

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE MISTURAS ASFÁLTICAS QUANDO PREPARADAS COM DIFERENTES TIPOS DE LIGANTES

Júlio César Venturini De Mattia (1), Luiz Renato Steiner (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) *julio250491@hotmail.com* (2) *luizsteiner@yahoo.com.br*

RESUMO

O presente estudo procura fazer um comparativo entre três diferentes tipos de ligantes asfálticos (ligante convencional, asfalto modificado por polímero RET e asfalto modificado por borracha), quando moldados com o mesmo teor e para o mesmo agregado mineral. O objetivo é avaliar a influência que os três tipos de ligante podem apresentar nas propriedades físicas e mecânicas em uma mistura asfáltica tipo densa. As características das misturas estudadas foram analisadas por meio de ensaios de adesividade ao ligante asfáltico, estabilidade, fluência, desgaste e resistência a tração por compressão diametral, conforme metodologia Marshall.

O teor ótimo de projeto foi definido com 4,4%, atendendo as características importantes para todos os ligantes utilizados na pesquisa.

Nota-se por meio dos resultados que o asfalto convencional possui melhores resultados para resistência a tração e estabilidade, enquanto que os materiais modificados obtiveram melhores desempenhos contra o desgaste. Já para o volume de vazios, relação betume e vazios e fluência, independentemente do tipo do ligante, os resultados se mantiveram similares. Percebe-se uma grande vantagem na adição principalmente de polímero, melhorando muito as características do pavimento, redução na susceptibilidade térmica, diminuição nas deformações permanentes e melhor capacidade para resistir aos desgastes, o que na prática são muito importantes, proporcionando um pavimento mais durável e confortável para o usuário.

Palavras-Chave: Ligante asfáltico, asfalto, teor de ligante.

1. INTRODUÇÃO

Um pavimento pode ser definido como uma estrutura de várias camadas construídas sobre terraplanagem, com o intuito de resistir de forma eficiente e econômica aos esforços provenientes do trânsito, aprimorar as condições de rolamento e proporcionar conforto ao usuário, podendo ser classificado como rígido, semirrígido e flexível. Importante ressaltar que os pavimentos flexíveis são mais comuns de serem aplicados principalmente pelo seu menor custo de execução e conforto,

BERNUCCI (2008). Ainda segundo o autor, neste tipo de pavimento, o revestimento é composto por uma mistura de agregados minerais juntamente com a adição de ligantes asfálticos, que tem a função de garantir a estrutura, requisitos fundamentais como impermeabilidade, flexibilidade e resistência a fadiga, derrapagem e trincas, de acordo com a situação climática que predomina na região.

O transporte rodoviário em nosso país cresceu de maneira expressiva com o passar dos tempos, fazendo-se cada vez mais necessária a pavimentação de nossas estradas. Segundo dados estatísticos da Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2016), as rodovias pavimentadas cresceram 23,2% no Brasil em um período de 15 anos, gerando uma média de 1,5% ao ano, para um modal de transporte rodoviário que representa mais de 60% dos serviços de carga e 90% em locomoção de passageiros. Alguns fatores relevantes podem ser citados, justificando esse baixo crescimento, como a escassez de recursos públicos e também o alto custo dos materiais utilizados na pavimentação asfáltica.

Segundo pesquisa feita pela CNT (2006), cerca de 55% das rodovias federais pavimentadas encontram-se em estado crítico (regular, ruim ou péssimo). Também, foram verificados que na maioria dos casos não há uma sinalização adequada e ausência de acostamento em diversos trechos das vias. Conforme SPECHT (2004), fatores como tipo de revestimento, falta de plano de manutenção, drenagem insuficiente, má qualidade dos materiais empregados, e processo construtivo estão relacionados a péssima situação das principais rodovias brasileiras.

Ainda segundo SPECHT (2004), o alto custo dos agregados envolvidos na mistura asfáltica faz com que cada vez mais seja necessária a busca por alternativas, que atendam a resistência e que principalmente reduzam seus custos de produção. Ressalta, também, a importância da adição de materiais poliméricos aos ligantes asfálticos, trazendo benefícios e contribuindo para uma melhor resistência as intempéries e maior capacidade de adesão entre ligante e agregado.

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar uma mistura asfáltica, quando preparada com três diferentes tipos de ligantes asfálticos, avaliando e comparando seus resultados. O estudo procura verificar qual a influência que a mudança do ligante asfáltico provoca em uma mistura asfáltica tipo densa, avaliando suas características físicas e mecânicas, conforme metodologia Marshall.

2. MATERIAIS

2.1. AGREGADOS MINERAIS

Os agregados pétreos utilizados para a realização deste experimento foram fornecidos pela empresa SBM – Sul Brasileira de Mineração LTDA, localizada na cidade de Urussanga/SC. Os materiais foram coletados de três formas granulométricas distintas: brita 3/4, pedrisco e pó de pedra, facilitando assim o processo de peneiramento para realização dos processos de dosagem. Os agregados são de origem basáltica, e possuem características conforme descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dos agregados pétreos utilizados na pesquisa.

Agregado	Absorção (%)	Massa específica Real média (g/cm ³)	Massa específica aparente média (g/cm ³)	Desgaste a Abrasão (%)
Agregado Graúdo	0,9	3,057	2,978	14,34
Agregado Miúdo		3,036		
Agregado Fino		3,020		

Fonte: Do Autor, 2017.

Para a realização do referido estudo, os agregados tiveram característica fixa, sendo variável o tipo de ligante asfáltico.

2.2. LIGANTE ASFÁTICO

Para o estudo foram utilizados três diferentes tipos de ligantes asfálticos: asfalto convencional – CAP 50/70, asfalto modificado por borracha de pneus reciclados – TYREFLEX AB8 e asfalto modificado por polímero RET (Terpolímero Elastomérico Reativo) – POLIFLEX 60/85. Os produtos foram fornecidos pela SETEP Construções SA, por intermédio da CBB asfaltos, localizada na cidade de Curitiba/PR. Todos os

resultados demonstrados nas tabelas 2, 3 e 4, foram realizados e fornecidos pela CBB asfaltos.

2.2.1. Asfalto convencional - CAP 50/70

O CAP 50/70 é um asfalto muito utilizado em pavimentos, conforme as especificações do material, coletadas na empresa CBB asfaltos, esse tipo de ligante é considerado semissólido a baixas temperaturas, visco elástico a temperatura ambiente e líquido quando submetido a altas temperaturas. Normalmente recomendado para estradas com baixo ou médio tráfego.

A tabela 2 apresenta as características físicas do asfalto convencional CAP 50/70 utilizado nesse estudo.

Tabela 2 - Características do ligante asfáltico - CAP 50/70

Características do ligante	Norma	Resultados	Limites	
			Mínimo	Máximo
Ponto de amolecimento (°C)	NBR 6560	48,6	46	--
Penetração, 100g, 5s, 25°C, 0,1mm (0,1mm)	NBR 6576	62	50	70
Ductibilidade a 25°C, 5cm/min	NBR 6293	>100	60	--
Viscosidade Brookfield 135° - spindle 21, 20 rpm (cP)		330	274	--
Viscosidade Brookfield 150° - spindle 21, 50 rpm (cP)	NBR 15184	170	112	--
Viscosidade Brookfield 177° - spindle 21, 100 rpm (cP)		66	57	285
Ponto de fulgor (°C)	NBR 11341	310	235	--
Massa específica a 25°C (Kg/m ³)	NBR 6296	1,007	--	--

Fonte: CBB asfaltos, 2017.

2.2.2. Asfalto borracha – TYREFLEX AB8

O asfalto modificado por borrachas de pneus descartados, vem sendo muito utilizado atualmente em nossa região, o que de certa forma é bom, já que utiliza um material considerado como resíduo na natureza, ajudando no descarte do mesmo e contribuindo para a tentativa de melhoria nas características do asfalto convencional.

Conforme SALINI (2000), a incorporação da borracha de pneus reciclados em misturas asfálticas, além de colaborar com a reciclagem dos pneus também traz benefícios, apresentando características superiores em relação ao asfalto convencional.

A tabela 3 apresenta as características físicas do asfalto modificado por borracha de pneus utilizado nesse estudo.

Tabela 3 - Características do ligante asfáltico - TYREFLEX AB8

Características do ligante	Norma	Resultados	Limites	
			Mínimo	Máximo
Ponto de amolecimento (°C)	NBR 6560	55,5	50	--
Penetração, 100g, 5s, 25°C, 0,1mm (0,1mm)	NBR 6576	52	30	70
Recuperação Elástica, 10cm, 25°C (%)	NBR 15086	68,0	50	--
Viscosidade Brookfield 175° - spindle 3, 20 rpm (cP)	NBR 15529	1518	800	2000
Ponto de fulgor (°C)	NBR 11341	270	235	--
Massa específica a 25°C (Kg/m ³)	NBR 6296	1,011	--	--

Fonte: CBB asfaltos, 2017.

2.2.3. Asfalto polímero – POLIFLEX 60/85

O RET (Terpolímero Elastomérico Reativo), é um polímero desenvolvido especificamente para a o melhoramento de ligantes asfálticos.

Segundo SPECHT (2004), o acréscimo de polímero em misturas asfálticas traz melhorias em suas propriedades, aumentando sua ductilidade e redução de susceptibilidade térmica. Também proporciona resultados de estabilidade mais eficientes quando submetidos a altas temperaturas e menor risco de fissuras em baixas temperaturas.

A tabela 4 demonstra as características do asfalto modificado por polímero RET utilizado nesse estudo.

Tabela 4 - Características do ligante asfáltico - POLIFLEX 60/85

Características do ligante	Norma	Resultados	Limites	
			Mínimo	Máximo
Ponto de amolecimento (°C)	NBR 6560	73,1	60	--
Penetração, 100g, 5s, 25°C, 0,1mm (0,1mm)	NBR 6576	50	40	70
Recuperação Elástica, 20cm, 20°C (%)	NBR 15086	85,0	85	--
Viscosidade Brookfield 135° - spindle 21, 20 rpm (cP)		2860	--	3000
Viscosidade Brookfield 150° - spindle 21, 50 rpm (cP)	NBR 15184	1088	--	2000
Viscosidade Brookfield 177° - spindle 21, 100 rpm (cP)		274	--	1000
Ponto de fulgor (°C)	NBR 11341	250	235	--
Massa específica a 25°C (Kg/m ³)	NBR 6296	0,991	--	--

Fonte: CBB asfaltos, 2017.

Observa-se de acordo com características apresentadas nas tabelas 2, 3 e 4 que todos os ligantes utilizados para o experimento, se enquadram nos limites máximos e mínimos exigidos conforme especificações. Com relação ao ligante convencional CAP 50/70, não é realizado o ensaio de recuperação elástica no mesmo devido a não modificação com polímeros, sendo para esse caso feito o ensaio de ductilidade, devendo o ligante suportar há um estiramento superior a 100cm conforme previsto pela NBR-6293.

3. MÉTODOS

3.1. ENSAIO DE ADESIVIDADE

Importante ressaltar que os agregados e ligantes asfálticos utilizados na execução do pavimento tenham uma boa adesividade, tornando assim a camada de asfalto mais resistente, e conseqüentemente fazendo-o ter uma maior durabilidade. Este ensaio tem a função de avaliar as propriedades de adesividade em misturas asfálticas, considerando a presença de água, e sendo as amostras moldadas

conforme método Marshall. Os ensaios foram realizados conforme orientações descritas na norma DNER-ME 078/94.

A figura 1 mostra o agregado já coberto por uma camada de água destilada, onde posteriormente serão alocados na estufa a temperatura de 40°C por um período de 72 horas.

Figura 1 – Agregado coberto com água destilada.



Fonte: Do Autor, 2017.

3.2 DOSAGEM MARSHALL

Para a realização do estudo foi necessário inicialmente a determinação do teor ótimo, correspondente, de cada ligante, utilizado como parâmetro para dosagem a metodologia Marshall (DNER-ME 043/95). Foram escolhidos teores de ligante com 3,5%, 4,0%, 4,5%, 5,0% e 5,5%, sendo que a faixa granulométrica adotada, como base, foi a Faixa “C”, do Departamento Estadual de Infraestrutura (DEINFRA). Foram moldados 15 corpos de prova para cada tipo de ligante asfáltico (3 para cada teor), contabilizando ao todo 45 amostras. A compactação das amostras foi realizada por meio de um soquete Marshall automático, onde, de acordo com a normativa os cilindros serão moldados aplicando-se 75 golpes sobre cada face do mesmo.

A figura 2 mostra o processo de moldagem dos corpos de prova.

Figura 2 – Processo de moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Do autor, 2017.

O objetivo desse procedimento foi o de definir o teor ótimo de betume, para cada tipo de ligante asfáltico, em função da sua estabilidade, relação betume e vazios, densidade aparente, vazios do agregado mineral, volume de vazios e fluência.

3.3 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Este ensaio tem como objetivo a determinação da resistência a tração por compressão diametral em amostras moldadas de acordo com a metodologia Marshall, pela norma DNIT 136/2010. O procedimento consiste na aplicação de uma carga estática de compressão até a ruptura do corpo de prova. Com os valores de ruptura calculou-se a resistência a tração por compressão diametral. A figura 3 mostra o equipamento utilizado para determinação da resistência a tração por compressão diametral.

Figura 3 – Equipamento utilizado no ensaio de resistência a tração por compressão diametral.



Fonte: Do Autor, 2017.

3.4. RESISTÊNCIA AO DESGASTE

O ensaio de resistência ao desgaste segue a Metodologia Cântabro, e foi realizado de acordo com as especificações da norma DNER-ME 383/99. O experimento foi realizado por meio do equipamento de abrasão Los Angeles, no qual cada amostra foi submetida a 300 revoluções dentro da máquina, com velocidade e temperatura constante, e assim, avaliados de forma indireta a coesão, resistência a abrasão e desagregação de cada mistura asfáltica.

A figura 4 mostra os corpos de prova após o término do ensaio.

Figura 4 – Corpos de prova após o término do Cântabro.



Fonte: Do Autor, 2017.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

São apresentados a seguir os resultados, seguidos de comentários por meio dos ensaios realizados, sempre de acordo com as normas vigentes para cada tipo de experimento.

4.1. PROPRIEDADES DE ADESIVIDADE

Verificando a adesividade entre o agregado graúdo com o ligante betuminoso, observou-se que para todos os três tipos de ligantes asfálticos, o convencional, o modificado por borrachas e o modificado por polímeros, os resultados foram satisfatórios, onde foi possível verificar que os agregados foram completamente envolvidos pelo ligante, não sofrendo a retração da película asfáltica, mostrando a afinidade entre ligante e agregados, atendendo as especificações da norma DNER-ME 078/94.

As figuras 5 e 6 apresentadas a seguir mostram os agregados após o término do ensaio, evidenciando os resultados descritos anteriormente.

Figura 5 – Ensaio de adesividade satisfatório para CAP 50/70 e asfalto borracha.



Fonte: Do Autor, 2017.

Figura 6 – Ensaio de adesividade satisfatório para asfalto polímero.



Fonte: Do Autor, 2017.

4.2. DOSAGEM MARSHALL

4.2.1. Propriedades volumétricas

O conhecimento das propriedades volumétricas da mistura foi fundamental, pois condicionam seu comportamento na pista (SPECHT, 2004). Os resultados encontrados estão expressos conforme tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5 - Propriedades Volumétricas - CAP 50/70

Propriedades	Teor de ligante (%)				
	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Volume de vazios - V.V. (%)	6,4	4,6	3,0	2,1	1,8
Relação Betume Vazios - R.B.V. (%)	59,1	69,9	80,4	86,4	88,9
Vazio agregado mineral - V.A.M. (%)	15,7	15,3	15,1	15,6	16,5
Densidade Máxima Teórica (Kgf/m ³)	2,826	2,799	2,773	2,748	2,723
Densidade Aparente (g/cm ³)	2,644	2,671	2,691	2,690	2,673
Volume de Betume - V.B. (%)	9,3	10,7	12,1	13,4	14,7

Fonte: Do Autor, 2017

Tabela 6 - Propriedades Volumétricas - TYREFLEX AB-8

Propriedades	Teor de ligante (%)				
	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Volume de vazios - V.V. (%)	6,0	5,0	3,6	3,1	2,6
Relação Betume Vazios - R.B.V. (%)	60,6	67,7	76,9	80,8	84,7
Vazio agregado mineral - V.A.M. (%)	15,2	15,6	15,5	16,3	17,1
Densidade Máxima Teórica (Kgf/m ³)	2,829	2,803	2,777	2,752	2,727
Densidade Aparente (g/cm ³)	2,660	2,662	2,678	2,666	2,656
Volume de Betume - V.B. (%)	9,2	10,5	11,9	13,2	14,5

Fonte: Do Autor, 2017

Tabela 7 - Propriedades Volumétricas - POLIFLEX 60/85

Propriedades	Teor de ligante (%)				
	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Volume de vazios - V.V. (%)	7,8	6,9	3,4	3,3	2,8
Relação Betume Vazios - R.B.V. (%)	54,2	60,6	78,0	80,4	84,1
Vazio agregado mineral - V.A.M. (%)	17,0	17,4	15,6	16,7	17,5
Densidade Máxima Teórica (Kgf/m ³)	2,823	2,797	2,770	2,745	2,719
Densidade Aparente (g/cm ³)	2,604	2,605	2,675	2,655	2,644
Volume de Betume - V.B. (%)	9,2	10,5	12,1	13,4	14,7

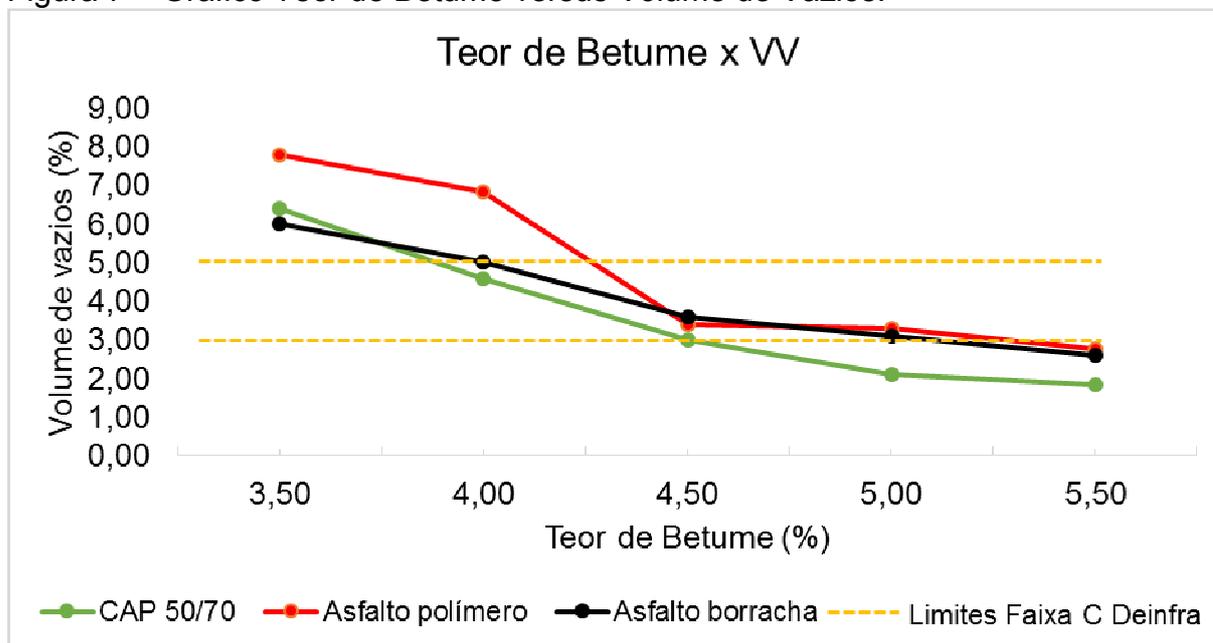
Fonte: Do Autor, 2017

O teor ótimo de ligante para a moldagem dos novos corpos de prova foram definidos de acordo com as características conforme especificação. Para efeito comparativo todas as misturas foram dosadas com o mesmo teor de ligante, que para este caso foi adotado com 4,4%, atendendo volume de vazios e relação betume e vazios para todos os tipos de ligantes.

A propriedade volumétrica considerada mais importante de uma composição asfáltica são o volume de vazios (V.V.). Eles devem ficar em uma média de 3% a 8%, já que valores fora dessa faixa acabam comprometendo a estrutura e gerando problemas como a formação de trilho de rodas e redução de durabilidade do pavimento (SPECHT, 2004). A figura 7 apresenta o teor de betume em relação ao volume de vazios utilizados em cada mistura, ligante CAP 50/70, asfalto modificado por borracha e asfalto modificado por polímero.

Pode-se perceber que independentemente do tipo de ligante, conforme há um acréscimo no teor de betume o volume de vazios tende a diminuir.

Figura 7 – Gráfico Teor de Betume versus Volume de Vazios.



Fonte: Do Autor, 2017.

Analisando pelo teor ótimo de projeto definido por 4,4%, nos três casos o volume de vazios não se altera significativamente, estando dentro da faixa aceitável conforme especificações da faixa granulométrica utilizada, de 3,0% a 5,0%.

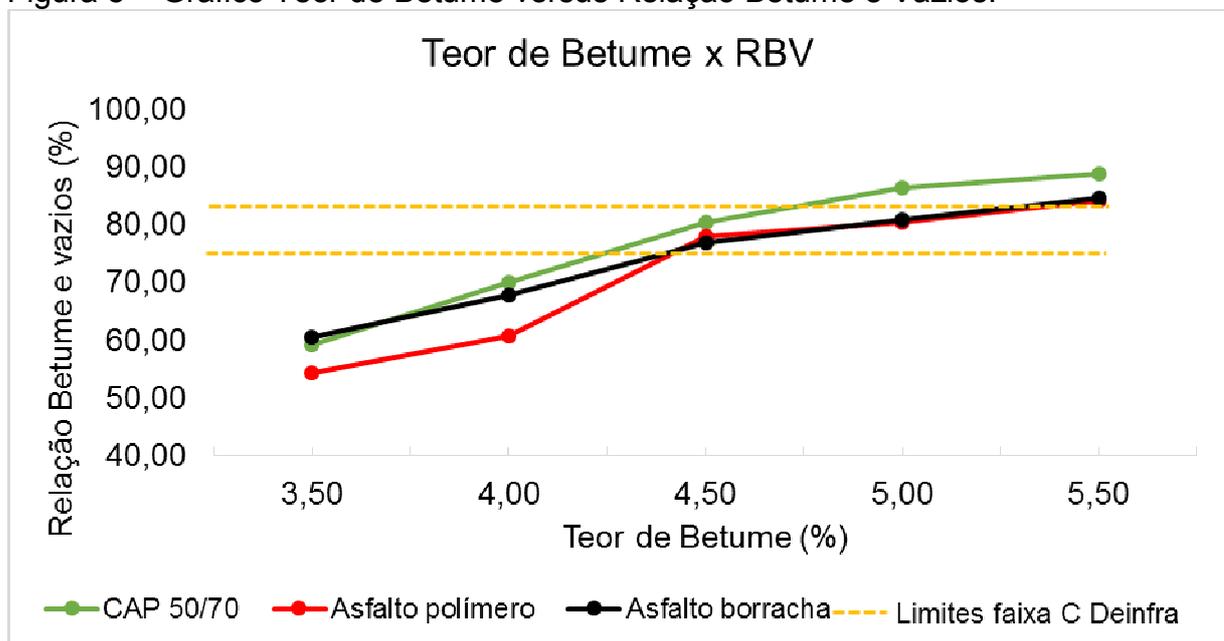
A relação de betume e vazios (RBV) corresponde ao percentual de vazios que são ocupados por asfalto, tendo como função garantir uma quantia coerente de ligante para preenchimento dos vazios do agregado mineral.

A figura 8 nos mostra o gráfico de teor de betume em relação a betume e vazios.

Diferentemente do Volume de Vazios, percebe-se que independentemente do tipo de ligante, conforme há um acréscimo no teor a relação betume e vazios tende a aumentar.

Segundo SPECHT (2004), valores baixos de RBV reduzem a durabilidade da mistura e valores muito altos prejudicam a estabilidade. Observa-se na figura 8, que as misturas com ligante CAP 50/70 sempre apresentaram valores superiores de RBV comparados com as misturas com ligante asfalto polímero e asfalto borracha. Isso permite concluir que as misturas com ligante CAP 50/70 são mais estáveis, porém menos duráveis que as misturas com asfalto polímero e asfalto borracha.

Figura 8 – Gráfico Teor de Betume versus Relação Betume e Vazios.



Fonte: Do Autor, 2017.

Analisando pelo teor ótimo de projeto definido com 4,4%, nota-se que todas as misturas se encontram conforme especificação para o tipo de mistura asfáltica, ficando entre 75% e 82%.

4.2.2. Estabilidade e Fluência

A tabela 8 apresenta os resultados obtidos para estabilidade e fluência para as misturas asfálticas utilizadas no experimento.

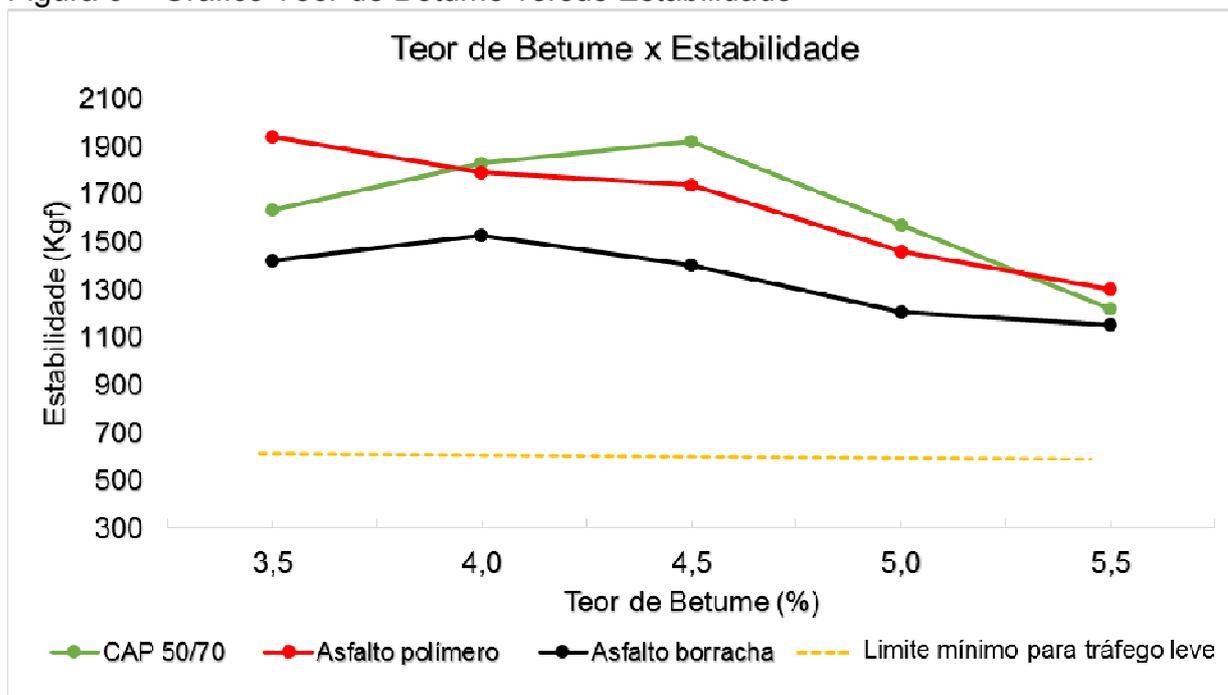
Tabela 8 - Estabilidade e Fluência para ligantes CAP 50/70, asfalto borracha e asfalto Polímero.

Propriedades	Ligante	Teor de ligante (%)				
		3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Estabilidade Marshall (Kgf)	CAP 50/70	1635	1832	1920	1572	1221
Fluência 0,01" (Pol)		7,30	9,06	9,33	10,55	12,14
Estabilidade Marshall (Kgf)	Asfalto Borracha	1424	1527	1405	1205	1153
Fluência 0,01" (Pol)		10,75	10,30	9,88	10,03	9,87
Estabilidade Marshall (Kgf)	Asfalto Polímero	1940	1794	1738	1460	1302
Fluência 0,01" (Pol)		11,35	12,07	12,41	17,43	18,78

Fonte: Do Autor, 2017.

A figura 9 demonstra as três curvas de estabilidade para cada teor asfáltico com o CAP 50/70, asfalto modificado por borracha e asfalto modificado por polímeros.

Figura 9 – Gráfico Teor de Betume versus Estabilidade

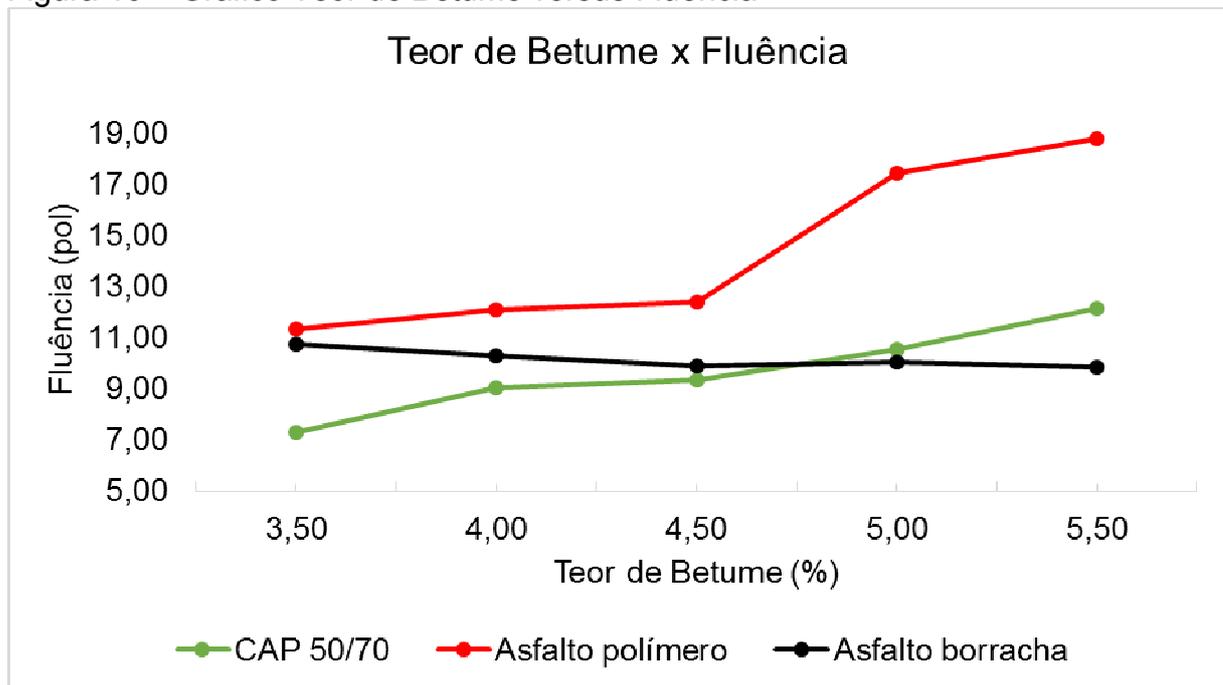


Fonte: Do Autor, 2017.

Analisando o gráfico da figura 9, nota-se que para o teor de ligante ótimo de projeto, o valor de estabilidade para o CAP 50/70 foi o mais alto, com 1902 Kgf. Mais abaixo se encontra o asfalto modificado com polímero, 1767 Kgf. Já o asfalto com adição de borracha sofre uma redução de aproximadamente 25% comparada com o melhor desempenho do CAP 50/70, ficando com 1436 Kgf. Esse desempenho menor das misturas com ligantes modificados se deve ao comportamento elástico transmitido pelos ligantes fazendo com que as misturas sejam mais suscetíveis a aplicação de carga, porém menos rígidas e quebradiças. É importante ressaltar que para especificação adotada (tráfego leve), o valor mínimo é de 500 Kgf, portanto todas atendem perfeitamente.

A figura 10 nos apresenta os valores de fluência para cada teor asfáltico com o CAP 50/70, asfalto modificado por borracha e asfalto modificado por polímeros.

Figura 10 – Gráfico Teor de Betume versus Fluência



Fonte: Do Autor, 2017.

Como pode ser observado na figura 10, para o ligante CAP 50/70 e o asfalto modificado com polímero, conforme se aumenta o teor de ligante os valores de fluência tendem a aumentar também, diferentemente da mistura modificada com borracha, cujo os valores se mantêm praticamente constantes. Com relação ao teor

ótimo de projeto, os valores de fluência ficaram para CAP 50/70, asfalto polímero e asfalto borracha, respectivamente 9, 12 e 10 (polegada).

Nas misturas com ligantes modificados, esse comportamento de se deformar mais com a aplicação de uma carga, é proveniente da incorporação dos elastômeros ao ligante que empoe a mistura a um comportamento elástico. Porém em pista, essas deformações serão facilmente recuperadas pela mistura elástica, evitando o aparecimento precoce por trilho de rodas e as deformações permanentes.

4.2.3. Resistência a tração

São várias as formas de se determinar a deformabilidade elástica de um pavimento, seja através de propriedades do ligante e da mistura asfáltica, ensaios em laboratório ou análises e medições indiretas no local (BERNUCCI 2008). Tratando-se de ensaios em laboratório, o método mais utilizado é o ensaio de tração por compressão diametral.

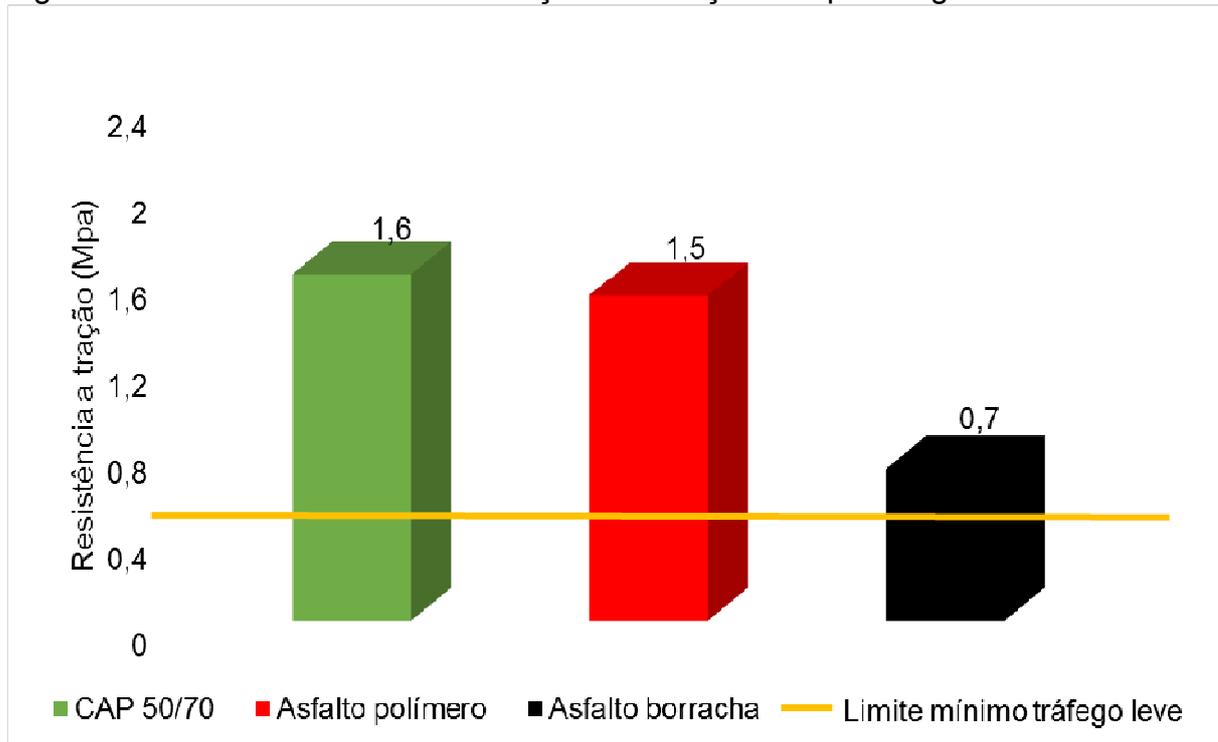
A tabela 11 mostra os valores de resistência a tração para amostras preparadas com os ligantes CAP 50/70, asfalto polímero e asfalto borracha. Os valores médios de resistência a tração são também apresentados na figura 11.

Tabela 11 - Resistência a tração por compressão Diametral.

Propriedades	Limites	Amostra	Tipo de ligante		
			CAP 50/70	Asfalto polímero	Asfalto borracha
Resistência a Tração (Mpa)	0,6 a 2,0	1	1,6	1,5	0,8
		2	1,7	1,5	0,7
		3	1,5	1,5	0,6
		Média	1,6	1,5	0,7

Fonte: Do Autor, 2017.

Figura 11 – Valores Resistência a tração em relação ao tipo de ligante.



Fonte: Do Autor, 2017.

Conforme valores apresentados na tabela e figura 11, o asfalto modificado com borracha dentre os três tipos de ligantes é o que possui os menores valores de resistência a tração, com média de 0,7 Mpa. Em comparação com o CAP 50/70 e asfalto polímero, que ficaram com média de 1,6 Mpa e 1,5 Mpa, nesta ordem, significa uma redução de aproximadamente 45%. Essa redução na resistência a tração por parte da mistura com asfalto borracha, se deve ao tipo de polímero incorporado ao ligante. Em seus estudos com asfaltos modificados com polímeros do tipo RET, NEGRÃO (2006), afirma que polímeros menos reativos com o ligante promovem uma modificação mais mecânica, podendo ocorrer a segregação do polímero. Essa segregação pode favorecer a formação de pontos de fragilização no sistema, e isso explicaria a menor resistência da mistura com asfalto borracha.

4.3. RESISTENCIA AO DESGASTE

A tabela 12 demonstra os resultados de desgaste das misturas asfálticas estudadas, por meio da Metodologia Cântabro.

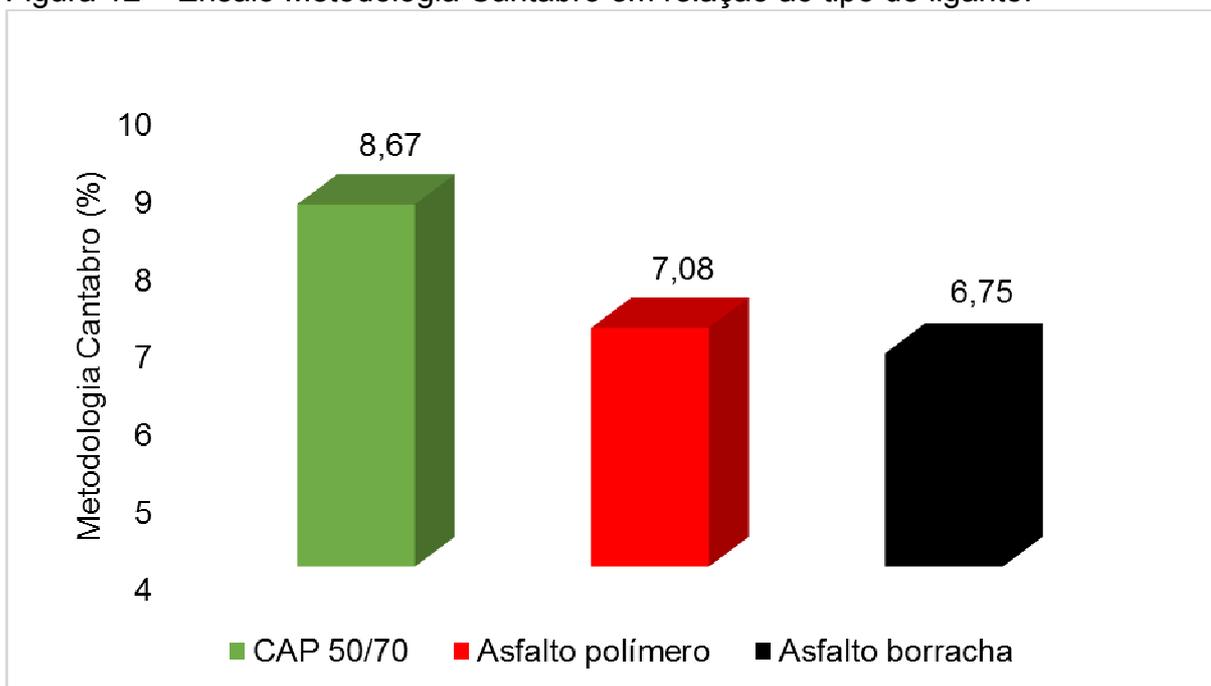
Tabela 12 - Ensaio Metodologia Cântabro.

Propriedades	Amostra	Tipo de ligante		
		CAP 50/70	Asfalto polímero	Asfalto borracha
Perda de massa (%)	1	9,16%	5,92%	7,40%
	2	8,87%	7,59%	6,93%
	3	7,99%	7,72%	5,92%
	Média	8,67%	7,08%	6,75%

Fonte: Do Autor, 2017.

A figura 12 apresenta as médias de valores obtidos no ensaio da metodologia Cântabro para os ligantes asfálticos CAP 50/70, asfalto modificado por polímeros e asfalto modificado por borracha.

Figura 12 – Ensaio Metodologia Cântabro em relação ao tipo de ligante.



Fonte: Do Autor, 2017.

Conforme apresentado o ligante CAP 50/70 foi o que apresentou o maior percentual de perda de massa, totalizando 8,67%, enquanto o asfalto polímero obteve uma média de 7,08%. O melhor resultado ficou por conta do asfalto borracha, com 6,75%. Importante ressaltar que o conforme norma DNER-386

5. CONCLUSÃO

A partir das características de cada ligante asfáltico, CAP 50/70, asfalto modificado por borracha e asfalto modificado por polímeros faz-se a seguinte análise:

- Normalmente os ligantes modificados tendem a apresentar características melhores em relação ao asfalto convencional. Por exemplo ambos possuem um ponto de amolecimento mais elevado, o que faz com que o pavimento não sofra alterações físicas devido a variação de temperatura, reduzindo sua suscetibilidade térmica, proporcionando estabilidade em altas temperaturas e redução de risco de fratura em baixas temperaturas.
- A recuperação elástica do asfalto polímero e borracha também é maior, tornando-os elásticos, ou seja, possuem melhor capacidade de deformar e voltar ao estado original. Na pista ajuda a combater principalmente os trilhos de rodas e deformações permanentes.
- A penetração ao ligante, mostra que o asfalto modificado por polímero e borracha são mais consistentes em relação ao asfalto convencional permitindo que estes suportem mais calor na pista, mantendo a estabilidade do sistema.

A partir dos ensaios realizados nas misturas e da análise dos resultados chega-se à seguinte conclusão:

- Todas as amostras analisadas obtiveram valores satisfatórios para as propriedades de adesividade, porém é importante destacar que para o asfalto TYREFLEX AB8 modificado com borracha e o POLIFLEX 60/85 modificado com polímero RET (Terpolímero Elastomérico Reativo), os resultados de adesão entre agregado e ligante são visualmente superiores, fazendo com que se execute um pavimento mais resistente, tornando-o mais durável quando comparado a ligante convencionais.
- Para volume de vazios e relação betume e vazios, analisando por meio do teor ótimo de projeto de 4,4%, percebe-se valores muito próximos para ambas as

misturas, não sofrendo grande alteração independentemente do tipo asfáltico adotado para o projeto.

- Na estabilidade, ao teor ótimo de projeto, constatou-se que a mistura com asfalto convencional obteve o melhor resultado, enquanto que as misturas com asfalto polímero e asfalto borracha obtiveram resultados inferiores. Na prática, dá-se a indicação que as misturas com ligantes modificados, tendem a resistir menos as cargas aplicadas ao pavimento, porém o comportamento elástico imposto por estes ligantes, tornam as misturas mais deformáveis, absorvendo melhor as deflexões dos pavimentos, retardando e prevenindo o aparecimento de trincas e fissuras nas fibras inferiores e superiores do revestimento e devido as movimentações térmicas. Porém é importante ressaltar que para todas as misturas, os resultados foram bem superiores ao especificado em norma, mínimo 500 Kgf para tráfego leve.
- Na fluência, as misturas com asfalto borracha e asfalto polímero apresentaram maiores deformações em relação a mistura com asfalto convencional, sendo de maneira mais expressiva para a mistura com polímero. Isso indica que estas misturas vão apresentar problemas como trilho de rodas e deformações permanentes, mas de maneira contrária, já que as características elásticas promovidas por estes ligantes modificados conferem uma recuperação na deformação muito superior a mistura com ligante convencional, ou seja, estas misturas vão apresentar deformações permanentes em pista mais tardiamente.
- Na resistência a tração por compressão diametral as misturas com o ligante convencional e o ligante polímero foram as mais eficazes, enquanto que a com asfalto borracha resistiu menos, ficando muito próximo do limite estabelecido para tráfego leve.
- Na avaliação ao desgaste, as amostras que apresentaram o melhor desempenho contra o desgaste foram o asfalto modificado por borracha e o asfalto modificado por polímero. Esta melhora está relacionada ao fato de que os asfaltos modificados com polímeros elastômeros promovem características superiores de coesão e adesividade entre os agregados nas misturas asfálticas, diminuindo o percentual de perda de massa.

6. SUGESTÕES DE TRABALHOS POSTERIORES

- Analisar o desempenho de outros ligantes modificados e dos aqui estudados em outros tipos de misturas asfálticas.
- Analisar o desempenho de outros ligantes modificados e dos aqui estudados, frente as deformações permanentes e módulo de resiliência.
- Analisar o desempenho de outros ligantes modificados e dos aqui estudados, frente ao fissuramento e trincamento devido as variações térmicas.
- Analisar o desempenho de outros ligantes modificados e dos aqui estudados, frente as diferentes temperaturas de usinagem e compactação de misturas asfálticas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração.** São Paulo: Oficina dos Textos, 2007. 558p.

BERNUCCI, Liedi Bariani; *et al.*. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008. 501 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT:<www.cnt.org.br>. Site consultado em Maio de 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall.** DNER - ME 043/95. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Agregado graúdo - adesividade ao ligante betuminoso.** DNER-ME 078/94. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Desgaste por abrasão de misturas betuminosas com asfalto polímero – ensaio Cântabro.** DNER-ME 383/99. Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio.** DNIT 136/2010 - ES. Rio de Janeiro, 2010.

NEGRÃO, Douglas Polcaro. **Estudo de asfaltos modificados por polímeros do tipo RET para aplicações em pavimentos**, 2006. 157 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SALINI, Reus Bortolotto. **Utilização de borracha reciclada de pneus em misturas asfálticas**. 2000. 120 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SPECHT, Luciano Pivoto. **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus**, 2004. 279 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.