

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNINOVAFAPI
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Inarya do Socorro Macedo Borges Miranda

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DE
COMPACTAÇÃO NOS RESULTADOS DE ESTABILIDADE E RESISTÊNCIA A
TRAÇÃO DE CONCRETOS ASFÁLTICOS

TERESINA-PI

2019

INARYA DO SOCORRO MACEDO BORGES MIRANDA

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DE
COMPACTAÇÃO NOS RESULTADOS DE ESTABILIDADE E RESISTÊNCIA A
TRAÇÃO DE CONCRETOS ASFÁLTICOS

Projeto de pesquisa apresentado como requisito para obtenção de nota para a disciplina de metodologia científica no Centro Universitário Uninovafapi no curso de Engenharia Civil.

Orientador: Msc. Claudeny Simone Alves
Santana

TERESINA-PI

2019

INARYA DO SOCORRO MACEDO BORGES MIRANDA

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DE
COMPACTAÇÃO NOS RESULTADOS DE ESTABILIDADE E RESISTÊNCIA A
TRAÇÃO DE CONCRETOS ASFÁLTICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Centro
Universitário UNINOVAFAPI como requisito parcial para a
conclusão do Curso de Engenharia Civil.
Orientadora: Prof.^a Ma. Claudeny Simone Alves Santana

Data da aprovação: ____ / ____ / _____

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Ma. Claudeny Simone Alves Santana
Centro Universitário UNINOVAFAPI

Prof. Ma. Carol Chaves Mesquita
Centro Universitário UNINOVAFAPI

Prof. Esp. Tarcysio Helvys Dias Ferreira
Centro Universitário UNINOVAFAPI

RESUMO

A pesquisa em foco trata do estudo sobre a influência da variação de temperatura, através do uso da metodologia Marshall para determinação da estabilidade de concretos asfálticos usinados a quente. Além desta, outra característica fundamental para a qualidade de um CA quanto a sua durabilidade também foi avaliada, que é a resistência a tração. Através de estudo e pesquisa da literatura observou-se a influência exercida pela temperatura no grau de compactação de revestimentos asfálticos. Neste sentido torna-se pertinente a análise destes parâmetros importantes quanto a adequada execução de um CA. O programa experimental abordou a moldagem e a compactação dos corpos de prova em temperatura de 100°C até 170°C, variando a cada 10°C. Foi aplicada energia de compactação de 75 golpes por face. Para obtenção dos resultados foram realizados os ensaios técnicos de compactação Marshall, determinação da densidade aparente, densidade máxima teórica, volume de vazios, grau de compactação, resistência a tração e estabilidade Marshall. Os resultados permitiram concluir que as propriedades mecânicas e volumétricas das misturas estão diretamente ligadas à temperatura de compactação das mesmas, isto porque a elevação da temperatura de compactação proporciona trabalhabilidade da mistura, aumentando sua densidade, grau de compactação e por consequência reduz seu volume de vazios. Além disto, observou-se que a temperatura proporciona resistência a tração e estabilidade satisfatória quanto aos padrões especificados em norma.

Palavras-chave: Concreto Asfáltico. Temperatura. Compactação. Revestimentos asfálticos.

ABSTRACT

The focus research deals with the study of the influence of temperature variation through the use of the Marshall methodology to determine the stability of hot-rolled asphalt concrete. In addition to this, another fundamental characteristic for the quality of a asphalt concrete regarding its durability was also evaluated, which is the tensile strength. The influence of temperature on the degree of compaction of asphaltic coatings has been observed through literature study and research, in this sense it is pertinent to analyze these important parameters as to the adequate execution of a asphalt concrete. The experimental program covered the molding and compaction of test specimens at a temperature of 100 ° C to 170 ° C, varying every 10 ° C, compression energy of 75 strokes per face was applied. In order to obtain the results, the technical tests of Marshall compaction, determination of apparent density, theoretical maximum density, volume of voids, degree of compaction, tensile strength and Marshall stability were performed. The results allowed to conclude that the mechanical and volumetric properties of the mixtures are directly related to the compaction temperature of the mixtures, because the elevation of the compaction temperature provides workability of the mixture, increasing its density, degree of compaction and consequently reducing its volume of voids. In addition, it has been observed that the temperature provides tensile strength and stability satisfactory to standards specified in standard.

Keywords: Asphalt Concrete. Temperature. Compaction. Asphaltic coatings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camadas constituintes do pavimento flexível.	12
Figura 2 – Camadas de um pavimento	18
Figura 3 – Camadas de um pavimento flexível	19
Figura 4 – Ilustração do sistema de tensões solicitantes	20
Figura 5 – Classificação dos ligantes betuminosos	23
Figura 6 – Peneira de granulometria	27
Figura 7 – Parâmetros gerais	29
Figura 8 – Ensaio de granulometria dos agregados	37
Figura 9 – Ensaio de densidade aparente dos agregados	38
Figura 10 – Ensaio de densidade real dos agregados miúdos	39
Figura 11 – Ensaio de equivalente de areia	39
Figura 12 – Pagina inicial do programa GPA	40
Figura 13 – Realização de mistura dos agregados	41
Figura 14 – Corpos de prova em repouso	42
Figura 15 – Pesagens dos corpos de prova	43
Figura 16 – Ensaio de ruptura dos corpos de prova	44
Figura 17 – Ensaio de ruptura por compressão diametral	48
Figura 18 – Disposição da curva granulométrica	50
Figura 19 – Gráfico de estabilidade x Variação de temperatura	52
Figura 20 – Gráfico de Estabilidade x Grau de compactação	53
Figura 21 – Gráfico de Resistência a tração x Temperatura de compactação	56
Figura 22 – Gráfico de Resistência a tração x Grau de compactação	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das camadas que compõe um pavimento	17
Quadro 2 – Requisitos para composição de concreto asfáltico	21
Quadro 3 – Valores limites para as características de composição de mistura de concreto asfáltico	22
Quadro 4 – VAM- Vazios do Agregado Mineral	23
Quadro 5 – Quantidade de corpos de prova para determinação de teor ótimo de ligante	41
Quadro 6 – Quantidade de corpos de prova que serão ensaiados para determinação de estabilidade	45
Quadro 7 – Quantidade de corpos de prova que serão confeccionados para ensaio de resistência à tração	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações vigente dos CAPs por penetração	24
Tabela 2 – Classificação dos CAPs por penetração	25
Tabela 3 – Agregados e porcentagens ideais para se utilizar no traço	49
Tabela 4 – Traço final utilizado	50
Tabela 5 – Densidade aparente (ρ), Densidade Máxima Teórica (DMT), Grau de compactação (GC), Volume de vazios (V_v) e Estabilidade (Est.)	51
Tabela 6 – Densidade aparente (ρ), grau de compactação (GC), Densidade Máxima Teórica (DMT), Volume de vazios (V_v) e Resistência a tração (RT)	54

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

B12 – Brita 12

B16 – Brita 16

B19 – Brita 19

CA – Concreto Asfáltico

CAN – Cimento Asfáltico Natural

CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo

CAUQ – Concreto asfálticos usinado a quente

CL – Cura Lenta

CM – Cura Média

CR – Cura Rápida

DNER – Departamento Nacional de Estradas e Rodagens

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EAP – Emulsão Asfáltica de Petróleo

EA – Equivalente de Areia

ES – Especificações de Serviço

EST – Estabilidade

GC – Grau de compactação

ME – Métodos de Ensaio

RL – Ruptura Lenta

RM – Ruptura Média

RR – Ruptura Rápida

RT – Resistência a tração

Vv – Volume de vazios

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo geral	14
1.1.2 Objetivos específicos	14
1.2 Justificativa	15
2 REFERENCIAL TEORICO	16
2.1 Pavimento	16
2.2 Camadas de um pavimento	16
2.3 Classificações dos pavimentos.....	18
2.4 Pavimentos flexíveis.....	19
2.5 Camada de revestimento.....	20
2.5.1 Concreto asfáltico (ca).....	21
2.5.1.1 Ligantes betuminosos.....	23
2.5.1.1.1 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).....	24
2.5.1.2 Agregados	26
2.6. Método de dosagem marshall	27
2.6.1 Parâmetros gerais	28
2.7 Caracterizações mecânicas	32
2.7.1. Ensaio de resistência à tração	32
2.7.2 Ensaio de estabilidade.....	33
2.8. Efeito da variação de temperatura em misturas asfálticas	34
3 METODOLOGIA.....	36
3.1 ETAPA I: Coleta dos materiais, caracterização dos agregados e traço de CAUQ	36
3.2 ETAPA II: Preparação dos corpos de prova.....	40
3.3 ETAPA III: Volumetria, determinação das densidades aparentes e máximas teóricas, ensaio de Estabilidade.	42
3.4 ETAPA IV: Preparação de novos corpos de prova	45
3.5 ETAPA V: Volumetria, determinação das densidades aparentes e máximas teóricas, ensaio de estabilidade e resistência a tração	47
4 RESULTADOS	49
4.1 Caracterização dos agregados e traço de cauq (teor ótimo de ligante)	49
4.2 Ensaio marshall.....	51
4.2.1 Resultados de volumetria, densidades aparentes e máximas teóricas, estabilidade. ..	51

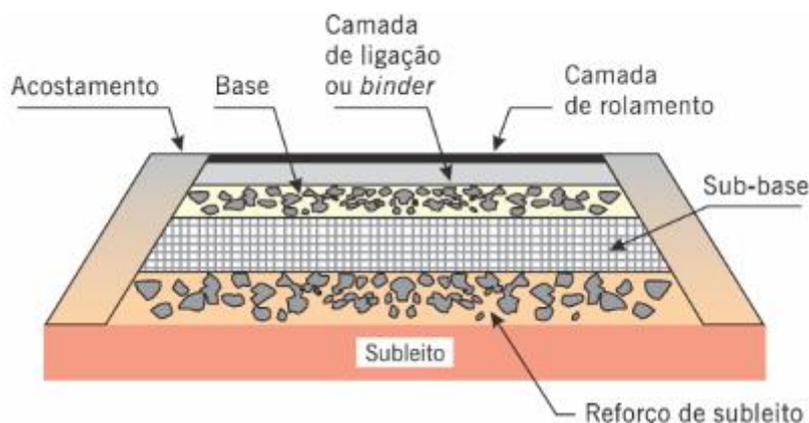
4.2.2 Resultados de volumetria, densidades aparentes e máximas teóricas, resistência a tração.....	54
5 CONCLUSÕES	58
REFÊRENCIAS	60
APÊNDICES.....	63

1 INTRODUÇÃO

A melhoria na qualidade de estradas e rodovias tem impacto direto na redução do número de acidentes, redução no tempo de transporte, redução do consumo de combustíveis, redução no custo da manutenção de veículos automotores e, conseqüentemente, aumento da vida útil dos mesmos (MOTHÉ, 2009). Além disso, possibilita qualidade no deslocamento e o desenvolvimento de uma região, tornando-se elo entre ambientes urbanos e/ou rurais.

Segundo Balbo (2007) o pavimento é uma estrutura composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados, adequada para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo (Figura 1)

Figura 1- Camadas constituintes do pavimento flexível.



Fonte: Bernucci et al. (2008)

Cada uma destas camadas deve possuir características físicas e mecânicas suficientes para suportar as solicitações impostas pelo tráfego existente atendendo às características físicas e mecânicas previamente determinadas em projeto.

O revestimento asfáltico, em sua maioria o Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ), é a camada superficial, de pavimentos flexíveis ou semi-flexíveis, que recebe diretamente o trânsito de veículos e tem por principal finalidade estrutural a absorção de cargas resultantes do tráfego transferindo-a parcialmente para as camadas subjacentemente inferiores a ela (PESSOA, 2014).

O Concreto Asfáltico (CA) fisicamente é composto por vazios (ar), asfalto (ligante), agregado miúdo, agregado graúdo e filler. Sua elaboração se dá através da proporção adequada desses constituintes a fim de que o mesmo atinja características apropriadas para a finalidade que sua aplicação se destina. (PINTO, 1998)

Em se tratando de Obras Rodoviárias, os concretos asfálticos devem cumprir alguns requisitos impostos pelo projeto e por normas vigentes, para que o mesmo cumpra sua função e garantia da sua qualidade.

Características essenciais como a estabilidade, resistência à tração, densidade aparente e real, volume de vazios, e grau de compactação são interdependentes e indicativos da qualidade de vida útil da via, afetando diretamente o surgimento de patologias prematuramente, caso estas não estejam definidas e calculadas corretamente.

Vários autores como Chardbourn et al (1998), Bernucci et al (2008), Silva (2008), Ceratti (2011), Fonseca (2013) afirmam que o principal objetivo da compactação de pavimento flexível é alcançar a densidade ótima ajudando garantir que o pavimento terá a capacidade necessária para suportar as cargas do tráfego esperado e durabilidade para resistir às condições do tempo.

Bernucci et al (2008), afirma que a temperatura de misturas asfálticas quando fora do padrão causa danos ao pavimento. Se for muito baixa, o ligante asfáltico torna-se plástico e pegajoso, dificultando a compressão da mistura e a obtenção de um estado mais denso; e se for elevada, a mistura tende a fluir e deforma-se devido a maior lubrificação e menor ligação exercida pelo ligante asfáltico aquecido demasiadamente.

Segundo uma pesquisa feita pela CNT (Confederação Nacional de Transporte) (2017), os principais defeitos encontrados nas rodovias de todo o Brasil, são buracos, trincas, ondulações e fissuras. A vida útil estimada de um pavimento executado com asfalto é para durar de 8 a 12 anos e muitas vezes o aparecimento de problemas estruturais começam sete meses após a conclusão da rodovia.

É particularmente importante que os revestimentos sejam adequadamente compactados durante a construção. Quando mau compactados, são mais suscetíveis a uma grande variedade de defeitos que tendem a reduzir a vida útil e o nível desempenho do pavimento. (PINTO e PREUSSLER, 2010)

Silva (2008) afirma que o superaquecimento do asfalto na usina ou falta de ligante, pode acarretar em perda progressiva de agregado pouco tempo após a abertura do pavimento ao tráfego, definido como um problema de desgaste.

O presente trabalho procura analisar a existência de uma correlação entre o grau de compactação e a variação de temperatura da compactação e como isso influencia nos resultados de estabilidade e resistência a tração de concretos asfálticos e na vida útil do pavimento.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Comparar o grau de compactação de misturas asfálticas a diferentes temperaturas averiguando o efeito disto na vida útil e no desempenho do pavimento.

1.1.2 Objetivos específicos

- Encontrar um traço asfáltico através do método por tentativa, baseado na metodologia Marshall;
- Encontrar um teor ótimo de ligante para um traço de concreto asfáltico;
- Determinar as características físicas da massa asfáltica, tais como volume de vazios (Vv), densidade máxima teórica (DMT), volume de vazios do agregado mineral (VAM), relação betume vazios (RBV), densidade aparente e grau de compactação (GC);
- Determinar a correlação entre as propriedades físicas e mecânicas (estabilidade e resistência à tração) e grau de compactação a diferentes temperaturas;
- Analisar os resultados a fim de se obter uma comparação efetiva do grau de compactação e do efeito da variação da temperatura no grau de compactação.

1.2 Justificativa

Segundo Balbo (2007), as estruturas de pavimentação têm como finalidade primária resistir aos esforços advindos de cargas e ações climáticas, sem que exponham problemas precocemente.

Em 2013 o Tribunal de Contas da União emitiu o acórdão nº 328/2013 – para avaliação de obras rodoviárias recém-concluídas, tanto do ponto de vista funcional como estrutural e verificou que nove das onze obras auditadas apresentavam problemas de forma precoce, em torno de sete meses após a conclusão da obra, concluindo que os defeitos apresentados não são decorrentes do período de utilização da via, mas sim da má qualidade na execução da obra (CNT, 2017).

Pinto e Pinto (2015) afirmam que as especificações brasileiras destacam a importância do controle tecnológico na execução de revestimentos betuminosos. Deve ser feita a averiguação de uniformidade dos componentes, o controle da temperatura e da qualidade da massa betuminosa e ainda deverão ser anotadas e controladas a temperatura dos agregados, do ligante e da mistura betuminosa, na pista, no momento de espalhamento e compactação.

Sendo assim, o estudo é importante porque pretende mostrar como a temperatura em que misturas alfatícas são compactadas interfere na qualidade final e na vida útil de pavimentos asfáltico.

2 REFERENCIAL TEORICO

2.1 Pavimento

Segundo Balbo (2007), o pavimento é uma estrutura fracionada em vários níveis de espessuras finitas, confeccionadas sobre superfície final de terraplanagem, designada técnica e economicamente a suportar os esforços provenientes do tráfego de veículos e do clima, e a proporcionar aos usufruidores uma melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

Já Pinto e Preussler (2010), definem pavimento como:

[...] estrutura que se executa após a terraplanagem e que deve possuir as seguintes características: a) Ter resistência para suportar os esforços verticais oriundos do tráfego para os quais foi projetado e distribuí-los ao terreno em que se assenta. b) Resistir, sem desgaste excessivo, aos esforços horizontais produzidos pelo tráfego. c) Melhorar as condições de rolamento, permitindo uma circulação fácil, cômoda e segura. d) Conservar suas qualidades sob a ação dos agentes intempéricos. (PREUSSLER E PINTO, 2010)

O Manual de Pavimentação do DNIT (2006) define pavimento, segundo a ordem técnico-econômico, como a estrutura de camadas em que materiais de distintas resistências e deformabilidades são colocados em contato sucedendo um elevado grau de complexidade no que respeita ao cálculo de tensões e deformações e atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego.

Pavimento é a estrutura construída sobre o subleito e que deverá resistir à ação do tempo e das cargas de rodas dos veículos. Revestimento, Base, Sub-base e Reforço do Sub-leito são algumas das camadas de um pavimento e que apresentam finalidades específicas (SILVA, 2008).

2.2 Camadas de um pavimento

Pinto e Preussler (2010) definem as camadas de um pavimento de acordo com a definição explícita no Quadro 1:

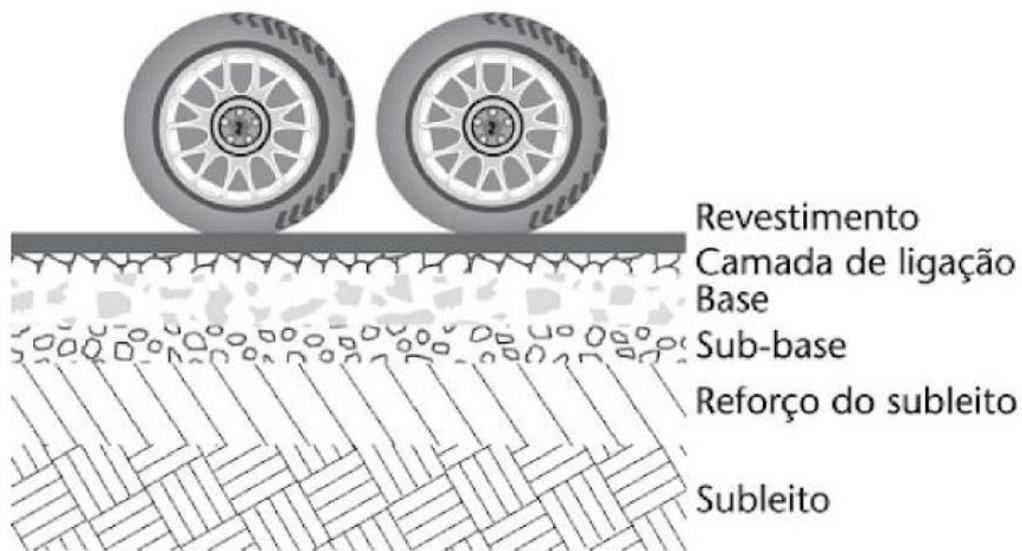
Quadro 1-Classificação das camadas que compõe um pavimento

CAMADA DO PAVIMENTO	DEFINIÇÃO
Regularização	É uma camada irregular, construída sobre o subleito e destinada a conformá-lo transversalmente e longitudinalmente, de acordo com o projeto geométrico.
Reforço do Subleito	É a camada de espessura constante transversalmente e variável longitudinalmente, de acordo com o dimensionamento do pavimento, fazendo parte integrante deste e que, por circunstâncias técnico-econômicas, é executada sobre o subleito regularizado.
Sub-Base	É uma camada situada entre o reforço ou regularização do subleito e a camada de base da estrutura de um pavimento.
Base	É a parte da estrutura do pavimento situada imediatamente abaixo da camada de revestimento e acima da sub-base, quando existente, ou diretamente sobre o subleito.
Revestimento	A camada de revestimento de uma estrutura flexível consiste de uma mistura de agregados minerais e materiais betuminosos, sobreposta a camada de base e que tem como função resistir às forças abrasivas do tráfego, reduzir a penetração de água superficial do pavimento, proporcionar uma superfície resistente ao deslizamento dos veículos e proporcionar um rolamento suave e uniforme ao tráfego.

Fonte: Adaptado de Preussler e Pinto (2010)

A Figura 2 mostra a divisão das camadas de um pavimento, segundo Balbo (2007).

Figura 2-Camadas de um pavimento



Fonte: BALBO (2007)

2.3 Classificações dos pavimentos

O manual de pavimentação do DNIT (2006) classifica os pavimentos como:

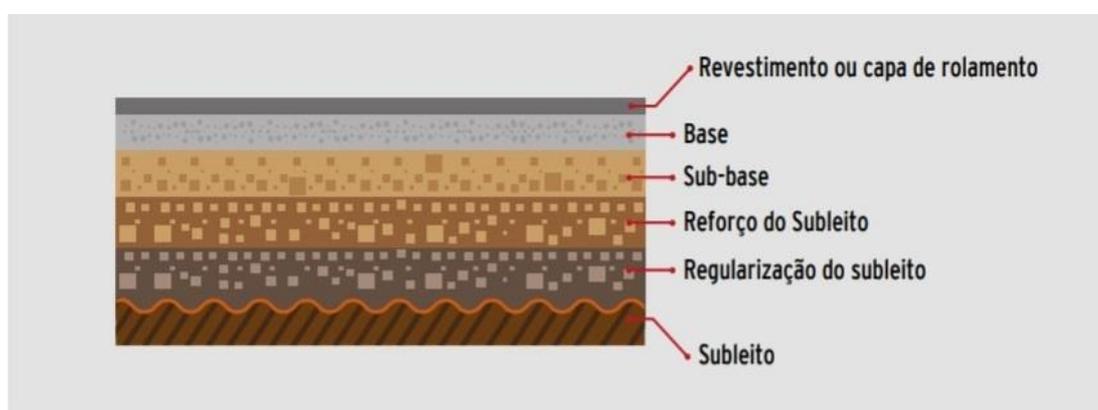
[...] a) Pavimento Flexível: é aquele em que todos os níveis sofrem deformações elásticas consideráveis sob o carregamento colocado e logo, a carga se fragmenta em partes iguais entre as camadas. b) Pavimento Rígido: é aquele em que o revestimento capta quase toda a tensão advinda do carregamento aplicado, pois tem uma alta rigidez em referência as camadas íferas. c) Pavimento Semi-Rígido: designa-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedade cimentícias como, por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.

Neste sentido, esta pesquisa enfocará de maneira mais abrangente o pavimento flexível, o tema desta pesquisa.

2.4 Pavimentos flexíveis

Segundo Bernucci et al (2008) os pavimentos flexíveis, em geral associados aos pavimentos asfálticos, são compostos por camada superficial asfáltica (revestimento), apoiada sobre camadas de base, de sub-base e de reforço do subleito, constituídas por materiais granulares, solos ou misturas de solos, sem adição de agentes cimentantes. (Figura 3)

Figura 3- Camadas de um pavimento flexível



Fonte: CNT (2017)

De acordo com Medina (1997), pavimentos flexíveis são constituídos por revestimento betuminoso sobre uma base granular ou de solo estabilizado.

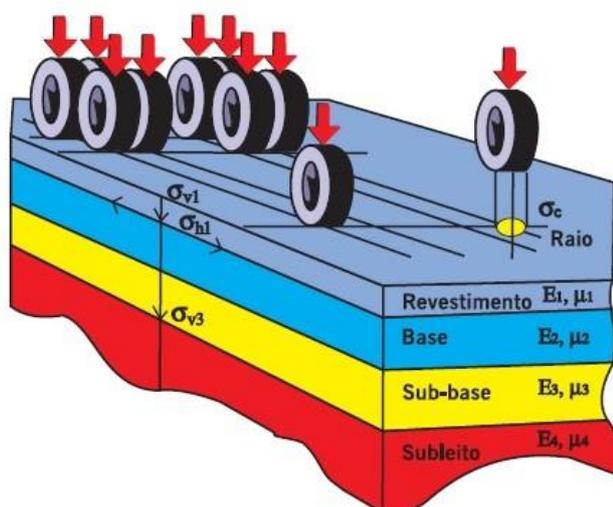
Balbo (2007) define pavimento flexível, segundo o comportamento mecânico (CM) como sendo: “É o pavimento no qual a absorção de esforços dá-se de forma dividida entre várias camadas, encontrando-se as tensões verticais em camadas inferiores, concentradas em região próxima da área de aplicação da carga.

Senço (2007) diz que, pavimentos flexíveis são aqueles em que as deformações não acarretam o rompimento até certo ponto. Normalmente são dimensionados por tração e compressão na flexão, causados pelo surgimento das bacias de deformações sob a roda dos veículos, que ocasionam deformações permanentes a estrutura, e rompimento por fadiga.

2.5 Camada de revestimento

Bernucci et al (2008) afirma que o revestimento é a camada que recebe diretamente os esforços do tráfego e das ações climáticas e que deve ser impermeável tanto quanto possível e ter a capacidade de resistir aos esforços de contato pneu-pavimento em movimento, sendo esta carga variável dependendo do tipo de veículo (Figura 4).

Figura 4- Ilustração do sistema de tensões solicitantes



Fonte: Albernaz (1997) apud Bernucci et al (2008)

A camada de revestimento tem como função “impermeabilizar” o pavimento, melhorar o conforto ao rolamento, resistir aos esforços causados pelo tráfego e pelo intemperismo e aumentar a resistência à derrapagem. Para tráfegos pesados podem ser utilizados o CCP (Concreto de Cimento Portland) ou CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) ou SMA (Stone Masticue Asphalt), já para tráfegos leves pode-se usar o PMQ (Pré Misturado a Quente). Pode ser usado também revestimento a frio, o PMF (Pré misturado a frio). Para acostamento, pode-se usar o Tratamento Superficial Simples (TSS) e para tráfegos médios ou leve são utilizados o TSD (Tratamento Superficial Duplo) e o TST (Tratamento Superficial Triplo) (SILVA, 2008).

2.5.1 Concreto asfáltico (ca)

O concreto asfáltico (também denominado em alguns órgãos por CAUQ – concreto asfáltico usinado a quente ou CBUQ – concreto betuminoso usinado a quente) é a mistura asfáltica densa mais utilizada.

De acordo com Balbo (2007) o CAUQ é um material para a construção de revestimentos de pavimentos, incluindo as capas de rolamento e camadas de ligação imediatamente subjacentes aos revestimentos e trata-se de uma mistura elaborada a quente, em usina misturadora, contínua ou descontínua, de grande, médio ou pequeno porte.

O CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente) compõe-se em uma mistura íntima de agregados, satisfazendo rigorosamente as especificações, e betume adequadamente dosado. A mistura é realizada em usina, com severo controle de granulometria, teor de betume, temperatura do agregado e do betume, transporte, aplicação e compressão, sendo este serviço o que mais requer controle dos que compõe as etapas de pavimentação. (SENÇO, 2007)

A norma do DNIT 031/2006 de especificações de serviços define CA (Concreto Asfáltico) como sendo a mistura realizada a quente, em usina adequada, com características específicas, composta de agregado graúdo, material de enchimento se necessário e cimento asfáltico espalhada e compactada a quente. Para composição da mistura, geralmente no Brasil é utilizada como parâmetro esta norma, onde são estabelecidas as especificações de serviços e como deve ser composta a mistura asfáltica. O Quadro 2 mostra os requisitos para composição de concreto asfáltico.

Quadro 2 Requisitos para composição de concreto asfáltico

Peneira de Malha quadrada		% em massa, passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	-
1 ½"	38,1	95-100	100	-	±7 %
1"	25,4	75-100	95-100	-	± 7%
¾"	19,1	60 – 90	80-100	100	± 7%
½"	12,7	-	-	80-100	± 7%
3/8"	9,5	35-65	45-80	70-90	± 7%

Peneira de Malha quadrada		% em massa, passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
N° 4	4,8	25-50	28-60	44-72	± 5%
N° 10	2,0	20-40	20-45	22-50	± 5%
N° 40	0,42	10-30	10-32	8-26	± 5%
N° 80	0,18	5-20	8-20	4-16	± 3%
N° 200	0,075	1-8	3-8	2-10	± 2%
Asfalto solúvel no CS2(+) (%)		4,0-7,0 Camada de ligação (Binder)	4,5-7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5-9,0 Camada de rolamento	±0,3%

Fonte: DNER-ME 031/2006

A norma anteriormente citada prescreve ainda os valores limites de porcentagem de vazios, relação betume/ vazios, estabilidade mínima, resistência à tração e vazios do agregado mineral. Os valores limites para as características de composição de mistura de concreto asfáltico estão expressos no Quadro 3, além dos valores referentes ao VAM (Vazios do agregado mineral) mínimo que se encontram no Quadro 4.

Quadro 3- Valores limites para as características de composição de mistura de concreto asfáltico

Características	Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de ligação (Binder)
Porcentagem de vazios,%	DNER-ME 043	3 a 5	4 a 6
Relação betume/vazios	DNER-ME 043	75-82	65-72
Estabilidade, mínima, (kgf) (75 golpes)	DNER-ME 043	500	500
Resistência à Tração por compressão Diametral estática a 25°C, mínima, Mpa	DNER-ME 136	0,65	0,65

Fonte: DNER-ME 031/2006

Quadro 4-VAM- Vazios do Agregado Mineral

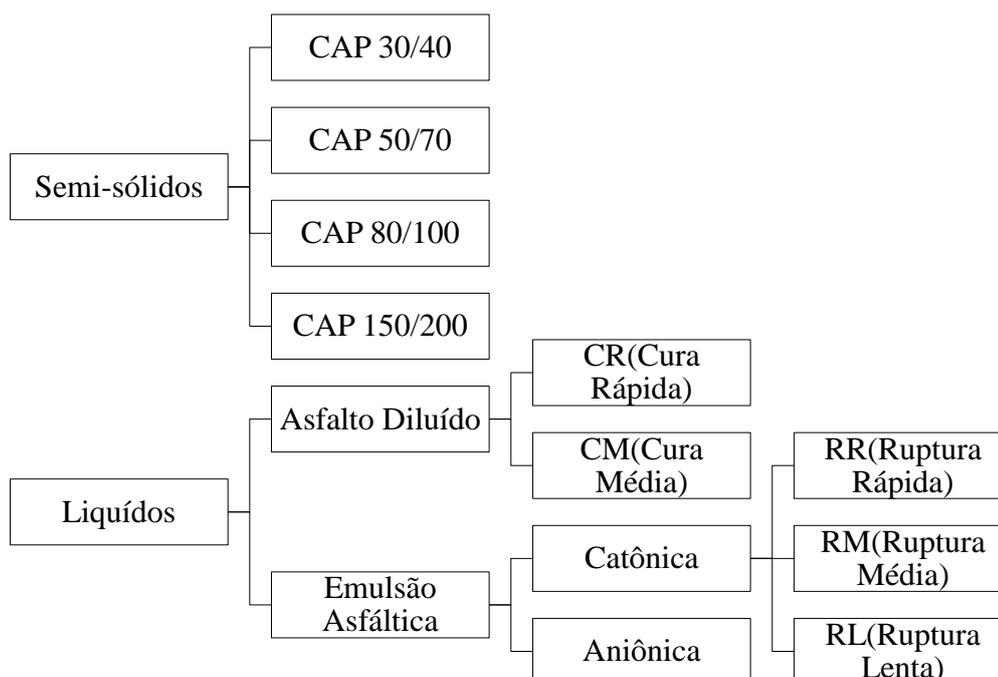
VAM- Vazios do Agregado Mineral		
Tamanho Nominal Máximo do agregado		VAM Mínimo %
#	Mm	
1 1/2"	38,1	13
1"	25,4	14
3/4"	19,1	15
1/2"	12,7	16
3/8"	9,5	18

Fonte: DNER-ME 031/2006

2.5.1.1 Ligantes betuminosos

Segundo o Departamento de Estradas de Rodagem (DER) do Paraná (2019), os ligantes betuminosos são classificados como sendo semi-sólidos e líquidos, como mostra a Figura 5.

Figura 5- Classificação dos ligantes betuminosos



Fonte: DER (2019)

2.5.1.1.1 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

O Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) é um ligante betuminoso obtido pela destilação do petróleo e apresenta qualidades e consistências próprias para o uso na construção e manutenção de pavimentos asfálticos. São utilizados para a aplicação de tratamentos superficiais e macadames por penetração a quente, além da produção de misturas asfálticas diversas, dentre elas o concreto asfáltico (CA) e areia asfalto a quente (AAUQ). (ABEDA, 2018)

De acordo com Pinto (1998) o CAP é o cimento asfáltico de petróleo, sendo ele semi-sólido a temperatura ambiente e é necessário aquecimento para que tenha consistência adequada para o envolvimento com os agregados.

Segundo Balbo (2007) o CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) é obtido a partir do refinamento de petróleo cru, para utilização específica de pavimentação, além de outras aplicações. Como material ligante, aglutinante, geralmente possui boa aderência aos agregados, é impermeabilizante, além de apresentar propriedades como flexibilidade, relativa durabilidade e grande resistência à maior parte dos ácidos, sais e álcalis e é insolúvel em água. Essas características presentes no CAP, faz em que o seu uso seja bastante popular em Engenharia Civil sob diversas formas.

A norma do DNIT 031/2006- ES relata que podem ser empregados os CAP-30/45, CAP-50/70, CAP-85/100. As características dos diversos tipos de CAP estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1- Especificações vigente dos CAPs por penetração

CARACTERÍSTICAS	UN.	CAP 30/45	CAP 50/70	CAP 85/100	CAP 150/200	MÉTODO ABNT
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1 mm	30 a 45	50 a 70	85 a 100	150 a 200	NBR 6576
Ponto de amolecimento Mínimo	°C	52	46	43	37	NBR 6560
Ductilidade a 25°C mínima	Mm	600	600	1000	1000	NBR 6293

CARACTERÍSTICAS	UN.	CAP 30/45	CAP 50/70	CAP 85/100	CAP 150/200	MÉTODO ABNT
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C: Penetração retida mínima	%	60	55	55	50	NBR 6293
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C: Variação em massa máxima	%	0,5	0,5	0,5	0,5	NBR 6293
Ductilidade a 25°C mínima	mm	100	200	500	500	
Aumento máximo do ponto de amolecimento	°C	8	8	8	8	
Índice de suscetibilidade térmica	—	-1,5 a +0,7	-1,5 a -0,7	-1,5 a +0,7	-1,5 a +0,7	—
Ponto de fulgor mínimo	°C	235	235	235	235	NBR 11341
Solubilidade mínima em tricloroetileno	%	99,5	99,5	99,5	99,5	NBR 14855
Viscosidade Saybolt-Furol mínima a:						
135°C	S	192	141	110	80	NBR 14950
150°C		90	50	43	36	
177°C		40	30	15	15	
Viscosidade Brookfield mínima a:						
135°C, SP 21, 20 rpm	cP	374	274	214	155	NBR 15184
150°C, SP 21		203	112	97	81	
177°, SP 21		76	57	28	28	

Fonte: ANP, 2005 apud BALBO, 2007

Tabela 2- Classificação dos CAPs por penetração

TIPOS DE CAP QUANTO À PENETRAÇÃO			
PAÍS	DUROS	MÉDIOS	MOLES
Brasil	CAP 30/45	CAP 50/70, CAP 85/100	CAP 150/200
França	CAP 20/30	CAP 40/50, CAP 60/70, CAP 80/100	CAP 180/220
EUA	CAP 40/50	CAP 60/70, CAP 85/100	CAP 120-150 CAP 200-300

Fonte: BALBO, 2007

2.5.1.2 Agregados

Agregado pode ser definido, segundo o ponto de vista da engenharia civil como: “materiais inertes, granulares, sem forma e dimensões definidas, com propriedades adequadas a compor camadas ou misturas para utilização nos mais diversos tipos de obras. ” (SENÇO, 2007). Podem ser classificados quanto à origem, quanto à distribuição dos grãos e quanto à granulometria ou tamanho do agregado.

Segundo Bernucci et al (2006) os agregados classificados quanto à origem podem ser:

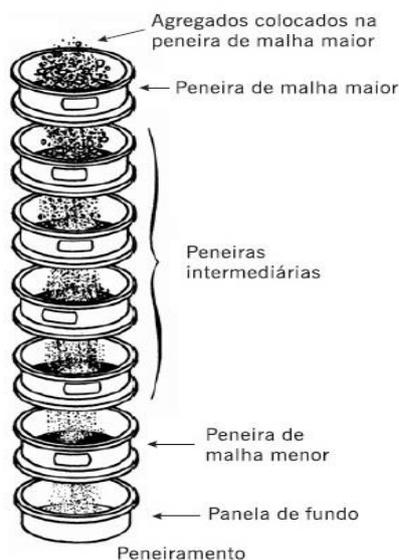
- Natural: São todos os agregados que tenham fonte natural que são obtidos através de desmonte, escavação e dragagem. Podem ser utilizados na forma como se encontram na natureza, ou podem passar por processamentos como a britagem. Ex: Brita, seixo.
- Artificial: São provenientes de processos industriais ou são fabricados especificamente para apresentarem alto desempenho. São exemplos desse tipo de agregado a escória de alto forno e escórias que inclusive é um dos mais utilizados em pavimentação.
- Reciclado: São os provenientes de reusos de materiais diversos. A reciclagem de revestimentos asfaltos vem crescendo bastante e em alguns países já é fonte principal de agregados.

A norma do DNIT-ES 031/2006 apresenta a classificação dos agregados quanto à granulometria descritos a seguir:

- Graúdo: pode ser utilizada pedra britada, escória, seixo rolado preferencialmente britado.
- Agregado miúdo: pode ser areia, pó-de-pedra ou mistura de ambos. Suas partículas individuais devem ser resistentes, estando livres de torrões de argila e de substâncias nocivas.
- Material de enchimento (filer): deve ser constituído por materiais minerais finamente divididos, tais como cimento Portland, cal extinta, pós-calcários cinza volante, etc.

A Figura 6 apresenta a disposição correta das peneiras utilizadas na determinação da granulometria quanto a abertura da malha das peneiras em ordem decrescente.

Figura 6- Peneira de granulometria



Fonte: Bernucci et al (2008)

Quanto à distribuição dos grãos, Pinto e Reis (2011) classificam o agregado como:

- Graduação aberta: são aqueles com insuficiência de materiais finos, apresentando assim maior número de vazios e apresentam distribuição granulometria contínua e bem graduada.
- Graduação uniforme: apresenta a curva granulométrica bastante íngreme e suas a maioria de suas partículas tem o tamanho estreito.
- Graduação descontínua: Devem ser adequadamente trabalhados para uso em misturas asfálticas, pois apresentam risco de segregação. Apresentam pequena porcentagem de agregados com tamanhos intermediários.

2.6. Método de dosagem marshall

Segundo Cerrati e Reis (2011) o projeto de misturas asfálticas consiste em determinar o traço da mistura, definindo a porcentagem dos diversos agregados utilizados e percentual de ligante de forma que, satisfaça os requisitos mínimos de estabilidade e durabilidade prescritos nas especificações.

O método Marshall é empregado para a criação do projeto e do controle de qualidade de misturas betuminosas usinadas. Inicialmente é definida uma faixa

granulometria para os agregados, para assim dá-se seguimento as seguintes etapas (PINTO, 1997).

O método de dosagem Marshall consiste em aferir algumas propriedades de misturas que podem ser elaboradas em campo ou em laboratório, onde ocorre variação do teor de betume (3 a 7%) e é fixada uma distribuição granulométrica para composição dos corpos de prova. O material deve ser misturado à temperatura adequada e compactado, de tal forma que, ofereça condições mecânicas favoráveis para suportar a carga que um dado pavimento é submetido e as condições climáticas locais, sem que haja deterioração precoce (BALBO, 2007).

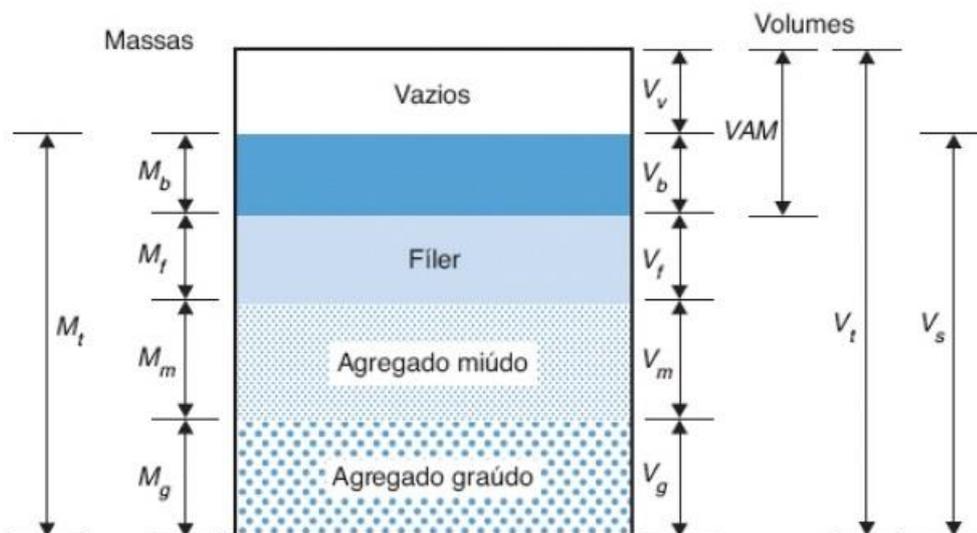
2.6.1 Parâmetros gerais

A norma DNER-ME 054/97 define equivalente de areia como sendo “ relação volumétrica que corresponde a razão entre o nível superior de areia e a altura do nível superior da suspensão argilosa de uma determinada quantidade de solo ou de agregado miúdo numa proveta. ” Através da Equação 1 é possível encontrar o valor correspondente ao equivalente de areia.

$$EA = \frac{\textit{leitura no topo da areia}}{\textit{leitura no topo da argila}} \times 100 \quad (1)$$

Pinto e Pinto (2015) definem percentual de vazio (Vv) da mistura como sendo o volume de vazios que contém na mistura e é expresso como a porcentagem do volume total da mistura. Definem também a densidade máxima teórica (DMT) como sendo a densidade da mistura sem vazios. O volume total de vazios é a definição que corresponde ao percentual de vazios do agregado mineral (VAM) e a relação betume vazios (RBV) indica que a porcentagem de vazios do agregado é preenchida pelo asfalto. A Figura 7 esquematiza os parâmetros elucidados:

Figura 7- Parâmetros gerais



Fonte: Pinto e Pinto (2015)

A densidade aparente da mistura é a relação entre o peso ao ar e o peso da mistura em suspensão na água. (DNER-ME 117/94)

O manual de pavimentação do DNIT (2006), define grau de compactação como sendo “ o quociente de resultante da divisão da massa específica obtida em campo, pela massa específica máxima obtida no laboratório”.

De acordo com a metodologia Marshall, o grau de compactação das misturas não deve ultrapassar 97% em relação à densidade aparente da mistura. (Pinto e Pinto, 2015)

A seguir estão determinadas as Equações 2, 3 e 4 para determinação do DMT, V_v , G_{mb} , respectivamente.

- DMT (Densidade máxima teórica):

$$DMT = \frac{100}{\frac{\%a}{G_a} + \frac{\%Ag}{G_{Ag}} + \frac{\%Am}{G_{Am}} + \frac{\%f}{G_f}} \quad (2)$$

Onde:

- %a = porcentagem de asfalto

- %Ag, %Am, %f: são respectivamente a percentagem de agregado graúdo, percentagem de agregado miúdo e percentagem de fíler.
- G_a , G_{Ag} , G_{Am} , G_f : são respectivamente as massas específicas reais do asfalto, agregado graúdo, agregado miúdo e fíler.

- V_v (Volume de vazios):

$$V = M_s - M_{s_{sub}} \quad (3)$$

Onde:

- M_s = Peso ao ar;
- $M_{s_{sub}}$ = Peso submerso;
- V = volume do corpo de prova.

- G_{mb} (Densidade aparente):

$$G_{mb} = \frac{M_s}{V} \quad (4)$$

Onde:

- G_{mb} = Densidade aparente;
- M_s = Peso ao ar;
- V = Volume do corpo de prova.

Através da média da densidade aparente (G_{mb}), calculam-se os parâmetros volumétricos seguintes, expressos nas Equações 5 e 6.

- V_v (Volume de vazios em percentagem):

$$V_v(\%) = \frac{DMT - G_{mb}}{DMT} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

- DMT = Densidade máxima teórica;
- G_{mb} = Densidade aparente;
- V_v (%) = Volume de vazios em percentagem.

- G_c (Grau de compactação):

$$GC(\%) = \frac{Gmb}{DMT} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

- GC (%)= Grau de compactação, em porcentagem;
- Gmb = Densidade aparente;
- DMT= Densidade máxima teórica.

As equações para o cálculo dos parâmetros Marshall VCB, VAM, RBV, estão descritas a seguir. (Equações 7, 8 e 9)

- VCB (Vazios com betume):

$$VCB = \frac{Gmb \cdot \%a}{G_a} \quad (7)$$

Onde:

- Gmb= Densidade aparente;
- %a= porcentagem de asfalto;
- G_a = massa específica real do asfalto;
- VCB= vazios com betume.

- VAM (Vazios do agregado mineral):

$$VAM = Vv + VCB \quad (8)$$

Onde:

- Vv= Volume de vazio;
- VCB= Volume com betume;
- VAM= Vazios do agregado mineral.

- RBV (Relação betume vazios):

$$RBV = \frac{VCB}{VAM} \quad (9)$$

Onde:

- VCB = Volume com betume;
- VAM= Volume de agregado mineral;
- RBV= Relação betume vazios.

Os parâmetros estabelecidos através das equações apresentam indicadores importantes das características físicas adequadas a composição de um revestimento asfáltico como ilustra a especificação de serviço do DNIT 031/2006.

2.7 Caracterizações mecânicas

A caracterização mecânica de misturas asfálticas é feita através do rompimento dos corpos de provas, com auxílio da prensa Marshall, que determina a estabilidade, fluência e resistência à tração.

2.7.1. Ensaio de resistência à tração

Bernucci et al (2008) afirmam que o ensaio de resistência a tração consiste na aplicação de duas forças concentradas e diametralmente opostas de compressão em um cilindro, que geram tensões ao longo do diâmetro solicitado, tensões de tração uniformes perpendiculares a esse diâmetro. Para misturas asfálticas, devido a irregularidade do corpo de prova e pelo fato de que são bem mais deformáveis, este ensaio é feito com a aplicação da força através de frisos de carga no corpo de prova cilíndrico marshall. A resistência a tração aumenta, com o envelhecimento das misturas asfálticas em pista só que isso não é uma vantagem, já que também perde sua flexibilidade.

O ensaio de resistência à tração é preconizado na norma de métodos de ensaio do DNER (136/2010). Este método prescreve o modo pelo qual se determina a

resistência à tração de corpo de prova cilíndrico de mistura asfáltica, por meio do ensaio de compressão diametral. Utilizando a Equação 10, será definido o valor de resistência a tração:

$$R_t = \frac{2F}{\pi DH} \quad (10)$$

Onde:

- R_t = Tração marshall, em kgf/cm²;
- F = Carga de ruptura, em kgf;
- D = Média dos diâmetros, em cm;
- H = média das alturas, em cm.

A resistência a tração é um indicador importante quanto a qualidade do compósito asfáltico relacionado a vida útil do pavimento e ao surgimento de patologias sinalizadoras da deficiência da resistência a tração do pneu-pavimento (trafego), são elas trincamento, desprendimento precoce do agregado e trilha de roda.

2.7.2 Ensaio de estabilidade

A norma DNER (043/95) especifica o método de serviço pelo qual se determina a estabilidade de misturas betuminosa usinada a quente, utilizando o aparelho Marshall.

De acordo com o processo estabelecido no método de ensaio (043/95) do DNER a estabilidade Marshall é definida como “Resistência máxima à compressão radial, apresentada pelo corpo de prova, quando moldado e ensaiado”.

Estabilidade é a carga máxima a qual um corpo de prova resiste antes da ruptura, definida como um deslocamento ou quebra de agregados de modo a causar diminuição na carga necessária para manter o prato da prensa se deslocando a uma taxa constante (0,8 mm/segundo). (CERATTI E REIS, 2011).

Estabilidade Marshall é definida como sendo a ruptura diametral de um corpo de prova produzida através da carga expressa em kg, sendo em condições padronizadas de ensaio (Pinto e Pinto, 2015). Através da Equação 11, encontra-se o

fator de correção e multiplicando a carga lida por esse fator, encontra-se o valor de estabilidade.

$$f = 927,23h^{-1.64} \quad (11)$$

Onde:

- f- fator de correção
- h- espessura do corpo de prova

Na literatura encontra-se tabelas listadas com um fator de correção para cada faixa de espessura.

2.8. Efeito da variação de temperatura em misturas asfálticas

O manual de restauração de pavimentos asfálticos do DNIT (005/2003) apud norma do DNIT (2006) apresenta os principais defeitos que um pavimento pode apresentar e entre eles estão listados defeitos como escorregamento do revestimento que pode ser ocasionado pela má compactação de misturas asfálticas e também a exsudação que pode ser causado pela alta temperatura do ligante no momento da mistura.

A norma do DNIT 031/2006- ES, considera que a temperatura do ligante não deve ser inferior a 110°C nem exceder 177°C e que os agregados devem ser aquecidos 10°C a 15°C acima da temperatura do ligante, sem ultrapassar 177°C.

Albuquerque (2005) realizou um estudo sobre a energia e variação da temperatura de compactação e concluiu que a temperatura de compactação tem mais influência nas propriedades mecânicas de misturas asfálticas. Com temperaturas muito baixas, como por exemplo 90°C, ele encontrou valores de resistência à tração muito baixos e concluiu que a temperatura ideal para compactar corpos de prova foi a de 140°C, já que foi a que apresentou maiores valores para as propriedades mecânicas estudadas por ele.

Roberts et al (1996) apud Grave (2016) diz que a eficiência da compactação de misturas asfálticas depende de vários fatores e entre eles está a temperatura da mistura no momento da compactação, que tem grande importância já que a resistência da compactação é um efeito combinado do agregado e do ligante. Pode-

se dizer que quanto mais viscoso estiver o ligante no momento da compactação, maior será a resistência oferecida à compactação.

Os requisitos de desempenho em dosagem só serão atendidos se os processos de produção, transporte, aplicação e compactação forem coerentemente controlados durante todos os momentos. (BALBO,2007). Por isso é de grande importância que a temperatura de compactação seja rigorosamente controlada.

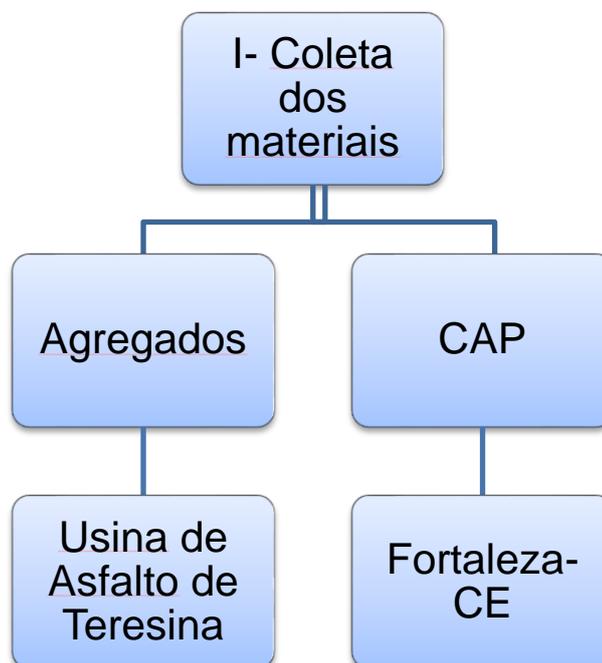
3 METODOLOGIA

O programa experimental executado para a efetivação desta pesquisa foi determinado principalmente de cunho exploratório quanto a necessidade de investigação das características dos materiais envolvidos e na determinação de parâmetros para confecção da massa de concreto asfáltico e quantitativo referente a determinação dos valores de caracterização física e mecânica do CAUQ.

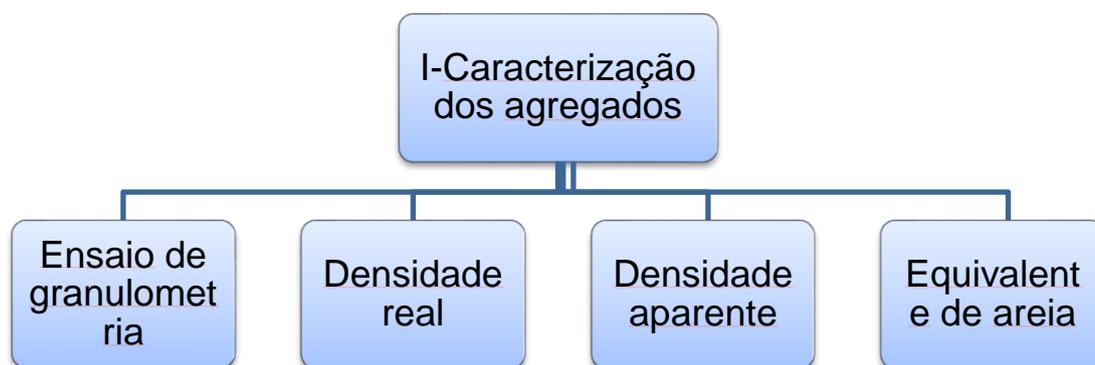
Os ensaios foram realizados no laboratório de solos e asfaltos do 2º Batalhão de Engenharia da Construção (2º BEC) e no laboratório de controle tecnológico de obras públicas do Tribunal de Contas do Estado Piauí (TCE-PI).

O trabalho necessitou ser dividido em 5 etapas onde os procedimentos envolvidos encontram-se descritos a seguir:

3.1 ETAPA I: Coleta dos materiais, caracterização dos agregados e traço de CAUQ



A areia, brita 19, brita 16, brita 12 e pó de pedrisco são os agregados estudados e foram coletados na usina de Asfalto da Prefeitura de Teresina-Pi, visando adequação quanto aos traços asfálticos usados na zona urbana de Teresina.



Inicialmente foi efetuado o ensaio de granulometria com base na norma DNER-ME 083/98, onde os agregados foram peneirados e classificados quanto a sua composição granulométrica. As especificações de serviços DNIT ES 031/2006 e o método de ensaio DNER-ME 043/95 também foram parâmetros para o estudo. A Figura 8 demonstra o ensaio de granulometria. Em 8A observa-se o peneiramento dos agregados e em 8B os agregados estudados

Figura 8- Ensaio de granulometria dos agregados



Fonte: Autor (2018)

Foram realizados ainda os ensaios de densidade real e aparente dos agregados. O ensaio de densidade aparente, determina a densidade levando em conta os vazios existentes entre as partículas. Para realização do ensaio foi utilizado um cilindro de volume conhecido de 1000 cm^3 , seguindo instruções da norma de densidade aparente DNER-ME 117/94 do agregado estabelecida pelo DNIT. O agregado foi lançado de uma altura de mais ou menos 30cm, até preencher todo o cilindro. Em seguida foi retirado o excesso com régua e depois foi feita a pesagem da amostra contida no cilindro. A Figura 9 mostra como o ensaio foi executado. Em 9A

observa-se o procedimento de preenchimento do cilindro. Em 9B o sarrafeamento do topo do cilindro com a retirada do excesso.

Figura 9- Ensaio de densidade aparente dos agregados



Fonte: Autor (2019)

Em seguida realizou-se o ensaio de densidade real dos agregados graúdos. Foi feito por diferença de pesagem, utilizando uma balança hidrostática, onde os materiais foram pesados ao ar, imerso e seco saturado e foi definido a densidade real por diferença de peso. Neste ensaio, a água atua preenchendo os vazios das partículas. Além da determinação da densidade real, esse ensaio possibilitou a determinação da absorção dos agregados.

Em se tratando dos agregados miúdos, a densidade real foi feita através do frasco de Chapman. Foram acrescentados 200ml de água destilada e 500g do material no frasco. Com o auxílio graduação do frasco foi possível efetuar a leitura e com isso determinar a densidade real. A Figura 10 demonstra alguns passos deste ensaio. Em 10A colocação da água destilada, em 10B deposição do agregado miúdo e retirada das bolhas de ar e em 10C tomada da leitura do valor de densidade real.

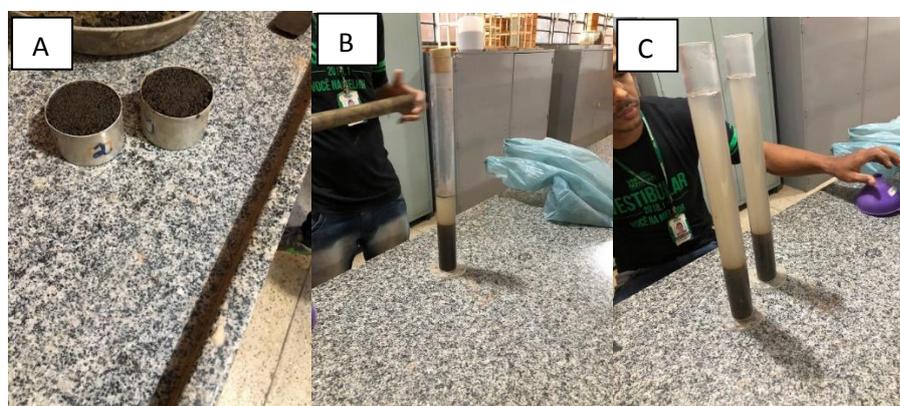
Figura 10- Ensaio de densidade real dos agregados miúdos



Fonte: Autor (2019)

Para os agregados miúdos, ainda foi realizado o ensaio de equivalente de areia (EA). O primeiro passo para realização deste ensaio, foi umedecer o material e em seguida colocá-lo em uma capsula. Depois, com o auxílio de um funil o material foi colocado na proveta, ficou em repouso por 10 minutos. Logo após foi colocado uma rolha para tampar a proveta e agitou-se a solução. Em seguida foi inserido a solução de equivalente de areia e ficou em repouso por 20 minutos. Para finalizar o ensaio, foi efetuada a leitura do nível superior da suspensão argilosa e altura do nível do agregado. A Figura 11 mostra os procedimentos executados neste ensaio. Em 11A representação do material umedecido na capsula, já em 11B agitação da proveta e em 11C solução em repouso.

Figura 11- Ensaio de equivalente de areia



Fonte: Autor (2019)

Após a realização dos ensaios de caracterização dos agregados, foi possível a determinação de um traço asfáltico do tipo CAUQ segundo especificações do DNIT ES 031/2006 onde os parâmetros granulométricos se encaixaram na faixa C com os percentuais da composição determinadas pelo método de tentativa.

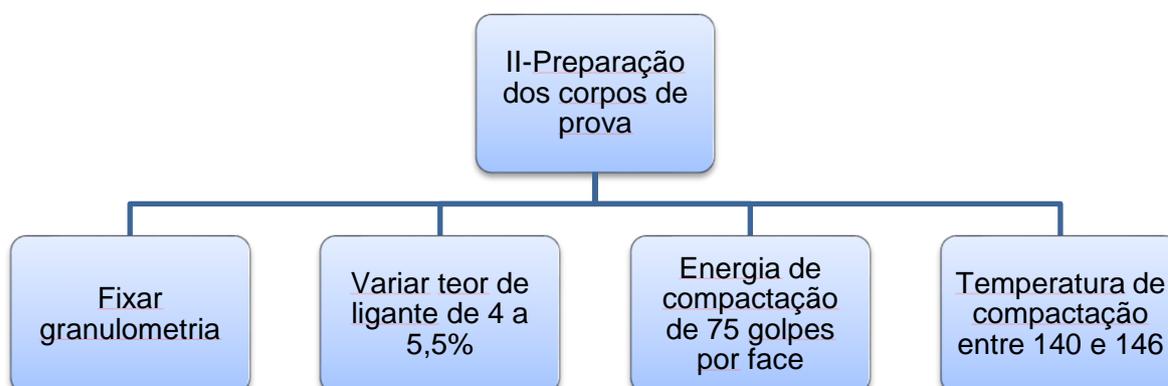
O programa “ gerador de projetos asfálticos” (GPA) (Figura 12) foi utilizado na determinação do traço asfáltico, dos parâmetros marshall e na determinação do teor ótimo de ligantes segundo as especificações descritas em norma do DNIT. O projeto asfáltico encontra-se no apêndice.

Figura 12- Pagina inicial do programa GPA

FORNEÇA OS DADOS PEDIDOS PARA CONFECCÃO DO PROJETO ASFÁLTICO			
Exemplo	Limpar Campos	Próximo Passo	Ajuda
ÓRGÃO (INFRAERO, DNIT):	DNIT	OK!	
TIPO DE MASSA ASFÁLTICA (CBUQ, AAUQ):	CBUQ	OK!	
INFORME SE CAPA OU BINDER:	CAPA	OK!	
INFORME A ENERGIA QUE SERÁ USADA (50G OU 75G):	75G	OK!	
INFORME A FAIXA GRANULOMÉTRICA:			
ESCOLHA ENTRE AS FAIXAS: B e C =			C

Fonte: Autor (2019)

3.2 ETAPA II: Preparação dos corpos de prova



A fim de se determinar o teor ótimo de ligante foi fixada uma distribuição granulométrica que compôs os agregados da mistura e variou-se o teor de ligante entre 4 e 5,5 %. Como a norma DNER-ME 043/95 prescreve, foram confeccionados 3 corpos de provas para cada teor de ligante, conforme mostra a Quadro 5:

Quadro 5- Quantidade de corpos de prova para determinação de teor ótimo de ligante

DESCRIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA	TEOR DE LIGANTE
A, B, C	3	4,00%
D, E, F	3	4,50%
G, H, I	3	5,00%
J, K, L	3	5,50%

Fonte: Autor (2018).

Para confecção dos corpos de prova pesou-se os agregados conforme a quantidade estabelecida no traço (Apêndice B). Em seguida o ligante e os agregados foram aquecidos em recipientes diferentes. Para realizar a mistura dos agregados com o ligante abriu-se um espaço no meio dos agregados, onde o ligante foi colocado. Misturou-se até que os agregados estivessem envoltos pelo ligante. (Figura 13). Em 13A observa-se a pesagem dos agregados, em 13B observa-se o aquecimento dos agregados e ligante e em 13C, a mistura da massa asfáltica e medição da temperatura.

Figura 13- Realização de mistura dos agregados



Fonte: Autor (2019)

No molde metálico para moldagem do corpo de prova, foram colocados aproximadamente 1200g de mistura asfáltica previamente aquecida e em seguida foram compactadas com uma energia de 75 golpes por face e a temperatura entre

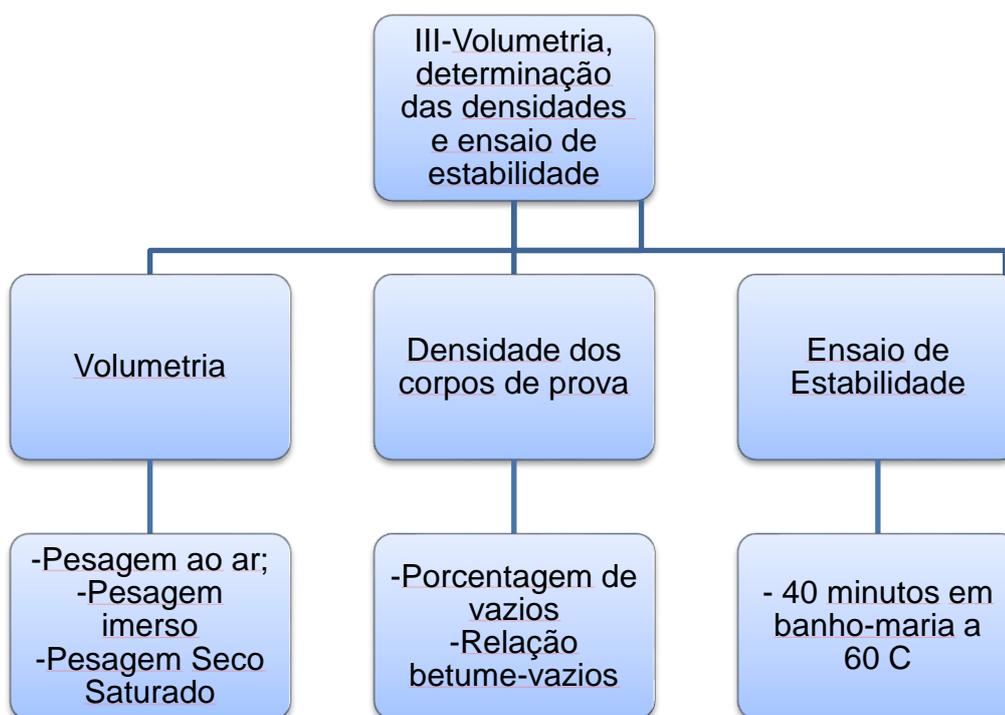
140 a 146 °C. Ficaram em repouso por 24 horas e logo após foram extraídos dos moldes. (Figura 14)

Figura 14- Corpos de prova em repouso



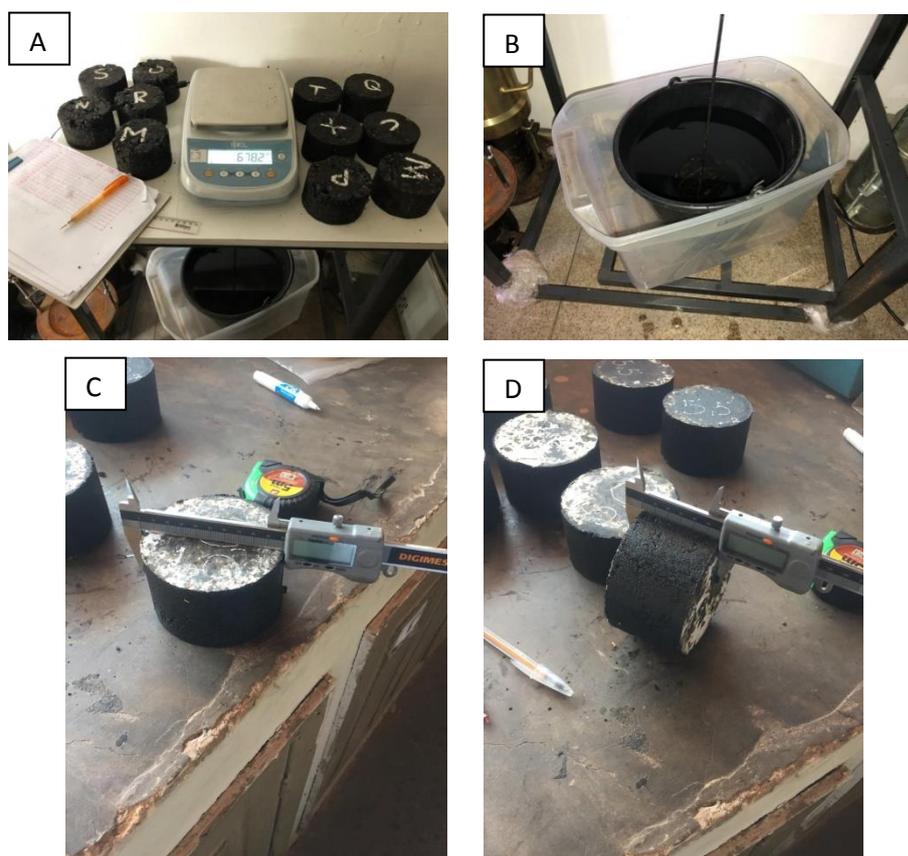
Fonte: Autor (2019)

3.3 ETAPA III: Volumetria, determinação das densidades aparentes e máximas teóricas, ensaio de Estabilidade.



Depois de extraídos dos moldes, foram efetuados os ensaios de volumetria (pesagem ao ar, imerso e seco saturado) e medidas espessura e diâmetro, ainda seguindo as prescrições segundo DNER- ME 043/95. Na Figura 15 pode-se observar a pesagem dos corpos de prova. Em 15A pesagens dos corpos de prova ao e seco saturado, em 15B pesagem imersa dos corpos de prova, 15C medição de espessura dos corpos de prova e em 15D medição de diâmetros dos corpos de prova.

Figura 15- Pesagens dos corpos de prova



Fonte: Autor (2019)

Em seguida, foram definidas as densidades dos corpos de prova conforme procedimentos da norma DNER-ME 117/94. E ainda a porcentagem de vazios e a relação betume- vazios (RBV).

Para o ensaio de estabilidade, conforme a norma DNER-ME 043/95 prescreve o corpo de prova ficou em banho-maria por 40 minutos a 60° C e logo em seguida com auxílio da prensa Marshall foi executado o ensaio, onde foi extraída a propriedade mecânica em questão. Posteriormente, foi realizada a correção da estabilidade lida

através da equação expressa no item 2.7.2 desta pesquisa. A Figura 16 apresenta o ensaio de ruptura dos corpos de prova, em 16A os corpos de prova em banho maria, em 16B ruptura dos corpos de prova.

Figura 16- Ensaio de ruptura dos corpos de prova

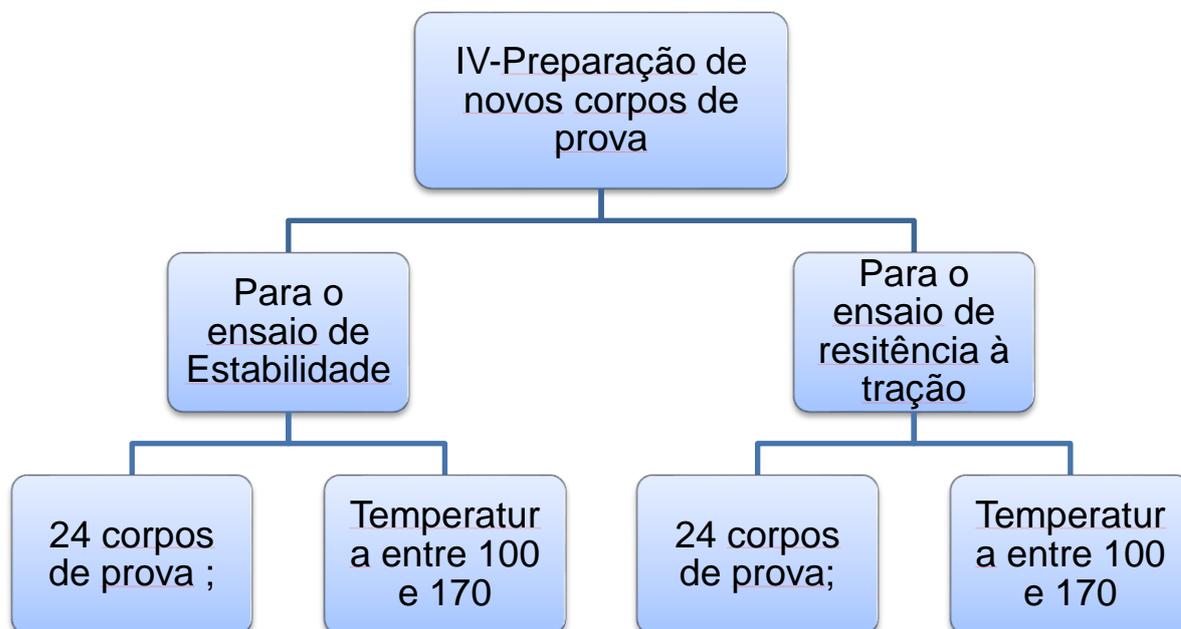


Fonte: Autor (2019)

Tomadas todas as medidas descritas anteriormente para os corpos de prova, foram lançados graficamente os índices mencionados, em função dos teores de ligante considerados para cada amostra. Foi escolhido como teor de ligante ideal o que apresentou, de acordo com os parâmetros normativos:

- a) RBV de 75% a 82%;
- b) Porcentagem de vazios de 3 a 4%;
- c) Maior estabilidade possível;
- d) Maior densidade.

3.4 ETAPA IV: Preparação de novos corpos de prova



Após definido um teor de betume ideal, foram confeccionados 24 corpos de prova moldados entre 100°C e 170°C, conforme a norma anteriormente mencionada, variando a temperatura a cada 10°C e mantendo a energia de compactação de 75 golpes por face. Os procedimentos para confecção dos corpos de prova, foram os mesmos utilizados para confeccionar os corpos de prova citada na etapa 3.3 (Quadro 6)

Quadro 6- Quantidade de corpos de prova que serão ensaiados para determinação de estabilidade

DESCRIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA	TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO
1, A, B	3	100° C
2, C, D	3	110° C
3, E, F	3	120° C
4, G, H	3	130° C
5, I, J	3	140° C
6, K, L	3	150° C
7, M, N	3	160° C

DESCRIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA	TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO
8, O, P	3	170° C

Fonte: Autor (2018)

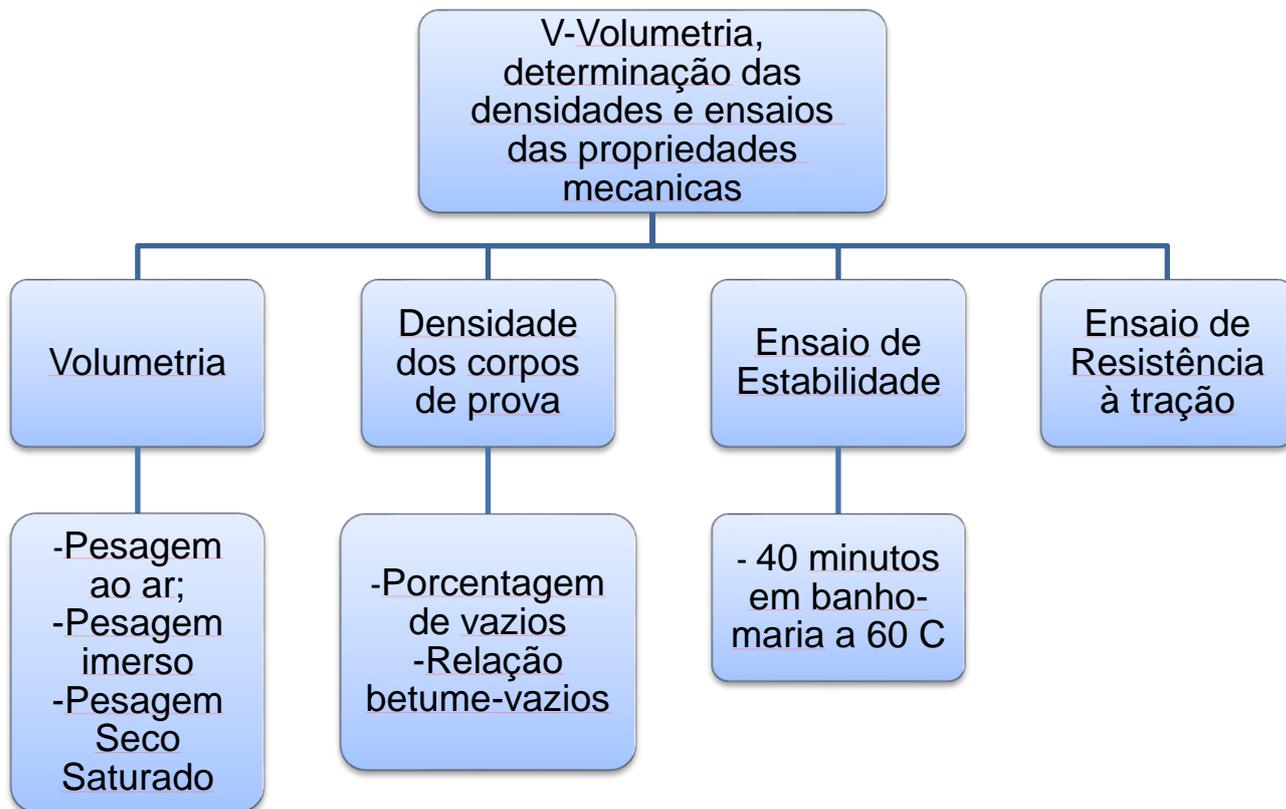
Além dos corpos de provas destinados ao ensaio de estabilidade foram confeccionados outros 24 corpos de provas para o ensaio de resistência a tração, moldados entre 100°C e 170° C, conforme a norma DNER-ME 136/2017, variando a temperatura a cada 10°C e mantendo a energia de 75 golpes por face. (Quadro 7)

Quadro 7- Quantidade de corpos de prova que serão confeccionados para ensaio de resistência à tração

DESCRIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA	TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO
A, K, L	3	100° C
B, M, N	3	110° C
C, O, P	3	120° C
D, Q, R	3	130° C
E, S, T	3	140° C
F, U, V	3	150° C
G, H, W	3	160° C
I, J, X	3	170° C

Fonte: Autor (2018).

3.5 ETAPA V: Volumetria, determinação das densidades aparentes e máximas teóricas, ensaio de estabilidade e resistência a tração



Todos os procedimentos anteriormente citados foram efetuados novamente e assim foi possível encontrar os valores de estabilidade para cada corpo de prova.

Para o ensaio de resistência a tração, também foram tiradas as medidas de diâmetro e espessuras dos corpos de prova e volumetria. Foram determinadas ainda as densidades seguindo a norma DNER-ME 117/94 e por fim o corpo de prova foi direcionado a prensa para assim se obter o valor de ruptura. A Figura 17 mostra o ensaio de ruptura por compressão diametral.

Figura 17- Ensaio de ruptura por compressão diametral



Fonte: Autor (2019)

4 RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se dispostos os resultados provenientes dos ensaios executados bem como uma síntese explicativa dos resultados mais relevantes que fomentaram a pesquisa em estudo.

4.1 Caracterização dos agregados e traço de cauq (teor ótimo de ligante)

Os resultados de caracterização dos agregados, encontram-se dispostos no Apêndice A (Projeto asfáltico).

Estes dados fomentaram a escolha dos agregados ideais na composição do traço asfáltico do tipo CAUQ.

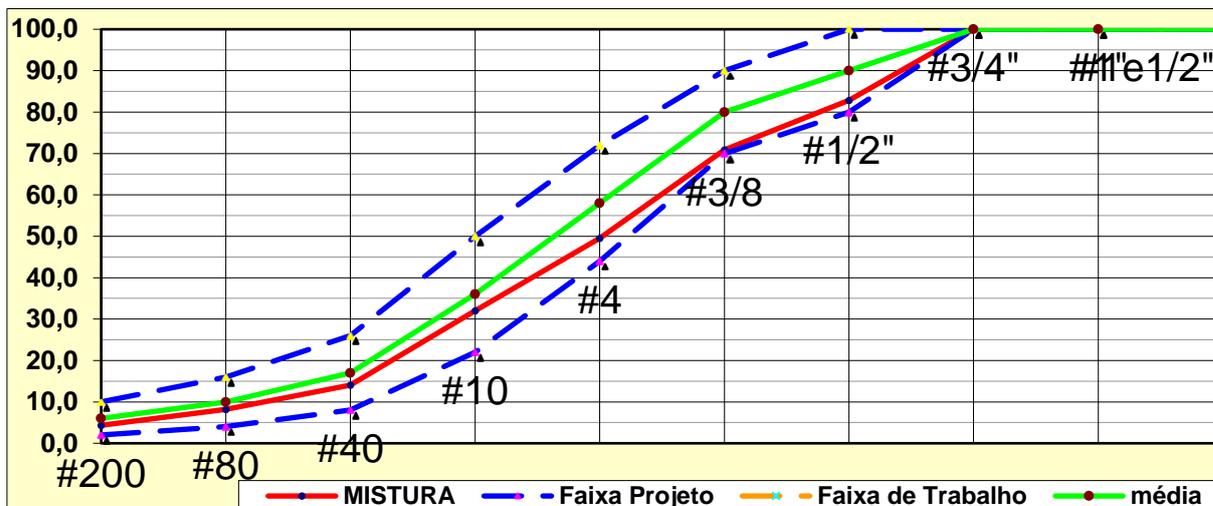
Na Tabela 3, encontram-se as granulometrias e os percentuais de cada agregado (gráudo e miúdo) bem como o material de enchimento (filler ou cimento). A granulometria encontrada adequou-se a faixa C do DNIT. A figura 18 apresenta a adequada disposição da curva granulométrica mediante faixa especificada por norma e seus limites de calibração de projeto.

Tabela 3 Agregados e porcentagens ideais para se utilizar no traço

PENEIRAS	B16		B12		PÓ		CIMENTO		B19		AREIA		MISTURA TEÓRICA	FAIXA "C"
	0%	0%	22%	22%	45%	45%	3%	3%	30%	30%	0%	0%		
1e1/2"	100,0	0%	100,0	22%	100,0	45%	100,0	3%	100,0	30%	100,0	0%	100,0	100
1"	100,0	0%	100,0	22%	100,0	45%	100,0	3%	100,0	30%	100,0	0%	100,0	100
3/4"	100,0	0%	100,0	22%	100,0	45%	100,0	3%	100,0	30%	100,0	0%	100,0	100
1/2"	65,5	0%	99,0	22%	100,0	45%	100,0	3%	43,5	13%	100,0	0%	82,8	80-100
3/8"	12,0	0%	83,0	18%	100,0	45%	100,0	3%	15,4	5%	100,0	0%	70,9	70-90
N 4	1,0	0%	8,5	2%	98,5	44%	100,0	3%	1,0	0%	99,5	0%	49,5	44-72
N 10	0,5	0%	0,0	0%	64,5	29%	100,0	3%	0,0	0%	99,0	0%	32,0	22-50
N 40	0,0	0%	0,0	0%	24,5	11%	100,0	3%	0,0	0%	72,0	0%	14,0	8-26
N 80	0,0	0%	0,0	0%	11,5	5%	100,0	3%	0,0	0%	2,5	0%	8,2	4-16
N 200	0,0	0%	0,0	0%	3,5	2%	92,0	3%	0,0	0%	0,5	0%	4,3	2-10

Fonte: Autor (2019)

Figura 18- Disposição da curva granulométrica



Fonte: Autor (2019)

O teor ótimo de ligante de 4,5 % e com o intuito de economizar material, foi utilizado o teor mínimo de ligante de 4,0% para confecção dos corpos de prova. Esta diminuição de ligante é possível pois a norma e a experiência preconiza uma readequação do ligante quando a calibração da usina devido os padrões de controle diferenciados em um laboratório comparado a usina asfáltica da obra. O traço final para execução dos corpos de prova destinados ao ensaio de estabilidade e resistência a tração encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4 Traço final utilizado

DETERMINAÇÃO DO TRAÇO DA MISTURA				
AGREGADO	% SEM CAP	% COM CAP	PESO EM GRAMAS	PESO ACUMULADO
BRITA 19	30	28,80	345,6	345,6
BRITA 12	22	21,12	253,44	599,04
PÓ	45	43,19	518,28	1117,32
PEDRISCO				
CIMENTO	3	2,89	34,68	1152,0
CAP		4,0	48	1200,00
SOMA	100	100,00	1200,00	

Fonte: Autor (2019)

4.2 Ensaio marshall

4.2.1 Resultados de volumetria, densidades aparentes e máximas teóricas, estabilidade.

Inicialmente, todas as amostras foram submetidas ao procedimento descrito no item 6.1 da norma DNER-ME 117/94, cujos resultados de densidade aparente são apresentados na Tabela 5. Além disto, determinaram-se os valores de grau de compactação e estabilidade e seus valores médios para cada variação de grupo de temperatura. A densidade máxima utilizada foi a Densidade Máxima Teórica (DMT), calculadas a partir das ponderações relativas às densidades reais de cada insumo no traço asfáltico e o seu percentual aplicado na composição da massa, com valor de 2,648 g/cm³.

Na Tabela 5 encontram-se os valores médios de Densidade Aparente, Densidade Máxima Teórica, Grau de Compactação, Volume de vazios e Estabilidade resultante dos ensaios executados.

Tabela 5- Densidade aparente (ρ), Densidade Máxima Teórica (DMT), Grau de compactação (GC), Volume de vazios (Vv) e Estabilidade (Est.)

Temp. Comp.	ρ Ap.	DMT	Vv (%)	Média Est.	Média GC (%)
100	2,362	2,648	10,79	699,9	89,2
110	2,395	2,648	9,53	920,2	90,5
120	2,451	2,648	7,45	1050,8	92,5
130	2,504	2,648	5,42	1203,4	94,6
140	2,515	2,648	5,03	1373,1	95
150	2,523	2,648	4,71	1375,9	95,3
160	2,523	2,648	4,72	1456,4	95,3
170	2,531	2,648	4,42	1585,4	95,6

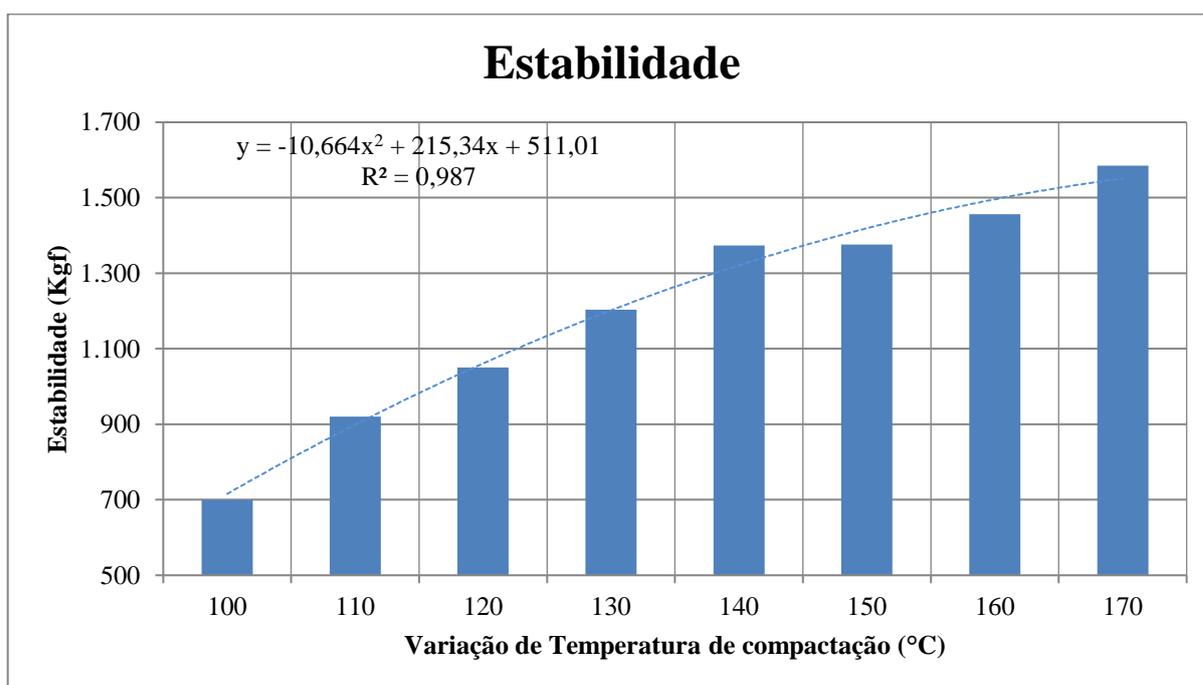
Fonte: Autor 2019

Pode-se observar que a medida que se aumenta a temperatura o Grau de compactação aumenta e tem uma tendência de estabilizar entre as temperaturas de 150° C e 170°C. Isso se explica pelo fato de que o ligante é um material termoplástico, pois ele perde viscosidade a medida que aumenta a temperatura de seu aquecimento até que chega a um ponto em que a temperatura não influencia da mesma forma, porque o ligante chegou a um patamar em que a coesão dele já não existe mais, e é fator de influencia na mistura, estabilizando a matriz da amostra, o que colabora com a norma do DNIT 031/2006 de especificação de serviço onde a mesma recomenda o aquecimento do ligante até 170° C.

Em relação ao volume de vazios observa-se a diminuição deste parâmetro cerca de 50% quando comparados entre a maior temperatura (170°C) e menor temperatura (100°C). A este fato pode-se considerar que à medida que a temperatura aumenta a viscosidade do ligante diminui, o que favorece um condicionamento melhorado entre o aglomerante ligante e os agregados graúdos e miúdos, favorecendo a erradicação do excesso de vazios.

A partir dos dados obtidos foram gerados gráficos de correlação entre variação da temperatura e o valor obtido no ensaio de Estabilidade Marshall, cujos resultados são apresentados na Figura 19.

Figura 19- Gráfico de estabilidade x Variação de temperatura



Fonte: Autor (2019)

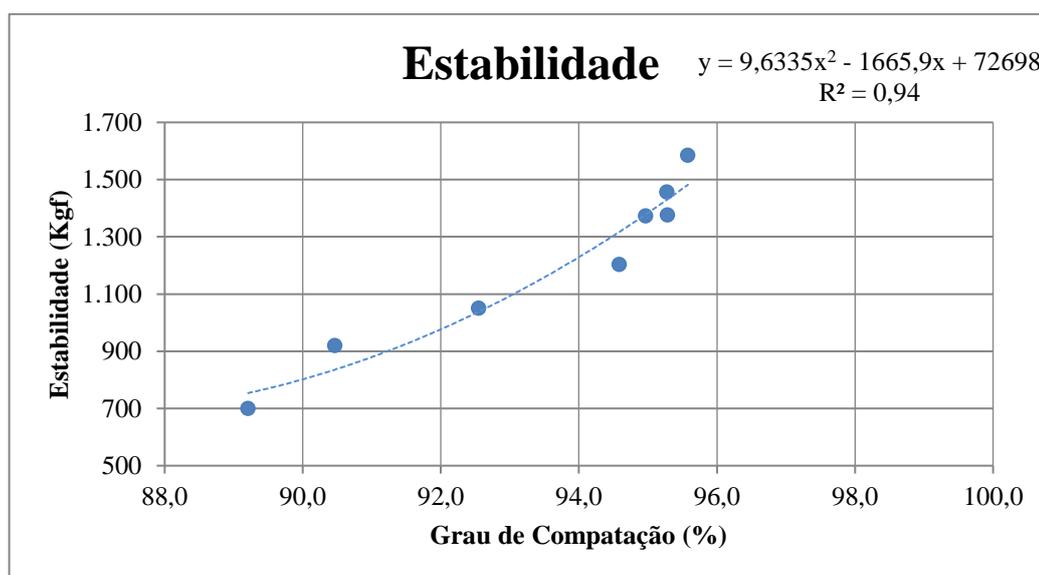
A correlação obtida ($R^2 = 0,987$), indica a grande influência exercida da estabilidade em função da variação de temperatura. Quanto maior a temperatura, maior valor de estabilidade. Sendo o ligante asfáltico termo plástico, quanto maior temperatura menor diminuição da viscosidade e em consequência, esse material, forma uma película mais abrangente nos agregados dando à matriz trabalhabilidade suficiente para um arranjo eficiente entre os componentes da massa asfáltica. O que demonstra que estes dois parâmetros possuem forte influência na qualidade final do revestimento asfáltico.

Este fato, no momento da execução de uma obra rodoviária, deve ser controlado rigorosamente por uma equipe competente, a fim de proporcionar ao pavimento flexível, vida útil condizendo com o projetado de acordo com a região e o tráfego local.

Geraram-se também gráficos referentes à estabilidade e GC, a fim de ilustrar o comportamento deste parâmetro de qualidade quanto a massa asfáltica compactada. O grau de compactação reflete-se em outros parâmetros mecânicos que dependem de uma boa execução deste serviço no momento da aplicação na plataforma de rolamento.

Ilustra-se na Figura 20 o gráfico de correlação entre a estabilidade e o grau de compactação, no caso em que houve variação da temperatura de compactação dos corpos de prova.

Figura 20- Gráfico de Estabilidade x Grau de compactação



Fonte: Autor (2019)

Observa-se que a medida de que se eleva a temperatura houve o incremento do GC e a partir de 140°C, onde se obteve valor médio de 95% de GC, mesmo elevando-se a temperatura o valor de GC se mantém estável (entre 95% e 95,6%) e o valor de estabilidade varia apenas em torno de 13%. Neste sentido, observa-se que após a temperatura de 140°C os dois parâmetros pouco variam e influenciam entre si. Para manter um bom grau de compactação é necessário determinar uma temperatura padrão para compactar, para assim se obter uma melhor resposta de resistência mecânica da massa asfáltica.

Ainda assim a correlação obtida ($R^2=0,94$) demonstra a forte correlação do GC e estabilidade, pois além do GC ser interdependente da densidade da massa asfáltica o desempenho da estabilidade é condicionado pela adequada execução da compactação além da qualidade dos materiais obtidos.

Devido à falta de controle tecnológico na maioria das obras rodoviárias de pavimentação asfáltica, tendo em vista a praticamente inexistência de controle tecnológico por parte das empresas contratadas, a perda da qualidade de parâmetros mecânicos importantes para a manutenção da vida útil do pavimento determinados em projeto compromete a aplicação dos recursos públicos, bem como não cumpre as principais finalidades do sistema rodoviário que é a eficiência, segurança e conforto.

4.2.2 Resultados de volumetria, densidades aparentes e máximas teóricas, resistência a tração.

Na Tabela 6, estão apresentados os resultados dos valores médios de Densidade aparente, grau de compactação, densidade máxima teórica, volume de vazios e resistências a tração de acordo a variação de temperatura dos corpos de prova.

Tabela 6- Densidade aparente (ρ), grau de compactação (GC), Densidade Máxima Teórica (DMT), Volume de vazios (Vv) e Resistência a tração (RT)

TEMP.	ρ Ap.	DMT	Vv (%)	RT	GC (%)
100	2,461	2,65	7,06	0,49	93
110	2,420	2,65	8,60	0,56	91
120	2,440	2,65	7,98	0,59	92

TEMP.	ρ Ap.	DMT	Vv (%)	RT	GC (%)
130	2,450	2,65	6,40	0,88	93
140	2,443	2,65	7,74	0,70	92
150	2,450	2,65	7,65	0,76	92
160	2,480	2,65	6,20	0,74	94
170	2,540	2,65	4,00	0,84	95

Fonte: Autor (2019)

Pode-se observar que o valor de RT (resistência a tração), aumentou de acordo com o incremento de temperatura. Observa-se ainda que os resultados de RT foram satisfatórios a partir da temperatura de 130, já que a norma do DNIT preconiza o valor de RT mínimo de 0,65 MPa.

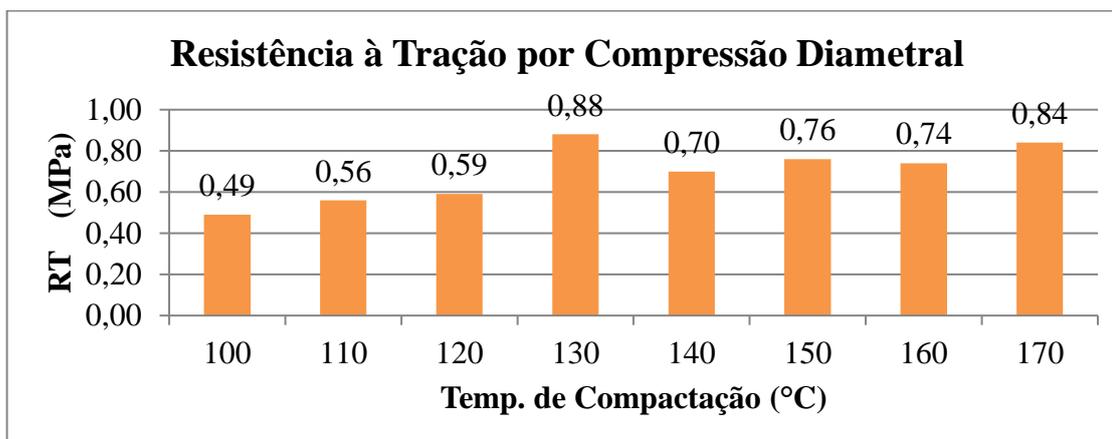
Apesar dos resultados de GC serem menores que os valores obtidos na determinação da estabilidade, estes seguiram a mesma tendência. Em oposto os Vv foram maiores, porém tenderam ao mesmo comportamento apresentado anteriormente. Tal resultado pode ser explicado pelo constante aquecimento do ligante, já que o mesmo é suscetível as variações de temperatura e seus componentes sofrem oxidações (envelhecimento) e a viscosidade do ligante tende a aumentar, tornando-o mais duro e necessitando de temperaturas mais elevadas para a diminuição da sua viscosidade a fim de que a massa asfáltica possua trabalhabilidade.

Assim como para os dados de estabilidade, observou-se que os volumes de vazios diminuíram para os corpos de prova que foram mais aquecidos, isso significa que o aquecimento proporciona uma maior união entre os agregados e o ligante, preenchendo parte dos vazios existentes.

Pode-se afirmar ainda, que os corpos de provas que foram compactados com maiores temperaturas, tiveram um grau de compactação maior.

No gráfico representado pela Figura 21, estão expostos os resultados de Resistencia a tração, que foram obtidos a partir da carga lida através do ensaio Marshall, por compressão diametral e com as espessuras dos corpos de prova, variando de acordo com cada temperatura.

Figura 21- Gráfico de Resistência a tração x Temperatura de compactação

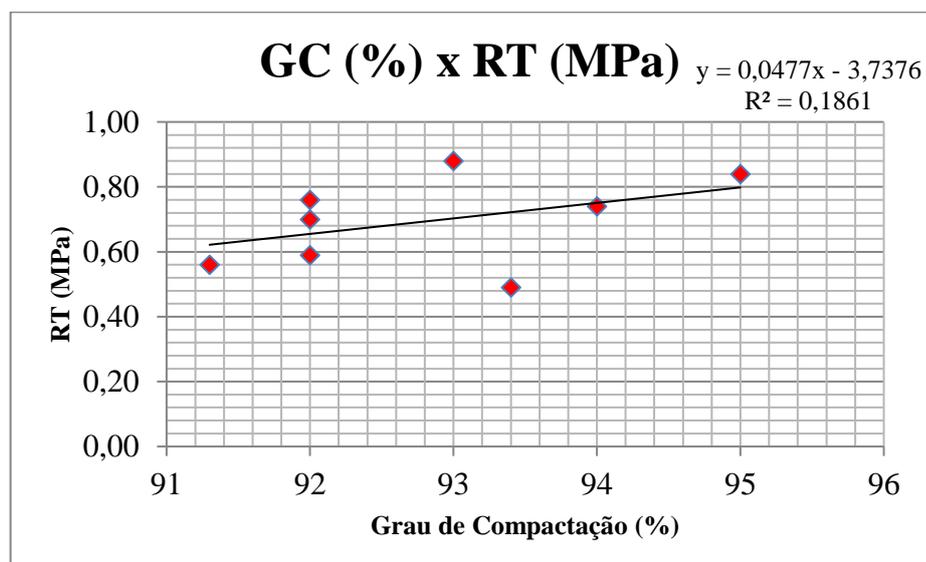


Fonte: Autor (2019)

Ainda na Figura 21, observa-se que a partir de 130°C o resultado de RT apresentou valores superiores ao preconizado nas especificações técnicas de qualidade, o que confere vida útil da massa compatível aos dados de projeto.

Na Figura 22 observa-se a correlação entre o grau de compactação e a resistência a tração, onde foi possível constatar a elevada dispersão das amostras.

Figura 22- Gráfico de Resistência a tração x Grau de compactação



Fonte: Autor (2019)

Apesar da pouca correlação ($R^2=0,18$) observa-se pelo gráfico a tendência discreta da variação entre GC e RT, mesmo porque a RT está mais relacionada a

coesão entre ligante e agregados do que propriamente ao Vv. Também pode-se atribuir os resultados ao envelhecimento do ligante, como explicado anteriormente.

Destaca-se, mesmo assim, a importância da temperatura na adequação de valores de RT de valores mínimos aceitáveis visando a manutenção da vida útil de pavimentos.

5 CONCLUSÕES

A pesquisa teve como objetivo verificar as propriedades mecânicas e volumétricas de misturas asfálticas compactadas em diferentes temperaturas. O estudo possibilitou verificar o impacto que a temperatura de compactação de misturas asfálticas, causa na vida útil do pavimento.

Com os ensaios executados, foi possível obter importantes resultados e análises assim podendo-se chegar as conclusões descritas abaixo:

- 1) A temperatura de compactação influencia nos resultados das propriedades mecânicas. Quanto maior a temperatura de compactação, maiores foram os resultados de RT e estabilidade. Para RT as temperaturas de 100°C, 110°C e 120°C não foram favoráveis, já que não atingiram o resultado mínimo prescrito por norma. As outras temperaturas de 130°C até 170°C, tiveram ótimos resultados de RT. Já para estabilidade, todas as temperaturas apresentaram ótimos resultados já que todos os corpos de prova rompidos apresentaram estabilidade maior que a mínima prescrita na norma.
- 2) Foi possível observar que a densidade aparente tanto dos corpos de prova destinados a RT quanto para os destinados a Estabilidade, aumentou de acordo com o aumento da temperatura de compactação.
- 3) O volume de vazios aumentou de acordo com o aumento da temperatura de compactação em ambos os grupos de corpos de prova. Porém, para o grupo destinado ao ensaio de Estabilidade, só foi favorável para as maiores temperaturas, tais como 140°C, 150°C, 160°C e 170°C, visto que foram as que atingiram o mínimo definido na norma. Para o grupo destinado a RT, somente os corpos de prova compactados a 170°C obtiveram um resultado satisfatório.
- 4) O grau de compactação, também aumentou de acordo com o aumento da temperatura nos dois casos. Porém, só se obteve resultado satisfatório nas temperaturas de 140°C a 170°C nos corpos de prova atribuídos ao ensaio de estabilidade e para o grupo destinado a resistência a tração, só foi possível obter resultado satisfatório para a temperatura de 170°C.
- 5) A análise da temperatura de compactação confirmou a importância que tem sobre a vida útil de um pavimento. Com temperaturas de compactação fora do ideal, não é possível obter pavimentos de qualidade. Sendo assim, pode-se

dizer que o controle da temperatura de compactação de misturas asfálticas é essencial para qualidade final e vida útil de um pavimento.

- 6) Sugestão para trabalhos futuros: Para um melhor resultado, realizar a análise estatísticas das correlações encontradas e ainda ensaios mecanicistas para verificação da correlação encontrada.

REFÊRENCIAS

ABEDA. **Asfaltos**. Disponível em< <http://www.abeda.org.br/produtos/>> Acesso (17/11/2018 as 14:32)

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. **Estabelece as especificações dos cimentos asfálticos de petróleo (CAP), comercializados pelos diversos agentes econômicos em todo o território nacional**. Resolução ANP nº19/2005.

ALBUQUERQUE, Alexandre Pedro Foradini **Influência da energia e da temperatura de compactação nos parâmetros volumétricos e nas propriedades mecânicas dos concretos asfálticos**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2005.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. Ed. Oficina de textos: São Paulo, Brasil, 2007.

BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M. G., CERATTI, J. A. P. e SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Petrobras, Abeda. 2008.

CERATTI, J. A. P; REIS, R. M. M. de R. **Manual de dosagem de concreto asfáltico**. São Paulo: Oficina de Textos; Rio de Janeiro: Instituto Pavimentar, 2011.

CHADBOURN, B. A.; NEWCOMB, D. E.; VOLLER, V. R.; DE SOMBRE, R. A.; LUOMA, J. A.; TIMM, D. H., **An asphalt paving tool for adverse conditions**. Final Report, Minnesota Department of Transportation, 1998.

CNT. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** – Brasília: CNT, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 083/98: **Agregados. Análise granulométrica**.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 054/97: **Equivalente de areia.**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 043/95: **Misturas Betuminosas a quente: Ensaio Marshall.**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 117/94: **Misturas Betuminosas: Determinação da Densidade Aparente.**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT-ES 031/2006: **Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico.**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 136/2010: **Pavimentação Asfáltica- Misturas Asfálticas- Determinação da resistência à tração por compressão diametral- Método de Ensaio.**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT (2006). **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos.**

FONSECA, Luiz Felipe da Silva da. **Análise das soluções de pavimentação do programa CREMA**, 2ª etapa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2013.

GRAVE, L. E. **Efeito da temperatura de compactação nas propriedades mecânicas de misturas asfálticas.** Lajeado: Centro Universitário UNIVTES, 2016.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos.** Editora UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.

MOTHÉ, Michelle Gonçalves. **Estudo do comportamento de ligantes asfálticos por reologia e análise térmica.** Rio de Janeiro, 2009.

PINTO, S. **Materiais betuminosos:** conceituação, especificação e utilização. Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia de Fortificação e Construção – Instituto Militar de Engenharia, 1998.

PINTO, S. **Materiais pétreos e concreto asfáltico:** conceituação e dosagem. Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia de Fortificação e Construção – Instituto Militar de Engenharia, 1997.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. S. **Pavimentação Rodoviária**: Conceitos fundamentais sobre pavimento flexível. 2 ed. Rio de Janeiro: Synergia: IBP, 2010

PINTO, S.; PINTO, I. S. **Pavimentação Asfáltica**: Conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2 ed. Vol. 1. São Paulo: Pini, 2007.

SILVA, P. F. A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos**. 2ed. São Paulo: Pini, 2008.

APÊNDICES

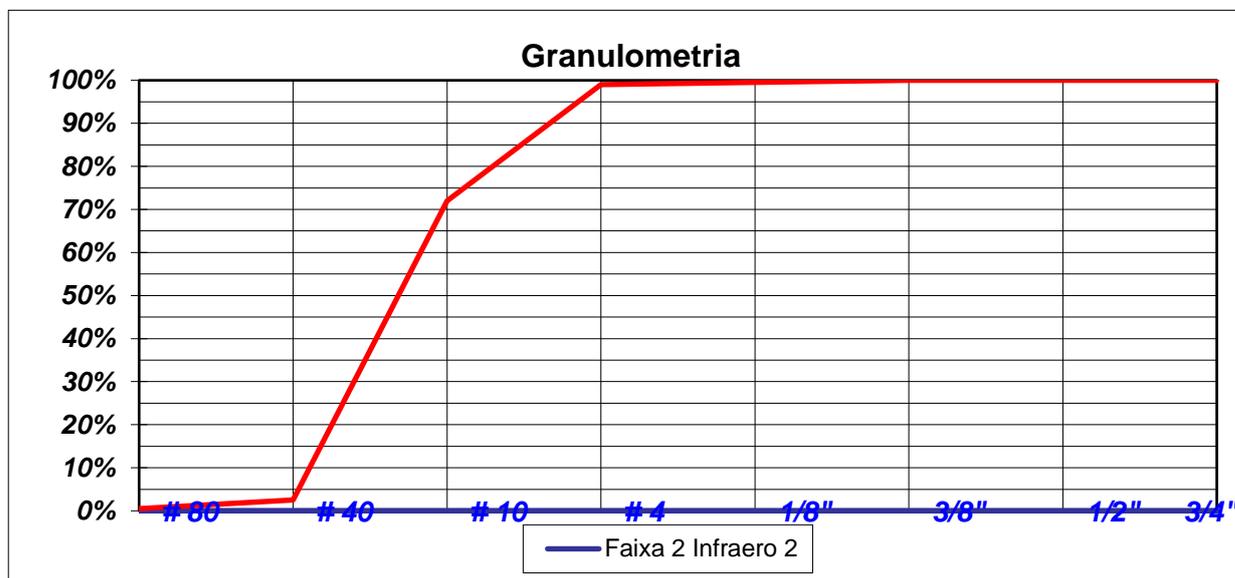
APÊNDICE A- Estudo de granulometria dos agregados.

**TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO PIAUÍ
LABORATÓRIO DE CONTROLE EXTERNO
GRANULOMETRIA**

**OBRA: ESTUDO DO IBRAOP
DATA: 28 DE AGOSTO DE 2018
OPERADOR: CLAUDENY E INARYA**

GRANULOMETRIA AREIA

Peso Total (g)	1000				
PENEIRA	Peso Retido	Peso Passando	% Passando	% Projeto	FAIXA
1"	0	1000	100,0%		
3/4"	0,0	1000	100,0%		
1/2"	0,0	1000	100,0%		
3/8"	0,0	1000	100,0%		
4	5,0	995	99,5%		
10	5,0	990,0	99,0%		
40	270,0	720,0	72,0%		
80	695,0	25,0	2,5%		
200	20,0	5,0	0,5%		



VISTO LABORATÓRIO:

VISTO ENGENHEIRO:

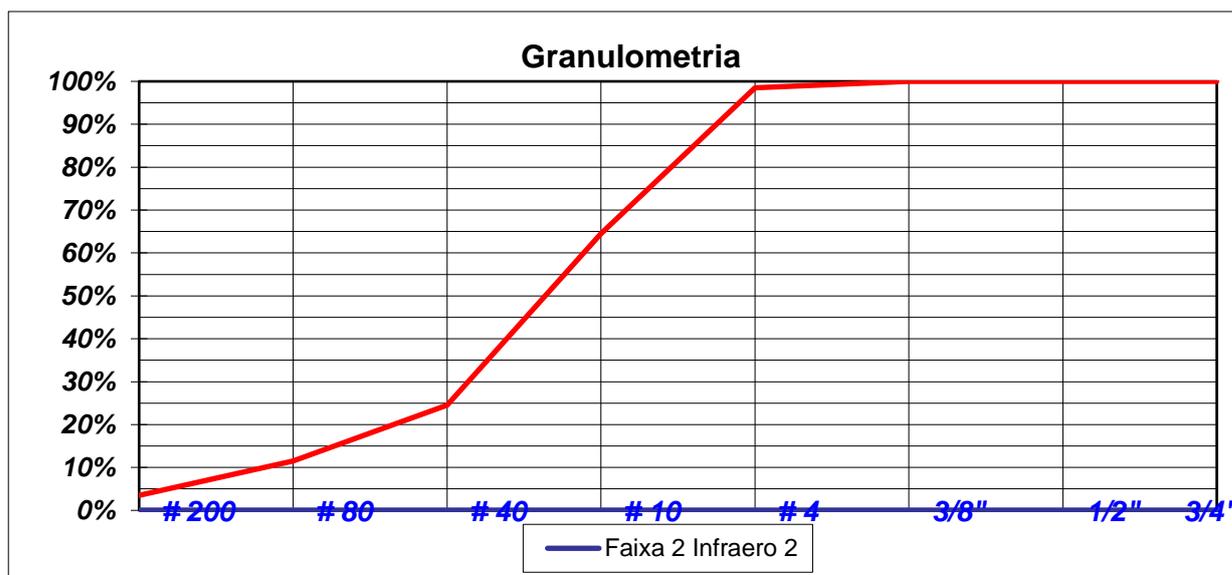
OBSERVAÇÕES: RED MIX

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO PIAUÍ
LABORATÓRIO DE CONTROLE EXTERNO
GRANULOMETRIA

OBRA: ESTUDO DO IBRAOP
DATA: 28 DE AGOSTO DE 2018
OPERADOR: CLAUDENY E INARYA

GRANULOMETRIA DE PÓ DE PEDRA

Peso Total (g)	1000				
PENEIRA	Peso Retido	Peso Passando	% Passando	% Projeto	FAIXA
3/4"	0,0	1000	100,0%		
1/2"	0,0	1000	100,0%		
3/8"	0,0	1000	100,0%		
4	15,0	985	98,5%		
10	340,0	645,0	64,5%		
40	400,0	245,0	24,5%		
80	130,0	115,0	11,5%		
200	80,0	35,0	3,5%		



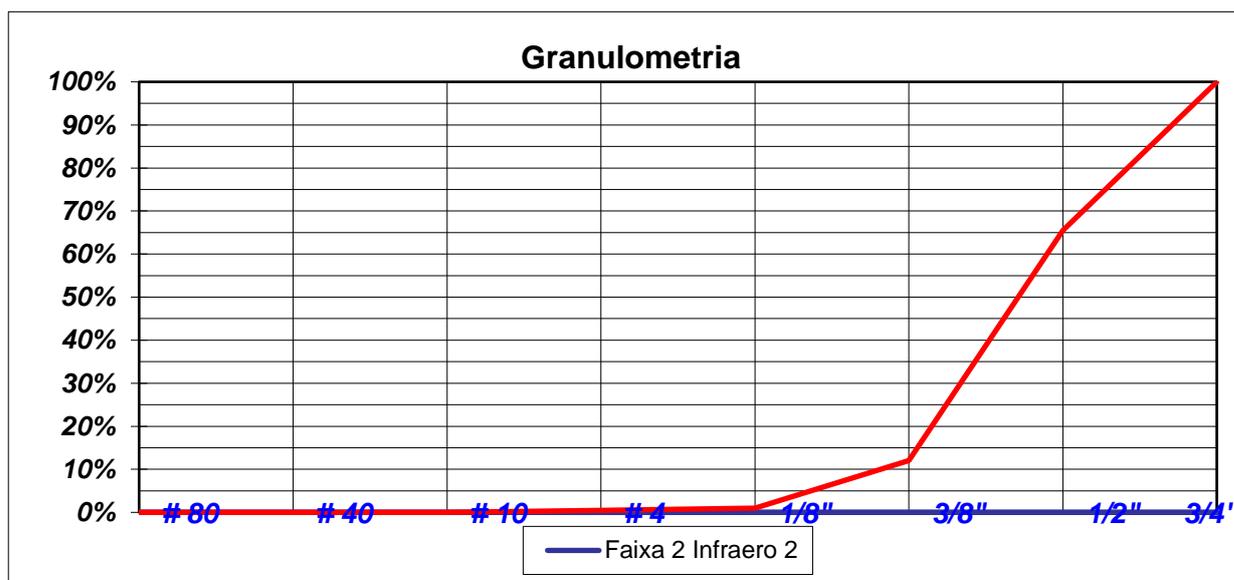
VISTO LABORATÓRIO:	VISTO ENGENHEIRO:
OBSERVAÇÕES:	NBR 7211

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO PIAUÍ
LABORATÓRIO DE CONTROLE EXTERNO
GRANULOMETRIA

OBRA: ESTUDO DO IBRAOP
DATA: 28 DE AGOSTO DE 2018
OPERADOR: CLAUDENY E INARYA

GRANULOMETRIA BRITA 16 mm

Peso Total (g)	1000				
PENEIRA	Peso Retido	Peso Passando	% Passando	% Projeto	FAIXA
1"	0	1000	100,0%		
3/4"	0,0	1000	100,0%		
1/2"	345,0	655	65,5%		
3/8"	535,0	120	12,0%		
4	110,0	10	1,0%		
10	5,0	5,0	0,5%		
40	5,0	0,0	0,0%		
80	0,0	0,0	0,0%		
200	0,0	0,0	0,0%		



VISTO LABORATÓRIO:

VISTO ENGENHEIRO:

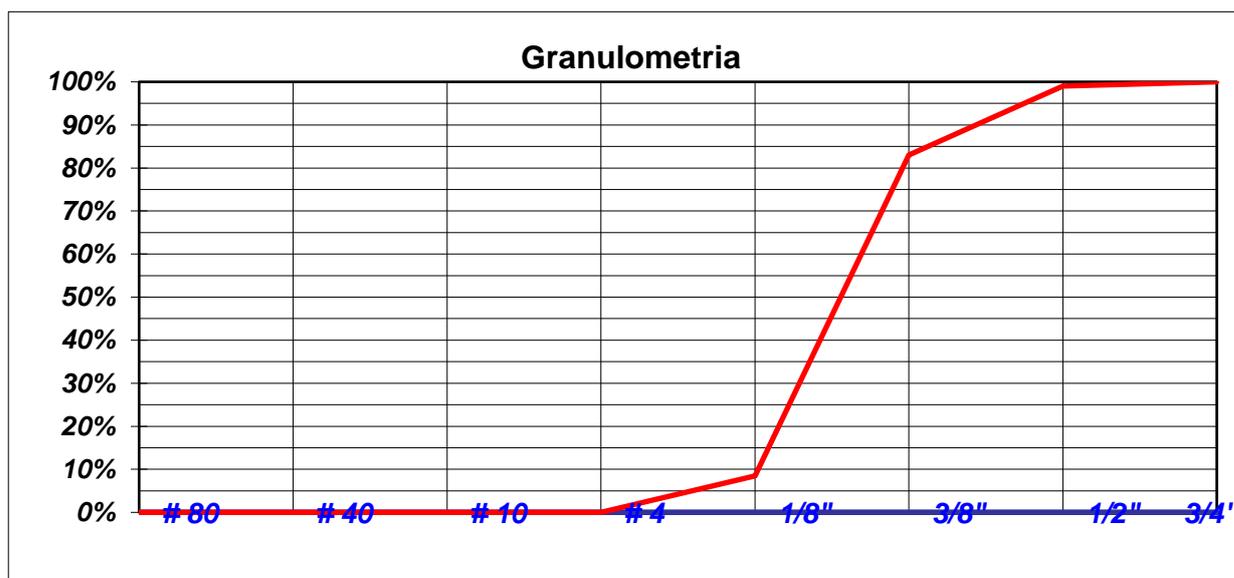
OBSERVAÇÕES: RED MIX

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO PIAUÍ
LABORATÓRIO DE CONTROLE EXTERNO
GRANULOMETRIA

OBRA: ESTUDO DO IBRAOP
DATA: 28 DE AGOSTO DE 2018
OPERADOR: CLAUDENY E INARYA

GRANULOMETRIA DA BRITA 12 mm

Peso Total (g)	1000				
PENEIRA	Peso Retido	Peso Passando	% Passando	% Projeto	FAIXA (% RET)
1"	0	1000	100,0%		
3/4"	0,0	1000,0	100,0%		
1/2"	10,0	990	99,0%	1,1%	
3/8"	160,0	830	83,0%	17,2%	
4	745,0	85	8,5%	86,9%	
10	85,0	0,0	0,0%		
40	0,0	0,0	0,0%		
80	0,0	0,0	0,0%		
200	0,00	0,0	0,0%		



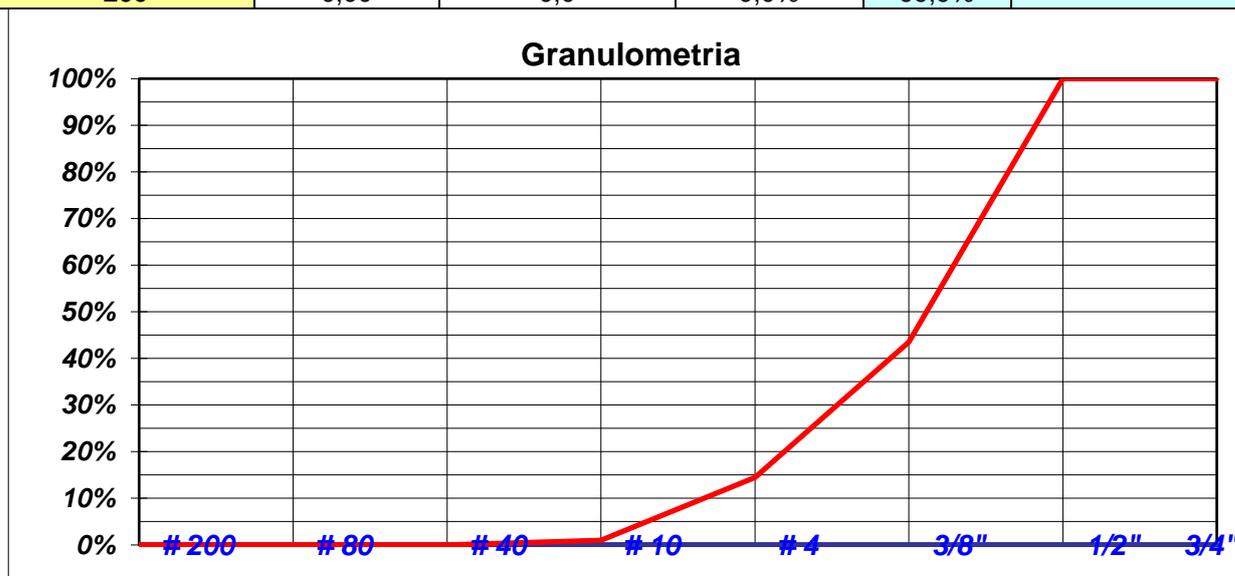
VISTO LABORATÓRIO:	VISTO ENGENHEIRO:
OBSERVAÇÕES: NBR 7211	

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO PIAUÍ
LABORATÓRIO DE CONTROLE EXTERNO
GRANULOMETRIA

OBRA: ESTUDO DO IBRAOP
DATA: 28 DE AGOSTO DE 2018
OPERADOR: CLAUDENY E INARYA

GRANULOMETRIA DO BRITA 19 MM

Peso Total (g)	1000				
PENEIRA	Peso Retido	Peso Passando	% Passando	% Projeto	FAIXA (% RET)
1"	0	1000	100,0%	0,0%	
3/4"	0,0	1000	100,0%	0,0%	
1/2"	565,0	435	43,5%	57,5%	
3/8"	290,0	145	14,5%	95,2%	
4	135,0	10	1,0%	99,8%	
10	10,0	0,0	0,0%	99,8%	
40	0,0	0,0	0,0%	99,8%	
80	0,0	0,0	0,0%	99,8%	
200	0,00	0,0	0,0%	99,9%	



VISTO LABORATÓRIO:	VISTO ENGENHEIRO:
OBSERVAÇÕES: NBR 7211	

APÊNDICE B: Traços para cada teor de ligante e relatório com dados referente ao programa GPA.

Os traços, com cada teor de ligante ficaram da seguinte forma, apresentados nos quadros abaixo:

Determinação do traço da mistura com teor de CAP de 4%

DETERMINAÇÃO DO TRAÇO DA MISTURA				
AGREGADO	% SEM CAP	% COM CAP	PESO EM GRAMAS	PESO ACUMULADO
BRITA 19	30	28,80	345,6	345,6
BRITA 12	22	21,12	253,44	599,04
PÓ PEDRISCO	45	43,19	518,28	1117,32
CIMENTO	3	2,89	34,68	1152,0
CAP		4,0	48	1200,00
SOMA	100	100,00	1200,00	

FONTE: AUTOR (2019)

Determinação do traço com teor de CAP de 4,5%

DETERMINAÇÃO DO TRAÇO DA MISTURA				
AGREGADO	% SEM CAP	% COM CAP	PESO EM GRAMAS	PESO ACUMULADO
BRITA 19	30	28,65	343,8	343,8
BRITA 12	22	21,01	252,12	595,92
PÓ PEDRISCO	45	42,98	515,76	1111,68
CIMENTO	3	2,86	34,32	1146,0
CAP		4,50	54	1200,00
SOMA	100	100,00	1200,00	

FONTE: AUTOR (2019)

Determinação do traço com o teor de CAP de 5,0 %

DETERMINAÇÃO DO TRAÇO DA MISTURA				
AGREGADO	% SEM CAP	% COM CAP	PESO EM GRAMAS	PESO ACUMULADO
BRITA 19	30	28,5	342	342,0
BRITA 12	22	20,90	250,8	592,8
PÓ PEDRISCO	45	42,75	513,0	1105,8
CIMENTO	3	2,85	34,2	1140,0
CAP		5,00	60	1200,00
SOMA	100	100,00	1200,00	

FONTE: AUTOR (2019)

Determinação do traço com teor de CAP de 5,5 %

DETERMINAÇÃO DO TRAÇO DA MISTURA				
AGREGADO	% SEM CAP	% COM CAP	PESO EM GRAMAS	PESO ACUMULADO
BRITA 19	30	28,35	340,2	340,2
BRITA 12	22	20,79	249,48	589,68
PÓ PEDRISCO	45	42,53	510,36	1100,04
CIMENTO	3	2,83	33,96	1134,0
CAP		5,50	66	1200,00
SOMA	100	100,00	1200,00	

FONTE: AUTOR (2019)

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO LIGANTE NO GRAU DE COMPACTAÇÃO DE
MISTURAS ASFÁLTICAS**

**Relatório de massa asfáltica tipo CBUQ, subtipo CAPA, padrão 75G, enquadrado na
faixa granulométrica: C, segundo a especificação
do(a) DNIT.**

29 DE AGOSTO DE 2018

OBRA: INFLUENCIA DA TEMPERATURA DO LIGANTE NO GRAU DE COMPACTAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS.

ASSUNTO: Dosagem da massa asfáltica

Apresenta-se neste relatório de dosagem, a mistura a quente realizada com os seguintes materiais:

	DESCRIÇÃO	ORIGEM
AGREGADO I	B16	Usina
AGREGADO II	B12	Usina
AGREGADO III	PÓ	Usina
AGREGADO IV	CIMENTO	2° BEC
AGREGADO V	B19	Usina
AGREGADO VI	AREIA	Usina
AGREGADO VII		
AGREGADO VIII		
LIGANTE	CAP 50/70	Fortaleza, CE

PROJETO DA MASSA ASFÁLTICA

01. GENERALIDADES

OBJETIVO: Determinação da massa asfáltica tipo CAUQ

FINALIDADE: TCC Inarya

02. COMPONENTES DA MISTURA :

2.1- AGREGADO MINERAL

AGREGADO I (B16):

ORIGEM:	Usina
DENSIDADE REAL:	2,795
DENSIDADE APARENTE: EQUIVALENTE DE AREIA:	1,450
DESGASTE:	
INDICE DE FORMA:	

AGREGADO II (B12):

ORIGEM:	Usina
DENSIDADE REAL:	2,795
DENSIDADE APARENTE: EQUIVALENTE DE AREIA:	1,370
DESGASTE:	
INDICE DE FORMA:	

AGREGADO III PÓ:

ORIGEM:	Usina
DENSIDADE REAL:	2,455
DENSIDADE APARENTE: EQUIVALENTE DE AREIA:	1,490 84,5%
DESGASTE:	
INDICE DE FORMA:	

AGREGADO IV CIMENTO:

ORIGEM:	BEC
DENSIDADE REAL:	3,03
DENSIDADE APARENTE:	1,450

EQUIVALENTE DE AREIA:

DESGASTE:

INDICE DE FORMA:

AGREGADO V (B19):

ORIGEM:

Usina

DENSIDADE REAL:

2,350

DENSIDADE APARENTE:

1,450

EQUIVALENTE DE AREIA:

DESGASTE:

INDICE DE FORMA:

AGREGADO VI AREIA:

ORIGEM:

Usina

DENSIDADE REAL:

DENSIDADE APARENTE:

EQUIVALENTE DE AREIA:

DESGASTE:

INDICE DE FORMA:

2.2 LIGANTE ASFÁLTICO

ORIGEM:

Fortaleza- CE

DENSIDADE REAL:

1,020

DENSIDADE APARENTE:

0,920

TIPO:

CAP 50/70

03.COMPOSIÇÃO DA MISTURA

3.1 AGREGADO MINERAL

GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS COMPONENTES

PENEIRAS	Ag 01 B16	Ag 02 B12	Ag 03 PÓ	Ag 04 CIMENTO	Ag 05 B19	Ag 06 AREIA
1e1/2"	100,0	100,0	100,0	100,0	10	100,0
1"	100,0	100,0	100,0	100,0	10	100,0
3/4"	100,0	100,0	100,0	100,0	10	100,0
1/2"	65,5	99,0	100,0	100,0	4	100,0
3/8"	12,0	83,0	100,0	100,0	1	100,0
N 4	1,0	8,5	98,5	100,0	1,0	99,5
N 10	0,5	-	64,5	100,0	-	99,0
N 40	-	-	24,5	100,0	-	72,0
N80	-	-	11,5	100,0	-	2,5
N 200	-	-	3,5	92,0	-	0,5

FAIXA DE PROJETO

PENEIRAS	FAIXA	C	DNIT
1e1/2"	-	a	-
1"	-	a	-
3/4"	100,00	a	100,00
1/2"	80,00	a	100,00
3/8"	70,00	a	90,00
N 4	44,00	a	72,00
N 10	22,00	a	50,00
N 40	8,00	a	26,00
N80	4,00	a	16,00
N 200	2,00	a	10,00

PROPORÇÃO DOS AGREGADOS

AGREGADOS	PERCENTUAL
B16	0%
B12	22%
PO	45%
CIMENTO	3%
B19	30%
AREIA	0%

GRANULOMETRIA INICIAL DOS AGREGADOS

Peneiras	PORCENTAGEM	
	Mistura	Faixa de Trabalho
1e1/2"	100	100-100
1"	100	100-100
3/4"	100	100-100
1/2"	82,0	80-100
3/8"	70,9	70-77
N 4	49,5	44-54,5
N 10	32	27-39
N 40	14	9-19
N80	8,2	5,2-11,2
N 200	4,5	2,3-6,3

GRANULOMETRIA FINAL DOS AGREGADOS

Peneiras	PORCENTAGEM				
	Mistura	Faixa de Trabalho			
1e1/2"	100,0	0,0	a	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	a	0,0	0,0
3/4"	100,0	0,0	a	0,0	0,0
1/2"	82,83	0,0	a	0,0	0,0
3/8"	70,88	0,0	a	0,0	0,0
N 4	49,50	0,0	a	0,0	0,0
N 10	32,03	0,0	a	0,0	0,0
N 40	14,03	0,0	a	0,0	0,0
N80	8,18	0,0	a	0,0	0,0
N 200	4,34	0,0	a	0,0	0,0

3.2 DOSAGEM DO LIGANTE ASFÁLTICO

- Dosagem de acordo com o método do DNIT, para mistura betuminosa do tipo CBUQ
- Características Marshall

Características Marshall	DNIT	FINAL
% de LIGANTE	-	4,55%
Vazios (%)	3 - 5	3,50%
RBV (%)	75 - 82	77,0
Estabilidade (KgF)	> 500	850,0
Fluência (mm)	-	0
Massa específica aparente	-	2,5
VAM (%)	> 15%	15,5

Proporção final dos Agregados

MATERIAL	%
B16	0,00%
B12	21,00%
PÓ	42,95%
CIMENTO	2,86%
B19	28,64%
AREIA	0,00%
	0,00%
	0,00%
CAP 50/70	4,55%

3.3 CARACTERÍSTICAS DO TRAÇO

Foi adotada a faixa C das especificações do DNIT, para a massa asfáltica tipo CBUQ, obtendo-se a seguinte composição:

Traço:

DENSIDADE TEÓRICA: _____
 DENSIDADE DA MASSA COMPACTADA: 2,520

TRAÇO FINAL, COM TEOR ÓTIMO

B16	0%	B16	0,00%
B12	22%	B12	21,00%
PÓ	45%	PÓ	42,95%
CIMENTO	3%	CIMENTO	2,86%
B19	30%	B19	28,64%
AREIA	0%	AREIA	0,00%
	0%		0,00%
	0%		0,00%
		CAP 50/70	4,55%

APÊNDICE C: Quadros com os resultados dos ensaios feitos para todos os corpos de prova

Porcentagem do agregado no traço, densidade real e DMT

Traço		
	% na mistura	Densidade real
Brita 19	17,10	2,70
Brita 12	28,50	2,80
Pó de pedra	40,00	2,46
Cimento	3,00	3,03
Cap	4,00	1,012
DMT	2,648	

Resultados das espessuras e diâmetros dos corpos de prova destinados aos ensaios de estabilidade

CP's	Temp. Comp.	Diâmetro				Média	s	Espessura				Média	s
1	100	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	0,000	6,00	6,00	6,10	6,00	60,25	0,050
A	100	10,10	10,10	10,10	10,20	10,13	0,050	6,20	6,20	6,20	6,30	62,25	0,050
B	100	10,30	10,20	10,30	10,30	10,28	0,050	6,20	6,10	6,10	6,10	61,25	0,050
2	110	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	0,000	5,90	5,90	5,90	5,80	58,75	0,050
C	110	10,20	10,20	10,10	10,20	10,18	0,050	6,40	6,40	6,40	6,40	64,00	0,000
D	110	10,10	10,10	10,10	10,10	10,10	0,000	6,30	6,30	6,20	6,20	62,50	0,058
3	120	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	0,000	6,10	6,10	6,00	6,10	60,75	0,050
E	120	10,10	10,10	10,10	10,20	10,13	0,050	6,20	6,30	6,30	6,30	62,75	0,050
F	120	10,10	10,20	10,10	10,20	10,15	0,0577	6,2	6,3	6,2	6,2	62,25	0,050
4	130	10,20	10,20	10,20	10,20	10,2	0	6,2	6,3	6,3	6,3	62,75	0,050
G	130	10,10	10,10	10,10	10,10	10,10	0,000	6,30	6,30	6,20	6,30	62,75	0,050
H	130	10,10	10,20	10,10	10,20	10,15	0,058	6,10	6,10	6,10	6,10	61,00	0,000
5	140	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	0,000	6,00	6,00	6,10	6,00	60,25	0,050
I	140	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	0,000	5,90	5,90	5,90	5,80	58,75	0,050
J	140	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	0,000	6,10	6,10	6,00	6,10	60,75	0,050
6	100	10,10	10,10	10,10	10,20	10,13	0,050	6,20	6,20	6,20	6,30	62,25	0,050
K	100	10,30	10,20	10,30	10,30	10,28	0,050	6,20	6,10	6,10	6,10	61,25	0,050
L	110	10,20	10,20	10,10	10,20	10,18	0,050	6,40	6,40	6,40	6,40	64,00	0,000
7	120	10,10	10,10	10,10	10,10	10,10	0,000	6,30	6,30	6,20	6,20	62,50	0,058
M	120	10,10	10,10	10,10	10,20	10,13	0,050	6,20	6,30	6,30	6,30	62,75	0,050
N	130	10,10	10,20	10,10	10,20	10,15	0,0577	6,1	6,1	6,1	6,1	61,00	0,000
8	140	10,20	10,20	10,20	10,20	10,2	0	6,2	6	6	6,2	61,00	0,115
O	150	10,10	10,10	10,10	10,10	10,10	0,000	6,30	6,30	6,20	6,30	62,75	0,050

CP's	Temp. Comp	Diâmetro				Média	s	Espessura				Média	s
		10,10	10,20	10,10	10,20			6,10	6,10	6,10	6,10		
P	150	10,10	10,20	10,10	10,20	10,15	0,058	6,10	6,10	6,10	6,10	61,00	0,000

Resultados referentes aos corpos de prova destinados ao ensaio de estabilidade

Imerso	ρ Ap.	DMT	Vv (%)	Carga. Lida	Carga. Corr.	Fator de Correção	Estabilidade Corrigida	Média	Est (vv 4%)	GC (%)	Média GC (%)
688,80	2,355	2,648	11,05	677	690,54	1,117	771,3	699,6	0,643	88,9	89,2
687,00	2,359	2,648	10,92	536	546,72	1,059	578,8		0,482	89,1	
686,70	2,373	2,648	10,40	675	688,5	1,087	748,6		0,624	89,6	
698,30	2,392	2,648	9,67	795	810,9	1,164	944,0	920,2	0,787	90,3	90,5
700,90	2,395	2,648	9,54	883	900,66	1,012	911,2		0,759	90,5	
684,90	2,399	2,648	9,39	844	860,88	1,052	905,5		0,755	90,6	
701,90	2,449	2,648	7,51	880	897,6	1,102	989,1	1050,8	0,824	92,5	92,5
705,40	2,441	2,648	7,83	991	1010,82	1,045	1056,3		0,880	92,2	
700,10	2,462	2,648	7,02	1025	1045,5	1,059	1106,9		0,922	93,0	
702,60	2,520	2,648	4,82	1038	1058,76	1,045	1106,4	1203,4	0,922	95,2	94,6
720,10	2,490	2,648	5,97	1132	1154,64	1,045	1206,6		1,005	94,0	
692,10	2,503	2,648	5,47	1162	1185,24	1,095	1297,3		1,081	94,5	
720,30	2,527	2,648	4,58	1201	1225,02	1,117	1368,4	1373,1	1,140	95,4	95,0
719,40	2,507	2,648	5,34	1197	1220,94	1,164	1421,4		1,184	94,7	
706,90	2,511	2,648	5,18	1183	1206,66	1,102	1329,7		1,108	94,8	
720,00	2,516	2,648	4,99	1295	1320,9	1,059	1398,5	1375,9	1,165	95,0	95,3
725,40	2,543	2,648	3,97	1283	1308,66	1,087	1422,9		1,186	96,0	
698,00	2,511	2,648	5,18	1266	1291,32	1,012	1306,4		1,089	94,8	
718,10	2,505	2,648	5,41	1359	1386,18	1,052	1458,0	1456,4	1,215	94,6	95,3
723,60	2,515	2,648	5,03	1333	1359,66	1,045	1420,8		1,184	95,0	
675,80	2,549	2,648	3,74	1335	1361,7	1,095	1490,5		1,242	96,3	
720,40	2,533	2,648	4,33	1445	1473,9	1,095	1613,3	1585,4	1,344	95,7	95,6
721,80	2,503	2,648	5,47	1435	1463,7	1,045	1529,5		1,275	94,5	
727,40	2,556	2,648	3,46	1445	1473,9	1,095	1613,3		1,344	96,5	

Resultados de diâmetros e espessuras referentes aos corpos de prova destinado ao ensaio de resistência a tração

CP's	Temp. Comp.	Diâmetro				Média	s	Espessura				Média	s
		10,10	10,10	10,20	10,10			6,30	6,40	6,30	6,30		
A	100	10,10	10,10	10,20	10,10	10,13	0,050	6,30	6,40	6,30	6,30	6,3	0,050
K	100	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,000	6,20	6,80	6,70	6,50	6,6	0,265
L	100	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,000	6,70	6,60	6,60	6,70	6,7	0,058
B	110	10,20	10,10	10,20	10,20	10,18	0,050	6,30	6,30	6,30	6,30	6,3	0,000
M	110	10,10	10,00	10,00	10,00	10,03	0,050	6,50	6,50	6,70	6,60	6,6	0,096
N	110	10,00	10,00	10,10	10,10	10,05	0,058	6,50	6,60	6,50	6,50	6,5	0,050
C	120	10,30	10,20	10,20	10,30	10,25	0,058	6,40	6,30	6,30	6,30	6,3	0,050
O	120	10,00	9,80	10,00	10,00	9,95	0,100	6,60	6,70	6,50	6,50	6,6	0,096
P	120	10,00	10,00	9,70	10,00	9,93	0,150	6,30	6,00	6,30	6,30	6,2	0,150
D	130	10,20	10,20	10,20	10,10	10,18	0,050	6,10	6,20	6,20	6,10	6,2	0,058
Q	130	10,10	10,20	10,00	10,00	10,08	0,096	5,50	6,50	6,60	6,60	6,3	0,535
R	130	10,10	10,20	10,00	10,00	10,08	0,096	6,30	6,20	6,50	6,30	6,3	0,126
E	140	10,10	10,20	10,10	10,20	10,15	0,058	6,20	6,20	6,20	6,20	6,2	0,000

CP's	Temp. Comp.	Diâmetro				Média	s	Espessura				Média	s
S	140	10,00	10,10	10,10	10,10	10,08	0,050	6,60	6,60	6,70	6,77	6,7	0,083
T	140	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,000	6,40	6,00	6,30	6,20	6,2	0,126
F	150	10,20	10,20	10,20	10,10	10,18	0,0500	6,2	6,3	6,2	6,2	6,2	0,050
U	150	10,00	10,10	10,00	10,00	10,03	0,0500	6,4	6	6,3	6,2	6,2	0,171
V	150	10,00	10,00	10,00	10,00	10	0,0000	6,3	6,15	6,25	6,2	6,2	0,065
G	160	10,20	10,20	10,20	10,20	10,2	0	6	6	6	6	6,0	0,000
H	160	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	0,000	6,00	6,00	6,00	6,00	6,0	0,000
W	160	10,00	10,10	10,10	10,00	10,05	0,058	5,90	6,10	6,10	6,00	6,0	0,096
X	170	10,10	10,20	10,20	10,00	10,13	0,096	6,50	6,40	6,40	6,50	6,5	0,058
I	170	10,10	10,10	10,10	10,20	10,13	0,050	6,10	6,10	6,20	6,30	6,2	0,096
J	170	10,10	10,10	10,10	10,10	10,10	0,000	6,10	6,00	6,00	6,10	6,1	0,058

Resultados de densidade aparente, DMT e Vv dos corpos de prova destinados ao ensaio de RT

CP's	Temp. Comp.	ρ	DMT	Vv (%)
A	100	2,455	2,648	7,29
K	100	2,503	2,648	5,48
L	100	2,425	2,648	8,42
B	110	2,420	2,648	8,61
M	110	2,440	2,648	7,85
N	110	2,401	2,648	9,33
C	120	2,400	2,648	9,37
O	120	2,460	2,648	7,10
P	120	2,450	2,648	7,48
D	130	2,450	2,648	7,48
Q	130	2,491	2,648	5,93
R	130	2,423	2,648	8,50
E	140	2,440	2,648	7,85
S	140	2,456	2,648	7,25
T	140	2,433	2,648	8,12
F	150	2,443	2,648	7,74
U	150	2,447	2,648	7,59
V	150	2,446	2,648	7,63
G	160	2,464	2,648	6,95
H	160	2,538	2,648	4,15
W	160	2,449	2,648	7,52
I	170	2,553	2,648	3,57
J	170	2,576	2,648	2,73

CP's	Temp. Comp.	ρ	DMT	Vv (%)
X	170	2,500	2,648	5,59

Resultados de RT e GC dos corpos de prova destinados ao ensaio de RT

CP'S	TEMP.	Esp. M	Carga (Kgf)	RT	GC (%)
A	100	6,33	487	0,48	93
K	100	6,60	515	0,49	95
L	100	6,65	533	0,50	92
B	110	6,30	465	0,46	91
M	110	6,58	692	0,66	92
N	110	6,53	590	0,57	91
C	120	6,33	429	0,42	91
O	120	6,58	707	0,67	93
P	120	6,23	669	0,67	93
D	130	6,15	599	0,61	93
Q	130	6,30	921	0,92	94
R	130	6,32	1123	1,11	92
E	140	6,20	577	0,58	91
S	140	6,67	748	0,70	93
T	140	6,18	814	0,82	92
F	150	6,23	591	0,59	92
U	150	6,22	914	0,92	92
V	150	6,22	753	0,76	92
G	160	6,00	625	0,65	93
H	160	6,00	773	0,81	96
W	160	6,02	745	0,77	92
X	170	6,45	806	0,78	94
I	170	6,18	751	0,76	96
J	170	6,05	954	0,99	97