



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

BRUNO ANDRADE DE FREITAS

**RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS COM O EMPREGO DE
GEOSSINTÉTICO**

**ARARUNA - PB
2017**

BRUNO ANDRADE DE FREITAS

**RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS COM O EMPREGO DE
GEOSINTÉTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Pavimentação.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Leidimar Bezerra.

**ARARUNA - PB
2017**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

F862r Freitas, Bruno Andrade de
Restauração de pavimentos flexíveis com o emprego de geossintético [manuscrito] / Bruno Andrade de Freitas. - 2017.
57 p. : il. color.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em ENGENHARIA CIVIL) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Tecnologia e Saúde, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Raimundo Leidimar Bezerra, Departamento de Engenharia Civil.

1. Pavimento. 2. Restauração. 3. Geossintético I. Título.
21. ed. CDD 625.76

BRUNO ANDRADE DE FREITAS

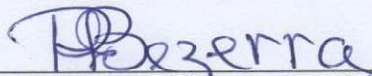
**RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS COM O EMPREGO DE
GEOSSINTÉTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Engenharia
Civil da Universidade Estadual da Paraíba,
como requisito parcial à obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

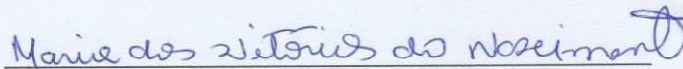
Área de Concentração: Pavimentação.

Aprovado em: 09/02/2017

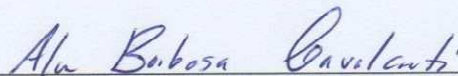
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Raimundo Leidimar Bezerra (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba



Prof. Me. Maria das Vitórias do Nascimento
Universidade Estadual da Paraíba



Prof. Me. Alan Barbosa Cavalcanti
Universidade Estadual da Paraíba

Assim, nesta parte, José e Rita e a todos meus
trabalhos, pela dedicação, comprometimento e amizade,
DEDICO.

Aos meus pais José e Rita e os meus sete irmãos, pela dedicação, companheirismo e amizade, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força nos momentos difíceis para que nunca desistisse e conseguisse superar todas as dificuldades que serviram de aprendizado e fizeram chegar onde hoje estou.

A Universidade pela oportunidade, a direção, administração e a todo seu corpo docente, em especial ao meu Orientador Professor Dr. Raimundo Leidimar Bezerra a quem serei eternamente grato por todos os seus ensinamentos. Deixo aqui meus sinceros agradecimentos ao também professor Mário César Soares Xavier por todas as oportunidades que me foram concedidas.

Ao Laboratório de Engenharia de Pavimentos – LEP/UFCG, em especial aos meus colegas de profissão daquela instituição, Daniel Beserra, Mauro Henrique e Arimatéia por todo apoio em todo o processo de elaboração deste trabalho.

A empresa Huesker pelo fornecimento da geogrelha, na pessoa do seu representante comercial Pedro Marcondes.

A todos os meus amigos que se alegram com esta conquista, sejam eles de infância, colegas de curso, em especial, a Fran Silva e Andresa Oliveira por todo companheirismo durante toda a graduação.

Por último, agradeço a toda minha família, que sempre estiveram comigo em todos os momentos bons e ruins. Agradeço de forma especial ao meu Pai José e a minha mãe Rita, por não medirem esforços para que eu pudesse levar os estudos adiante.

Deixo aqui a minha eterna gratidão a todos que de alguma forma contribuíram para que o meu sonho se tornasse realidade, afinal mesmo com muito esforço e dedicação sem o apoio de vocês eu não teria conseguido. Muito obrigado!

“Reaja e supere as injustiças, assumindo o leme de sua vida, começando bem pequenininho, mas sonhando grande e crescendo aos poucos até chegar aonde você deseja. Planejamento, paciência, disciplina e determinação. Desculpe, mas não existem atalhos.”

FLÁVIO AUGUSTO DA SILVA

RESUMO

O objetivo de um pavimento é garantir a trafegabilidade com conforto e segurança em qualquer época do ano. Todos os revestimentos asfálticos constituem-se de associações de ligantes asfálticos, de agregados e, em alguns casos, de produtos complementares. Essas associações, quando executadas e aplicadas apropriadamente, devem originar estruturas duráveis em sua vida de serviço. Para que isso ocorra, deve-se conhecer e selecionar as propriedades dos materiais que o compõe. O presente estudo teve por objetivo verificar a eficiência da geogrelha HaTelit C na restauração de pavimentos asfálticos por meio do ensaio de deformação permanente (creep dinâmico), bem como, estudar a aderência entre as camadas asfálticas por meio do ensaio de cisalhamento direto Leutner. A metodologia consistiu na moldagem de corpos de prova de CBUQ cilíndricos preparados com mistura asfáltica compostos por duas camadas, onde a inferior representava um revestimento antigo e a superior uma camada nova de revestimento (recapeamento). Foram ensaiados corpos de prova com e sem a presença de geogrelha entre estas camadas. A geogrelha foi aplicada com emulsão asfáltica a uma taxa $0,51 \text{ l/m}^2$, para proporcionar uma melhor aderência entre o pavimento antigo e a nova camada. Para compactação dos corpos de prova foram utilizados 10% de Brita 19 mm, 40% de Brita 12,5 mm e 50% de Pó de Pedra. Foi utilizado o CAP 50/70. Todos os agregados a serem utilizados foram submetidos a ensaios (granulometria por peneiramento, índice de forma, abrasão Los Angeles, massa específica, equivalente de areia) e apresentaram parâmetros que permitem o seu uso para compor misturas asfálticas. A metodologia de dosagem utilizada foi a SUPERPAVE. O teor de ligante de projeto para a mistura foi de 5,03% de CAP. Para realização do ensaio de creep dinâmico e cisalhamento direto Leutner foram moldados 10 CP's no teor de ligante ótimo, com 15 cm de altura de 10 cm de diâmetro. O Flow Number médio para a mistura sem a geogrelha foi de 68 ciclos e para a mistura com a geogrelha foi de 107 ciclos. Observa-se que a geogrelha aumentou o número de ciclos de carga que o pavimento pode suportar, o que proporciona um aumento da resistência a deformação permanente da mistura asfáltica, ou seja o recapeamento suporta por mais tempo deformações plásticas. Entretanto, não se pode afirmar que o geossintético é totalmente eficaz no recapeamento de pavimentos asfálticos, pois, com relação a aderência entre as camadas verificada pelo ensaio de cisalhamento direto seguindo o método Leutner, na mistura com a geogrelha houve uma considerável redução da força cisalhante máxima entre as camadas, se comparado com uma restauração sem a presença do geossintético.

Palavras-chave: Pavimento. Restauração. Geossintético.

ABSTRACT

The main objective of a pavement is to ensure traffic with comfort and safety at any time of the year. All asphalt coatings consist of combinations of asphalt binders, aggregates and, in some cases, complementary products. Such associations, when properly implemented and applied, should give rise to durable structures. For this to occur, it is necessary to know and select the properties that the aggregates must contain. This study aimed to verify the efficiency of geogrid HaTelit C in the resurfacing of asphalt pavements by the permanent deformation test (dynamic creep), As well as to study the adhesion between the asphalt layers through the direct shear test, Leutner. The methodology consisted of the molding of cylindrical CBUQ proof bodies prepared with asphalt mix composed of two layers, where the lower represented an old coating and the upper one a new layer of coating (recapping). The proof bodies were tested with and without the presence of geogrid between these layers. The geogrid was applied with asphalt emulsion at a rate of 0.51 l/m², to provide a better adhesion between the old pavement and the new layer. For compaction of the proof bodies, 10% of crushed stone 19 mm, 40% of crushed stone 12.5 mm and 50% of Stone Powder were used. The CAP used was the 50/70. All the aggregates to be used were submitted to tests (sieving granulometry, shape index, Los Angeles abrasion, specific mass and stone powder equivalent), they presented parameters that allow their use to compose asphalt mixtures. The dosage methodology used was SUPERPAVE. The project binder content to the mix was 5.03% of CAP. All the tests were carried out at the Pavement Engineering Laboratory of the Federal University of Campina Grande - UFCG. To perform the dynamic creep and Leutner direct shear test, 10 proof bodies were molded at the optimum content binder, with 15 cm high and 10 cm in diameter. The average flow number for the mixture without the geogrid was 68 cycles and for the mixture with the geogrid was 107 cycles. It is observed that the geogrid has increased the number of load cycles that the pavement can withstand. It is observed that the geogrid has increased the number of load cycles that the pavement can withstand, which provides an increase in the resistance to permanent deformation of the asphalt mixture, that is, the backing supports for longer plastic deformations. However, it cannot be affirmed that the geosynthetic is totally effective in the recapping of asphaltic pavements, because in relation to the adhesion between the layers verified by the direct shear test following the Leutner method, in the mixture with the geogrid there was a considerable reduction of the shear force between the layers, if compared with a non-geosynthetic resurfacing.

Keywords: Pavement. Resurfacing. Geosynthetic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Principais funções dos geossintéticos (Adaptado de IGS Brasil, 2015).	17
Figura 2- Geossintético na reflexão de trincas (Adaptado, IGS Brasil).	18
Figura 3- Modelo do ensaio de cisalhamento direto com força vertical normal (CHEN e HUANG, 2010).	20
Figura 4- Leutner Shear Test -Escola Politécnica da USP (GUIMARÃES, 2013).....	20
Figura 5- Fluxograma da pesquisa.....	21
Figura 6- Laboratório de Engenharia de Pavimentos - UFCG.	22
Figura 7- Agregados graúdos brita 19 e brita 12.5, respectivamente.	23
Figura 8- Pó de pedra.	23
Figura 9- CAP armazenado em recipiente.....	24
Figura 10- Geogrelha utilizada (Huesker).	24
Figura 11- Viscosímetro Rotacional Brookfield.	29
Figura 12- Curva de Fuller para agregado de tamanho máximo 19,0 mm (MARQUES, 2004).	32
Figura 13- Fluxograma da dosagem SUPERPAVE (SOUZA, 2012).	33
Figura 14 - Resultados esperados para o ensaio de creep dinâmico (ONOFRE et al., 2011). 34	
Figura 15- Gráfico da viscosidade versus temperatura.	37
Figura 16- Curva de Fuller para mistura intermediária de projeto.	39
Figura 17- Procedimento de moldagem dos corpos de prova.	40
Figura 18- Aparelhagem para o ensaio Rice Test.....	42
Figura 19- Amostras para realização do ensaio Rice Test.....	42
Figura 20- Gráfico teor de ligante versus volume de vazios.	43
Figura 21- CP's após a aplicação da emulsão asfáltica.....	44
Figura 22- CP's com a geogrelha.....	44
Figura 23- CP's final para realização do ensaio.....	45
Figura 24- Equipamento AMPT para realização do ensaio.....	45
Figura 25- CP com sinais de estufamento.	46
Figura 26- Equipamento de ensaios UTM.....	47
Figura 27- Realização do ensaio cisalhamento direto Leutner.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais polímeros utilizados na fabricação dos geossinéticos (Adaptado, Maccaferri, 2009).	17
Tabela 2- Ensaio de agregados realizados.	25
Tabela 3- Ensaio de ligante realizados.....	28
Tabela 4- Pontos de controle da metodologia SUPERPAVE (Adaptado, MARQUES, 2004).	31
Tabela 5- Zona de restrição da metodologia SUPERPAVE (Adaptado, MARQUES, 2004)..	31
Tabela 6- Resultado do ensaio de massa específica e absorção.	35
Tabela 7- Resultado do ensaio de agregados.....	35
Tabela 8- Resultado do ensaio de granulometria por peneiramento.	36
Tabela 9- Resultado do ensaio de viscosidade.	36
Tabela 10- Faixas de temperaturas.	37
Tabela 11- Resultado do ensaio de penetração.....	38
Tabela 12- Mistura de projeto.	38
Tabela 13- Parâmetros volumétricos dos CP's.	41
Tabela 14- Resultados obtidos com o Rice Test.....	42
Tabela 15- Propriedades volumétricas da mistura.....	43
Tabela 16- Número de ciclos médio.....	46
Tabela 17- Resultados obtidos com a UTM.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway And Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ASTRA	<i>Ancora Shear Testing Research and Analysis</i>
CA	Concreto Asfáltico
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminoso a Quente
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
CP's	Corpos de Prova
DER	Departamento de Estradas e Rodagem
DMT	Densidade Máxima Teórica
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FN	<i>Flow Number</i>
Gmm	Densidade Máxima Medida
IGS	<i>International Geosynthetic Society</i>
ME	Método de Ensaio
NBR	Norma Brasileira Registrada
NCHRP	<i>National Cooperative Highway Research</i>
PA	Poliamida
PE	Polietileno
PET	Poliéster
PP	Polipropileno
RBV	Relação Betume Vazios
SUPERPAVE	<i>Superior Performing Asphalt Pavements</i>
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
UTM	<i>Universal Testing Machine</i>
USP	Universidade de São Paulo
VAM	Volume do Agregado Mineral
VV	Volume de Vazios

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 JUSTIFICATIVA	15
3 OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4 GEOSSINTÉTICOS EM PAVIMENTAÇÃO	16
4.1 APLICAÇÃO DO GEOSSINTÉTICO ENTRE AS CAMADAS	19
5 MATERIAIS E MÉTODOS	21
5.1 MATERIAIS UTILIZADOS	22
5.1.1 Agregados	22
5.1.2 CAP	23
5.1.3 Geogrelha	24
5.2 ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS	25
5.2.1 Agregados	25
5.2.1.1 Granulometria por peneiramento	25
5.2.1.2 Massa específica dos agregados graúdos e absorção	25
5.2.1.3 Massa específica do agregado miúdo	26
5.2.1.4 Equivalente de areia	27
5.2.1.5 Abrasão Los Angeles	28
5.2.1.6 Índice de Forma	28
5.2.2 Ligante Asfáltico	28
5.2.2.1 Penetração	29
5.2.2.2 Viscosidade Brookfield	29
5.3 DOSAGEM SUPERPAVE	30
5.4 ENSAIO DE CREEP DINÂMICO	33
5.5 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO	34
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
6.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS	35
6.1.1 Agregados	35
6.1.2 Ligante asfáltico	36
6.2 DOSAGEM DA MISTURA ASFÁLTICA	38
6.2.1 Escolha da composição granulométrica	38

6.2.2 Determinação do teor de projeto	39
6.3 ENSAIO DE CREEP DINÂMICO (FLOW NUMBER)	43
6.4 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO LEUTNER	46
7 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXO A – RESULTADO DO ENSAIO FLOW NUMBER CP 01 SEM GEOGRELHA	53
ANEXO B – RESULTADO DO ENSAIO FLOW NUMBER CP 02 SEM GEOGRELHA	54
ANEXO C – RESULTADO DO ENSAIO FLOW NUMBER CP 01 COM GEOGRELHA	55
ANEXO D – RESULTADO DO ENSAIO FLOW NUMBER CP 02 COM GEOGRELHA	56

1 INTRODUÇÃO

O pavimento é uma estrutura de várias camadas de espessuras variáveis, construída sobre a superfície final de terraplenagem, que visa resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos, propiciando aos usuários melhorias nas condições de rolamento, com conforto e segurança. O pavimento rodoviário é classificado basicamente em dois tipos: rígidos e flexíveis. A principal diferença entre eles está nas camadas que o constituem e na distribuição das tensões. O pavimento flexível utiliza um maior número de camadas e distribui as cargas para uma área de subleito menor, já no pavimento rígido a carga é distribuída por uma área relativamente maior (BERNUCCI et al., 2008).

No Brasil, a maioria dos pavimentos utiliza como revestimento uma mistura de agregados minerais de diferentes tamanhos, com ligantes asfálticos que, de forma adequada e processada, garante ao serviço executado requisitos de segurança, resistência e durabilidade, de acordo com o clima e o tráfego previsto para o local. Um dos tipos de revestimento mais empregado no Brasil é o concreto asfáltico (CA) também denominado concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ). Trata-se de um tipo de revestimento usinado a quente, resultante da mistura convenientemente proporcionada de agregado graúdo, miúdo, filler (material de enchimento) e cimento asfáltico de petróleo, ambos aquecidos em temperaturas previamente escolhidas, em função da característica viscosidade-temperatura do ligante.

A estrutura de um pavimento é dimensionada para um determinado período de vida útil, durante o qual deve ter a capacidade de receber e transmitir esforços, sem apresentar problemas estruturais e/ou funcionais. As camadas que compõem o pavimento devem estar submetidas a esforços compatíveis com as suas características e capacidade estrutural, de modo a minimizar os defeitos que venham a ocorrer futuramente (FONTES, 2009).

Falhas nas rodovias devido a deficiências estruturais podem acontecer precocemente ou ao longo do tempo, por causa dos efeitos combinados de tráfego dos veículos, características do pavimento e fatores ambientais. Esses fatores combinados com deformações permanentes na base e no subleito, devido às cargas cíclicas, podem levar à manifestação de patologias na estrutura do pavimento. Segundo o DNIT (2006) a deformação permanente e o trincamento por fadiga do revestimento asfáltico são os defeitos mais frequentes em rodovias brasileiras.

A Norma PRO 006/2003 do DNIT define trinca como uma fenda existente no revestimento, facilmente visível e desarmada, com abertura superior a de uma fissura, podendo apresentar-se sobre a forma de trinca isolada ou trinca interligada. A maior parte das

trincas é devido às ações repetidas de esforços de tração por flexão dessa camada. Elas são o primeiro sinal da redução da qualidade estrutural do pavimento. A reflexão de trincas no pavimento asfáltico é um dos principais problemas que contribuem para a redução do índice de serventia do pavimento.

O fenômeno da deformação permanente é complexo, pois ele é influenciado pelas propriedades e proporções de cada um dos componentes de uma mistura asfáltica (agregados, ligante e volume de vazios). A resistência à deformação permanente é considerada como uma combinação de resistência do ligante e do agregado mineral (FONTES, 2009).

Uma das tecnologias disponíveis no meio rodoviário para controlar ou mesmo reduzir a um mínimo a manifestação dessas patologias está na utilização de geossintéticos. De acordo com a *Asphalt Academy* (2008), os geossintéticos a serem utilizados em revestimentos asfálticos buscam evitar ou reduzir a reflexão de trincas entre uma camada nova (recapeamento) e uma camada antiga e evitar o fenômeno de bombeamento, visando aumentar a vida útil da camada asfáltica em relação à fadiga.

Na engenharia rodoviária são utilizados basicamente dois tipos de geossintéticos para retardar o fenômeno da reflexão de trincas: os geotêxteis e as geogrelhas. No grupo dos geotêxteis, existem os do tipo tecido e não tecido, que diferem entre si pelo processo de fabricação. A geogrelha é definida como um produto com estrutura em forma de grelha, com função predominante de reforço, cujas aberturas permitem a interação com o meio em que estão confinadas (OBANDO, 2012).

Khodaii et al. (2008) estudaram o efeito do uso de reforço com geossintéticos na redução do fenômeno de reflexão de trincas. Durante os ensaios, foi variada a localização do geossintético, tipo de pavimento, temperatura e intensidade da trinca. Dos resultados obtidos, estabeleceu-se que a utilização de geogrelhas melhorou o desempenho do recapeamento, além de verificar que o fenômeno de reflexão de trincas é função da posição da geogrelha, temperatura e da rigidez relativa entre o recapeamento e o pavimento antigo.

2 JUSTIFICATIVA

O modal rodoviário é o principal sistema de transportes do Brasil, além de ser o responsável pela integração entre áreas de produção e de consumo, tanto no mercado interno como externo. A má qualidade das rodovias, motivada em parte por uma insuficiente manutenção, oferece riscos a todos os usuários, principalmente aos que trafegam com veículos de cargas consideradas perigosas. Implica também em custos elevados, sobretudo com a operação dos veículos e com a restauração dos pavimentos, o que decorre de um processo de deterioração que requer soluções técnicas para a reversão deste cenário.

Segundo dados do Sistema Nacional de Viação de 2014, o Brasil possui mais de 203 mil quilômetros de rodovias pavimentadas, possuindo a terceira malha rodoviária mais extensa do mundo, por onde circulam cerca de 60% de todas as cargas movimentadas no país. Entretanto, um estudo realizado em 2014 pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) apontou que cerca de 50% das rodovias do país precisavam ser recuperadas, a fim de desempenharem adequadamente as funções para as quais foram projetadas.

As trincas são as principais responsáveis pela deterioração prematura sobre os pavimentos asfálticos restaurados. Para muitos, o simples recapeamento do pavimento trincado é a melhor forma de recuperá-lo, mas isso não passa de um equívoco, se o padrão de trincamento existente for severo. Em pouco tempo, as trincas do antigo pavimento vão alcançar a superfície da nova camada asfáltica. Na região de contato, onde existe a fissura na camada inferior, ocorre um estado diferenciado de tensões. Se a interface do revestimento trabalha à tração na flexão, a fissura no topo da camada inferior tende a se abrir em um ponto que apresentará descontinuidade de distribuição de esforços e, conseqüentemente, ocorre a propagação da trinca até a superfície, aumentando gradualmente a quantidade de trincas, intensidade em função da combinação de fatores internos e externos (Balbo, 2006). Visando uma solução para restauração de pavimentos flexíveis, é apresentado nesta pesquisa o emprego de geossintético como reforço da camada asfáltica em pavimentos flexíveis, verificando o incremento na vida útil da camada reforçada.

Para atingir tal objetivo, o geossintético é aplicado no revestimento com uma camada fina de emulsão asfáltica, assumindo que existe completa aderência entre as camadas e que não existe deslocamento entre elas. Não obstante, uma aderência completa nem sempre é atingida, apresentando defeitos como o escorregamento do recapeamento em relação à camada antiga. Pretende-se verificar também a aderência do geossintético entre as camadas.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito estrutural do uso de geossintéticos como reforço de pavimentos flexíveis, por meio de ensaios em corpos de prova cilíndricos sob aplicação de carregamento cíclico, e ainda, estudar a aderência entre as camadas asfálticas por meio de ensaio de cisalhamento.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a deformação permanente de mistura asfáltica por meio do ensaio “creep” dinâmico;
- Obter o número “*Flow Number*” no ensaio de “creep” dinâmico para comparação do desempenho da mistura com geossintético e sem geossintético;
- Realizar o ensaio de Cisalhamento Direto Leutner, fixando-se a taxa de pintura de ligação entre as camadas;
- Comparar a máxima força cisalhante entre uma restauração com e sem o geossintético.

4 GEOSSINTÉTICOS EM PAVIMENTAÇÃO

A ABNT-NBR 12553/2003 define geossintético como um produto polimérico, sintético ou natural, industrializado, cujas propriedades contribuem para melhoria de obras geotécnicas. A seleção do geossintético para satisfazer às necessidades de determinada obra deve-se basear em propriedades de engenharia que traduzam as condições técnicas que serão submetidas quando em serviço.

Os geossintéticos são constituídos essencialmente por polímeros e em menor quantidade por aditivos. Na fabricação de geossintéticos podem ser utilizados diversos tipos de polímeros, os mais empregados são o polietileno (PE), poliéster (PET), polipropileno (PP) e a poliamida (PA). Em geral os geossintéticos são fabricados por polímeros sintéticos, derivados do petróleo, embora algumas fibras naturais sejam empregadas na fabricação de geotêxteis e geomantas (BUENO, 2004). Na Tabela 1 estão citadas as vantagens e desvantagens dos principais polímeros utilizados na fabricação dos geossintéticos.

Tabela 1- Principais polímeros utilizados na fabricação dos geossintéticos (Adaptado, Maccaferri, 2009).

Polímero Base	Vantagem	Desvantagem
Polipropileno Polietileno	Custo Baixo	Deformabilidade elevada sobre carga constante
Poliéster	Deformabilidade baixa sobre carga constante	Redução das propriedades mecânicas em soluções fortemente alcalinas
Poliamida	Resistência à abrasão alta	Custo elevado.

Os geossintéticos são utilizados em obras de engenharia de forma a desempenhar uma ou mais funções. De acordo com a NBR 12553/2003 as principais funções dos geossintéticos são: filtração, reforço, separação, drenagem, proteção e controle da erosão superficial. Exemplos das principais funções estão expostas na Figura 1.

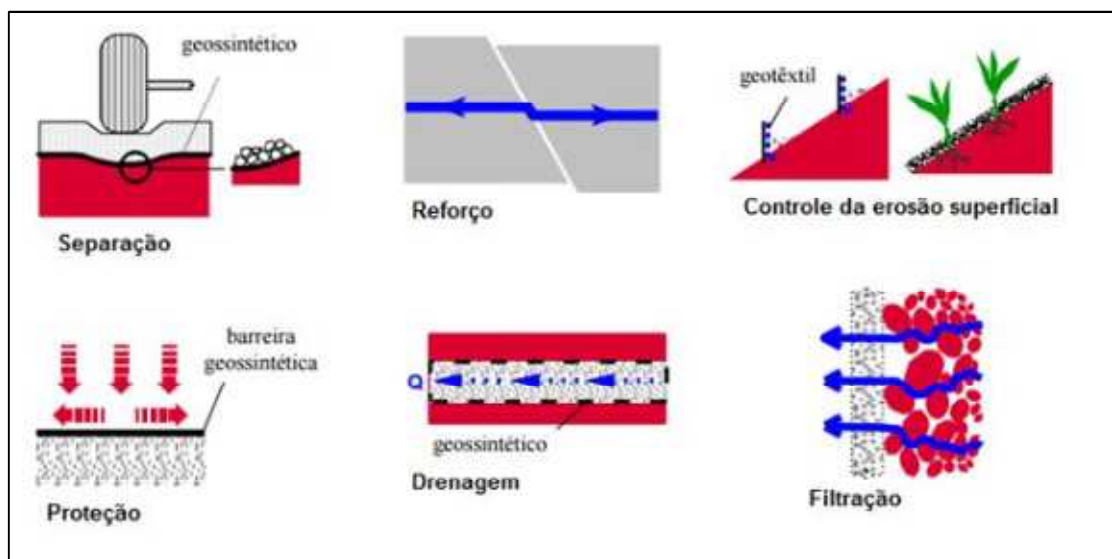


Figura 1- Principais funções dos geossintéticos (Adaptado de IGS Brasil, 2015).

As primeiras aplicações de geossintéticos em pavimentação datam da década de 1970, em trechos experimentais de pavimentos asfálticos rodoviários com a utilização de geotêxteis. A grande vantagem na utilização de geossintéticos consiste em prover confiabilidade adicional para um desempenho adequado do pavimento restaurado, em situações onde as técnicas convencionais não têm condições de oferecer garantias, a menos que envolvam grandes custos (CERATTI; RODIGUES, 2004).

Os principais geossintéticos utilizados na restauração de pavimentos flexíveis são indicados a seguir:

- **Geotêxtil:** são materiais permeáveis fabricados em forma de manta contínuas de fibra ou filamentos, podendo ser compostas de material tecido ou não tecido. Entre os diferentes geossintéticos, os geotêxteis são os de maior número de possibilidades de uso e, podem ser empregados aplicados para separar, filtrar, proteger, drenar, reforçar e controlar erosões (NBR 10318, 2003).
- **Geogrelhas:** constituem a categoria dos geossintéticos que são projetados principalmente para cumprir uma função de reforço. É um material em forma de grelha, cuja abertura é maior que o material constituinte. De acordo com a sua capacidade de resistir a esforços de tração podem ser classificadas em unidirecionais ou bidirecionais (NBR 10318, 2003).
- **Geocompostos:** são formados pela combinação de dois ou mais geossintéticos. Os geocompostos utilizados em pavimentação consistem geralmente na combinação de um geotêxtil impregnado com asfalto a uma geogrelha. A função do geotêxtil é melhorar a aderência e garantir alta rigidez (NBR 10318, 2003).

Entre as principais vantagens do uso do geocomposto, Button e Lytton (2003) citam a redução no fenômeno da reflexão de trincas e minimização de infiltração da água para a estrutura interior do pavimento. Entre as principais desvantagens há o fato que não há a completa aderência entre o geotêxtil e a geogrelha.

Segundo a *International Geosynthetic Society* (IGS) os geossintéticos podem ser utilizados em pavimentação para: reduzir ou evitar a reflexão de trincas; trabalhar como uma barreira evitando o bombeamento de finos; reduzir a espessura da camada asfáltica; reduzir a espessura do pavimento e aumentar a vida útil do pavimento.



Figura 2- Geossintético na reflexão de trincas (Adaptado, IGS Brasil).

4.1 APLICAÇÃO DO GEOSSINTÉTICO ENTRE AS CAMADAS

Os geossintéticos em obras de pavimentação são aplicados para proporcionar um reforço estrutural do pavimento. Visando melhoria na trafegabilidade, as rodovias podem passar por processos de recuperação que, a depender do defeito, muitas vezes a solução é realizar um recapeamento sobre a antiga camada asfáltica. Para isso deve-se empregar entre a antiga camada e a nova camada uma pintura de ligação para facilitar a aderência entre o novo e o antigo revestimento. A presença do geossintético na interface entre as camadas pode configurar um ponto frágil no contato e na aderência entre elas causando problemas de escorregamento e deslocamento.

Segundo o DER-SP (2006), na imprimação asfáltica ligante podem ser aplicados os seguintes materiais asfálticos: emulsão catiônica de ruptura rápida RR-1C e RR-2C e emulsões asfálticas modificadas por polímero catiônicas modificadas por polímero do tipo SBS, quando indicadas em projeto.

O DER-SP (2006) recomenda o seguinte procedimento para aplicação de geogrelhas em campo:

- inicialmente é feito o preparo da superfície que deve estar a mais limpa possível para não prejudicar a aderência. Essa limpeza geralmente é feita por uma vassoura mecânica seguida por jato de ar comprimido;
- a superfície preparada para receber a geogrelha deve ser impregnada com emulsão asfáltica, com taxa de ligante asfáltico residual mínima de 0,5 l/m². Em alguns casos em que a superfície esteja bastante danificada, devem-se aumentar os valores da taxa de aplicação;
- a geogrelha deve ser desenrolada manualmente diretamente no local a ser posicionada por equipamentos que não ofereçam risco de danos ao material, sem dobras. A geogrelha deve ser cortada para se adequar às áreas com obstáculos ou descontinuidades como, por exemplo, elementos de drenagem urbana;
- a aplicação e compactação da camada de concreto asfáltico devem ser executadas conforme a especificação de serviço da mistura asfáltica. A espessura mínima da camada de asfalto sobre a geogrelha deve ser de 4,5 cm.

No caso de restauração, deve-se prever, antes do início da instalação do geossintético, a fresagem da superfície e correção dos defeitos localizados, depressões e irregularidades. A selagem das trincas com aplicação do asfalto, lama asfáltica ou mistura betuminosa e limpeza

da superfície, também são etapas que contribuirão para o desempenho da solução. Após a aplicação da pintura de ligação deve-se aguardar o tempo necessário para a ruptura da emulsão (GUIMARÃES, 2013).

A aderência, na literatura nacional e internacional, é avaliada a partir da ruptura da camada de ligação por ensaios de cisalhamento direto ou torque, a uma taxa de carregamento constante. Com menor frequência também são relatados ensaios de arrancamento, que consiste na aplicação de uma força de tração direta para separação das camadas. Entre os principais ensaios de cisalhamento realizados podem ser citados: ensaios com o *Ancora Shear Testing Research and Analysis* (ASTRA), ensaios de cisalhamento direto com aplicação da carga vertical normal e velocidade de deslocamento horizontal (Figura 3) e o *Leutner Shear Test* (Figura 4) (GUIMARÃES, 2013).

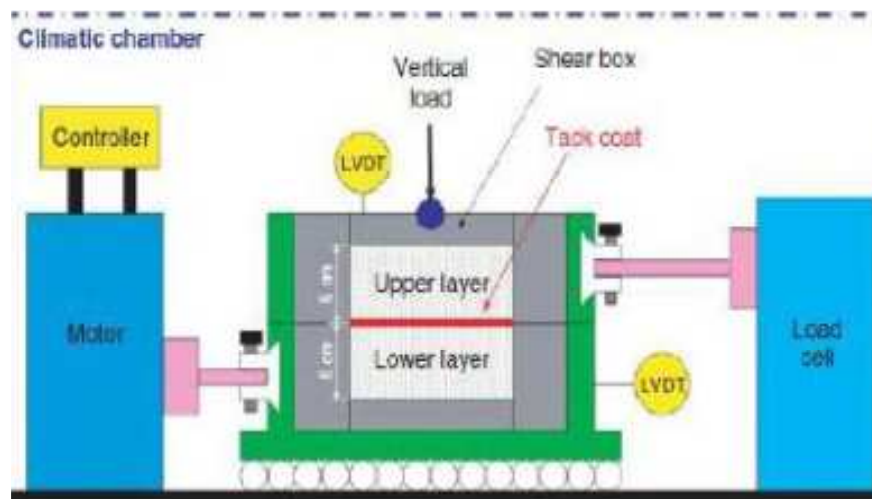


Figura 3- Modelo do ensaio de cisalhamento direto com força vertical normal (CHEN e HUANG, 2010).



Figura 4- Leutner Shear Test -Escola Politécnica da USP (GUIMARÃES, 2013).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os procedimentos utilizados durante a fase experimental da pesquisa, os materiais utilizados e as especificações para a obtenção das propriedades físicas dos agregados, dos ligantes asfálticos e do comportamento mecânico das misturas asfálticas. A metodologia seguida está mostrada no fluxograma da Figura 5.

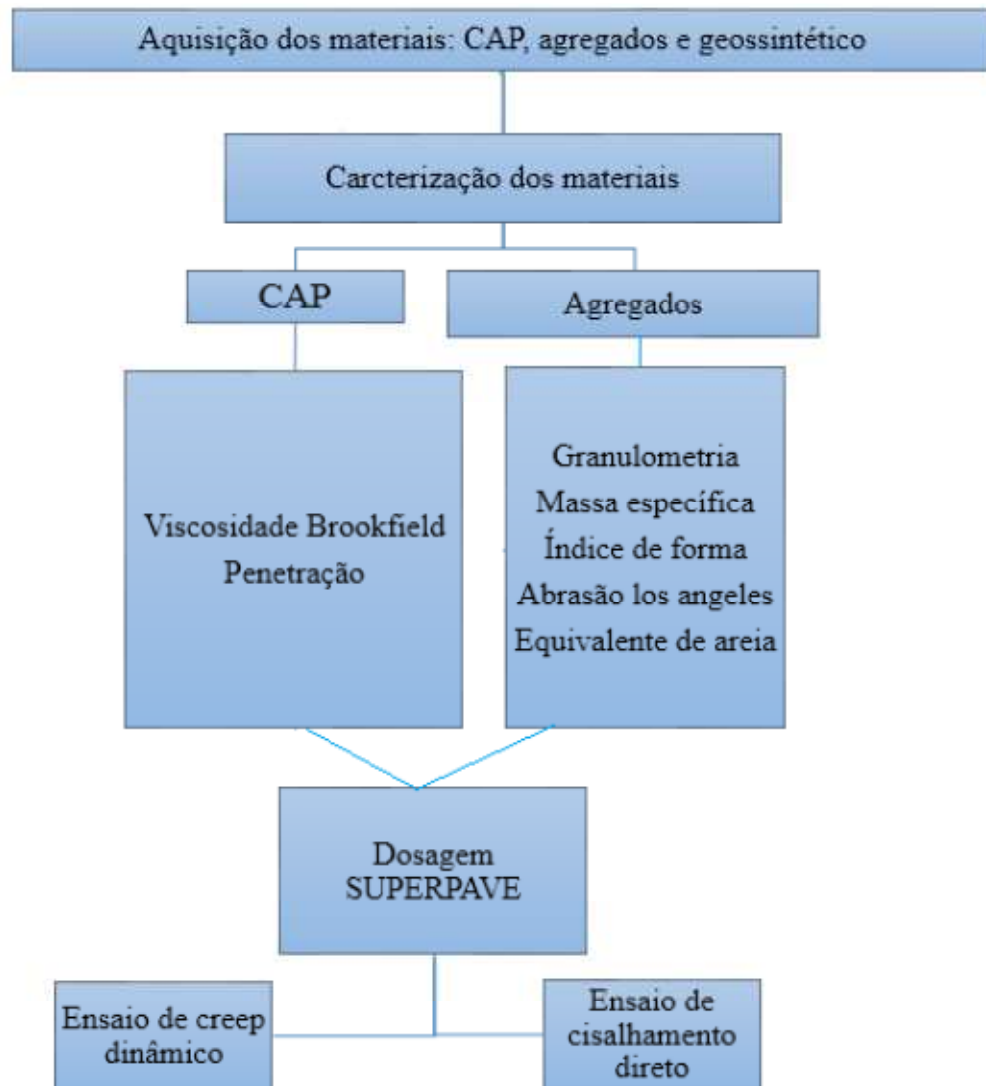


Figura 5- Fluxograma da pesquisa.

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia de Pavimentos do Departamento de Engenharia Civil da UFCG, Figura 6.



Figura 6- Laboratório de Engenharia de Pavimentos - UFCG.

5.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Neste sub-tópico são descritos os tipos de materiais utilizados neste trabalho. Os critérios para escolha dos materiais visaram atender, também, as especificações e normas do DNIT, da ABNT e da AASHTO.

5.1.1 Agregados

Segundo a Norma 031/2005-ES do DNIT, agregado graúdo é o material com dimensões maiores que 2,0 mm, ou seja, retido na peneira de número 10. São as britas, cascalhos, seixos, etc. Agregado miúdo é o material com dimensões maiores que 0,075 mm e menores que 2,0 mm. É o material que é retido na peneira de número 200, mas, que passa na peneira de abertura número 10. São as areias, o pó-de-pedra, etc. Material de enchimento (filler) é o material onde pelo menos 65% das partículas é menor que 0,075 mm; são a cal hidratada, cimento Portland, etc. O agregado a ser utilizado num pavimento asfáltico deve apresentar boas propriedades de modo a suportar as tensões impostas na superfície do pavimento e também em seu interior

Os agregados graúdos e miúdos utilizados na pesquisa para a composição das misturas asfálticas foram obtidos a partir de pedra britada de origem granítica proveniente de uma pedreira localizada próximo às margens da BR 101, localizada no estado de Pernambuco e também do Rio Grande do Norte, apresentando diâmetro máximo de 19 mm, comumente utilizado na região para compor revestimentos asfálticos.

Os agregados graúdos utilizados nesta pesquisa foram a brita 19,0 mm e a brita 12,5 mm, como mostra a Figura 7.



Figura 7- Agregados graúdos brita 19 e brita 12.5, respectivamente.

O agregado miúdo utilizado na pesquisa foi o Pó de Pedra, como mostra a Figura 8.



Figura 8- Pó de Pedra.

5.1.2 CAP

O CAP é um material termossensível utilizado principalmente para aplicação em trabalhos de pavimentação, pois, além de suas propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, possui características de flexibilidade e alta resistência à maioria dos ácidos inorgânicos, sais e álcalis. Apresenta comportamento viscoelástico à temperatura ambiente e líquido a altas temperaturas.

O CAP utilizado foi cedido por uma refinaria de petróleo da Petrobrás, situada no estado de Pernambuco, sendo uma das principais refinadoras atuantes no Brasil na produção de ligantes asfálticos de petróleo. Foi utilizado o CAP 50/70 como mostra a Figura 9.



Figura 9- CAP armazenado em recipiente.

5.1.3 Geogrelha

A geogrelha utilizada foi do Tipo HaTelit C, fornecida pela empresa Huesker. A geogrelha foi cortada com diâmetros de 10 cm para serem acrescentadas aos corpos de prova. A HaTelit é uma marca registrada da HUESKER Synthetic GmbH. Geogrelha, é uma geogrelha flexível para reforço de camadas asfálticas durável e de alto desempenho. A HaTelit C 40/17 consiste em uma geogrelha de reforço produzida a partir de fios de poliéster com um tecido ultra-leve aderido, com malha de abertura 40 mm x 40 mm. Como comprovado com seu histórico de 40 anos, HaTelit C oferece uma solução altamente durável e, portanto, com um alto custo-benefício que, graças às propriedades especiais do poliéster, é capaz de resistir a cargas dinâmicas a longo prazo. Principais vantagens:

- alto nível de retardo no aparecimento de trincas;
- alta resistência a danos de instalação;
- alta resistência a cargas de tráfego dinâmico a longo prazo;
- nenhuma perda de resistência devido à umidade.



Figura 10- Geogrelha utilizada (Huesker).

5.2 ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS

5.2.1 Agregados

Os ensaios para caracterização dos agregados estão listados na Tabela 2:

Tabela 2- Ensaios de agregados realizados.

ENSAIOS	METOTOLOGIA
Granulometria por peneiramento	DNIT – ME 083/98
Massa específica dos agregados graúdos	DNIT – ME 081/98
Massa específica dos agregados miúdos	DNIT – ME 084/95
Equivalente de areia	DNIT – ME 054/97
Abrasão “Los Angeles”	DNIT – ME 035/98
Índice de Forma	DNIT – ME 086/94

5.2.1.1 Granulometria por peneiramento

A distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados foi determinada seguindo a norma ME 083/98 do DNIT. Para este ensaio, como o próprio nome sugere, foi realizado o peneiramento de todos os agregados isoladamente, por uma série de peneiras normal e intermediária, o qual determinou em percentagem o peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Diante do resultado deste ensaio, é possível traçar as respectivas curvas de distribuição granulométrica, tão importante para a classificação, como para a estimativa dos parâmetros volumétricos de uma mistura asfáltica. Foram utilizadas peneiras com malhas de abertura 0,075 mm, 0,18 mm, 0,42 mm, 2,0 mm, 4,8 mm, 9,5 mm, 12,7 mm, 19,1 mm. O material foi inicialmente quarteado e colocado em estufa a 110°C por 24 horas para retirada da umidade e o peneiramento foi realizado manualmente.

5.2.1.2 Massa específica dos agregados graúdos e absorção

A determinação da absorção e da densidade dos agregados graúdos foi realizada segundo o método de ensaio DNIT-ME 081/98. Foram separadas amostras de 3.000 g de brita 19 mm e 2.000 g de brita 9,5 mm sendo, em ambas, desprezado todo o material passante na peneira 4,8 mm através do peneiramento a seco. Cada amostra foi lavada para retirada de pó e impurezas e colocadas em estufa a 110°C por 4 horas. Após ser resfriada à temperatura

ambiente, cada amostra foi colocada em imersão à temperatura ambiente por 24 horas. Após este tempo o material foi retirado e seco superficialmente para verificar a massa úmida. Em seguida colocado em um recipiente para verificação da massa submersa. Logo após essa verificação, o material foi colocado novamente em estufa por mais 4 horas, resfriado à temperatura ambiente e verificada sua massa seca, para posteriormente obter a densidade aparente e a absorção dos agregados. Onde:

$$Gs = \frac{A}{B - C} \quad (1)$$

$$a = \frac{(B - A)}{A} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

Gs = densidade real do agregado;

A = peso do material seco em estufa;

B = peso do material na condição superfície saturada seca;

C = peso do material submerso;

a = absorção (%).

5.2.1.3 Massa específica do agregado miúdo

Foram utilizadas duas amostras de 500 g de agregado miúdo (pó de pedra) que passa na peneira de 4,8 mm e fica retido na peneira de 0,075 mm. O material foi colocado imerso em água e deixado em repouso por um período de 24 horas. Em seguida foi colocado em uma superfície plana submetendo-o à ação de uma corrente de ar, secando-o de maneira uniforme. Para verificação do estado do agregado como saturado superfície seca, prossegue-se com a secagem até que os agregados não fiquem mais fortemente unidos entre si. Coloca o agregado miúdo num molde tronco-cônico e compacta-se sua superfície suavemente com a haste de compactação com 25 golpes. Levanta-se verticalmente o molde e observa-se se o agregado conserva a forma do molde, isso acontece se ainda houver umidade superficial. Continua-se a secagem e repete-se o procedimento até que o cone de agregado miúdo desmorone ao se retirar o molde. Neste momento, o agregado terá chegado à condição de saturado superfície seca.

Em seguida pesou-se 500 g de amostra que foi colocada no picnômetro cuidadosamente, registrando a massa do conjunto. Colocou-se, então, água destilada no picnômetro até cobrir a amostra de agregado. O picnômetro foi mantido durante 1 hora em um

banho a temperatura constante de $(21\pm 2)^\circ\text{C}$. Em seguida, completou-se o picnômetro com água e então foi determinada a massa do picnômetro mais amostra mais água. O agregado miúdo foi retirado do frasco e seco em estufa a $(105\pm 5)^\circ\text{C}$ até a constância de sua massa. Após esse processo, foi realizada a determinação da massa específica aparente do agregado miúdo. Onde:

$$G_s = \frac{(P_2 - P_1)}{(P_4 - P_1) - (P_3 - P_2)} \quad (3)$$

Em que:

G_s = Densidade real do agregado;

P_1 = Peso do picnômetro seco e limpo;

P_2 = Peso do picnômetro + amostra;

P_3 = Peso do picnômetro + amostra + água;

P_4 = Peso do picnômetro com água.

5.2.1.4 Equivalente de areia

É a razão volumétrica que corresponde à razão entre a altura do nível superior da areia e a altura do nível de suspensão de argila de uma determinada quantidade de agregado miúdo, objetivando detectar a presença de finos plásticos. Calculou-se o equivalente como segue na equação 4:

$$EA = \frac{\text{Leitura no topo da areia}}{\text{Leitura no topo da argila}} \cdot (100) \quad (4)$$

Onde:

EA = Resultado do ensaio, obtido de uma média aritmética de três determinações, é expresso em porcentagem arredondando-se para o número inteiro mais próximo.

Leitura no topo de argila – distância do traço de referência superior da proveta ao nível da suspensão argilosa, em mm;

Leitura do topo de areia – distância do topo do disco que se apóia na boca da proveta à base inferior do cilindro do pistão quando a sapata estiver apoiada em areia, em mm;

5.2.1.5 Abrasão Los Angeles

O ensaio foi realizado conforme a norma DNER-ME 035/98. Consiste em obter certa quantidade de agregado, cinco ou dez quilos, satisfazendo a determinada granulometria, e submetê-la a choques e desgastes durante a rotação de um tambor metálico de 80 centímetros de diâmetro a uma velocidade de 30 a 33 rpm. O efeito é intensificado pela presença de esferas de aço e o ensaio é concluído após 500 ou 1.000 rotações a depender da faixa granulométrica. Após ser submetido às rotações, o material é peneirado e o desgaste é aferido pela razão entre a quantidade de material que passou na peneira de 1,7 mm após o ensaio e a quantidade total colocada inicialmente no tambor.

5.2.1.6 Índice de Forma

O ensaio de índice de forma tem por finalidade medir a forma do grão nos agregados graúdos. Depois de realizada a análise granulométrica do material, os agregados passam por crivos redutores de aberturas diferentes e o material retido em cada crivo é pesado. Para cada fração que compõe a graduação determinam-se, em relação a seu peso inicial, as percentagens retidas em cada crivo redutor. O índice de forma, que varia de 0 a 1, é calculado pela expressão:

$$f = \frac{P1 + 0,5P2}{100 n} \quad (5)$$

Onde:

f = índice de forma;

P1 = soma das percentagens retidas no crivo 1, de todas as frações que compõem a graduação;

P2 = soma das percentagens retidas no crivo 2, de todas as frações que compõem a graduação;

n = número de frações que compõem a graduação escolhida.

5.2.2 Ligante Asfáltico

Os ensaios para caracterização do ligante estão listados na Tabela 3:

Tabela 3- Ensaio de ligante realizados

ENSAIOS	METOTOLOGIA
Penetração	NBR 6576
Viscosidade Brookfield	ASTM D 4402

5.2.2.1 Penetração

Os cimentos asfálticos têm sua consistência determinada pelo ensaio de penetração. A penetração não traduz, em si, a boa ou má qualidade do material betuminoso, traduzindo apenas uma ideia de sua consistência, servindo também para a classificação desses materiais. A penetração é a distância em décimos de milímetros em que uma agulha padrão penetra verticalmente na amostra de CAP sobre condições pré-fixadas de carga, tempo e temperatura. A amostra é colocada no recipiente apropriado, resfriada à temperatura ambiente inicialmente, e, finalmente, em banho de água até atingir a temperatura de 25°C. Em seguida a amostra de CAP é levada ao penetrômetro, no qual uma agulha de 1,0 a 1,2 mm de diâmetro e massa de 100 gramas é aplicada nele durante 5 segundos.

5.2.2.2 Viscosidade Brookfield

A determinação da viscosidade é de suma importância, pois, a partir de seus resultados obtém-se as temperaturas de usinagem e compactação do CAP e também dos agregados. O ensaio para determinar a viscosidade dos ligantes asfálticos foi realizado em um viscosímetro rotacional do tipo Brookfield, modelo DVII+ acoplado a um controlador de temperatura THERMOSEL como mostrado na Figura 11. O equipamento tem como finalidade determinar as propriedades reológicas dos ligantes asfálticos convencionais e modificados durante o manuseio e a usinagem da mistura asfáltica a altas temperaturas.



Figura 11- Viscosímetro Rotacional Brookfield.

A viscosidade é medida através do torque necessário para rotacionar uma haste de prova (*spindle*) imersa na amostra de asfalto. O ensaio foi realizado segundo a norma ASTM

D 4402 utilizando o *spindle* 21, considerando as temperaturas de 135, 150 e 177°C e velocidades de 20, 50 e 10 rpm, respectivamente.

5.3 DOSAGEM SUPERPAVE

A metodologia de dosagem SUPERPAVE consiste em estimar um teor de ligante asfáltico provável de projeto através da fixação do volume de vazios e do conhecimento da granulometria dos agregados disponíveis. A determinação do teor ótimo de ligante a ser adicionado à mistura é importante, pois, CAP em falta ou excesso pode causar patologias no pavimento. Diferentemente da compactação Marshall que é realizada por golpes, a dosagem SUPERPAVE é realizada por amassamento (giros) (BERNUCCI et al., 2008).

A compactação das misturas asfálticas pela metodologia Marshall durante vários anos vem sendo utilizada no Brasil, apesar de sofrer algumas críticas e proposições de mudanças durante anos seguidos. Um dos principais focos de discussão é a forma “por impacto” que difere da forma utilizada em campo (SOUZA, 2012).

No projeto SUPERPAVE para misturas asfálticas, a granulometria é abordada diferentemente da maneira tradicional. Usa-se uma técnica gráfica para especificar a distribuição dos diferentes tamanhos dos agregados em uma mistura. A ordenada deste gráfico continua sendo a porcentagem passante. Já a abscissa é constituída por uma escala numérica com os tamanhos das peneiras (em mm) elevados à potência de 0,45. Sendo assim, a peneira nº 4 (4,75 mm), por exemplo, seria marcada a 2,02 unidades da origem ($4,75^{0,45} = 2,02$).

Neste gráfico também se plota a curva da granulometria de densidade máxima, constituída por uma linha reta que parte da origem e vai até o ponto de 100% correspondente ao agregado de tamanho máximo. Além de se evitar a granulometria de densidade máxima, o projeto de mistura SUPERPAVE, ainda adicionou duas exigências extras à carta de potência 0,45, que são os pontos de controle e a zona restrita. Os pontos de controle são pontos mestres (limites) por onde a curva granulométrica deve passar. Já os pontos de restrição indicam a região em que a curva granulometria da mistura não deve passar. Caso isto ocorra, a curva granulométrica é chamada de corcunda e indica a presença de muita areia fina em relação à areia total, devendo ser evitada, por apresentar comportamento frágil, dificultando a compactação e oferecendo pouca resistência à deformação permanente durante a vida útil (MARQUES, 2004).

As Tabelas 4 e 5 a seguir apresentam as recomendações SUPERPAVE para pontos de controle e zona de restrição respectivamente.

Tabela 4- Pontos de controle da metodologia SUPERPAVE (Adaptado, MARQUES, 2004).

Tamanho	Tamanho Nominal Máximo do Agregado – Pontos de Controle (% Passante)									
	37,5 mm		25,0 mm		19,0 mm		12,5 mm		9,5 mm	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
50,0 mm	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37,5 mm	90	100	100	-	-	-	-	-	-	-
25,0 mm	-	90	90	100	100	-	-	-	-	-
19,0 mm	-	-	-	90	90	100	100	-	-	-
12,5 mm	-	-	-	-	-	90	90	100	100	-
9,5 mm	-	-	-	-	-	-	-	90	90	100
4,75 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90
2,36 mm	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67
0,075 mm	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10

Tabela 5- Zona de restrição da metodologia SUPERPAVE (Adaptado, MARQUES, 2004).

Tamanho dentro da zona restrita	Limites por Tamanho Nominal Máximo do Agregado – Zona Restrita (% Passante)									
	37,5 mm		25,0 mm		19,0 mm		12,5 mm		9,5 mm	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
0,300 mm	10	10	11,4	11,4	13,7	13,7	15,5	15,5	18,7	18,7
0,600 mm	11,7	15,7	13,6	17,6	16,7	20,7	19,1	23,1	23,5	27,5
1,18 mm	15,5	21,5	18,1	24,1	22,3	28,3	25,6	31,6	31,6	37,6
2,36 mm	23,3	27,3	26,8	30,8	34,6	34,6	39,1	39,1	47,2	47,2
4,75 mm	34,7	34,7	39,5	39,5	-	-	-	-	-	-

A Figura 12 apresenta um exemplo para uma mistura de agregado com tamanho máximo de 19 mm.

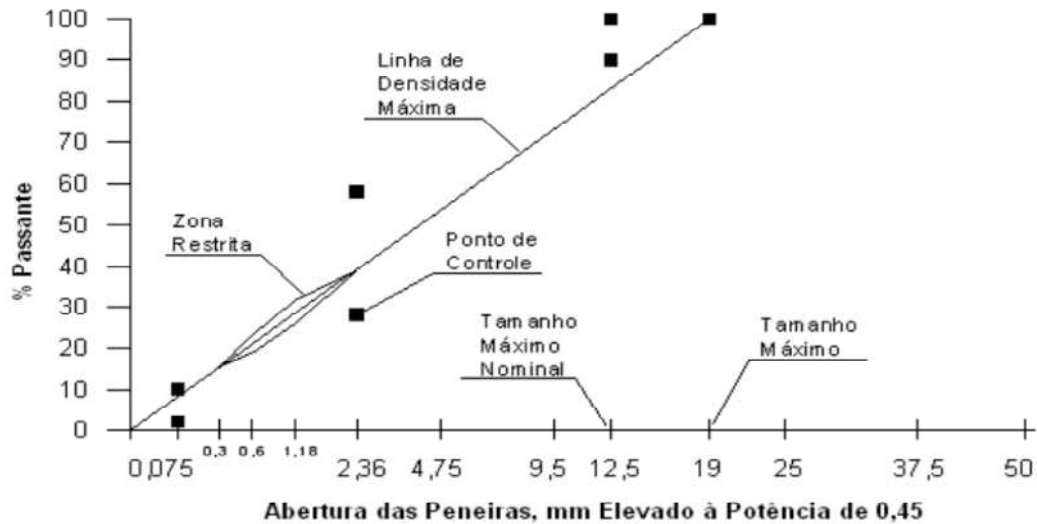


Figura 12- Curva de Fuller para agregado de tamanho máximo 19,0 mm (MARQUES, 2004).

O procedimento SUPERPAVE de Dosagem da Mistura Asfáltica consiste nas seguintes etapas: 1 – definição de três composições granulométricas dentro da faixa estabelecida pelo DNIT; 2 – cálculo do valor teórico do teor de asfalto inicial; 3 – definição do teor de ótimo de asfalto baseado em critérios volumétricos.

A premissa principal da dosagem SUPERPAVE é que a quantidade de ligante usada deve ser tal que a mistura atinja 4% de vazios no número de giros do projeto. Caso isso não ocorra nas misturas experimentais feitas inicialmente, é realizada uma estimativa do teor de ligante que deverá atender esta exigência. Por este método, é facultado ao projetista escolher qual das misturas testadas, entre as três composições granulométricas, melhor atende os critérios das propriedades volumétricas especificadas para o projeto.

A partir do teor de ligante estimado são moldados os corpos de prova considerando outros três teores, além do teor estimado: teor estimado $\pm 0,5\%$ e $+ 1\%$. O teor final de projeto é aquele na qual a mistura asfáltica atenda ao critério de volume de vazios igual a quatro pontos percentuais (4%). Abaixo segue um fluxograma da metodologia SUPERPAVE:

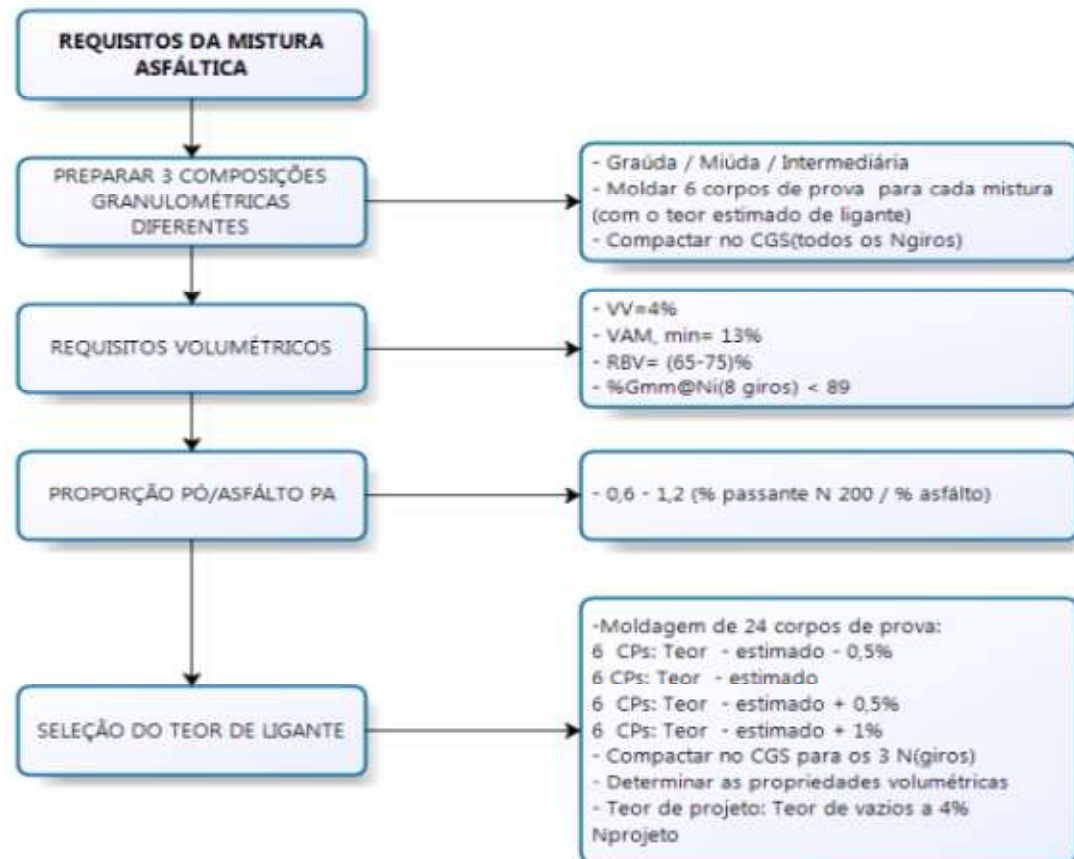


Figura 13- Fluxograma da dosagem SUPERPAVE (SOUZA, 2012).

Em que:

VV = Volume de vazios;

VAM: Volume do Agregado Mineral;

RBV: Relação Betume Vazios.

5.4 ENSAIO DE CREEP DINÂMICO

O ensaio de creep dinâmico, também conhecido por uniaxial de carga repetida, é um ensaio simples de ser realizado e que apresenta potencial de correlação com o desempenho de misturas asfálticas em campo. A mistura asfáltica é submetida a um carregamento cíclico de compressão com frequência de 0,1 s de carga e 0,9 s de descanso. As deformações acumuladas são obtidas em função do número de ciclos. O ensaio é realizado à 60°C. Os corpos de prova (CPs) utilizados no ensaio devem ter 15cm ± 0,25cm de altura e 10 cm de diâmetro. O chamado *Flow Number* (FN), determinado nesse ensaio, é o número do ciclo em que a taxa de deformação plástica é mínima e a partir do qual o CP atinge a ruptura. O ensaio é finalizado quando a taxa mínima de deformação plástica é obtida ou quando o ciclo de número 10.000 é atingido. A taxa de deformação plástica mínima pode ser obtida durante o

ensaio pela visualização do seu menor valor no gráfico de ciclo versus taxa de deformação (Figura 14). Esse procedimento encontra-se descrito de forma mais detalhada no relatório 465 da *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) (Witczak et al., 2002).

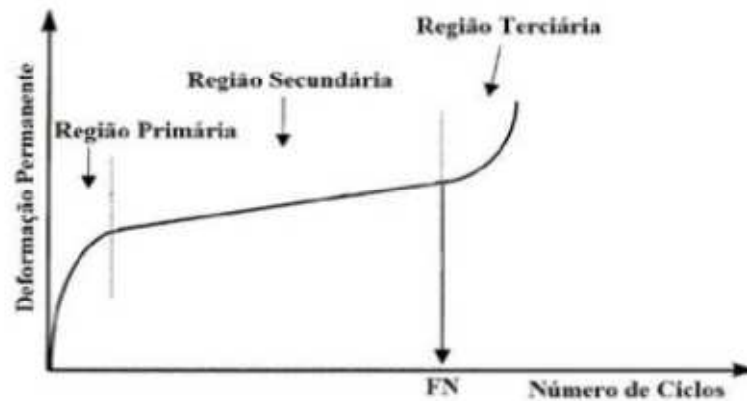


Figura 14 - Resultados esperados para o ensaio de creep dinâmico (ONOFRE et al., 2011).

5.5 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO

O ensaio de cisalhamento direto consiste na aplicação de uma força de direção paralela na interface das camadas e tem por objetivo avaliar a resistência e as deformações na união entre as camadas.

São vários os aparatos desenvolvidos para a realização de ensaios de cisalhamento direto, com modificações de dimensões e forma de aplicação do carregamento. Nesta pesquisa foi realizado o ensaio de cisalhamento direto sem aplicação da força normal, que fazem referência ao método Leutner.

A rotina de ensaio é bastante simples, consistindo na aplicação de uma carga tangencial na superfície de união entre as camadas, sob uma velocidade constante (mm/minuto). O resultado é a carga máxima de ruptura e a determinação do módulo de reação de interface (k) (FONSECA, 2015).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para uma melhor organização da pesquisa e facilitar a compreensão da análise dos resultados, este tópico foi dividido em quatro etapas:

- propriedades físicas dos materiais;
- dosagem da mistura asfáltica;
- ensaios de creep dinâmico;
- ensaio de cisalhamento direto Leutner.

6.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS

6.1.1 Agregados

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos para densidade real e absorção dos agregados. Estes resultados foram utilizados para as determinações das propriedades de estado (volumetria) das misturas, tais como: densidade máxima teórica (DMT); volume de vazios (VV), relação betume vazios (RBV), etc.

Tabela 6- Resultado do ensaio de massa específica e absorção.

Agregado	Densidade Real (g/cm³)	Absorção (%)
Brita 19	2,53	0,5
Brita 12,5	2,73	0,4
Pó-de-Pedra	2,43	-

Os valores dos resultados obtidos de densidade real se encontram dentro dos valores estipulados na literatura para este tipo de material. Todos os agregados ensaiados apresentaram absorção relativamente baixa, o que se caracterizam por apresentar baixa porosidade, e esta última propriedade não influencia diretamente na estimativa do teor de ligante de projeto.

A Tabela 7 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos ensaios de abrasão Los Angeles, equivalente pó-de-pedra e índice de forma.

Tabela 7- Resultado do ensaio de agregados.

ENSAIO	Agregado	Resultado	Unidade	Especificação DNIT
Índice de Forma	Brita 19	0,88	-	Maior que 0,50.
	Brita 12,5	0,74	-	
Abrasão Los Angeles	Brita 19	36,87	%	Menor que 55%
	Brita 12,5	23,95	%	
Equivalente Pó-de-Pedra	Pó-de-Pedra	56	%	Maior que 55%

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 7, todos os agregados utilizados atendem às recomendações do DNIT e podem ser utilizados para compor uma mistura asfáltica.

O resultado para o ensaio de granulometria por peneiramento é apresentado na Tabela 8:

Tabela 8- Resultado do ensaio de granulometria por peneiramento.

Peneira		Porcentagem que passa (%)		
#	(mm)	Brita 19	Brita 12,5	Pó de Pedra
¾"	19,1	74,32	100	100
½"	12,7	8,74	95,12	100
3/8"	9,5	0,66	59,15	100
4	4,8	0,33	5,5	99,09
10	2	0,29	0,84	86,05
40	0,42	0,24	0,69	42,14
80	0,18	0,18	0,41	17,04
200	0,075	0,12	0,18	1,92

A partir da composição granulométrica apresentada na Tabela 8, é possível definir as proporções de agregados graúdos e miúdos de acordo com as especificações da Faixa granulométrica C estabelecida pelo DNIT.

6.1.2 Ligante asfáltico

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos no ensaio de Viscosidade Brookfield.

Tabela 9- Resultado do ensaio de viscosidade.

Amostras	Temperatura (°C)	Viscosidade (cP)
1º Amostra	135	490
	150	233
	177	81,5
2º Amostra	135	515
	150	240
	177	84,5
MÉDIA	135	502,5
	150	236,5
	177	83

Encontrada a viscosidade correspondente às temperaturas 135°C, 150°C e 177°C, é necessário plotar o gráfico temperatura X log da viscosidade.

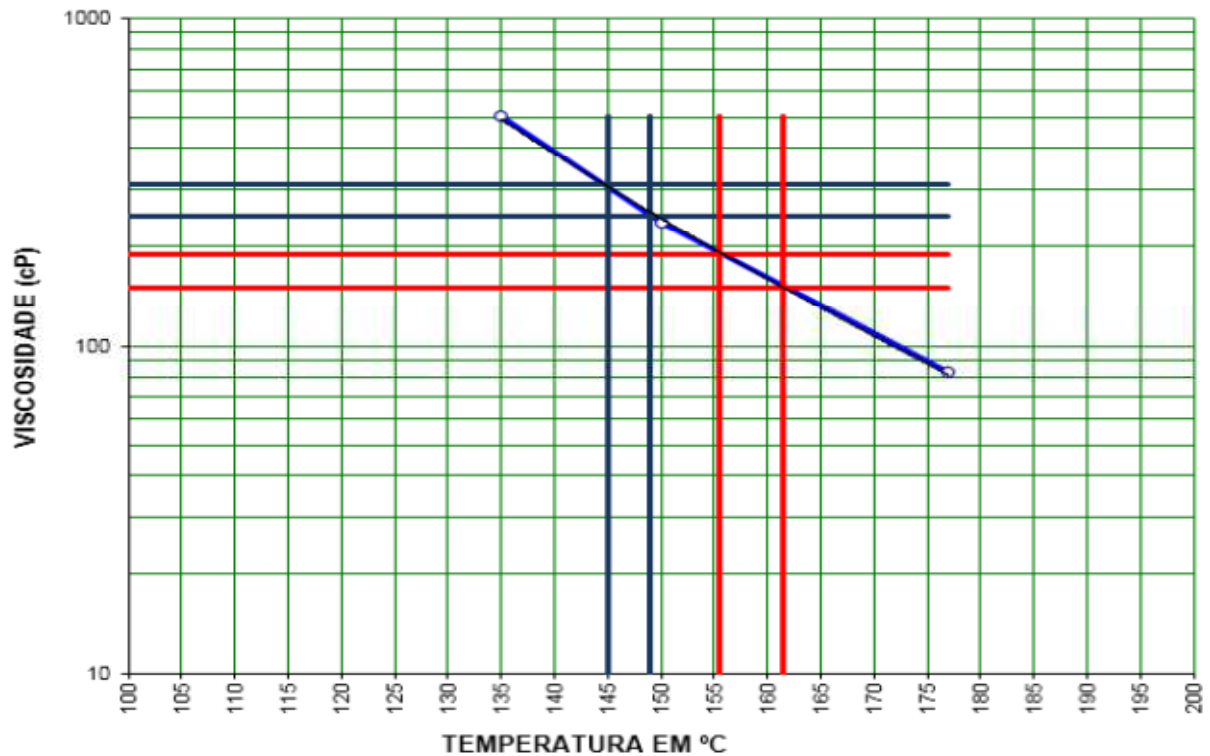


Figura 15- Gráfico da viscosidade versus temperatura.

Por meio desta curva foi possível determinar as faixas de temperaturas adequadas para o aquecimento e mistura do CAP com agregados, temperatura de aquecimento dos agregados e para a compactação da mistura.

A temperatura de compactação da mistura é a que está entre as temperaturas correspondentes às viscosidades de 150 e 190 cP (Centi Poise). A temperatura de aquecimento do CAP é a que está entre 125 e 155 cP, os agregados devem ser aquecidos a uma temperatura de 10 a 15°C superior a esta. O CAP e agregados foram aquecidos e misturados na temperatura média, expressa na Tabela 10.

Tabela 10- Faixas de temperaturas.

TEMPERATURA °C			
MISTURA	MÍNIMA	MÁXIMA	MÉDIA
CAP	155,5	161,5	158,5
AGREGADOS	165,5	171,5	168,5
COMPACTAÇÃO	145	149	147

Quanto ao ensaio de penetração, a Tabela 11 apresenta os resultados obtidos:

Tabela 11- Resultado do ensaio de penetração.

Leitura	Penetração (0,1 mm)
1º	50
2º	48
3º	55
4º	59
5º	43
MÉDIA	51

O CAP ensaiado apresenta penetração média de 0,1 décimos de milímetro, logo, o CAP utilizado é classificado como CAP 50/70.

6.2 DOSAGEM DA MISTURA ASFÁLTICA

6.2.1 Escolha da composição granulométrica

A partir da análise granulométrica dos agregados, observou-se que a mistura se enquadra na Faixa C do DNIT. Foram formuladas três composições granulométricas diferentes (intermediária, inferior e superior). A critério do projetista a composição que melhor atende os critérios SUPERPAVE é a composição intermediária. A Tabela 12 apresenta a mistura intermediária, com base na curva de *Fuller* (Figura 16).

Tabela 12- Mistura de projeto.

PENEIRAS	Brita 19 mm		Brita 12,5 mm		Pó de Pedra		PROJETO	FAIXA C	
	TOTAL	10%	TOTAL	40%	TOTAL	50%		Min	Max
¾"	74,32	7,43	100	40	100	50	97,43	100	100
½"	8,74	0,87	95,12	38,05	100	50	88,92	80	100
3/8"	0,66	0,06	59,15	23,66	100	50	73,72	70	90
4	0,33	0,03	5,5	2,20	99,09	49,55	51,18	44	72
10	0,29	0,03	0,84	0,34	86,05	43,03	43,99	22	50

40	0,24	0,02	0,69	0,28	42,14	21,07	21,37	8	26
80	0,18	0,02	0,41	0,16	17,04	8,52	8,70	4	16
200	0,12	0,01	0,18	0,07	1,92	0,96	1,04	2	10

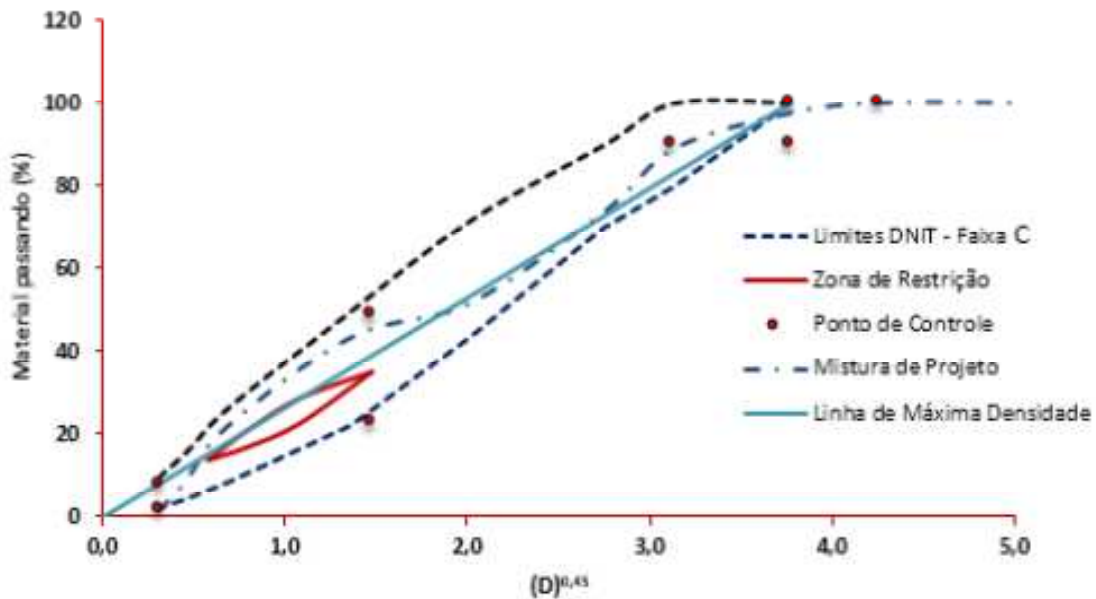


Figura 16- Curva de Fuller para mistura intermediária de projeto.

Logo, a mistura de projeto será composta por 10% de Brita 19 mm, 40% de Brita 12,5 mm e 50% de Pó de Pedra. Adotou-se pela experiência do projetista uma quantidade de ligante inicial de 5%, e a partir deste foram moldados dois corpos de prova para cada teor (Teor estimado $\pm 0,5\%$ e Teor estimado $+ 1\%$).

6.2.2 Determinação do teor de projeto

Para moldagem dos corpos de prova de CBUQ, inicialmente pesou-se o material nas proporções descritas anteriormente. Em seguida o CAP foi aquecido em estufa durante duas horas na temperatura encontrada no ensaio de viscosidade Brookfield que foi de 158,5°C. Os agregados também foram levados a estufa com 168,5°C durante duas horas. Decorrido o tempo foi realizada a mistura do CAP com os agregados, novamente a mistura foi colocada em estufa (147°C) por mais duas horas para simular envelhecimento a curto prazo. Em seguida as amostras foram retiradas da estufa e levadas para serem compactadas no compactador giratório SUPERPAVE. A mistura foi compactada com 100 giros. O número de

giros de projeto igual a 100 caracteriza duas ou mais pistas ou rodovias de acesso controlado, vias de cidade com tráfego médio a alto, rodovias estaduais e federais.

A sequência de imagens a seguir apresenta todo o procedimento descrito anteriormente.



Figura 17- Procedimento de moldagem dos corpos de prova.

Após moldados, os corpos de prova ficaram esfriando por cerca de duas horas. Em seguida foram realizadas as medidas de altura, diâmetro, massa seca e massa submersa para obtenção dos parâmetros volumétricos.

Tabela 13- Parâmetros volumétricos dos CP's.

Teor de CAP	Média das alturas (mm)	Média dos diâmetros (mm)	Massa seca (g)	Massa submersa (g)
4,5 %	65,63	100	1203,25	698,6
5,0%	65,05	100	1206,7	708,1
5,5%	65,50	100	1195,4	703,4
6,0%	64,17	100	1204,55	709,6

Para encontrar o teor de projeto é necessário determinar a densidade de cada mistura. A determinação da Gmm (densidade máxima medida) foi realizada segundo o método americano denominado *Rice Test* de acordo com a ASTM D 2041-00. A Figura 18 ilustra o equipamento utilizado neste ensaio.

Para a realização do ensaio pesa-se, inicialmente, 2.500g da mistura (para tamanho máximo nominal de até 19,0 mm) em um recipiente metálico de peso conhecido. Em seguida, este é preenchido com água a 25°C até que toda a mistura fique coberta. É então aplicada uma pressão de vácuo no recipiente de 30 mmHg, por um período de 15 minutos, a fim de expulsar os vazios existentes entre os filmes de ligante. Logo após esse período é restabelecida a pressão ambiente no recipiente metálico. Finalmente, o recipiente, juntamente com a mistura e a água, é pesado imerso. A Gmm é determinada por:

$$Gmm = \frac{A}{A + B - C} \quad (6)$$

Onde:

A= massa da amostra seca ao ar (g);

B= massa do recipiente com volume completo com água (g);

C= massa do recipiente + amostra submersa em água (g).

A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos com o Rice Test.

Tabela 14- Resultados obtidos com o Rice Test.

Teor	Gmm (g/cm³)
4,5%	2,530
5,0%	2,524
5,5%	2,500
6,0%	2,479



Figura 18- Aparelhagem para o ensaio Rice Test.



Figura 19- Amostras para realização do ensaio Rice Test.

Com o valor da Gmm e dos dados da Tabela 14, foi possível, por meio de planilhas no Excel, obter os parâmetros volumétricos da mistura. A Tabela 15 mostra as propriedades volumétricas e de compactação da mistura, com a variação do teor de ligante.

Tabela 15- Propriedades volumétricas da mistura.

Teor	Gmm (g/cm ³)	Gmm – Projeto (%)	Vv (%)	VAM (%)	RBV (%)	Relação Pó/Asfalto
4,5%	2,530	94,24	5,76	16,34	74,98	0,97
5,0%	2,524	95,89	4,11	15,08	73,44	1,00
5,5%	2,500	97,19	2,81	14,75	73,28	1,01
6,0%	2,479	98,17	1,83	14,61	73,41	0,98
Critério	-	=96%	=4	Mínimo 13%	65% a 75%	0,6 a 1,2

Por fim com os dados da Tabela 15, traçou-se o gráfico volume de vazios versus teor de asfalto. O teor de ligante de projeto é aquele correspondente a um volume de vazios de 4%.

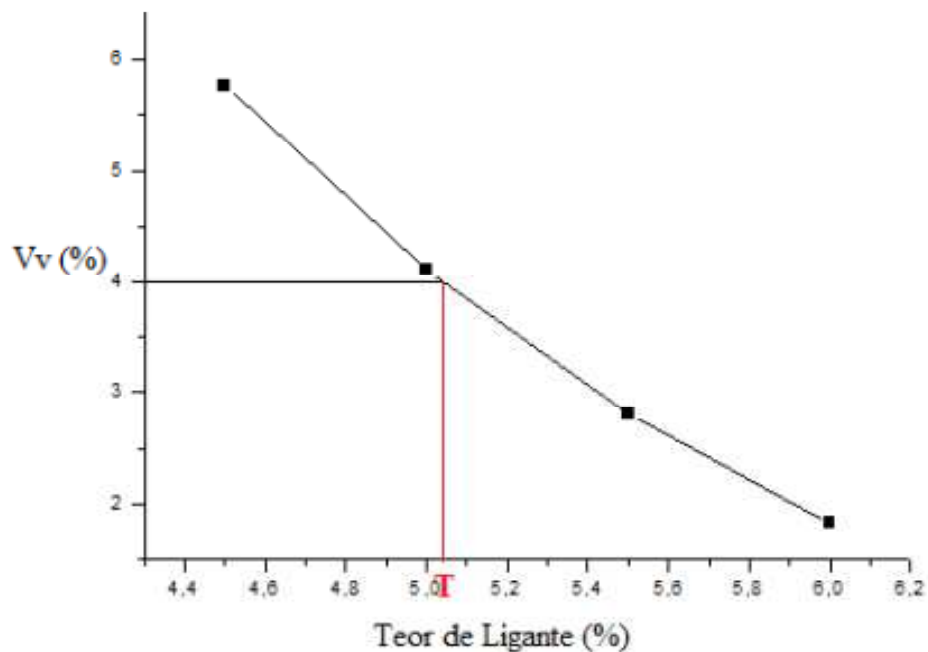


Figura 20- Gráfico Teor de Ligante versus volume de vazios.

Logo, o teor de projeto é de aproximadamente **T = 5,03%**.

6.3 ENSAIO DE CREEP DINÂMICO (FLOW NUMBER)

Com o teor de ligante ótimo determinado foram moldados 06 corpos de prova de 15 cm de altura e 100 mm de diâmetro: 3 CP's sem a geogrelha e 3 CP's com a presença da geogrelha para realização do ensaio *Flow Number*.

Inicialmente os corpos de prova foram moldados com uma altura de 7 cm representando o pavimento original. Para simular um recapeamento como é feito na prática, foi aplicada emulsão asfáltica para representar a camada de pintura de ligação a uma taxa de 0,5 l/m² (Figura 21), a geogrelha também foi aplicada no pavimento com emulsão asfáltica (Figura 22). Após aplicada a emulsão foi necessário esperar um período de cerca de 4 horas. Decorrido esse tempo, foi compactado mais 7 cm que seria a camada de recapeamento. Os corpos de prova finais para realização do ensaio são mostrados na Figura 23.



Figura 21- CP's após a aplicação da emulsão asfáltica.



Figura 22- CP's com a geogrelha.



Figura 23- CP's final para realização do ensaio.

O ensaio *Flow Number* foi realizado no equipamento AMPT, como mostra a Figura 24.



Figura 24- Equipamento AMPT para realização do ensaio.

Os corpos de prova foram submetidos a uma tensão de contato da ordem de 5 kPa e uma tensão desviadora de 600 kPa para que o *Flow Number* fosse atingido. O *Flow Number* corresponde ao número de ciclos onde o corpo de prova deixa de ter uma deformação elástica para ter uma deformação permanente. O critério de parada do ensaio foi quando se atingiu 10.000 ciclos.

Durante a realização do ensaio, dois CP's 01 com geogrelha e 01 sem geogrelha romperam antes mesmo do término do mesmo, ou seja, romperam antes de atingirem 10.000

ciclos, que não é o ideal (Figura 25). Esse fato pode ser explicado por diversos fatores, sendo que os mais prováveis são; um aumento repentino da carga aplicada, a má compactação da mistura ou o ligante e os agregados podem não ter atingido a temperatura de mistura desejada. Os dados obtidos com essas amostras foram eliminados da análise dos resultados.



Figura 25- CP com sinais de estufamento.

A Tabela 16 apresenta os resultados obtidos no ensaio de *Flow Number*.

Tabela 16- Número de ciclos médio.

Tipo de Restauração	CP 1	CP 2	Média
Sem a geogrelha	64	72	68
Com a geogrelha	78	136	107

Com os dados da Tabela 16 é possível observar que a presença da geogrelha melhora consideravelmente a resistência à deformação permanente do pavimento, pois a mistura reforçada suporta uma quantidade maior de ciclos.

6.4 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO LEUTNER

Para realização do ensaio de cisalhamento direto sem aplicação da força normal, foram compactados no teor de projeto 04 CP's (na literatura, não há especificado uma quantidade mínima de CP para realização do ensaio, recomenda-se no mínimo 02 CP para se ter uma

média aritmética), 02 com a presença da geogrelha e 02 sem a presença da geogrelha, conforme está exposto na Figura 23. Os CP's foram confeccionados em duas camadas sendo que entre elas era aplicada a pintura de ligação (emulsão asfáltica) e o geossintético.

O ensaio foi realizado no equipamento UTM-25 como mostram as Figuras 26 e 27 a seguir. A velocidade de aplicação da carga foi de 50 mm/minuto.



Figura 26- Equipamento de ensaios UTM.



Figura 27- Realização do ensaio cisalhamento direto Leutner.

A Tabela 17 apresenta os resultados obtidos para este ensaio.

Tabela 17- Resultados obtidos com a UTM.

Tipo de restauração	Força máxima (kN)	Deformação Total (mm)
CP 1- Sem geogrelha	8,64	6,15
CP 1- Com geogrelha	0,013	29,03
CP 2- Sem geogrelha	8,12	6,01
CP 2- Com geogrelha	0,012	27,73

Com os resultados da Tabela 17 é possível perceber que a inserção do geossintético entre as camadas provocou uma brusca redução da força cisalhante máxima, se comparado com uma restauração sem o reforço. Os CP's reforçados se deformaram rapidamente (em questão de segundos) e romperam-se no plano de interface das camadas como era esperado, entretanto, a inclusão do geossintético na mistura implicou em queda da resistência lateral do pavimento.

Essa brusca redução se deve principalmente ao tipo de emulsão aplicada (convencional ou modificada por polímero) e a taxa de aplicação. Baixas taxas de aplicação de emulsão podem resultar em perda de aderência e altas taxas, podem promover a criação de uma película de material betuminoso que pode gerar queda na resistência ao cisalhamento. Devem existir condições adequadas entre quantidade e tipo de emulsão asfáltica aplicada que possibilitam o emprego de geossintéticos de forma satisfatória.

Chen e Huang (2010) analisaram amostras submetidas a ensaios de cisalhamento direto e concluíram que o tipo de pintura de ligação, a taxa de aplicação residual, o tempo e a temperatura de cura são fatores que influenciam diretamente na aderência existente no contato entre as camadas. Uma boa compactação da camada superior, com o grau de compactação necessário garante maior resistência ao cisalhamento na interface entre as camadas (CHEN e HUANG, 2010).

7 CONCLUSÕES

Dos experimentos realizados e das análises efetuadas, podem ser tiradas as seguintes conclusões:

- a metodologia de dosagem SUPERPAVE é a mais moderna e atual que está se difundido no Brasil, e todos os materiais utilizados na pesquisa apresentaram os

parâmetros exigidos pela dosagem SUPERPAVE, o que minimiza erros e torna a mistura asfáltica elaborada cada vez mais próxima da do que é feito na prática;

- os geossintéticos são materiais cujas utilizações em obras diversas da construção civil são muito recentes, o que se faz necessário melhor compreender as propriedades desses materiais em suas utilizações na pavimentação rodoviária;
- uma dificuldade com a aplicação da geogrelha na moldagem dos corpos de prova se dá ao comprimento de ancoragem, pois, na prática a geogrelha é aplicada deixando-se um comprimento de ancoragem de no mínimo 10 cm;
- com relação ao ensaio de creep dinâmico, a mistura ensaiada com a presença da geogrelha apresentou um número de ciclos de carga médio cerca de 60% superior a mesma mistura sem o reforço. A inclusão do geossintético proporcionou um aumento da resistência à deformação permanente da mistura asfáltica;
- pelo ensaio de cisalhamento direto Leutner foi possível perceber que a inclusão do geossintético na interface entre as camadas da mistura asfáltica causou uma brusca redução da força cisalhante máxima, e conseqüentemente, da resistência lateral do pavimento. Entretanto, nesta pesquisa foram elaborados corpos de prova com apenas uma taxa de emulsão asfáltica, é possível que pinturas de ligação com taxas de emulsão asfáltica inferior ou superior a 0,51 l/m² possa reduzir essa discrepância.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12553: Geossintéticos – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6576: Ensaio de Penetração de Materiais Betuminosos**. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10318: Geossintéticos – Termos e definições**. Rio de Janeiro, 2013.

ASPHALT ACADEMY (2008). **Asphalt reinforcement for road construction**, T3 first edition, ASPHALT ACADEMY, Pretoria, África do Sul, T3 first edition: p. 23 – 26.

ASTM – American Society for Testing Materials (2000) D2041. **Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures**.

ASTM – American Society for Testing Materials (2002) D4402. **Standart Test Method for Viscosity Determinations of Unfilled Asphalts Using the Brookfield Thermosel Apparatus.**

Balbo, J. T. **Pavimentação Asfáltica.** Oficina de textos, 560 p. Rio de Janeiro, 2006.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.** PETROBRÁS, ABEDA, Rio de Janeiro, 2008.

BUENO, B. S. Matérias Primas. In. VERTEMATTI, J. C. (Ed). **Manual Brasileiro de Geossintéticos.** Edgard Blucher. São Paulo. 2004.

BUTTON, J. & LYTTON, R. **Geosynthetics in Flexible and Rigid pavement overlay systems to reduce reflection cracking.** Information & Technology Exchange center (ITEC), Texas transportation institute, Texas A&M University, Austin, Texas, U.S.A, report 1777-P2, project number 0-1777, 2003.

CERATTI, J. A. P.; RODRIGUES, R. M.. **Aplicação em Restauração de Pavimentos.** In. VERTEMATTI, J. C. (Ed). Manual Brasileiro de Geossintéticos. Edgard Blucher. São Paulo, 2004.

CHEN, J.; HUANG, C. **Effect os surface characateristics on bonding properties of bituminous tack coat.** *Journal of the Transportation Research Board*, USA, n. 2180, p. 142–149, 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES-CNT. **Pesquisa CNT de rodovias.** Relatório Geral, Brasília-DF, 2014.

DER-SP: DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. ET-P00/43-(2006) – **Tratamento anti-reflexão de trincas com geossintético – Especificação Técnica** – Departamento de Estradas e Rodagem de São Paulo, São Paulo, SP.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, ME 086/94. **Agregados – Determinação do índice de forma.** Rio de janeiro, 1994.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, ME 084/95. **Agregado miúdo– Determinação da densidade real.** Rio de Janeiro, 1995.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, ME 054/97. **Areia: equivalente de areia**. Rio de Janeiro, 1997.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, ME 083/98. **Agregados – Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 1998.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, ME 081/98. **Agregados – Determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo**. Rio de Janeiro, 1998.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, ME 035/98. **Agregados – Determinação da Abrasão Los Angeles**. Rio de Janeiro, 1998.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. PRO 003/2003-PRO: **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirígidos– Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 031/2005-ES. **Execução de Concreto Asfáltico a Quente**. Rio de Janeiro, 2005.

FONSECA, L. L. **Avaliação em laboratório do comportamento de camadas asfálticas reforçadas com geossintéticos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2015.

FONTES, L. P. T. L. **Optimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos**. Tese (Doutorado). Universidade do Minho. Universidade Federal de Santa Catarina. 545 p, 2009.

GUIMARÃES, P. A. **Estudo da aderência entre camadas asfálticas de pavimentos**. 2013.189f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.
IGS, **International Geosynthetic Society**, “Mini Lecture Series”. Carolina do Sul, EUA, 2002.

HUESKER. Disponível em: <http://www.huesker.com.br>, acesso em: 01/10/2016.

IGS, **International Geosynthetic Society**, “Mini Lecture Series”. Carolina do Sul, EUA, 2002.

KHODAIL, A., HAAHAB, F., FEREIDOON, M. N. **Effects of geosynthetics on reduction of reflection cracking in asphalt overlays**, *Geotextiles and Geomembranes*. 27: 1–8. 2008.

Maccaferri, Jundiaí. **Manual técnico, reforço de solos**. 168 p, São Paulo. 2009.

MARQUES, G. L. O. **Utilização do Módulo de Resiliência como Critério de Dosagem de Mistura Asfáltica; Efeito da Compactação por Impacto e Giratória**. 2004.490f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2004.

OBANDO, J. R. A. **Geossintéticos como reforço de revestimento em pavimentação**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, UNB, 2012.

ONOFRE, F. C.; BESSA, I. S.; CASTELO BRANCO, V. T. F.; SOARES, J. B. **Correlação Entre Variáveis de Densificação do Compactador Giratório e Resistência à Deformação Permanente de Misturas Asfálticas Convencionais e com Resíduos**. *Transportes (Rio de Janeiro)*, v. XIX, p. 13-22, 2011.

Sistema Nacional de Viação, SNV. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT, Boletim Rodoviário (2006)**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/>>, acesso em: 23/10/2015.

SOUZA, S. J. L. **Estudo das propriedades mecânicas de misturas asfálticas com cimento asfáltico de petróleo modificado com óleo de mamona**. 2012. 123f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2012.

WITCZAK, M. W., K. KALOUSH e T. PELLIEN. **Simple Performance Test for Superpave Mix Design, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Relatório 465**, Washington, D.C., EUA. 2002.

ANEXO A – RESULTADO DO ENSAIO FLOW NUMBER CP 01 SEM GEOGRELHA

Simple Performance Flow Number Test

File name: F:\SG 1.D005
 Created: 01/09/2016 14:04:12, by software version 1.47
 Project: Default template
 Operator:
 Comments: This is a default template with your calibration files included.
 All other parameters need to be set by the user then saved as a new template.

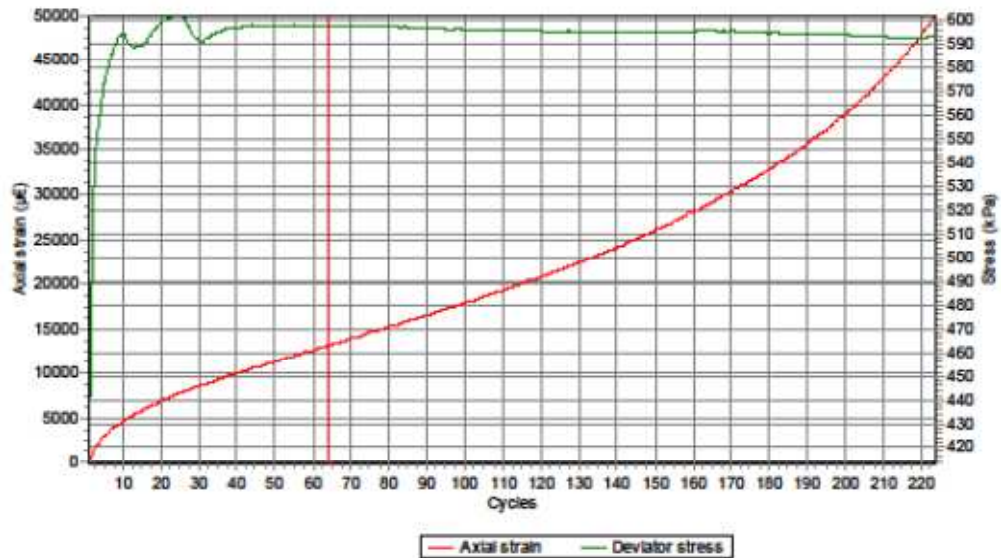
Specimen Information

Identification:	Dimensions:	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev.
Conditioning:	Diameter (mm)	100,0						100,0	
Remarks:	Height (mm)	151,0						151,0	
		Cross-sectional area (mm ²): 7854,0							

Target settings
 Test temperature (°C): 20
 Confining stress (kPa): 0
 Contact stress (kPa): 5
 Deviator stress (kPa): 600

Termination settings
 Maximum microstrain: 50000
 Test duration (cycles): 10000

Data processing
 Sample interval: 1



Test results
 Avg test temperature (°C): 59,3
 Avg test confining stress (kPa): 0,0
 Avg test deviator stress (kPa): 593,9
 Axial microstrain at Flow point: 13412
 Flow point (cycles): 64

Avg contact stress (kPa): 5,0
 Max load Std Error (%): 30,8
 Fitted %strain standard deviation: NA
 Fitted microstrain at Flow point: NA
 Fitted flow point (cycles): NA

Warnings
 Temperature
 Load standard error

ANEXO B – RESULTADO DO ENSAIO FLOW NUMBER CP 02 SEM GEOGRELHA

Simple Performance Flow Number Test

File name: F:\SG 2.0005
 Created: 01/09/2016 14:09:35, by software version 1.47
 Project: Default template
 Operator:
 Comments: This is a default template with your calibration files included.
 All other parameters need to be set by the user then saved as a new template.

Specimen Information

Identification:	Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev.
Conditioning:	Diameter (mm)	100,0						100,0	
Remarks:	Height (mm)	152,0						152,0	
	Cross-sectional area (mm ²): 7654,0								

Target settings

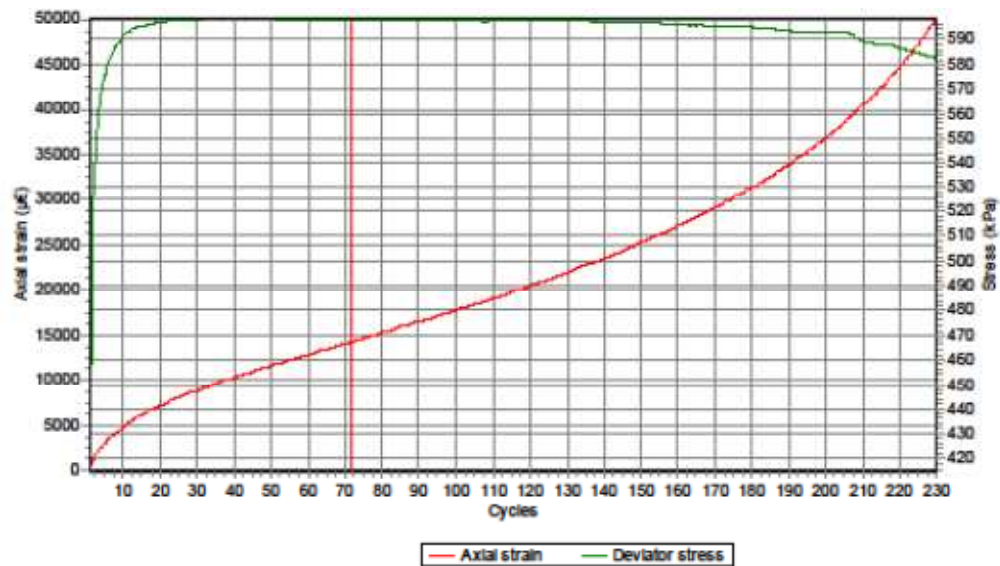
Test temperature (°C): 20
 Confining stress (kPa): 0
 Contact stress (kPa): 5
 Deviator stress (kPa): 600

Termination settings

Maximum microstrain: 50000
 Test duration (cycles): 10000

Data processing

Sample interval: 1



Test results

Avg test temperature (°C): 59,0
 Avg test confining stress (kPa): 0,0
 Avg test deviator stress (kPa): 594,1
 Axial microstrain at Flow point: 14556
 Flow point (cycles): 72

Avg contact stress (kPa): 5,0
 Max load Std Error (%): 30,9
 Fitted %strain standard deviation: NA
 Fitted microstrain at Flow point: NA
 Fitted flow point (cycles): NA

Warnings

Deviator stress
 Temperature
 Load standard error

ANEXO C – RESULTADO DO ENSAIO FLOW NUMBER CP 01 COM GEOGRELHA

Simple Performance Flow Number Test

File name: F:\CG 2.D005
 Created: 01/09/2016 14:25:34, by software version 1.47
 Project: Default template
 Operator:
 Comments: This is a default template with your calibration files included.
 All other parameters need to be set by the user then saved as a new template.

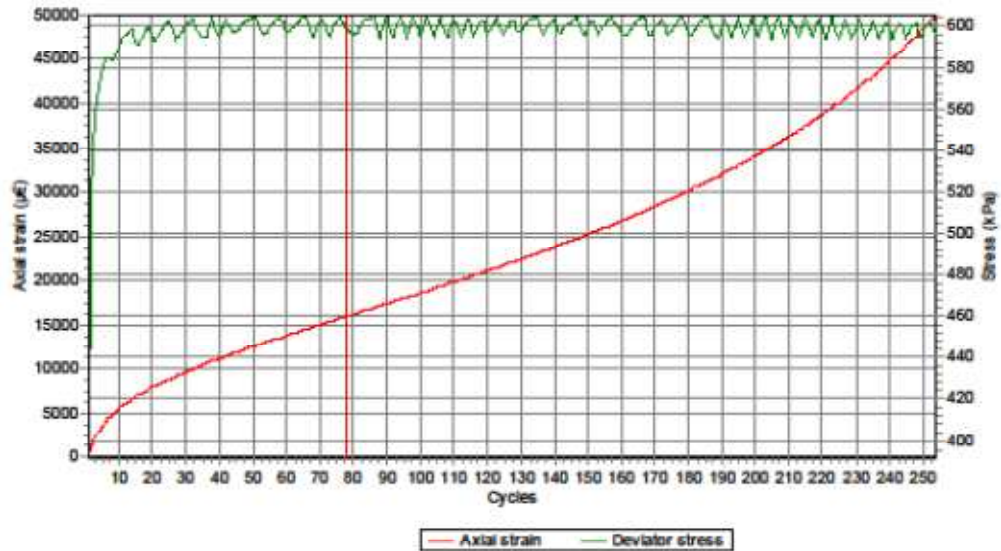
Specimen Information

Identification:	Dimensions:	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev.
Conditioning:	Diameter (mm)	100,0						100,0	
Remarks:	Height (mm)	152,0						152,0	
		Cross-sectional area (mm ²):						7854,0	

Target settings
 Test temperature (°C): 60
 Confining stress (kPa): 0
 Contact stress (kPa): 5
 Deviator stress (kPa): 600

Termination settings
 Maximum microstrain: 50000
 Test duration (cycles): 10000

Data processing
 Sample interval: 1



Test results
 Avg test temperature (°C): 60,2
 Avg test confining stress (kPa): 0,0
 Avg test deviator stress (kPa): 597,5
 Axial microstrain at Flow point: 16200
 Flow point (cycles): 78

Avg contact stress (kPa): 5,0
 Max load Std Error (%): 14,4
 Fitted %strain standard deviation: NA
 Fitted microstrain at Flow point: NA
 Fitted flow point (cycles): NA

Warnings
 Load standard error

ANEXO D – RESULTADO DO ENSAIO FLOW NUMBER CP 02 COM GEOGRELHA

Simple Performance Flow Number Test

File name: F:\CG 1.D005
 Created: 01/09/2016 14:15:47, by software version 1.47
 Project: Default template
 Operator:
 Comments: This is a default template with your calibration files included.
 All other parameters need to be set by the user then saved as a new template.

Specimen Information

Identification:	Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev.
Conditioning:	Diameter (mm)	100,0						100,0	
Remarks:	Height (mm)	152,0						152,0	
		Cross-sectional area (mm ²): 7854,0							

Target settings

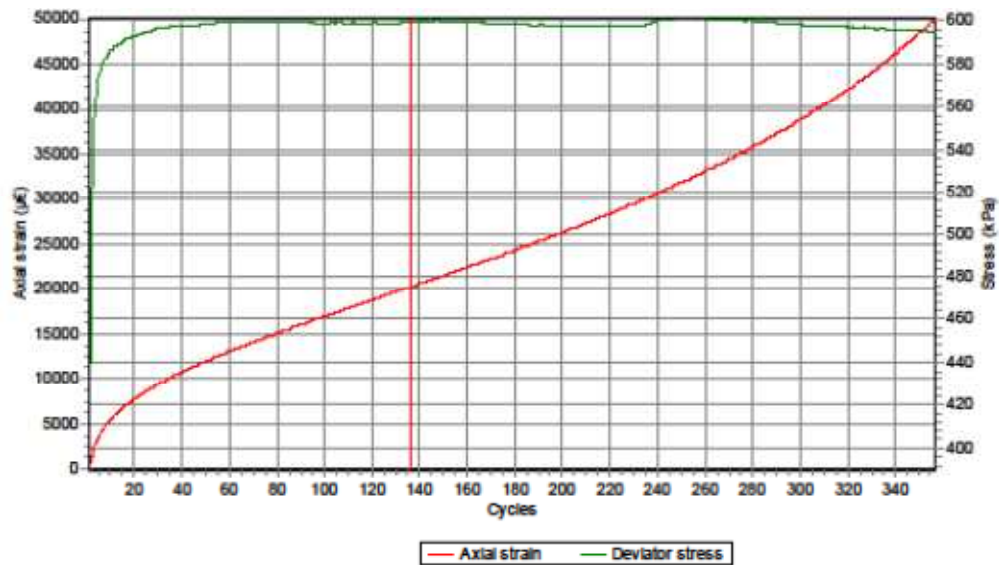
Test temperature (°C): 60
 Confining stress (kPa): 0
 Contact stress (kPa): 5
 Deviator stress (kPa): 600

Termination settings

Maximum microstrain: 50000
 Test duration (cycles): 10000

Data processing

Sample interval: 1



Test results

Avg test temperature (°C): 60,0
 Avg test confining stress (kPa): 0,0
 Avg test deviator stress (kPa): 597,1
 Axial microstrain at Flow point: 20362
 Flow point (cycles): 136

Avg contact stress (kPa): 5,0
 Max load Std Error (%): 24,0
 Fitted %strain standard deviation: NA
 Fitted microstrain at Flow point: NA
 Fitted flow point (cycles): NA

Warnings

Deviator stress
 Temperature
 Load standard error