

AVALIAÇÃO DA DEFORMAÇÃO PERMANENTE EM DIFERENTES TEMPERATURAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS PREPARADAS¹

José Willian Hoffmann Vieira²; Fábio Pereira Rossato³; Bruna Taciane Rodrigues Dorneles⁴.

¹ Trabalho de Conclusão de Curso realizado no Departamento das Engenharias e Ciência da Computação, da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões Campus Santo Ângelo.

² Engenheiro Civil, formado na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões Campus Santo Ângelo.

³ Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões Campus Santo Ângelo, fabiorossato2005@hotmail.com.

⁴ Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões Campus Santo Ângelo, bru_taciana@hotmail.com.

Resumo

O Brasil é um país que direciona grande parte das suas movimentações de cargas e passageiros pelo modal rodoviário. Neste contexto, as rodovias brasileiras acabam sendo muito solicitadas e uma das principais patologias surgidas no pavimento são as deformações permanentes, também conhecidas como Afundamentos em Trilha de Roda (ATR). Patologia está que é muito impactante na segurança dos usuários, pois permite o acúmulo de água nas trilhas e conseqüentemente à aquaplanagem dos veículos, podendo ocasionar acidentes graves. Diante deste contexto, visou-se com esta pesquisa avaliar a substituição em cerca de 30 % do material britado por fresado (asfalto velho reciclado) frente a sua resistência à deformação permanente. O material que foi utilizado é um rejeito da própria pavimentação em obras de restauração onde se faz necessária a fresagem do pavimento antigo, sendo necessário para evitar a propagação de fissuras do revestimento antigo para o novo, além de possíveis degraus entre a pista e o acostamento. Este material geralmente não tem lugar adequado para ser destinado, por conter ligante asfáltico derivado de petróleo, que prejudica o meio ambiente, necessitando assim fazer a sua reciclagem. Assim foram moldadas amostras de substituição de 30% de material britado por material fresado e amostras de referência com apenas agregados britados para comparação dos resultados, ambas as misturas ajustadas na faixa granulométrica C do DNIT. Para estas amostras foram realizados os ensaios a resistência à tração indireta, o módulo de resiliência para análise de resistência e rigidez, e o creep dinâmico para análise das deformações resilientes e permanentes. Para a análise dos resultados nos ensaios de misturas com variação da temperatura, foram utilizadas as temperaturas de 10 °C, 25 °C e 35 °C. Os resultados obtidos nas amostras com a substituição de agregados britados por material fresado foram em todos os ensaios melhores do que as amostras com apenas agregados britados. Pode-se concluir que a utilização do material fresado em novas misturas asfálticas é uma boa alternativa, além de ser mais econômica, sendo a destinação do resíduo na própria pavimentação em obras de restauração, com redução dos impactos ambientais e redução do consumo de CAP, apresentando também melhor qualidade na

mistura por apresentar maior rigidez e menor suscetibilidade térmica, construindo assim pavimentos mais resistentes e menos suscetíveis às altas temperaturas e variações térmicas.

Palavra Chave: *Fresado, Deformação permanente, Creep Dinâmico, Variações térmicas.*

Introdução

O transporte é considerado o mais importante da indústria no mundo, do ponto de vista econômico, político e do desenvolvimento social. Sendo o transporte rodoviário o mais importante no Brasil, pois é um dos fatores que mais auxilia no crescimento das cidades e dos grandes centros urbanos.

Conforme Rossato (2015 a), a degradação de um pavimento geralmente esta associada a um conjunto de patologias que agem deteriorando a sua composição. Essas patologias geralmente são ocasionadas por fatores como condições ambientais, capacidade de suporte do pavimento e do subleito, a qualidade dos materiais empregados e do processo construtivo, volume de tráfego e a carga por eixo de veículos pesados. As principais patologias encontradas nos pavimentos asfálticos, no ponto de vista estrutural, são as deformações permanentes e as fissuras por fadiga. Estas deformações permanentes correm geralmente devido a fatores como falhas na determinação da mistura, falhas na execução como segregação ou compactação inadequada, saturação das camadas de base, excesso de cargas e altas temperaturas.

Devido essas patologias é utilizada a técnica de fresagem antes da aplicação de uma nova camada de pavimento, para assim evitar a propagação de fissuras do revestimento antigo para o novo, assim como criação de degraus entre a pista e o acostamento (BERNUCCI et al. 2006).

O maior problema da utilização dessa técnica é que ainda não se tem uma destinação apropriada para este material, pois ele simplesmente não pode ser descartado no meio ambiente por possuir um alto teor de ligante asfáltico derivado do petróleo, altamente prejudicial ao meio ambiente, precisando assim ter um cuidado especial na hora de descartá-lo. Por este motivo estão havendo grandes estudos para a reciclagem deste material sendo assim reutilizado na mesma obra de pavimentação substituindo os agregado britados.

Segundo Freire et al. (2014), a reciclagem de pavimentos pode gerar vários benéficos para o ramo da pavimentação, pois reduz custos e impactos ambientais tanto com a destinação do material fresado, como também com a redução na aquisição de materiais britados virgens e ligantes asfálticos. Ressaltando ainda que o material fresado tem qualidade positiva no comportamento da mistura (CENTOFANE, 2016).

A CNT (2015), afirma que o setor rodoviária tem grande importância para o desenvolvimento da nação, mais mesmo assim recebe poucos investimentos para sua manutenção e ampliação, precisando assim de novas técnicas que visem à diminuição de custos em seus processos.

Por estes motivos, surgiu a ideia de reaproveitar os materiais na pavimentação, destinando assim o material fresado para a substituição parcial do material britado e de ligante asfálticos para a execução de novas misturas.

Para assim verificar a resistência às deformações permanentes foram realizados ensaios em laboratórios com o objetivo de analisar a viabilidade do emprego dessa técnica. Foram moldadas amostras com substituição de material britado por material fresado e também amostras de referência com apenas agregados britados, para que a partir dos ensaios realizados serem analisada a viabilidade da técnica de reutilização.

Metodologia

Para o estudo foram moldados corpos de prova com substituição de 30% do agregado britado por material fresado, e também foram moldados corpos de provas com a composição usual com 100% de material britado como agregado, para comparação entre eles. Para estes materiais serem utilizados na produção das amostras foi preciso fazer uma separação, e caracterização dos materiais pétreos.

1. Ligante Asfáltico

O ligante asfáltico utilizado foi o CAP 50/70, sob o qual foram realizados os principais ensaios para a caracterização tecnológica do mesmo.

O primeiro ensaio realizado foi o de viscosidade Saybolt-Furol, normalizado pela norma NBR 1495/2003, que serve para a determinação do estado de fluidez do CAP em diversas temperaturas de aplicação e uso do material (BALDO, 2007).

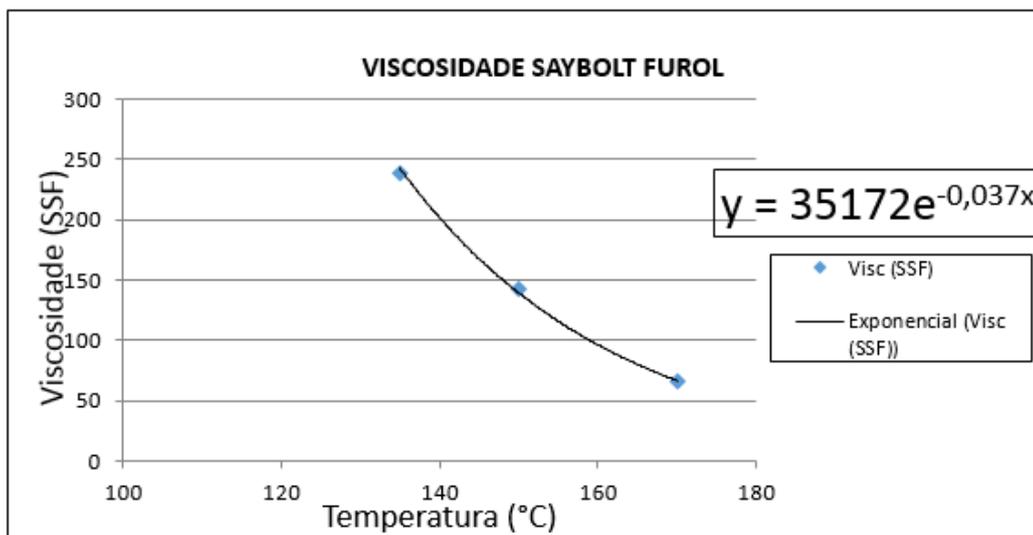


Figura 1: Curva de viscosidade.

FAIXA DE MISTURA		FAIXA DE COMPACTAÇÃO	
Temp. (°C)	Visc. (SSF)	Temp. (°C)	Visc. (SSF)
166	75	152	125
164	80	151	130
163	85	150	135
161	90	149	140
160	95	148	145
-	-	147	150
-	-	147	155

Tabela 1: Faixas das temperaturas de mistura e de compactação.

Em seguida foi realizado o ensaio de penetração, que é normalizado pela norma DNIT 155/2010-ME, que serve para a determinação da dureza ou consistência relativa de um CAP, onde foi obtido o resultado de 62 décimos de milímetro, enquadrando-se na faixa entre 50 a 70 décimos de milímetro, caracterizando assim como CAP 50/70.

O próximo ensaio foi o de ponto de amolecimento, que é normalizado pela norma DNIT 131/2010-ME, onde é determinado o ponto de amolecimento dos materiais asfálticos na faixa de 30° C a 157° C, utilizando a aparelhagem anel e bola. Obtivemos assim o resultado da temperatura de amolecimento de 45° C.

O último ensaio realizado foi de densidade, que é normalizado pela norma NBR 6296/2004, que conforma Bernucci et al. (2006), tem como objetivo a determinação da densidade do ligante definida com a relação entre a amassa e o volume, obtendo como resultado a densidade de 1,0135 g/cm³ neste ensaio.

2. Agregados Minerais

Foram utilizados agregados minerais de origem basáltica provenientes de uma pedreira localizada na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, onde eles passaram por um peneiramento, conforme a granulométrica exigida, e assim foram realizados os principais ensaios de caracterização.

Os primeiros ensaios a serem realizados foram o ensaio DNER-ME 081/98, que determina a massa específica de agregado graúdos, utilizando a terminologia de densidade relativa, e o ensaio DNER-ME 084/95, que determina a massa específica de agregados miúdos, com a denominação de densidade real dos grãos (BERNUCCI et al. 2006).

O próximo ensaio foi DNER-ME 086/94, que é utilizado para determinar a forma das partículas dos agregados, tendo como influencia na trabalhabilidade e na resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas, podendo assim também interferir na energia de compactação necessária para se alcançar as especificações do projeto (BERNUCCI et al. 2006).

Em seguida foi realizado o ensaio de absorção que é normalizado pela norma DNER-ME 081/98, baseada na relação entre massa de água absorvida pelo agregado graúdo após 24 horas de imersão, sendo indica assim a porosidade de um agregado, que esta diretamente relacionada à quantidade de água que ele absorve quanto imerso (BERNUCCI et al. 2006). Por último foi realizado o ensaio de análise da adesividade pela norma DNER-ME 078/94, podendo identificar neste ensaio a necessidade de adições para melhorar a aderência, podendo em alguns casos o agregado ser caracterizado como inaceitável para o uso na mistura asfáltica. Com a relação deste ensaio ficou determinado à necessidade de adição de 2% de cal (22 gramas) em cada amostra a ser moldada para assim melhorar sua adesividade.

3. Material Fresado

O material fresado utilizado para a pesquisa foi proveniente da fresagem para a restauração da rodovia RS-344, no trecho que liga os municípios de Santo Ângelo e Entre-Ijuís, no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Foi utilizada uma fresadora a frio de marca Wirtgen, modelo W100, na largura de corte de 1 metro e espessura variável somente na camada de revestimento.

A caracterização deste material foi realizada por meio de ensaios de análise granulométrico por peneiramento para ajuste na faixa granulométrica da mistura e extração de betume pelo ensaio de Rotarex.

Foi realizado assim o ensaio de granulometria de agregados, que é normalizado pela norma DNER-ME 083/98, que consiste na realização do peneiramento do material fresado antes da extração de betume.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA MÉDICA		
PENEIRAS	% RETIDO	% PASSANTE
¼"	0,00 %	100,00 %
½"	19,54 %	80,46 %
3/8"	11,01 %	69,45 %
Nº 4	28,95 %	40,49 %
Nº 10	24,53 %	15,96 %
Nº 40	12,39 %	3,57 %
Nº 80	2,07 %	1,50 %
Nº 200	1,03 %	0,47 %
FUNDO	0,47 %	0,00 %
TOTAL	100,00 %	

Tabela 2: Granulometria do material fresado.

Para determinar-se a massa específica do material fresado, foram utilizados os ensaios de determinação das massas específicas de agregados graúdos, com o material passante na peneira ¾" e retido na peneira ½", e também a massa específica de agregados miúdos, descrevendo-se assim os métodos e procedimentos a serem realizados para o material passante na peneira de nº 4.

MASSA ESPECÍFICA – FRESADO			
MATERIAL	AMOSTRA 01 (g/cm³)	AMOSTRA 02 (g/cm³)	MÉDIA (g/cm³)
GRAÚDO	2,44	2,54	2,49
MIÚDO	2,29	2,25	2,27

Tabela 3: Resultado das massas específicas do material fresado.

Também foi realizado o ensaio de porcentagem de betume, que é normalizado pela norma DNER-ME 053/94, colocando o material fresado asfáltico dentro do aparelho chamado Rotarex, juntamente com um solvente, onde a centrifugação gerada pelo mesmo faz com que o ligante se separe dos agregados, podendo então ser obtido o teor de ligante que ainda há na mistura (PASCHE et al. 2014). Foi encontrado assim um teor de ligante de 6,2%.

TEOR DE BETUME				
AMOSTRA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	%	% MÉDIO
01	500	468,75	6,25	6,2
02	500	469,03	6,19	

Tabela 4: Ensaio de Rotarex.

4. Dosagem Marshall

Foi utilizada a dosagem de Marshall, para a determinação do teor de ligante a ser utilizado nas amostras, para assim chegar a um volume de vazios de 4%.

PROPRIEDADES	DNIT 031/2006 ES	VALOR DE PROJETO
Teor de Betume (%)	--	4,30
Volume de Vazios (%)	3 a 5	4,00
Relação Betume Vazios (%)	75 a 82	73,89
Vazios do Agregado Mineral (%)	>15	15,60
Massa Específica Máxima Teórica (g/cm ³)	--	2,72
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	--	2,59
Estabilidade (kgf)	>500	1199,4
Fluência (1/100 in)	--	4,4
Resistência à Tração (MPa)	>0,65	2,06

Tabela 5: Propriedades da dosagem de referência.

PROPRIEDADES	DNIT 031/2006 ES	VALOR DE PROJETO
Teor de Betume (%)	--	3,41
Volume de Vazios (%)	3 a 5	4,00
Relação Betume Vazios (%)	75 a 82	69,10
Vazios do Agregado Mineral (%)	>15	12,95
Massa Específica Máxima Teórica (g/cm ³)	--	2,72
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	--	2,64
Estabilidade (kgf)	>500	2189,90
Fluência (1/100 in)	--	4,61
Resistência à Tração (MPa)	>0,65	--

Tabela 6: Propriedades da dosagem com material fresado.

Resultados e Discussões

Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório da Universidade Federal de Santa Maria- UFSM, onde foram obtidos os dados necessários para determinar os resultados mostrados a seguir, sendo o condicionamento das amostras nas temperaturas de ensaio de 10° C, 25° C e 35° C, foram de no mínimo de 3 horas anterior a cada ensaio para a estabilização da temperatura no interior das amostras.

1. Resistência à Tração Indireta

Este ensaio é normalizado pela norma DNIT 136/2010-ME, descrevendo os métodos e procedimentos para determinar a resistência à tração indireta por compressão diametral de misturas asfálticas.



Figura 2: Realização do ensaio de resistência à tração indireta na UFSM.

Os resultados obtidos no ensaio foram colocados em uma planilha eletrônica para as amostras de referência e mais uma para as amostras preparadas com material fresado.

REFERÊNCIA					
CP	H (cm)	T (°C)	CARGA (Kgf)	σ (MPa)	σ MÉDIA (MPa)
4	5,50	10	-	-	3,48
5	5,58	10	2.948	3,30	
6	5,42	10	3.172	3,65	
1	5,45	25	1.188	1,36	1,54
2	5,46	25	1.216	1,39	
3	5,43	25	1.634	1,88	
7	5,55	35	507	0,57	0,56
8	5,40	35	494	0,57	
9	5,45	35	474	0,54	

Tabela 7: Resistência à tração.

FRESADO					
CP	H (cm)	T (°C)	CARGA (Kgf)	σ (MPa)	σ MÉDIA (MPa)
4	5,31	10	-	-	4,90
5	5,30	10	4.163	4,9	
6	5,27	10	4.132	4,89	
1	5,33	25	1.663	1,95	2,05
2	5,30	25	1.883	2,22	
3	5,43	25	1.731	1,99	
7	5,37	35	899	1,04	0,86
8	5,36	35	696	0,81	
9	5,38	35	636	0,74	

Tabela 8: Resistência à tração.

Com estes resultados foi observado que as amostras com material fresado tiveram valores maiores, onde a 10° C, 25° C e 35° C, tiveram resultados de 29%, 24,8% e 35% respectivamente, superiores às amostras de referência.



Figura 3: Comparação dos resultados de Resistencia à Tração.

2. Módulo de Resiliência

Este ensaio é normalizado pela norma DNIT 135/2010-ME, descrevendo os métodos, procedimentos e cálculos para determinar módulo de resiliência de misturas asfálticas com equipamentos de compressão diametral de cargas repetidas.



Figura 4: Realização do ensaio de módulo de resiliência na UFSM.

Conforme Rossato (2015, b), o coeficiente de Poisson deve ser corrigido conforme a temperatura vai variando, desta forma o coeficiente utilizado para cada temperatura foi de 0,10 para a temperatura de 10° C e 0,30 para a temperatura de 25° C e 0,35 para a temperatura de 35° C.

REFERÊNCIA						
CP	H (cm)	T (°C)	MR (MPa)	σ (MPa)	CV (MPa)	MR MÉDIA (MPa)
4	5,50	10	10.955	320,94	2,93	10.955
14	5,49	10	-	-	-	
1	5,45	25	7.779	212,16	2,73	7.719
12	5,47	25	7.660	221,29	2,89	
7	5,55	35	2.201	125,70	5,71	2.165
18	5,52	35	2.130	104,90	4,92	

Tabela 9: Resultados do módulo de resiliência das amostras de referência.

FRESADO						
CP	H (cm)	T (°C)	MR (MPa)	σ (MPa)	CV (MPa)	MR MÉDIA (MPa)
4	5,31	10	10.558	584,29	5,53	11.636
14	5,33	10	12.714	1.026,71	8,08	
1	5,33	25	8.176	459,80	5,62	8.345
12	5,42	25	8.515	168,32	1,98	
7	5,37	35	3.898	80,97	2,08	3.979
18	5,30	35	4.060	243,10	5,99	

Tabela 10: Resultados do módulo de resiliência das amostras com fresado.

Neste ensaio pode se observar que os resultados das amostras com material fresado foram superiores do que com as amostras referência, tendo resultados 5,8%, 7,5% e 45,5% respectivamente.

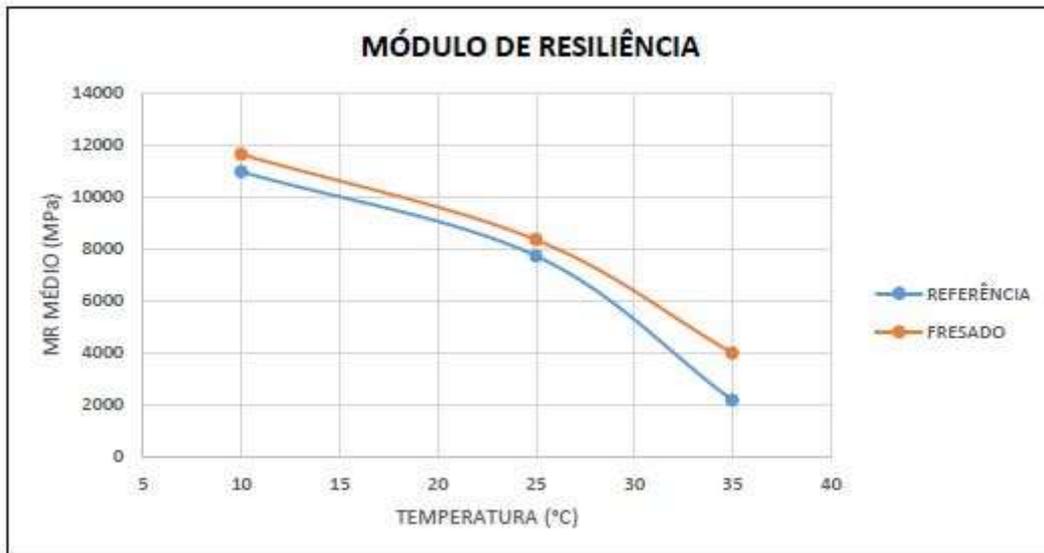


Figura 5: Comparação dos resultados de módulo de resiliência.

3. Creep Dinâmico

Segundo Moro (2016), o ensaio de Creep serve para prever as deformações permanentes em amostras de concreto asfálticos, sendo que ele ainda não possui uma norma técnica definida, fazendo com que os parâmetros utilizados sejam presumidos através de trabalhos publicados e estudos realizados neste tema.



Figura 6: Realização do ensaio de Creep dinâmico na UFSM.

DEFORMAÇÕES				
		Temp. 10° C	Temp. 25° C	Temp. 35° C
Deformações Referência (mm)	Total	-	0,38175	1,02425
	Resiliente	-	0,01000	0,02900
	Permanente	-	0,37175	0,99525
Deformações Fresado (mm)	Total	-	0,27025	0,42475
	Resiliente	-	0,00825	0,01925
	Permanente	-	0,26200	0,40550

Tabela 11: Deformações das amostras no ensaio de Creep dinâmico.

Por meio do ensaio de creep dinâmico, foram obtidos valores de deformações permanentes a 25° C de 29,5% e a 35° C de 59,2%, menores nas amostras preparadas com material fresado em relação às amostras de referência.



Figura 7: Comparação da média dos resultados das amostras a 25° C.



Figura 8: Comparação da média dos resultados das amostras a 35° C.

Conclusão

Foram analisadas as misturas asfálticas com agregados britados minerais e misturas asfálticas com substituição de 30% dos agregados britados por material fresado, para assim poder verificar as características mecânicas das mesmas em diferentes temperaturas.

Com a análise dos resultados, observou-se que em todos os ensaios os resultados foram superiores nas amostras preparadas com o material fresado, sendo por causa da maior rigidez do ligante já envelhecido contido neste material.

Conclui-se, baseado nos resultados, que a utilização do material fresado em novas misturas asfálticas é uma boa alternativa, pois reduz os impactos ambientais gerado pela extração de agregados minerais, além da redução do consumo de CAP, melhorando também a qualidade da mistura proporcionando a construção de pavimentos mais resistentes e menos suscetíveis às altas temperaturas e variações térmicas.

Referências

- Baldo, J. T. (2007). Pavimentação Asfáltica: Materiais, Projeto e Restauração. Oficina de Textos, São Paulo.
- Bernucci, L. B.; Motta, L. M. G.; Ceratti, J. A. P. ; Soares, J. B. (2006). Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA.
- Centofante, R. (2016). Estudo laboratorial da utilização de material fresado em misturas asfálticas recicladas a quente. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (2015). Pesquisa CNT de rodovias: relatório gerencial - Brasília: Sest/Senat.
- DNER-ME 053/94 (1994). Misturas betuminosas - percentagem de betume - Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- DNER-ME 078/94 (1994). Agregado graúdo - adesividade a ligante betuminoso - Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- DNER-ME 081/98 (1998). Agregados - determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo - Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- DNER-ME 083/98 (1998). Agregados - análise granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- DNER-ME 084/95 (1995). Agregado miúdo - determinação de densidade real - Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- DNER-ME 086/94, (1994). Agregado - determinação do índice de forma - Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- DNIT 131/2010-ME, (2010). Materiais asfálticos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do Anel e Bola - Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ: IPR/DNER.
- DNIT 135/2010-ME, (2010). Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ: IPR/DNER.
- DNIT 136/2010-ME, (2010). Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ: IPR/DNER.
- DNIT 0155/2010-ME, (2010). Material asfáltico - Determinação da penetração - Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ: IPR/DNER.
- Freire, J.; Góis, T. S.; Dominicini, W. K.; Lutfi, J. (2014). O estado da arte sobre uso de reciclado de pavimento asfáltico na pavimentação no Brasil e no mundo. Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, Espírito Santo.
- Moro, R. (2016). Desempenho de diferentes misturas de concreto asfáltico frente às deformações permanentes através da utilização do ensaio de *creep* dinâmico. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

PASCHE, E.; SILVA, C.F.; PIRES G. M.; ECHEVERRIA, J. A. S.; SPECHT, L. P. (2014). Estudio das características tecnológicas do fresado e suas utilizações em camadas de pavimento no Rio Grande do Sul, 21º Encontro de Asfalto.

ROSSATO, F. P. - a, (2015). Avaliação do fenômeno de fadiga e das propriedades elásticas de misturas asfálticas com diferentes ligantes em variadas temperaturas. 2015. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ROSSATO, F. P. - b, (2015). Material de aula da disciplina de Superestruturas de Estradas. Santo Ângelo, 2015.