

## CARACTERIZAÇÃO AMOSTRAL DE CONCRETO ASFÁLTICO ESTOCÁVEL POR MEIO DE ENSAIOS LABORATORIAIS

**Douglas Andrez Tavares Rezende**

**João Paulo Souza Silva**

**Isabela Silva de Carvalho**

**Lilian Ribeiro de Rezende**

Universidade Federal de Goiás

Escola de Engenharia Civil e Ambiental

### RESUMO

Este estudo apresenta os resultados de caracterização física e mecânica para uma amostra de Concreto Asfáltico Estocável (CAE). Trata-se de uma mistura asfáltica com recente difusão no estado de Goiás, com características granulométricas e de ligante semelhantes à de um Concreto Asfáltico (CA), mas que recebe incremento de aditivo químico retardador de pega, possibilitando estocagem do material para posterior uso. Atualmente, é uma mistura asfáltica que vem sendo utilizada sem especificação técnica, oportunizando uma demanda pela análise de seu comportamento físico e mecânico. A amostra estudada foi aquecida a 60°C para viabilizar a produção dos corpos de prova utilizados nos ensaios mecânicos, sendo compactada conforme metodologia Superpave. Os resultados evidenciaram comportamento mecânico inferior ao de concretos asfálticos convencionais utilizados em Goiás, apesar de vários ensaios físicos atenderem aos parâmetros exigidos em norma, mostrando assim que o material não se comporta como um CA convencional diferentemente do que prometem os fabricantes.

### ABSTRACT

This study presents the results of physical and mechanical characterization for a sample of Asphaltic Concrete Stocked (ACS). It is an asphalt mixture with a recent diffusion in the State of Goiás, with granulometric and binder characteristics similar to that of an Asphalt Concrete (AC), but which receives an increase in the chemical additive retarder of the handle, making it possible to store the material for later use. Currently, it is an asphalt mixture that has been used without technical specification, providing a demand for the analysis of its physical and mechanical behavior. The sample studied was heated to 60°C to enable the production of the test specimens used in the mechanical tests, being compacted according to the Superpave methodology. The results showed a lower mechanical behavior compared to conventional asphalt concrete used in Goiás, although several physical tests meet the parameters required by standard, thus showing that the material does not behave like a conventional AC, unlike the manufacturers' promises.

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil tem como principal modo de circulação de pessoas e bens o transporte rodoviário, e de acordo com a Confederação Nacional dos Transportes, em pesquisa rodoviária realizada em 2018, esse modal é responsável por mais de 90% do transporte de passageiros e 60% do transporte de cargas. Dessa forma, é necessário preservar e ampliar a malha rodoviária nacional buscando o crescimento econômico e social do país (CNT, 2018). No entanto, a mesma pesquisa aponta que 57% dos 107.161 km de rodovias nacionais analisadas apresentam algum tipo de deficiência sendo classificadas como regular, ruim ou péssimas. Enquanto isso, no estado de Goiás, 70,7% dos 7.463 km analisados apresenta algum tipo de deficiência no estado geral. No que se refere apenas ao pavimento, no Brasil, 50,9% apresentam problemas e no estado de Goiás esse percentual chega a 83,9%.

Diante desse cenário, o meio técnico rodoviário tem se esforçado para buscar novas tecnologias e desenvolver soluções mais econômicas de construção e restauração dos pavimentos, muitos já bastante deteriorados. Entre elas está o Concreto Asfáltico Estocável (CAE), também conhecido como Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) Estocável ou “Asfalto ensacado” que por sua vez não possui normatização nacional, tampouco pelos órgãos rodoviários estaduais e municipais.

Nesse contexto, este trabalho busca conhecer a composição e o desempenho de um CAE intitulado “Amostra B”, produzido na região metropolitana de Goiânia por meio de ensaios laboratoriais específicos para misturas asfálticas e moldagem de corpos de prova por compactação giratória conforme metodologia *Superpave*. Os resultados obtidos foram comparados com os resultados apresentados por Oliveira (2017) que iniciou a caracterização da “Amostra A” de CAE, também com estudo realizado por Santana (2017) para amostra de CAE na região Nordeste, além de prescrições normativas e estudos sobre CA.

Assim, pretende-se que os resultados obtidos possam colaborar para o melhor entendimento de como e quais as condições que essa mistura asfáltica pode ser aplicada nos serviços de pavimentação. Espera-se ainda que seja possível propor soluções econômicas e tecnicamente viáveis de construção e restauração dos pavimentos asfálticos fornecendo referencial experimental para a elaboração de Especificação Técnica referente ao CAE no estado de Goiás.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O CAE é uma mistura asfáltica cuja proposta é apresentar características semelhantes com as de um CA, mas que possui um aditivo químico retardador de pega para que permaneça estocado por maior quantidade de tempo sem prévio endurecimento. Tudo isso permite, teoricamente, que o material permaneça armazenado a granel e que sua aplicação seja executada em temperatura ambiente. A Figura 1 apresenta o armazenamento a granel de CAE sem identificação em usina localizada na região metropolitana de Goiânia-GO.



**Figura 1:** Armazenamento a granel de CAE em pedreira localizada na região metropolitana de Goiânia-GO, em 30 de janeiro de 2018. Fonte: (Autor, 2018).

A nível internacional não foram localizados estudos de mistura asfáltica do tipo CAE. Como não existem muitos estudos nacionais sobre o CAE, o que se conhece geralmente é apresentado pelos fabricantes desse material. O primeiro aspecto esperado é que o CAE apresente comportamento semelhante a um CA. Se assim for, o CAE deve atender as especificações que o CA atende, conforme a norma ES 031 (DNIT, 2006).

Em estudo realizado por Santana (2017) foram caracterizadas três amostras de CAE armazenadas de forma ensacada. Segundo informações do próprio fabricante, o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) utilizado foi do tipo 50/70 e os agregados enquadrados na Faixa

“C”. No entanto, os resultados de análise granulométrica apresentaram porcentagens de material retidas em peneiras fora dos limites da Faixa C. Os resultados apresentados por Santana (2017) evidenciaram também diferenças entre os parâmetros obtidos para as duas amostras de lotes diferentes de um mesmo fabricante. Sendo que parâmetros como volume de vazios (Vv) e Relação Betume Vazios (RBV) não se enquadraram dentro dos limites estabelecidos pela ES 031 (DNIT, 2006). A resistência à tração por compressão diametral por meio da moldagem de corpos de prova pela metodologia *Superpave* resultou em valor médio de 0,074 MPa, inferior ao limite mínimo de 0,65 MPa. Enquanto para Módulo de Resiliência foi obtido valor médio de 66 MPa.

Oliveira (2017) realizou caracterização da amostra “A” de CAE deste mesmo projeto que embora seja produzida na mesma região apresenta fabricante distinto em relação à Amostra “B”, onde foram obtidos resultados para parâmetros volumétricos e de desempenho mecânico por meio de ensaios estabelecidos na ES 031 (DNIT, 2006), analisados por meio da metodologia de moldagem de corpos de prova Marshall. A autora observou que a mistura asfáltica endureceu durante o processo de estocagem e no que se refere aos ensaios físicos, verificou que a granulometria da amostra 3 do tipo “A” não se enquadrou nos limites estabelecidos pela Faixa C do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Também foi estudada por Oliveira (2017) a compactação com variação de temperaturas, onde foi possível observar que amostra “A” compactada a 60°C apresentou melhor desempenho mecânico em comparação com compactação à temperatura ambiente. Isso evidencia que a amostra analisada talvez possua deficiências na dosagem ou no tipo do aditivo retardador de pega utilizado. A autora também testou corpos de prova com cura de 7 dias a céu aberto que por sua vez, apresentaram melhores desempenhos mecânicos em comparação com amostras sem cura. Aqui, nota-se que esse comportamento pode estar relacionado com a capacidade do aditivo retardador de pega ainda agir após o processo de compactação.

### 2.1. Dosagem de misturas asfálticas

O princípio fundamental da dosagem de uma mistura asfáltica é determinar as proporções de agregado graúdo, agregado miúdo, ligante e aditivos constituintes. Cada material exerce determinada função no pavimento como um todo, como por exemplo o agregado que é responsável pela formação do esqueleto resistente às cargas aplicadas ou o ligante responsável pela coesão entre as partículas constituintes gerando aumento de resistência (BAPTISTA, 1981).

O método de dosagem Marshall para misturas asfálticas é o mais difundido no Brasil e no mundo, devido ao seu baixo custo com o emprego de equipamentos relativamente simples. No entanto, é obsoleto em relação às principais referências em qualidade de pavimentação mundial, por se tratar de um método de compactação por impacto, e ainda não é a melhor estimativa do comportamento de compactação em campo e o desempenho do pavimento ao longo de sua vida útil (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Oliveira (2017) realizou ensaios para a amostra “A” de CAE por meio da metodologia Marshall e embora a ES 031 (DNIT, 2006) apresente valores de referências para comparação dos resultados obtidos por meio de ensaio com base na metodologia Marshall, os resultados obtidos pela autora não foram satisfatórios, ficando como sugestão a análise futura por meio da metodologia *Superpave*.

A metodologia *Superpave* é caracterizada pela abordagem de aspectos referentes ao clima, envelhecimento e defeitos recorrentes em pavimentos asfálticos. Consiste em estimar um teor provável de projeto por meio de um volume de vazios fixado de acordo com a granulometria dos agregados (BERNUCCI *et al.*, 2008). Trata-se de uma análise mais complexa do comportamento conjunto dos materiais que compõem a mistura asfáltica, simulando de forma mais semelhante com as reais condições de campo, pois os corpos de prova são moldados em compactação de amassamento por meio de giros.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise da mistura, aqui chamada de amostra “B” foi preciso estudar o comportamento dos principais materiais separadamente por meio de ensaios de caracterização física dos agregados e posteriormente o comportamento da mistura asfáltica por meio de ensaios para caracterização mecânica. Outra informação importante é com relação ao aditivo químico retardador de pega e o ligante asfáltico presente na amostra do CAE. Nesse trabalho, não foram executados ensaios com esses materiais, pois se trata de etapas posteriores do projeto o qual essa pesquisa faz parte.

Os métodos para a realização dos ensaios foram definidos com base nas prescrições normativas vigentes no Brasil e nos Estados Unidos. É importante ressaltar que os ensaios de Equivalente de areia, Índice de forma, massa específica dos agregados também foram executadas na amostra “A”, pois Oliveira (2017) não conseguiu executar toda campanha experimental em função de algumas limitações durante sua pesquisa.

#### 3.1. Preparação da Amostra

A amostra “B” foi recebida no ano de 2017 em bombona plástica de 200 litros, oriunda de fabricante anônimo e encaminhada pela Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA) para o Laboratório de Asfalto (LabAsfalto) da Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA). A primeira etapa de preparação da amostra diz respeito à desagregação da mistura asfáltica. Na sequência, de acordo com a norma PRO 199 (DNER, 1996) realizou-se a homogeneização por meio do método A, com separador mecânico armazenando porções menores estocadas em sacos plásticos ou baldes de 15 ou 20 litros para posterior realização dos ensaios. A Figura 2 apresenta a amostra estocada e o misturador utilizado para homogeneização.



**Figura 2:** Preparação da amostra para realização de ensaios: Material estocado em bombona.  
Fonte: (Autor, 2019).

### 3.2. Caracterização da Amostra

Como o CAE é uma mistura asfáltica sem especificação de serviço foram utilizadas normas para CA, onde foi possível separar em três grandes grupos de tipos de caracterização: mistura asfáltica, física e mecânica. Salvo exceções em que não se teve material suficiente para a realização dos ensaios, a repetibilidade adotada foi igual a três, sendo apresentados os valores médios obtidos com a validação estatística realizada pelo Teste “t”, com finalidade de verificar se houve repetibilidade e confiabilidade nos resultados obtidos. A Tabela 1 apresenta a lista de ensaios realizados com a respectiva norma.

**Tabela 1:** Lista de ensaios por tipo e com a respectiva norma.

Caracterização	Ensaio	Norma
Mistura	<i>Rice Test</i>	D 2041 (ASTM, 2011)
Asfáltica	Potencial hidrogeniônico (pH)	NBR 6299 (ABNT, 2012)
Física	Extração do ligante pelo Método Rotarex	ME 053 (DNER, 1994a)
	Análise Granulométrica	ME 083 (DNER, 1998a)
	Densidade real do agregado Miúdo	ME 084 (DNER, 1995)
	Absorção do Agregado Graúdo	ME 081 (DNER, 1998b)
	Massa específica real e aparente do agregado graúdo	NM 053 (ABNT, 2003)
	Índice de forma dos agregados	ME 086 (DNER, 1994b)
	Equivalente de areia	ME 054 (DNER, 1997a)
	Abrusão “Los Angeles”	ME 035 (DNER, 1998c)
	Massa específica aparente e absorção do agregado miúdo	C 128 (ASTM, 2015)
		Massa específica real de filer
Mecânica	Módulo de Resiliência	ME 135 (DNIT, 2018a)
	Resistência à tração por compressão diametral	ME 136 (DNIT, 2018b)

Inicialmente foi executado ensaio para determinação do potencial hidrogeniônico (pH), que foi realizado a partir de uma adaptação do ensaio prescrito na NBR 6299 (ABNT, 2012) para misturas asfálticas. O intuito de realizar esse experimento consistiu na ideia de verificar se a amostra de CAE estava numa condição mais ácida ou básica, o que poderia trazer pistas acerca do comportamento do possível aditivo químico retardador de pega utilizado na amostra, que é algo desconhecido pela equipe de pesquisa. O procedimento experimental consistiu em separar 200g de CAE, imergir e misturar em água destilada por aproximadamente cinco minutos, transferir apenas a porção líquida para um béquer e aferir o pH. Logo após, a porção líquida foi transferida para o recipiente onde se encontra a mistura asfáltica, mantendo em imersão para nova aferição após 24 horas. Demais testes de caracterização física do material seguiu rigorosamente recomendações das normativas, conforme estabelecido na Tabela 1.

Com relação a caracterização mecânica dos materiais, essa foi executada no intuito de analisar fatores como meio ambiente, magnitude, tempo de aplicação e frequência das cargas dos veículos e estado de tensões as quais a mistura asfáltica estará submetida quando aplicada em campo (BERNUCCI *et al.*, 2008).

De acordo com relatos de Santana (2017), Oliveira (2017) e Carvalho *et al.* (2018), existe uma dificuldade real de moldar corpos de prova com o CAE sem prévio aquecimento, pois os mesmos em temperatura ambiente após compactação, desmanchavam no momento da desmoldagem. Então, como essa pesquisa faz parte de um grande projeto em parceria da Universidade Federal de Goiás (UFG) e GOINFRA, onde Oliveira (2017) e Carvalho *et al.* (2018) observaram que há necessidade de aquecimento prévio das amostras no mínimo a

60°C, optou-se por seguir essa diretriz.

Outro fato importante refere-se ao número de giros adotado para compactação das amostras. Para um CA é recomendado adotar 100 giros no compactador giratório de modo que se atinja o volume de vazios adequado da mistura, mas após inúmeros testes, percebeu-se que 100 giros não era suficiente para manter os corpos de prova estáveis e com índice de vazios próximo ao valor normatizado. Vários testes foram executados e por limitações e visando manter a integridade do compactador giratório utilizado para a moldagem dos corpos de prova, optou-se pela fixação do número de giros em no máximo 380. Entretanto, o resultado obtido para volume de vazios (Vv) ficou na faixa entre 8% e 9%, valor ainda aquém daquele previsto para um CA, mas mesmo assim foi dado prosseguimento ao trabalho.

Foram moldados 12 (doze) corpos de prova que precisaram ser cortados posteriormente resultando em diâmetros de aproximadamente 100 mm. Sendo separados em duas condições: seis com cura e seis sem cura. A cura foi realizada ao ar livre por 30 dias, sem aplicação de carregamento. Cada configuração produzida foi ensaiada para determinação da Resistência à tração (RT) e Módulo de Resiliência (MR).

#### 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O CAE apresenta semelhanças com um CA, ambas são misturas usinadas a quente, com ligante asfáltico do tipo CAP e com graduação densa, ou seja, com baixo Vv. O CA é caracterizado pela resistência estrutural comprovada cientificamente, algo que o CAE ainda carece de estudos.

##### 4.1. Potencial Hidrogeniônico (pH)

Embora pouco utilizado, o ensaio de pH torna-se importante para o material em questão para uma investigação prévia do comportamento químico da mistura asfáltica.. A Tabela 2 apresenta os resultados de pH obtidos para a amostra “B”.

**Tabela 2:** Determinação do pH para a amostra “B”.

Amostra	Massa (g)	Temperatura – dia 1 (°C)	pH - dia 1	Temperatura – dia 2 (°C)	pH - dia 2
B1	200,1	24,7	8,9	26,3	7,9
B2	200,2	25,4	9,0	25,2	8,0
B3	200,0	25,5	9,0	25,8	7,7

Observa-se que os valores de pH foram da ordem de 9,0 no primeiro dia de imersão em água destilada e reduziram para aproximadamente 8,0 no segundo dia. Já Oliveira (2017) obteve valores de pH na ordem de 8,4 para temperatura média de 22,8°C para o CAE da amostra “A” e não observou variação significativa de um dia para o outro. De qualquer forma, ambas amostras de CAE apresentaram caráter variando de básico a neutro.

##### 4.2. Extração do ligante pelo método Rotarex

Utilizando-se do método Rotarex, obteve-se o teor de ligante para a amostra “B”. Os estudos sobre os ligantes das amostras de CAE analisadas no projeto de pesquisa ainda estão em andamento, sendo mais comum na região o ligante do tipo CAP 50/70, inclusive o utilizado nos CAs apresentados por Barroso (2018) com 5,6% e Prudente (2015) com 5,3%.

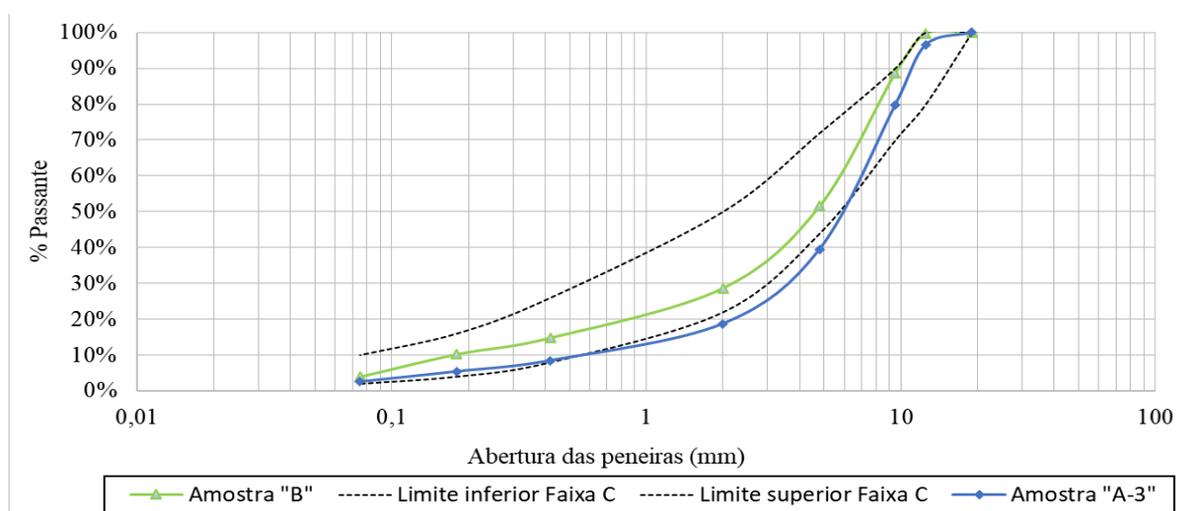
A norma ES 031 (DNIT, 2006) estabelece que o teor de ligante para a Faixa C de CA para camada de rolamento deve estar entre 4,0% e 9,0%. Enquanto a ES 153 (DNIT, 2010) para

PMF estabelece valores entre 4,0% e 6,0%. Foi encontrado um teor de ligante médio obtido para amostra “B” de 5,65% que atende as faixas de valores estabelecidas. Isso não foi observado para a amostra “A” obtido por Oliveira (2017), que encontrou uma média de 6,6%, mostrando que essa amostra não se enquadra nos limites estabelecidos para PMF, material bastante utilizado em operações de reparo emergencial, atividade em que os fabricantes indicam a utilização de CAE.

### 4.3. Análises dos agregados presentes no CAE

#### 4.3.1 Análise granulométrica

As amostras utilizadas para o ensaio de granulometria foram obtidas por meio da extração de ligante realizada pelo método Rotarex. A Figura 4 apresenta a curva granulométrica média representativa das três amostras analisadas para a amostra “B”. Os resultados evidenciam que a amostra do tipo “B” está enquadrada na Faixa C da ES 031 (DNIT, 2006) no que se refere à granulometria do agregado.



**Figura 4:** Gráfico da curva granulométrica média para amostra “B” em comparação com a amostra “A” estudada por Oliveira (2017).

#### 4.3.2. Parâmetros físicos dos agregados

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para os índices físicos da amostra “B” de CAE, em comparação com a amostra “A”, CA estudados na região e especificações normativas da ES 031 (DNIT, 2006).

**Tabela 3:** Parâmetros Físicos da Amostra “B”.

Parâmetros	CAE “B”		CAE “A”		CA (BARROSO, 2018)	CA (PRUDENTE, 2015)	ES 031 (DNIT, 2006)
	M	CV (%)	M	CV (%)	M	M	M
Equivalente de Areia (%)	87	1,15	79	2,7	79	69	> 55
Índice de Forma (-)	0,61	13,5	0,69	0,11	0,91	1,00	> 0,50
Abrasão “Los Angeles” (%)	33	-*	-	-	35	30	< 50

Legenda: M = Média aritmética e CV = Coeficiente de Variação. \* Foi realizada para apenas uma amostra, devido à quantidade de agregado disponível.

O ensaio de equivalente de areia (EA) determina a porção de material friável presente no agregado miúdo, sendo que sua presença em grandes quantidades poderá prejudicar a resistência mecânica da mistura asfáltica. O resultado obtido para as amostras “B” e “A” de CAE se apresentaram superior ao limite mínimo estabelecido para CA.

O resultado do índice de forma para a amostra “B” está mais próximo do limite inferior estabelecido quando comparado aos demais materiais mostrados na Tabela 3, o que evidencia que o agregado presente na amostra “B” está mais próximo de ser enquadrado como lamelar, o que segundo Bernucci *et al.*, (2008) pode trazer complicações na trabalhabilidade, resistência ao cisalhamento e energia de compactação das misturas asfálticas produzidas com tal agregado.

Com relação ao ensaio de abrasão “Los Angeles”, verificou-se que a amostra “B” do CAE, apresentaram resultados abaixo do máximo estabelecido pela ES 031 (DNIT, 2006), assim como as amostras de referência de um CA obtidas por Prudente (2015) e Barroso (2018). Isso mostra que o agregado do tipo micaxisto apesar de apresentar forma lamelar, tem resistência mecânica ao desgaste/impacto dentro dos padrões desejáveis para uma mistura asfáltica produzida a quente.

Outro aspecto fundamental avaliado foi a massa específica e densidade dos agregados estudados, apresentados na Tabela 4, onde estão dispostos resultados para os agregados graúdos, miúdos e também o filer. Apesar de não existir uma especificação do DNIT acerca dos parâmetros avaliados, todos os resultados do CAE foram comparados com aqueles obtidos por misturas também contendo o mesmo tipo de agregado e ligante disponíveis na região metropolitana de Goiânia. É possível notar que as amostras de CAE apresentam resultados muito próximos daqueles observados por Prudente (2015) e Barroso (2018), o que pode também proporcionar desempenho semelhante nas misturas asfálticas, mas que foram devidamente avaliadas em ensaios mecânicos.

**Tabela 4:** Massa específica e densidade de agregados de CAE.

Classificação Agregado	Parâmetros	CAE “B”		CAE “A”		CA (BARROSO, 2018)		CA (PRUDENTE, 2015)	
		M	CV (%)	M	CV (%)	M	M	M	M
Miúdo	D <sub>25</sub> (-)	2,786	0,23	2,794	0,18	-	-	2,787	-
	Meb (g/cm <sup>3</sup> )	2,770	0,08	2,702	0,93	2,689	-	-	-
	Absm (%)	0,99	-	2,61	-	0,62	-	-	-
Graúdo	Gsa (g/cm <sup>3</sup> )	2,767	0,33	2,776	0,36	2,777*	2,776**	-	-
	Gsb (g/cm <sup>3</sup> )	2,704	0,29	2,633	0,54	2,725*	2,614**	2,701*	2,665**
Filer	Absg (%)	0,84	8,14	1,54	12,04	0,68*	1,78*	0,54*	1,14**
	μ (g/cm <sup>3</sup> )	2,700	2,15	2,815	2,03	2,708	-	2,801	-

Legenda: D<sub>25</sub> = Densidade real do agregado Miúdo, Meb = Massa específica aparente do agregado miúdo, Absm = Absorção do agregado miúdo, Gsa = Massa específica real do agregado graúdo, Gsb = Massa específica aparente do agregado graúdo, Absg = Absorção do agregado miúdo, μ = Massa específica real de filer, M = Média aritmética e CV = Coeficiente de Variação. \* Brita 1. \*\* Brita 0.

Com relação a absorção dos agregados graúdos, para a amostra “B” do CAE foi possível notar valor médio de 0,84%, com resultados variando entre 0,76% e 0,89% e diferença máxima de 0,13%. Este valor está dentro do estipulado pela ME 195 (DNER, 1997b) que para amostras consecutivas indica que para absorção menor que 2% a diferença máxima deve ser de 0,25%.

Valores satisfatórios também foram encontrados por Prudente (2015) e Barroso (2018). O mesmo tipo de agregado foi testado para a amostra “A” de CAE, cuja média de absorção foi de 1,54%, com resultados variando entre 1,35% e 1,72% e diferença máxima de 0,37%, estando este último valor fora do sugerido pelo método de ensaio do DNIT.

#### 4.3.3. Parâmetros Volumétricos

A Tabela 5 apresenta os parâmetros volumétricos de corpos de prova da amostra “B” em comparação com a amostra “A” de CAE estudada por Oliveira (2017) e amostras de CA estudadas por Barroso (2018) e Prudente (2015). No que se refere ao Gmm, os valores obtidos nas diferentes pesquisas podem ser considerados semelhantes, pois a variação entre eles é menor que 1,0% e estão vinculados aos materiais utilizados tanto na confecção do CA e possivelmente do CAE: agregado do tipo micaxisto enquadrado na Faixa C do DNIT e CAP 50/70.

**Tabela 5:** Parâmetros Volumétricos.

Parâmetros	Grupo	CAE “B”		CAE “A”	CA	CA	ES 031
		Média	CV(%)	(OLIVEIRA , 2017)	(BARROSO , 2018)	(PRUDENTE, 2015)	(DNIT, 2006)
Estatística		Média	CV(%)	Média	Média	Média	Faixa C
Gmm (g/cm <sup>3</sup> )	-----	2,546	0,18	2,531	2,534	2,524	-
Gmb (g/cm <sup>3</sup> )	Sem Cura	2,337	0,52	1,900	2,432	2,461	-
	Com Cura	2,306	0,18	1,920	-	-	-
Vv (%)	Sem Cura	8,19	5,90	24,93	4,00	4,0	3,0 a
	Com Cura	9,44	1,69	24,14	-	-	5,0
VCB (%)	Sem Cura	12,95	0,42	12,16	12,0	12,5	-
	Com Cura	12,88	0,76	12,29	-	-	-
VAM (%)	Sem Cura	21,14	2,06	37,09	16,0	16,5	-
	Com Cura	22,32	1,09	36,43	-	-	-
RBV (%)	Sem Cura	61,28	2,42	32,79	75,3	76,7	75 – 82
	Com Cura	57,72	0,51	33,74	-	-	

Legenda: Gmm = Densidade Máxima Medida, Gmb = Massa específica aparente da mistura, Vv = Volume de vazios, VCB = Volume de vazios cheios com betume, VAM = Volume de vazios nos agregados minerais, RBV = Relação betume vazios e CV = Coeficiente de Variação.

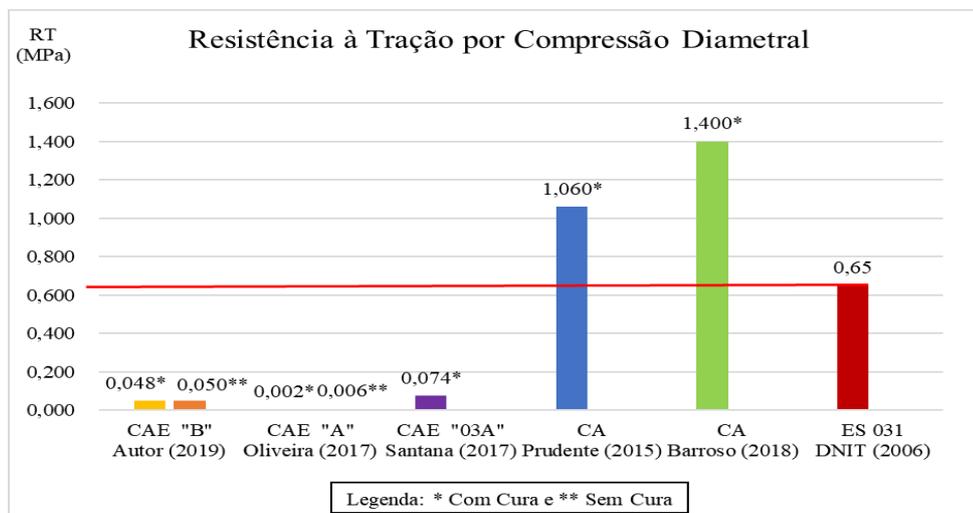
É possível ainda avaliar que os valores obtidos para a amostra “B” não se assemelham com os valores obtidos para a Amostra “A”. Tal fato se deve à diferença entre os tipos de moldagem dos corpos de prova, pois a mistura asfáltica estudado por Oliveira (2017) foi compactado por meio da metodologia Marshall enquanto a mistura asfáltica desta pesquisa pela metodologia Superpave.

Os valores obtidos de Vv e RBV em ambas as condições de cura para a amostra “B” não se enquadram nos valores estipulados para Faixa C da ES 031 (DNIT, 2006). Tal fato ocorre pela não diminuição do Vv para a amostra “B” a partir de 380 giros no momento da compactação dos corpos de prova. No entanto, é notada a semelhança no teor de ligante entre a amostra “B”, 5,65%, e o CA estudado por Barroso (2018), 5,6%.

#### 4.4. Ensaio Mecânicos

A Figura 5 apresenta os resultados do ensaio de Resistência à Tração por Compressão diametral. São apresentados os resultados para a amostra “B” em comparação com as amostras de CAE estudadas por Oliveira (2017) e Santana (2017), e amostras de CA

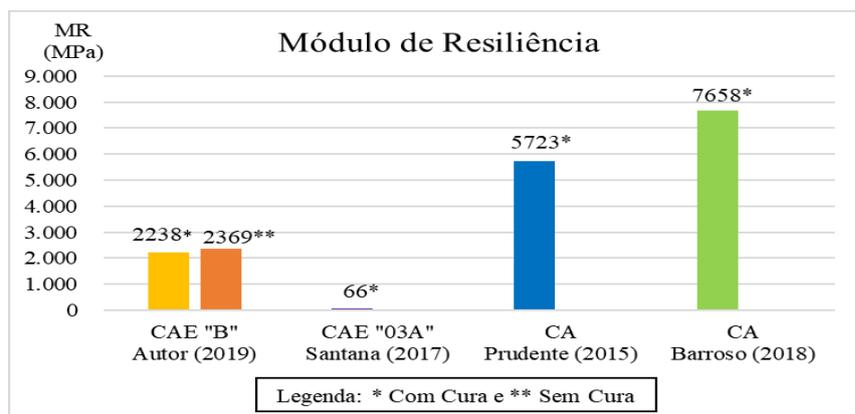
estudadas por Barroso (2018) e Prudente (2015).



**Figura 5:** Resultados do ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral.

No ensaio de RT, os corpos de prova para a amostra “B” apresentaram CV superior a 5,50%. Sendo possível analisar que os valores obtidos para essa amostra de CAE não se enquadraram no valor mínimo de 0,65 MPa estipulado pela ES 031 (DNIT, 2006), independentemente da condição de cura. Assim como observado para a amostra “A” por Oliveira (2017), com moldagem Marshall, e o CAE “03A” analisado por Santana (2017), com moldagem *Superpave*.

Já no ensaio de MR, apresentado na Figura 6, Bernucci *et al.* (2008) indica que os valores de Módulo de Resiliência podem variar entre 2000 e 8000 MPa, sendo os valores obtidos para a amostra “B” de CAE nas condições com e sem cura dentro desse valor admissível, embora apresente coeficiente de variação na ordem de 20%. Este é um parâmetro que permite analisar as deformações elásticas em um revestimento ao longo de sua vida útil possibilitando avaliação do desempenho em serviço de uma mistura asfáltica.



**Figura 6:** Gráfico dos resultados do ensaio de Módulo de Resiliência.

## 5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados foi baseada nas especificações para CA, conforme a norma ES 031 (DNIT, 2006), pois o CAE ainda não apresenta norma específica, mas vem sendo produzido e

distribuído como um CA.

Os resultados obtidos a partir da experimentação laboratorial da amostra “B” de CAE indicam que os agregados utilizados na composição da mistura asfáltica se assemelham aos agregados tipo micaxisto apresentados pelas pesquisas para CA de Barroso (2018) e Prudente (2015). A caracterização física da mistura asfáltica e dos agregados apresentaram desempenho semelhante ao de misturas asfálticas de CA, atendendo parâmetros da ES 031 (DNIT, 2006). No entanto, os parâmetros volumétricos e o ensaio mecânico de resistência à tração não apresentaram valores dentro do estipulado pela ES 031 (DNIT, 2006).

Com relação à avaliação da granulometria do material, foi observado que a amostra “B” se enquadrou na Faixa C da ES 031 (DNIT, 2006), diferentemente da amostra “A” que não se encaixou completamente. Os demais parâmetros físicos dos agregados presentes na amostra “B” mostraram-se dentro dos padrões estabelecidos pelas normativas de um CA.

Quando comparada amostra “A” com amostra “B”, notou-se que o Gmm obtido para a amostra “B” apresenta pouca variação em relação a amostra “A” de CAE e em relação as amostras de CA analisadas. Mas a amostra “B” mostrou-se menos endurecida em estado natural, com melhor trabalhabilidade da mistura asfáltica e possivelmente melhor efeito do aditivo químico retardador de pega, que ainda é um elemento desconhecido e não foi foco de análise desse trabalho.

Os parâmetros volumétricos da amostra “B” não se assemelham com os valores obtidos para a amostra “A”, devido ao fato dos corpos de prova para a amostra “A” terem sido moldados pela metodologia Marshall, enquanto para a amostra “B” foi utilizada a metodologia *Superpave*. Tampouco com os valores preconizados pela especificação normativa para CA, e consequentemente os resultados obtidos por Prudente (2015) e Barroso (2018).

Quanto aos ensaios mecânicos, a razão MR/RT é uma estimativa da vida de fadiga de misturas asfálticas. Para a amostra “B” de CAE apresentou valores bastante elevados, pois Bernucci *et al.* (2008) indica valores máximos na ordem de 5.000 para pavimentos reais, enquanto os valores obtidos são aproximadamente 10 vezes maiores. Por este resultado é possível indicar que o CAE pode ser uma mistura asfáltica com alta rigidez que pode gerar trincamento prematuro, baixa resistência à tração, consequentemente menor resistência à ruptura e menor resistência à fadiga. O projeto de pesquisa está desenvolvendo estudos sobre o tipo do agregado, caracterização do ligante e ensaios mecânicos como deformação permanente, módulo dinâmico e vida de fadiga.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA) pelo apoio à pesquisa.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ABNT (2012) *NBR 6299 – Emulsões asfálticas – Determinação do pH*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2003) *NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ASTM (2015) *C 128 – Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. American Society for Testing and Materials, EUA.
- ASTM (2011) *D 2041 – Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of*

- Bituminous Paving Mixtures*. American Society for Testing and Materials, Rio de Janeiro.
- BARROSO, L. X. (2018) *Avaliação da dosagem e comportamento mecânico de concretos asfálticos produzidos em Goiás*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia.
- BAPTISTA, C. F. N. (1981) *Pavimentação: Tema III – Revestimentos, Pavimentos Rígidos e Conservação de Pavimentos*. 3. ed. Globo, Rio de Janeiro.
- BERNUCCI, L. *et al.* (2008) *Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros*. Petrobrás, ABEDA, Rio de Janeiro.
- CARVALHO, I. S. *et al.* (2018) *Estudo Preliminar de uma Mistura Asfáltica do Tipo Concreto Asfáltico Estocável*. ABMS, COBRAMSEG, Salvador.
- CNT (2018) *Pesquisa CNT de rodovias 2018 – relatório gerencial*. Confederação Nacional de Transportes. SEST SENAT, Brasília.
- DNER (1996) *PRO 199 – Redução de amostra de campo de agregados para ensaio em laboratório*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1998c) *ME 035 – Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1994a) *ME 053 – Misturas betuminosas – Percentagem de betume*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1997a) *ME 054 – Equivalente de areia*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1998b) *ME 081 – Agregados - Determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1998a) *ME 083 – Agregados – Análise Granulométrica*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1995) *ME 084 – Agregado miúdo – determinação da densidade real*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1994c) *ME 085 – Material finamente pulverizado – determinação da massa específica real*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1994b) *ME 086 – Agregados – determinação do índice de forma*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1997b) *ME 195 – Agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNIT (2006) *ES 031 – Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2010) *ES 153 – Pavimentos flexíveis – Pré-misturado a frio com emulsão catiônica convencional – Especificação de serviço*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNIT (2018a) *ME 135 – Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNIT (2018b) *ME 136 – Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, A. G. B. (2017) *Estudos preliminares de mistura asfáltica do tipo CBUQ estocável para uso em pavimentação no estado de Goiás*. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia.
- PRUDENTE, C. Q. A. (2015) *Estudo Laboratorial de Misturas Asfálticas a Quente Utilizadas em Goiás*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia.
- SANTANA, A. C. S. T.; LOURENÇO, V. M. Q. (2017) Análise das propriedades físicas e mecânicas de mistura asfáltica usinada à quente ensacada para aplicação à frio. *Anais do XXXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte*, ANPET, Recife – PE, v. 1, p. 1438-1449.

---

Douglas Andrez Tavares Rezende (douglasandrez@discente.ufg.br)

João Paulo Souza Silva (jpss@ufg.br)

Isabela Silva de Carvalho (isabela.carvalho@discente.ufg.br)

Lilian Ribeiro de Rezende (lrezende@ufg.br)

Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás

Avenida Universitária, Quadra 86, Lote Área 1488 - Setor Leste Universitário, Goiânia - GO, 74605-220, Brasil