



ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE DO AGREGADO GRAÚDO NAS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO ASFÁLTICO

ARAÚJO, Maria Eduarda¹
SILVA, Karoline de Paula²
KAUL, Chirley Taina³

RESUMO: A qualidade das misturas asfálticas está atrelada às características de seus insumos, bem como ao controle executivo em sua confecção. Manuais, normas e especificações técnicas vigentes dos órgãos rodoviários orientam a utilização de agregados isentos de umidade no processo de usinagem das misturas asfálticas, porém o que se verifica na prática muitas vezes são depósitos de agregados sem cobertura e proteção contra intempéries, resultando na falta de controle de umidade dos insumos. Este estudo realizou um comparativo entre os índices de estabilidade, fluência e resistência à tração por compressão diametral em misturas asfálticas moldadas em laboratório em duas diferentes situações: usando agregados secos e, também, agregados úmidos. Os resultados obtidos para os índices de estabilidade e fluência não mostram uma diferença entre as diferentes situações de moldagem, entretanto a alteração maior encontrada foi ao analisar os resultados individuais das amostras da resistência à tração por compressão diametral, comprovando uma perda de resistência com o uso dos agregados úmidos, os quais acabam não permitindo a correta adesividade entre o ligante asfáltico e o material granular.

Palavras-chave: Misturas asfálticas, estabilidade, fluência, adesividade, agregado úmido.

1. INTRODUÇÃO

Os revestimentos asfálticos utilizados em pavimentos flexíveis ou semi-rígidos são compostos basicamente por ligantes asfálticos, agregados e produtos complementares quando necessários. Assim, as características dessa camada de pavimento serão resultantes das propriedades individuais de cada um dos insumos e, também, de suas associações, da qualidade do processo de usinagem para a composição do concreto asfáltico de petróleo bem como do processo de execução da camada em campo (BERNUCCI *et al*, 2008).

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: mearaujo.1999@gmail.com.

²Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: karol.depaula@hotmail.com.

³Docente, Especialista em Engenharia de Infraestrutura de Rodovias, Engenheira Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR.

Uma das características dos agregados utilizados para confecção da massa asfáltica é que influencia na eficiência da mistura em função da qualidade da usinagem do concreto é a absorção do material, o qual ocorre devido à porosidade das partículas e da relação entre a massa de água absorvida pelo agregado, tanto gráudo quanto miúdo, e a massa inicial do material seco.

A porosidade do agregado tem elevada importância dentre as características do material, pois é um dos fatores que ditará a porcentagem de ligante asfáltico da mistura, além de influenciar na adesão entre os dois materiais (BERNUCCI *et al*, 2008).

Mesmo que as usinas asfálticas sejam providas de tambor secador para a realização da secagem e aquecimento adequado dos agregados, as boas práticas da engenharia recomendam que a área de estocagem dos agregados seja feita em locais cobertos a fim de evitar a umidade excessiva do material, uma vez que a eficiência de sua secagem variará conforme o tipo de secador, temperatura, tempo de secagem, bem como de acordo com a própria condição de funcionamento e manutenção da usina asfáltica.

Nesse sentido, ao alimentar as usinas asfálticas com agregados excessivamente úmidos, que possam não ter sua total umidade retirada no processo de usinagem, compromete-se a qualidade da massa asfáltica produzida pela falta de coesão dos insumos, afinal, em consonância com a explicação de Anitelli (2013), a ruptura da película adesiva do ligante asfáltico na superfície do agregado pode ocorrer por haver um plano de ruptura interfacial pela presença de umidade na superfície do agregado.

Muitas causas prováveis de manifestações patológicas estão relacionadas à falta de aderência da película betuminosa ao agregado, direta ou indiretamente, sendo elas: o afundamento por consolidação em trilha, o desgaste, a desagregação, o deslocamento, a perda dos agregados, o polimento do agregado e da panela (BERNUCCI *et al*, 2008).

Além de fatores externos que causam o contato excessivo dos agregados com a água, outra qualidade das partículas que influencia para que essa umidade se mantenha no material é a afinidade da partícula pela água. A partir disso, quando suas moléculas não sofrem interação com água, o agregado é denominado como hidrófilo ou hidrofóbico.

Ensaio para verificação da adesividade entre o agregado e o ligante asfáltico são realizados de duas formas: avaliando o comportamento dos agregados recobertos com ligante asfáltico (por meio da metodologia descrita pela Norma DNER-ME 078/94) ou analisando o desempenho da mistura asfáltica dosada quando submetida à ação da água (com base na

metodologia descrita pela Norma DNIT 180/2018 – ME). Essas duas metodologias levam em consideração o contato da água das amostras após o recobrimento do ligante asfáltico no agregado, considerando, portanto, que as partículas do material granular estejam secas, o que em campo pode não ocorrer, uma vez que é observado que muitas usinas desse ramo não possuem cobertura adequada para o armazenamento do material.

Nesse contexto, o presente trabalho visou analisar a influência da umidade do agregado gráúdo em misturas asfálticas, tendo os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizar a moldagem de corpos-de-prova asfálticos com agregados secos e com agregados úmidos;
- b) Submeter as amostras aos ensaios de estabilidade e fluência Marshall e resistência à tração por compressão diametral a 25°C;
- c) Comparar os resultados obtidos, considerando as características dos agregados seco e úmido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordados o conceito de agregados, como se dá a absorção do agregado e o funcionamento da adesividade ao ligante asfáltico, bem como trata-se sobre como a umidade dos agregados influencia na qualidade do revestimento asfáltico.

2.1 Agregados graúdos utilizados na massa asfáltica

A massa asfáltica é constituída basicamente pelo ligante asfáltico e pelos agregados, porém, em alguns casos, é complementada por outros produtos (BERNUCCI, *et al.* 2008). Isso significa dizer que, em uma massa asfáltica, cerca de 90% é agregado em peso.

Woods (1960) define agregado como uma mistura de pedregulho, areia, pedra britada, escória ou outros materiais minerais combinados com um ligante para formar concreto, uma argamassa, etc. Na NBR 9.935 (ABNT, 2011), conceitua-se o agregado como um material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou de concreto. Nas misturas asfálticas eles têm a função de absorver o ligante asfáltico, logo os agregados, e a partir dessa confluência, ficam responsáveis por sofrer as deformidades causadas pelas tensões geradas pelos veículos.

Ainda de acordo com a NBR 9.935 (ABNT, 2011), o agregado graúdo é aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm, ficando retidos na abertura de malha de 4,75 mm. No que diz respeito à massa asfáltica, os agregados são considerados como graúdos quando maiores de 2,0 mm.

Os agregados graúdos comumente usados no concreto asfáltico (CA) são as britas, os cascalhos, os seixos, etc., cujos valores adotados são: para brita 0 de 4,8 a 9,5 mm e, para brita 1, de 9,5 a 19 mm. Já os seus valores percentuais variam de acordo com cada traço de CA.

2.2 Propriedades dos agregados

2.2.1 Quanto à absorção

A absorção se refere à quantidade de água retida pelo agregado em seus poros. Portanto, ela é a relação entre a massa de água absorvida pelo agregado graúdo após 24 horas de imersão (DNER-ME 081/98).

A porosidade do agregado tem a função de absorver o ligante asfáltico, dando coesão à massa e auxiliando nos processos de resistência aos esforços gerados no pavimento. Ela também contribui no processo de adesividade do agregado ao ligante asfáltico.

Tendo em vista essas considerações, compreende-se como extremamente importante que o agregado tenha um nível de absorção, entretanto existem casos em que os agregados naturais ou britados possuem um elevado nível de porosidade, o que o torna inviável para o uso na massa asfáltica, pois isso absorveria muito o ligante asfáltico, alterando o teor do ligante, além de modificar o traço do concreto asfáltico e gerar maiores custos em razão do alto consumo de ligante.

2.2.2 Quanto à adesividade do ligante asfáltico

De acordo com a DNER-ME 078/94, a adesividade é a propriedade que tem o agregado de ser aderido por material betuminoso. É verificada pelo não deslocamento da película betuminosa que recobre o agregado, quando a mistura agregado-ligante é submetida à ação destilada, a 40 °C, durante 72 horas.

Acerca dessa propriedade, os agregados podem ser divididos em duas categorias, quais sejam: os hidrófilos, inaceitáveis para o uso em misturas asfálticas, porque possuem uma

película de água envolta ao agregado, impossibilitando o efeito da adesividade ao ligante asfáltico e o tipo hidrofóbico, considerado ideal para o uso na massa asfáltica, uma vez que ele repele, em suas propriedades, a água e tem alto índice de adesividade (BERNUCCI, *et al.* 2008).

2.3 Propriedades químicas do ligante asfáltico

O ligante asfáltico é um derivado do petróleo, um composto oriundo de resíduos orgânicos formados por reações químicas no fundo do mar. Já o material betuminoso se constitui de carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre, oxigênio, vanádio e níquel.

Por ser considerado um composto orgânico, o petróleo é formado, em sua maior parte, por hidrocarbonetos. Por isso, os átomos realizam ligação covalente, na qual acontece a interação interatômica entre os átomos de natureza não metálica por meio de compartilhamento de elétrons. A ligação covalente se classifica em polar e apolar. Nesse contexto, ressalta-se que o petróleo realiza a ligação covalente apolar porque sua característica química remete a um óleo de composição orgânica, fazendo os átomos repelirem a água, visto que ela é um composto neutro com ligação covalente polar.

A respeito do ligante asfáltico, ele tem o dever de envolver e ligar os agregados, de não se deslocar e resistir à ação do clima e da água, segundo Anitelli (2013). Ainda de acordo com esse autor, o fator que está mais ligado ao fenômeno de adesão e de absorção é a viscosidade, a qual é determinada pela força atrativa em líquido e pela mobilidade molecular, obtendo efeito sob altas temperaturas.

2.4 Estabilidade do concreto asfáltico

No tráfego de uma rodovia, todos os pavimentos estão sujeitos às deformações e, por isso, Branco (2016) ressalta a importância de verificar a estabilidade como propriedade de uma massa asfáltica. Também de acordo com esse autor (2016), a estabilidade é a capacidade adequada para resistir às cargas a que a mistura fica sujeita em serviço. Tal característica determina qual é o atrito interno sofrido pelos materiais no pavimento e na coesão. Ademais, é por intermédio dessa propriedade que se observará se a granulometria dos agregados é adequada e se a dosagem do ligante está no limite estabelecido, pois, se a falta de estabilidade for notada, isso significa que houve alterações no projeto de concreto já estabelecido.

2.5 Análise da umidade como causa da falta de adesão entre o agregado e o ligante asfáltico

A adesividade do agregado-ligante depende de um determinado nível de porosidade, o qual torne acessível a penetração do ligante. Porém, se o agregado estiver úmido com os seus poros preenchidos por água, o ligante asfáltico seria repellido de acordo com a polaridade que o derivado do petróleo possui na sua composição química. Anitelli (2013) cita que uma vez desenvolvida a adesão entre os materiais, a ação da água pode, eventualmente, modificar a coesão do material gerado, ou seja, a adesão ocorre entre dois materiais distintos, a saber: o o agregado e o asfalto. Desse modo, a coesão se torna uma característica da mistura asfáltica.

A falta de adesividade causada pelo excesso da umidade pode provocar danos no pavimento quanto à rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga e à deformação permanente (BERNUCCI, *et al.* 2008). Fora isso, se a umidade interferir na adesão agregado-ligante, o revestimento asfáltico pode sofrer avarias, como, por exemplo, o deslocamento da película do asfalto e o seu desprendimento, impedindo o desenvolvimento das ligações adesivas entre o agregado e o ligante.

2.6 Patologias que podem ser causadas pela umidade do agregado do CA

A umidade pode implicar no aparecimento de algumas patologias, por meio do *stripping*, que nada mais é do que um deslocamento do ligante da superfície do agregado pela água e pelos esforços do tráfego, os quais causam tração na película do asfalto (FURLAN, 2006).

Uma das patologias geradas pela umidade do agregado em relação à adesão do ligante asfáltico é o afundamento, o qual, de acordo com a norma do DNIT 005/2003, refere-se a uma deformação permanente, caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de levantamento. Ele se apresenta sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação. Os afundamentos considerados para esse tipo de problema, referente a umidade, podem ser do tipo afundamento de consolidação da trilha de roda (ATC), ocorrida numa extensão maior que 6m, localizado ao longo da mesma.

Figura 1: Afundamento por consolidação da trilha de roda (ATC)



Fonte: DNIT (2003)

Outras patologias causadas pelo *stripping* são o desgaste e a desagregação. Ambas se caracterizam, segundo a norma DNIT 005/2003, pelo efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, marcado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais provenientes do tráfego.

Figura 2: Desgaste no pavimento



Fonte: Bernucci, et al (2008).

O *stripping* ainda pode ser o agente da patologia conhecida como panela, que é a cavidade que se forma no revestimento por diversos motivos, podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento e desagregar as camadas (DNIT, 2003).

Figura 3: Panela atingindo a base.



Fonte: Bernucci, et al (2008).

Por fim, a falta de adesividade entre o agregado e o ligante asfáltico provocaria, possivelmente, problemas como: o deslocamento e as perdas de agregados, os quais se enquadram nas patologias do tipo desgaste e desagregação. Tal ausência de adesão pode ser uma consequência do excesso de umidade no agregado (BERNUCCI, *et al.* 2008).

3. METODOLOGIA

3.1. Tipo de estudo e local da pesquisa

Este estudo se pautou em uma pesquisa experimental em laboratório, onde foram realizados experimentos controlados com misturas asfálticas e com diferentes teores de umidade do agregado graúdo em sua composição, a fim de comparar resultados e verificar a influência da umidade presente nos insumos na qualidade final do produto.

O procedimento de mistura dos insumos e de moldagem dos corpos-de-prova foi realizado no laboratório de estradas do Centro Universitário Assis Gurgacz, já os ensaios foram desenvolvidos no laboratório de pavimentação da empresa DIEFRA, ambos localizados na cidade de Cascavel/PR.

3.2. Caracterização da amostra

A análise se baseou em um traço de Concreto Asfáltico Usinado à Quente (C.A.U.Q) usado na região Oeste do Paraná na camada de rolamento de ligação com as seguintes

características:

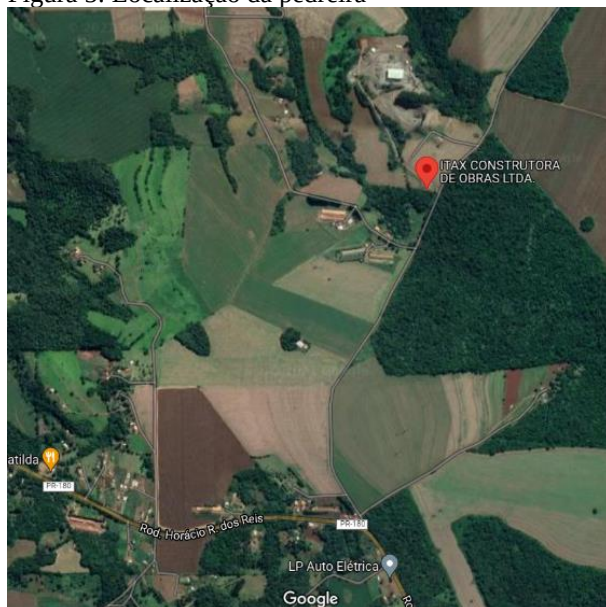
Figura 4: Propriedade dos materiais.

Descrição	Especificações	Unidades	Resultados	Limites	
				Mínimo	máximo
Teor de ligante asfáltico	-	%	4,67	4,37	4,97
Massa específica Rice	ASTM D 2041	g/cm³	2,695	*	*
Massa específica efetiva	AASHTO M-323	g/cm³	2,934	*	*
Massa específica aparente	DNIT 428/2020-ME	g/cm³	2,562	*	*
Volume de vazios	DNER-ME 043/95	%	5,00	4,00	6,00
Estabilidade	ASTM D 6927	Kgf	1519,0	500,0	*
Fluência	ASTM D 6927	mm	4,32	*	*
Vazios no agregado mineral	DNER-ME 043/95	%	16,0	14,0	*
Relação betume vazios	DNER-ME 043/95	%	69,70	65,0	78,0
Absorção de asfalto	AASHTO M-323	%	0,31	*	*
Asfalto efetivo	AASHTO M-323	%	4,4	*	*
Espessura de película	AASHTO M-323	vm	9,0	*	*
Relação de filler/betume	AASHTO M-323	%	1,2	0,6	1,2
Resistência à tração por compressão diametral (25°C)	NBR 15087	Mpa	1,55	0,7	1,2
Equivalente de areia	DNER-ME 054/98	%	65,0	55,0	*
Índice de lamelaridade - Brita 3/4"	EL 108/01	%	14,78	*	25,0
Índice de lamelaridade - Pedrisco 3/8"	EL 108/01	%	22,85	*	25,0
Capacidade de suporte marshall (CSM)	-	Kgf/cm²	14,24	*	*
Adesividade	NBR 12584	-	Satisfatório	*	*

Fonte: Projeto de Dosagem CBB Asfaltos (2021).

Portanto, para a confecção das misturas asfálticas foram empregados a brita 5/8", o pedrisco 3/8", o pó de pedra 3/16", a cal (CH-01) e CAP 60/85, todos concedidos pela Pedreira do Grupo Itax, localizada na PR-180, Km 348 do distrito de Rio do Salto, pertencente ao Município de Cascavel/PR, local de origem dos insumos utilizados no traço original, como mostra Figura 2.

Figura 5: Localização da pedreira



Fonte: Google Maps (2021).

A Figura 3 ilustra os insumos concedidos pela empresa, todos identificados conforme suas características.

Figura 6: Agregados disponibilizados pela usina de asfalto



Fonte: Autores (2021).

3.3. Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

Com o traço estabelecido e almejando um corpo de prova de 1200g conforme a norma

estabelece, realizaram-se os cálculos para a determinação da quantidade de material para a sua produção. No Quadro 1 estão os valores encontrados para cada material especificado no projeto de dosagem.

Quadro 1: Fração dos componentes para cada mistura asfáltica

Material	Teor especificado no traço (%)	Peso (g)
Brita 5/8"	25,75	308,87
Pedrisco 3/8"	28,59	343,19
Pó de pedra 3/16"	40,04	480,46
Cal hidratada	0,95	11,44
Ligante asfáltico	4,67	56,04
Total	100	1200

Fonte: Autora (2021).

3.3.1. Determinação da quantidade de corpos-de-prova (CP's)

Para a determinação da quantidade de corpos-de-prova confeccionados, levaram-se em consideração dois aspectos:

- DNER/ME 043/95 – especifica que cada ensaio Marshall deve ser composto por no mínimo três corpos-de-prova para cada resultado individual;
- DNIT 031/2006 – ES - apresenta um plano de amostragem do controle tecnológico com o mínimo (que é de 5) de amostras para cada ensaio, para que possa ser realizado o cálculo de valores estatísticos.

Tendo em vista que o Ensaio Marshall e Tração por compressão diametral a 25°C foram realizados primeiramente com agregados secos e, posteriormente, com agregados úmidos, determinou-se a quantidade de moldagens necessárias conforme as normas especificam, que estão relatadas no Quadro 2.

Quadro 2: Quantidade de CP's a serem confeccionados

Ensaio	Quantidade de CP's para agregado saturado	Quantidade de CP's para agregado totalmente seco
Ensaio Marshall	15	15
Tração por Compressão diametral a 25°C	5	5

Fonte: Autora (2021).

3.3.2. Moldagem dos corpos-de-prova

Com a determinação da quantidade de material e de corpos-de-prova necessários, foi feita a sua moldagem tendo em vista a necessidade de cada caso, sendo eles secos ou saturados.

3.3.2.2 Moldagem com agregado seco

Para moldar os corpos-de-prova com o agregado seco, pesou-se cada um com precisão, usando uma balança conforme ilustra a Figura 4.

Figura 7: Pesagem do pedrisco 5/8"



Fonte: Autora (2021).

Após a pesagem, os agregados foram colocados em uma bandeja para, em seguida, serem transportados a uma estufa em temperatura constante de 174°C. Depois, em uma panela de fundo redondo já pré-aquecida pôs-se o agregado, adicionou-se o ligante a uma temperatura também constante de 164°C, conforme demonstra a Figura 5. Destaca-se que o ligante não pode ultrapassar a temperatura de 170°C, pois, a partir disso, ele começa a perder as suas propriedades.

Figura 8: Pesagem do ligante asfáltico



Fonte: Autora (2021).

Logo após esses passos, o processo continuou com a mistura dos agregados ao ligante. Quando essa massa atingiu a temperatura de 164°C, foi posta no molde pré-aquecido. Para a moldagem, fez-se uso de papel filtro a fim de evitar que o material da massa asfáltica se prendesse na base do aparelho de compactação. Seguidamente, o molde foi disposto no aparelho de compactação da prensa Marshall para sofrer setenta e cinco (75) golpes do soquete de um lado e, após virado, mais 75 golpes do outro.

Com a finalização dessa etapa do processo, deixou-se a amostra esfriar por, no mínimo, doze horas. A seguir, realizou-se o processo de extração dos corpos-de-prova com o auxílio de um equipamento tipo macaco hidráulico, conforme pode ser verificado na Figura 6.

Figura 9: Extração do corpo de prova



Fonte: Autores (2021).

3.3.2.2 Moldagem com agregado saturado

Para moldar os corpos-de-prova com os agregados saturados, o primeiro passo foi deixar os agregados graúdos, compostos pela brita 1 e pelo pedrisco, imersos na água em temperatura ambiente durante 24 horas. Após esse período, o agregado foi pesado ainda totalmente úmido, verificando, com isso, que suas medidas não se alteraram, mantendo, portanto, as do corpo-de-prova seco. Depois da pesagem, os agregados, tanto miúdos quanto os graúdos, ficaram na estufa até atingirem a temperatura de 174°C, passando, em seguida, por nova pesagem a fim de verificar a quantidade de água perdida nesse processo. Então, adicionou-se o ligante asfáltico para concluir a mistura. O restante do processo de moldagem dos corpos-de-prova se reitera como a moldagem dos corpos-de-prova com os agregados secos.

3.4. Instrumentos e procedimentos para a coleta de dados

3.4.1. Ensaio para determinação da estabilidade e da fluência de misturas betuminosas à quente – Marshall

O primeiro ensaio realizado foi para a determinação da estabilidade e da fluência de misturas betuminosas à quente – Marshall, estabelecida pela norma DNER – ME 043/95 retratando qual é a estabilidade Marshall apresentada pelo corpo de prova, expressa em Kgf. Vale ressaltar que esse tipo de estabilidade se refere à resistência máxima à compressão radial.

O ensaio especificou, ainda, a fluência Marshall, a qual diz respeito à deformação total apresentada pelo corpo-de-prova desde a aplicação da carga inicial nula até a aplicação da carga máxima, expressa em décimos de milímetro ou centésimos de polegada.

Sua execução se deu como a norma determina, sendo medida a altura do corpo-de-prova em quatro posições diametralmente opostas com o auxílio de um paquímetro, obtendo, com isso, uma média aritmética. Ademais, conseguiu-se, também, a medida do diâmetro dos corpos-de-prova para posteriores cálculos. Após, os corpos-de-prova foram imersos em banho-maria à temperatura de 60°C durante um período de trinta minutos para, em seguida, ser posto no molde de compressão pré-aquecido. O molde foi posicionado segundo a geratriz, já o medidor de fluência foi colocado e ajustado na posição do ensaio.

A prensa inicia o processo de ruptura e, por se tratar de um equipamento automático, os valores impressos aparecem convertidos na unidade de medida apropriada. Para cada valor da carga expresso pelo equipamento, aplicou-se um fator de correção (Equação 1) conforme a altura do corpo-de-prova. Quanto aos valores de fluência, não houve a necessidade de aplicar algum fator de correção.

$$f = F \times h^{-1,64}$$

Em que:

f - Fator de correção;

F – Carga de ruptura, em N;

h – Altura do corpo de prova (espessura), em mm.

Figura 10: Prensa Marshall



Fonte: Autores (2021).

3.4.2. Ensaio da determinação da resistência à tração por compressão diametral a 25°C

Procedeu-se, por fim, ao ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral a 25°C, o qual é estabelecido pela norma do DNIT 136/2018, atestando a resistência à tração indireta de corpo-de-prova cilíndrico de mistura asfáltica, por meio do ensaio de

compressão diametral com carregamento estático crescente até a ruptura (monotônico).

A execução dessa etapa se deu em consonância ao preconizado pela norma, sendo medida a altura do corpo-de-prova em quatro posições diametralmente opostas com o auxílio de um paquímetro, obtendo-se a média aritmética dessas medidas. Do mesmo modo, teve-se a medida do diâmetro dos corpos-de-prova em quatro posições diametralmente opostas, cujas médias aritméticas serviram para posteriores cálculos. Após isso, os corpos-de-prova foram imersos em banho-maria à uma temperatura de 25°C durante um período de quatro horas. Seguidamente, colocou-se o corpo-de-prova posicionado no dispositivo centralizador com a superfície cilíndrica entre os dois frisos metálicos, curvos em uma das faces, com curvatura igual ao do corpo-de-prova. Ajustaram-se os pratos da prensa e, enfim, foi aplicada progressivamente a carga vertical de compressão até que ocorresse a ruptura completa. O valor obtido da ruptura foi impresso pela prensa em Kgf, em seguida foi calculada a resistência à tração indireta do corpo-de-prova rompido por compressão diametral, utilizando a Equação 2.

$$\sigma_R = \frac{2F}{\pi \cdot D \cdot H}$$

Em que:

σ_R – resistência à tração, à temperatura do ensaio, em MPa;

F – Carga de ruptura, em N;

D – Diâmetro de corpo de prova, em mm;

H – Altura do corpo de prova (espessura), em mm.

Figura 11: Ensaio por compressão diametral



Fonte: Autores (2021).

3.5. Análise dos dados

O trabalho contou com dois ensaios, os quais foram previamente analisados, e com a moldagem dos corpos-de-prova. O método de análise adotado foi o uso de tabelas por meio do Excel, nas quais se referenciou cada resultado obtido.

Na moldagem dos corpos-de-prova com os agregados saturados, foram anotados os valores de perda de umidade entre os processos de moldagem, como também os seus valores em porcentagem. Do mesmo modo, no primeiro ensaio foi registrada a espessura do corpo-de-prova, o diâmetro, a carga do rompimento, o fator de correção da estabilidade e a fluência da massa. No segundo ensaio, tabelaram-se os valores de resistência à tração pela temperatura, à carga de ruptura, do diâmetro do corpo-de-prova e a sua altura.

Após a obtenção dos resultados, analisou-se se o teor de umidade realmente interfere na adesividade do agregado ao ligante asfáltico e se ele compromete o pavimento em que a massa seria aplicada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Constatou-se durante a moldagem dos corpos-de-prova com agregados saturados uma dificuldade do ligante asfáltico se incorporar aos agregados graúdos devido à presença de umidade. Foi perceptível, também, a falta de ligante nos agregados quando os corpos-de-prova foram desmoldados após as doze horas do processo de resfriamento da massa. Esse resultado pode ser explicado tendo em vista o fato de que o agregado possui umidade dentro dos seus poros, sendo que, mesmo ao ser aquecido em estufa, há a possibilidade da retenção de água nos poros. Com isso, tem-se a ausência de adesividade porque uma das propriedades químicas do ligante é justamente repelir a água, o que justifica alguns agregados não terem aderido no processo de moldagem.

Figura 12: Corpo de prova com agregado saturado apresentando falta de adesividade



Fonte: Autores (2021).

Com o ensaio realizado pelo método de Marshall, foi possível analisar resultados de resistência à compressão e de fluência, conforme as tabelas e gráficos 1 e 2 demonstram. Baseado nisso, compreendeu-se que a umidade no agregado não altera os valores de compressão radial exercida porém a falta de coesão ocasionada pela falta de ligante alterou os valores de estabilidade, a distinção dos valores observados foram mínimos, porém os resultados ainda estão dentro do que a norma estabelece porque a estabilidade, essa apenas sofre alterações, que devem ser levadas em consideração, quando a granulometria dos agregados está fora do que estabelecido, causando o imbricamento entre os grãos, bem como quando o ligante asfáltico está em excesso, acarretando uma lubrificação demasiada e atrito interno reduzido.

Já os resultados obtidos pela fluência e alcançados a partir da aplicação desse mesmo método, também ficaram dentro dos valores estabelecidos pela norma e houve uma distinção mínima entre as diferenças de umidade dos agregados. Tendo em vista esses dados, averiguou-

se que a umidade não interferiu em nenhum dos resultados dispostos pelo método Marshall.

Tabela 1: Tabela com resultados de Marshall - Agregado seco

Corpos de prova com agregado seco												
	Espessura					Diâmetro	Leitura na prensa	Valor da Constante na prensa (informação vem do laboratório)	Compressão (Kgf)	Fator de correção em função da espessura	Estabilidade corrigida (N)	Fluência
	Leitura 1	Leitura 2	Leitura 3	Leitura 4	Média							
CP 1	6,1	6,1	6,1	6,5	6,20	10,2	1198	1	1198	1,07	1277	427
CP 2	6,2	6,1	6,1	6,1	6,13	10,2	961	1	961	1,09	1045	326
CP 3	6,2	6,3	6,2	6,2	6,23	10,2	1037	1	1037	1,06	1098	393
CP 4	6,5	6,4	6,5	6,3	6,43	10,2	777	1	777	1,01	781	475
CP 5	6,6	6,6	6,6	6,5	6,58	10,2	739	1	739	0,97	715	425
CP 6	6,0	6,0	6,0	5,9	5,98	10,2	984	1	984	1,13	1114	431
CP 7	6,2	6,2	6,2	6,2	6,20	10,2	1000	1	1000	1,07	1066	512
CP 8	6,4	6,4	6,3	6,3	6,35	10,2	1033	1	1033	1,02	1059	476
CP 9	6,1	6,2	6,1	6,1	6,13	10,2	977	1	977	1,09	1062	345
CP 10	6,1	6,1	6,1	6,1	6,10	10,2	795	1	795	1,09	870	429
CP 11	6,1	6,1	6,1	6,0	6,08	10,2	1032	1	1032	1,10	1137	429
CP 12	6,4	6,4	6,4	6,4	6,40	10,2	829	1	829	1,01	839	362
CP 13	6,3	6,3	6,3	6,3	6,30	10,2	739	1	739	1,04	767	387
CP 14	6,4	6,3	6,3	6,3	6,33	10,2	889	1	889	1,03	917	407
CP 15	6,3	6,3	6,3	6,2	6,28	10,2	934	1	934	1,04	976	409

Estabilidade	
Média:	982
Desvio padrão:	160,3915439
k:	1,1
Média estatística:	805,11

Fluência	
Média:	416
Desvio padrão:	49,72477
k:	1,1
Média estatística:	360,84

Fonte: Autores (2021).

Tabela 2: Tabela com resultados de Marshall - Agregado saturado

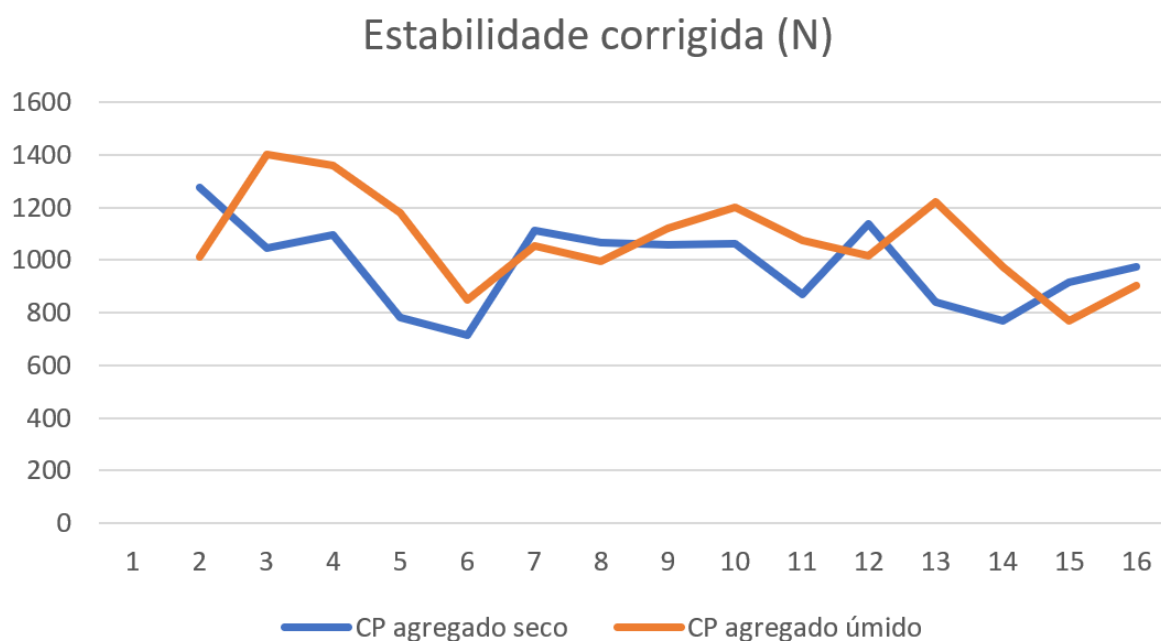
Corpos de prova com agregado saturado												
	Espessura					Diâmetro	Leitura na prensa	Valor da Constante na prensa (informação vem do laboratório)	Compressão (Kgf)	Fator de correção em função da espessura	Estabilidade corrigida (N)	Fluência
	Leitura 1	Leitura 2	Leitura 3	Leitura 4	Média							
CP 1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,10	10,2	923	1	923	1,09	1010	349
CP 2	6,1	6,0	6,1	6,0	6,05	10,2	1265	1	1265	1,11	1403	638
CP 3	5,9	5,9	5,9	5,9	5,90	10,2	1176	1	1176	1,16	1360	404
CP 4	5,9	5,9	5,9	5,9	5,90	10,2	1019	1	1019	1,16	1178	324
CP 5	6,1	6,1	6,1	6,1	6,10	10,2	774	1	774	1,09	847	322
CP 6	6,0	6,0	6,0	6,0	6,00	10,2	938	1	938	1,12	1055	310
CP 7	6,0	6,0	5,9	6,0	5,98	10,2	880	1	880	1,13	996	391
CP 8	6,0	6,0	6,0	6,0	6,00	10,2	996	1	996	1,12	1120	425
CP 9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,90	10,2	1038	1	1038	1,16	1200	344
CP 10	6,1	6,1	6,1	6,1	6,10	10,2	981	1	981	1,09	1074	430
CP 11	6,0	6,0	6,0	6,0	6,00	10,2	905	1	905	1,12	1018	513
CP 12	5,8	5,8	5,8	5,9	5,83	10,2	1035	1	1035	1,18	1222	470
CP 13	6,0	5,9	6,0	6,0	5,98	10,2	862	1	862	1,13	976	320
CP 14	6,1	6,1	6,1	6,1	6,10	10,2	701	1	701	1,09	767	297
CP 15	6,0	6,0	6,0	6,0	6,00	10,2	803	1	803	1,12	903	344

Estabilidade	
Média:	1075
Desvio padrão:	177,0094629
k:	1,1
Média estatística:	880,64

Fluência	
Média:	392
Desvio padrão:	92,90277
k:	1,1
Média estatística:	289,87

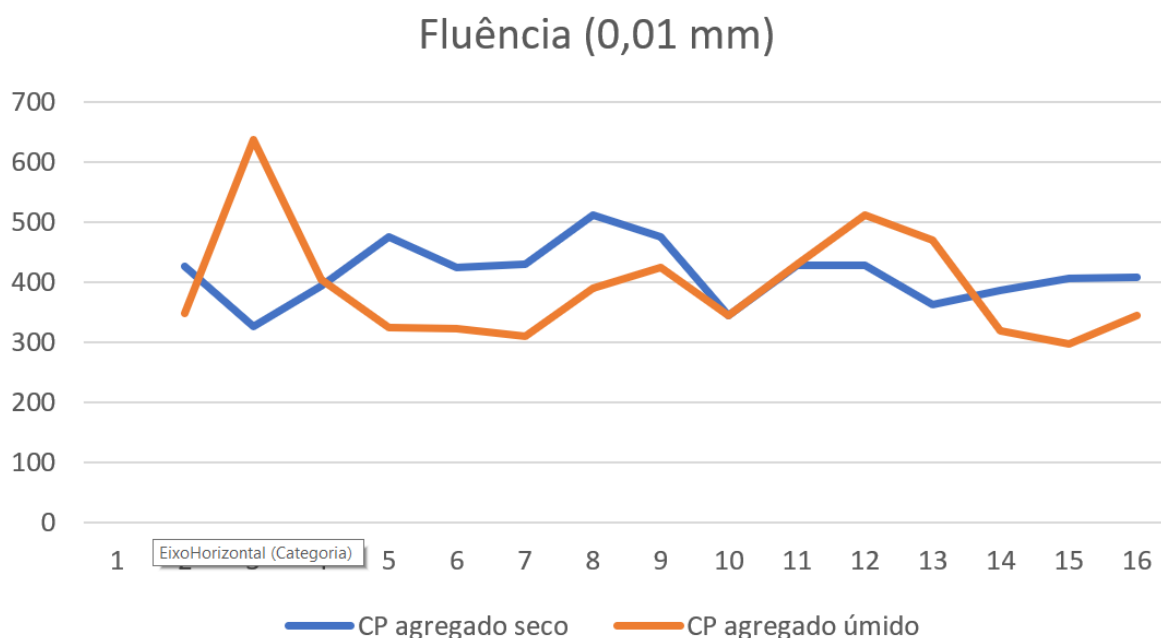
Fonte: Autores (2021).

Gráfico 1: Estabilidade corrigida



Fonte: Autores (2021).

Gráfico 2: Fluência (0,01 mm)



Fonte: Autores (2021).

A partir do ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral a uma temperatura de 25°C, obtiveram-se as verificações de resistência à tração apresentados nas Tabelas 3 e 4. Tais resultados permitiram a compreensão de que a umidade pode interferir na

resistência do concreto asfáltico, visto que os valores obtidos pelos corpos-de-prova moldados com os agregados saturados manifestaram valores inferiores aos corpos-de-prova com os agregados secos. O percentual que representa a diferença entre as resistências é mínimo, porém mesmo assim tem que ser levado em conta porque essa umidade excessiva pode acarretar possíveis patologias, as quais são caracterizadas, em sua maioria, por *stripping*. Nesse caso, poderia ocasionar tração na película do asfalto, além de gerar problemas como o deslocamento e as perdas de agregados.

Tabela 3: Resultados de Tração Diametral - Agregado seco

Corpos-de-prova com agregado seco								
	Espessura (mm)				Média	Diâmetro	Tração (N)	σ_R (MPa)
CP 1	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	102,0	11209,00	1,13
CP 2	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	102,0	10934,41	1,10
CP 3	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	102,0	10346,02	1,04
CP 4	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	102,0	12768,26	1,29
CP 5	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	102,0	11081,51	1,13

Média =	1,14
Desvio Padrão =	0,09
k =	1,55
	1,00

Fonte: Autores (2021).

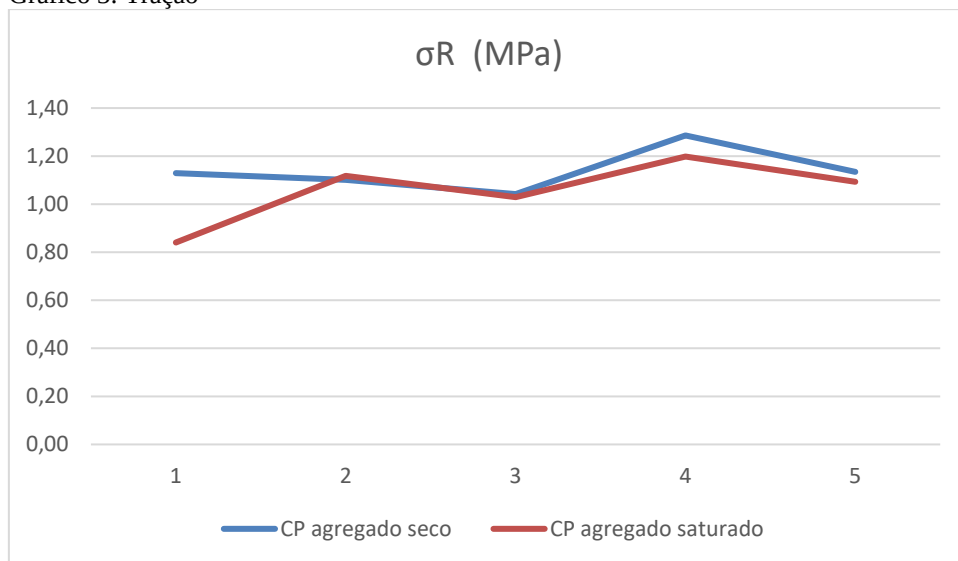
Tabela 4: Resultados de Tração Diametral - Agregado saturado

CP 2	59,0	59,0	59,0	59,0	59,00	102,0	10561,76	1,12
CP 3	59,0	60,0	59,0	59,0	59,25	102,0	9767,42	1,03
CP 4	60,0	60,0	60,0	60,0	60,00	102,0	11513,01	1,20
CP 5	61,0	62,0	62,0	62,0	61,8	102,0	10807,3	1,09

Média =	1,06
Desvio Padrão =	0,13
k =	1,55
	0,85

Fonte: Autores (2021).

Gráfico 3: Tração



Fonte: Autores (2021).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visando à obtenção de dados para a análise da interferência da umidade do agregado graúdo nas características do concreto asfáltico, foram realizados os processos para moldar os corpos-de-prova, sendo eles: os corpos-de-prova com os agregados graúdos secos e com os saturados. Em seguida, os ensaios de estabilidade e fluência com base na aparelhagem de Marshall foram desenvolvidos e, também, verificou-se a resistência suportada por esses CP's por meio do ensaio de resistência à tração por compressão diametral a uma temperatura de 25°C. Após todos os processos, foram verificados e comparados os resultados obtidos.

Com isso, pôde-se concluir que realmente há uma interferência da umidade dos agregados graúdos nas características do concreto asfáltico, posto que houve deficiência entre a adesividade do agregado-ligante, a qual foi observada no processo de moldagem dos CP's. Assim, mesmo os agregados sendo submetidos à alta temperatura ainda havia umidade internamente nos agregados.

Em relação aos ensaios de estabilidade e de fluência aplicados com base na aparelhagem Marshall, concluiu-se que o ensaio não interferiu, pois a umidade presente não roçou sobre o atrito interno e sobre a coesão dos CP's. Ademais, o ensaio acerca da determinação da resistência da tração por compressão diametral a 25°C demonstrou uma pequena distinção entre os resultados, a qual, mesmo sendo mínima, comprova que há uma realmente uma interferência entre a umidade dos agregados.



É importante salientar que o presente trabalho buscou uma melhora nas características do concreto asfáltico para, dessa forma, reduzir posteriores manifestações patológicas, como por exemplo o *stripping*, que é o deslocamento do ligante da superfície do agregado causado pela água, trazendo um possível enriquecimento na execução dos revestimentos asfálticos.

REFERÊNCIAS

ANITELLI, A. **Estudo do dano por umidade de misturas densas com ligantes asfálticos convencionais e modificados com polímeros SBS** – 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9935: Agregados - Terminologia**, Rio de Janeiro, RJ (2011).

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M.; CERATTI, J. A.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS. Abeda (2008).

BRANCO, F.; PERREIRA P.; SANTOS L. P. **Pavimentos Rodoviários. Coimbra - PT** (2016).

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2019**. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. Acesso em: 09 abril 2021.

_____ **DNER–ME 043: Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall**, 1995.

_____ **DNER–ME 078: agregado graúdo – adesividade ao ligante betuminoso**, 1994.

_____ **DNER–ME 081: agregados – determinação da absorção e da densidade do agregado graúdo**, Rio de Janeiro, 1998.

_____ **DNIT 005 - Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia**, 2003.

_____ **DNIT 031 - Pavimentos flexíveis: concreto asfáltico**, 2006

_____ **DNIT 136 - Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio**, 2018

_____ **DNIT 180 - Determinação do dano por umidade induzida – Método de ensaio**, 2018

FURLAN, A. P. **Considerações acerca da adesão e da suscetibilidade à umidade de misturas asfálticas densas à luz de algumas propriedades mecânicas** – 2006.

WOODS, K.B. **Highway engineering handbook**. New York: McGraw Hill, 1960.



**KAROLINE DE PAULA SILVA
MARIA EDUARDA DE ARAÚJO**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE DO AGREGADO GRAÚDO NAS
CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO ASFÁLTICO**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professora Especialista em engenharia de infraestrutura de rodovias, engenheira civil Chirley Taina Kaul.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora Prof. Especialista, Chirley Taina Kaul
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil

Professora Mestre, em Engenharia Civil Debora Felten
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil

Professor Mestre, em Engenharia Civil Rodrigo T. Bressan
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Cascavel, 20 de novembro de 2021.