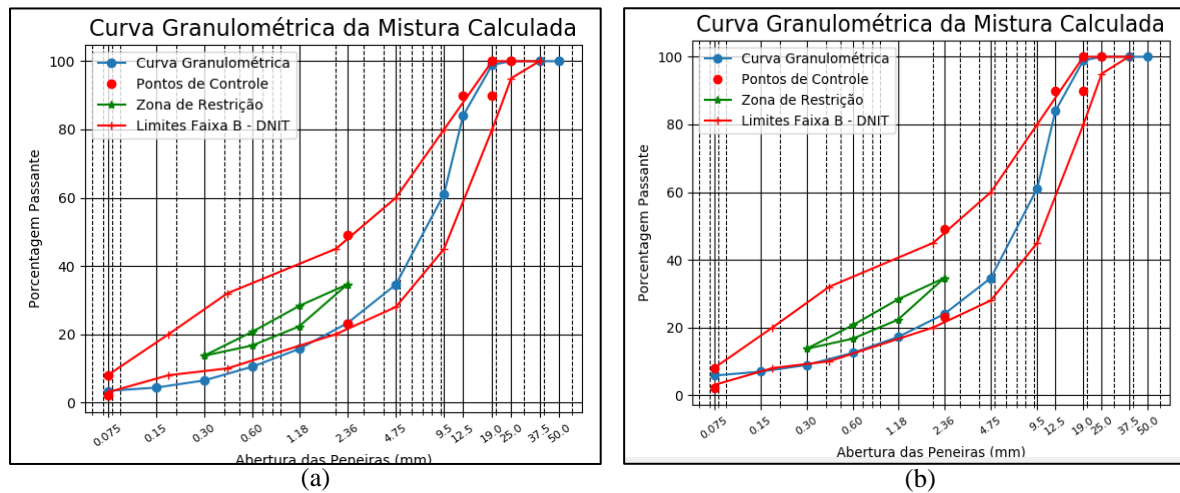
aceitas, segundo este critério, mas o alerta anteriormente trazido também deve ser levado em conta para a análise de casos específicos.

Figura 13 - Análise 2 da zona de restrição Superpave (a) fíler = 3,5%; (b) fíler = 6,00%



Fonte: Autor

Figura 14 - Análise das faixas DNIT (a) fíler = 3,5%; (b) fíler = 6,00%



Fonte: Autor

5. CONCLUSÃO

Os testes realizados neste trabalho mostraram que o material de enchimento (fíler) é um potencial modificante das características de uma mistura asfáltica, principalmente em relação às quantidades de agregados finos da mistura, aos critérios de análise da mistura pelo método Bailey, bem como àqueles usados recorrentemente no meio da pavimentação asfáltica (critérios Superpave e especificações do DNIT).

O fíler, considerado por muitos autores apenas como um material inerte na mistura e que exerce pouca influência no seu desempenho, provocou uma redução na quantidade de agregados finos de quase 10% ao se variar a sua quantidade no intervalo de 3,50 a 6,00%. Esses agregados da fração fina passam por alguns processos de preparação até que fiquem em dimensões adequadas, encarecendo assim o seu processo de produção. Logo, uma redução em sua quantidade tem grande impacto financeiro para uma obra, ao passo que o material de enchimento é encontrado em jazidas, necessitando, em muitos casos, de apenas um peneiramento. É nesse sentido que o estudo da influência do fíler na mistura ganha elevada importância, contribuindo em grande parcela para o melhoramento das misturas executadas no país, bem como para o desenvolvimento e aumento do lucro das empresas produtoras.

Em relação as proporções de análise da mistura pelo método Bailey (AG, GAF e FAF), a influência da variação na quantidade de fíler desejada foi mais relevante na GAF e FAF, as quais tiveram aumentos em seus valores de, aproximadamente, 9% e 26%, respectivamente. Levando em consideração a importância da análise dessas proporções para a produção de um esqueleto mineral resistente para a mistura, tais alterações se tornam significativas, principalmente em casos onde a mistura inicial se encontra com valores dessas proporções próximos ao limite superior especificado pelo método de referência.

Tal raciocínio serviu de base também para a análise da mudança de posição da curva granulométrica em função da citada variação. As curvas das misturas analisadas tiveram uma elevação na sua primeira metade, justamente aquela referente aos agregados finos os quais foram mais afetados. Dessa forma, deve-se ter um maior critério na seleção da quantidade de fíler para a mistura, tendo em vista o que estabelecem os órgãos reguladores no âmbito da pavimentação asfáltica de cada país.

Tendo em vista as informações aqui relatadas, conclui-se que a quantidade de fíler em uma mistura asfáltica é de fundamental importância para o estabelecimento de uma mistura dentro dos padrões de qualidade. Além disso, é recomendado aos projetistas que estes sejam mais criteriosos em suas análises a fim de que uma quantidade ótima desse material seja dosada, e não negligenciem tal componente, ou apenas usar medidas comumente utilizadas, pois suas influências excedem o campo do desempenho das misturas, entrando também nos seus aspectos econômicos. Reafirma-se também que é essencial a análise de cada caso por meio de ensaios laboratoriais específicos para que, dessa forma, se obtenham informações do desempenho das misturas em uma situação próxima a real, saindo do campo apenas teórico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AURILIO, V.; PINE, W.J.; LUM, P. The Bailey Method Achieving Volumetrics and HMA. In: **Proceedings of The Annual Conference-Canadian Technical Asphalt Association**. Publicações de Polyscience; 1998, 2005. p. 159.

BARDINI, V. S. S. **Influência do fíler mineral em propriedades de misturas asfálticas densas**. 344 p. 2013. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transporte e Área de concentração em Infraestrutura de Transporte. 2013. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

BARDINI, V. S. S.; KLINSKY, L. M. G.; FERNANDES JR, J. L. Importância do fíler para o bom desempenho de misturas asfálticas. **Minerva**, v. 7, n. 1, p. 71-78, 2010.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. D.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2008. 496 p. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/videos/livro-pavimentacao-asfaltica/>>. Acesso em: 02 ago. 2021.

BERTOLLO, S. A. M. **Avaliação Laboratorial de Misturas Asfálticas Densas Modificadas com borracha Reciclada de Pneus**. 2002. 198f. 2002. Tese de Doutorado - Curso de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

BEZERRA, J. E. A. **Desenvolvimento de um programa em Phyton para análise e seleção granulométrica de misturas asfálticas pelo método Bailey**. 2020. 144 f. Monografia de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019: Relatório Gerencial. 2019**. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/relatoriogerencial>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

CUNHA, M. B. **Avaliação do método Bailey de seleção granulométrica de agregados para misturas asfálticas**. 2004. 116 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. São Carlos. 2004.

DANIEL, J. S.; RIVERA, F. **Application of the Bailey method to New Hampshire asphalt mixtures**. 185 p. 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ES 367/97**: Material de enchimento para misturas betuminosas. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **DNIT 412/2019 – ME**: Pavimentação – Misturas asfálticas – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – Método de ensaio. Brasília DF, 2019.

GUARIN, A. **Interstitial component characterization to evaluate asphalt mixture performance**. 2009. Dissertation (PhD) – University of Florida, Gainesville, 2009.

JEBUR, Y. M.; ABEDALI, A. H. The influence of aggregate gradation designed by Bailey method on the volumetric properties of asphalt mixture prepared by superpave design method. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing LLC, 2020.

MELO, D. M. **Estudo de misturas asfálticas com resíduo de construção e demolição oriundo do município de Manaus-AM**. 2010. 238 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Amazonas – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Manaus. 2010.

MENDES, L. O. **Utilização do Método Bailey para a seleção de agregados em dosagem de misturas asfálticas**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Juiz de Fora, MG. 2011.

NEVES FILHO, C. L. D. **Avaliação laboratorial de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha**. 2004. 78 p. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo. São Carlos. 2004.

VAVRIK, W. R.; PINE, WJ.; HUBER, G.; CARPENTER, SH.; BAILEY, R. The Bailey method of gradation evaluation: The influence of aggregate gradation and packing characteristics on voids in the mineral aggregate. **Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists**, v. 70, 2001.

YU, H. **Design and characterization of asphalt mixtures based on particle packing and mechanical modeling**. 2012. Dissertation (PhD) – Washington State University, Washington D.C., 2012.