



SEFIC2018
UNILASALLE

CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA A
REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

22 A 27
DE OUTUBRO

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE PAVIMENTOS RECICLADOS COM ADIÇÃO DE CIMENTO PORTLAND E SUA APLICAÇÃO EM BASES E SUB-BASES

Andrea Stumm, Rodrigo Malysz (Coorientador), Sydney Sabedot (Orientador)
Universidade La Salle

RESUMO

Diante da precária situação das rodovias brasileiras e a importância socioeconômica que as mesmas representam, surge a necessidade da restauração e manutenção das vias existentes, que, durante a sua execução, utilizam agregados naturais e geram grandes quantidades de resíduos nos trechos de pavimentos deficientes, causando impactos ambientais. A possibilidade de reaproveitamento de resíduos da reabilitação de rodovias deficientes em camadas de pavimentos através da reciclagem surge como uma alternativa de baixo custo contribuindo para a preservação do meio ambiente. A reciclagem de pavimentos diminui a exploração de jazidas para extração de agregados naturais além de reduzir a quantidade de resíduos a serem depositados em aterros, impactar em um menor custo final da obra devido a diminuição de gastos com agregados, contribuindo, assim, para um desenvolvimento sustentável. O presente artigo visa analisar o comportamento mecânico das misturas resultantes da reciclagem do pavimento da rodovia ERS-223, através da adição de cimento Portland e sua aplicação em camadas de bases e sub-bases. Serão utilizadas misturas de material asfáltico fresado e agregados da base nas proporções de “50% e 50%”, “25% e 75%” e “10% e 90%”. Nestas combinações, será adicionado o cimento às misturas, nas proporções de 0%, 3% e 6%. Serão realizados ensaios de compactação, de resistência à compressão simples e de resistência à tração por compressão diametral, com o objetivo de verificar o comportamento mecânico satisfatório, visando sua aplicação em pavimentos rodoviários além de propor um destino ambientalmente correto para os resíduos.

Palavras-chave: *Pavimento, reciclagem, cimento Portland*

Área Temática: Engenharias e Computação

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação em proporcionar um destino adequado aos resíduos gerados pelos métodos construtivos de manutenção e restauração de rodovias e suas consequências geradas ao meio ambiente, aliados ao esgotamento dos recursos naturais, levou os especialistas em engenharia ao estudo de novas técnicas visando mitigar os impactos ambientais a partir da reutilização dos materiais gerados nas intervenções rodoviárias. Durante décadas, profissionais da pavimentação têm tentado diversas técnicas para o melhor aproveitamento do agregado e do material asfáltico presente nos pavimentos deteriorados e tornar o resíduo gerado tecnicamente adequado para sua reutilização.

Neste contexto, o aproveitamento do material fresado de pavimentos danificados através da reciclagem tem se apresentado como uma técnica bastante promissora, pois além



de trazer benefícios econômicos, simplicidade e rapidez de execução, também gera vantagens do ponto de vista ambiental, com o emprego total ou parcial do material fresado, reduzindo a quantidade de resíduos gerados pela técnica convencional de reabilitação de pavimentos, entre outros.

A reciclagem pode ser classificada como uma técnica relativamente simples, pois permite aumentar a capacidade de suporte do pavimento existente, reduz a exploração de jazidas para extração de agregados naturais e contribui para o reaproveitamento de resíduos, garantindo a sustentabilidade da construção. Ademais, atenua os problemas relacionados à disposição adequada de resíduos e a busca por novos materiais que possam substituir as matérias-primas retiradas do meio ambiente.

Este trabalho tem como objetivo principal estudar o comportamento mecânico das misturas resultantes da reciclagem de pavimentos com adição de cimento Portland e a sua aplicação em novas camadas de bases e sub-bases, como uma alternativa para o emprego de resíduos gerados pela manutenção e restauração de rodovias.

Os objetivos específicos compreendem:

- Realizar ensaios de caracterização do material fresado e agregados;
- Avaliar as propriedades mecânicas das misturas para uso em bases e sub-bases de pavimentos;
- Estudar a influência do teor de cimento e do teor de material fresado no comportamento das misturas;
- Propor uma destinação final ambientalmente adequada para os resíduos provenientes das atividades de manutenção e restauração de pavimentos.

2 REVISÃO

2.1 Resíduos Sólidos

A necessidade de se encontrar materiais para utilização em camadas de base e sub-base que se adequem às especificações das normas rodoviárias vigentes no Brasil representa um grande problema para órgãos rodoviários, bem como para a disposição e o aproveitamento dos resíduos sólidos. Muitas vezes, a falta de materiais granulares ou a sua grande distância do local de construção das vias inviabilizam o uso em pavimentos. Dessa forma, surge a necessidade de utilizar solos menos nobres, estabilizando-os com aglomerantes e resíduos que melhorem suas propriedades (Pereira, 2012).

Segundo Norma ABNT NBR 10.004/2004, os resíduos são classificados quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Entende-se por Resíduos Sólidos, os resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividade da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, serviços e varrição. Ainda, a norma apresenta a classe para resíduos sólidos oriundos de qualquer natureza, definidos como: Resíduos de Classe I ou Resíduos Perigosos: Resíduos de Classe II ou Não Perigosos, dividida em Classe II-A ou Resíduos Não Inertes e Classe II-B ou Resíduos Inertes.

Os resíduos gerados pela fresagem asfáltica são classificados conforme a norma ABNT NBR 10.004/2004 como resíduos Classe II-B ou Resíduos Inertes, ou seja, são os resíduos que quando amostrados conforme a norma ABNT NBR 10.007/2004 e submetidos a contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, em temperatura ambiente; conforme a norma ABNT NBR 10.006/2004, não apresentam nenhum dos constituintes



solubilizados em concentrações maiores aos padrões de potabilidade da água, exceto os aspectos de cor, turbidez, dureza e sabor.

A Resolução CONAMA 307/2002 (BRASIL, 2002) define outra classificação para os resíduos de construção. Segundo a citada Resolução, os resíduos sólidos provenientes de canteiros de construção se dividem em minerais, madeira, metais, vidros, papéis, gesso, plásticos e outros. Observando-se critérios voltados à sustentabilidade, a Resolução prega que os resíduos de construção podem ser caracterizados em quatro classes: Classe A, Classe B, Classe C e Classe D.

A Resolução estabelece os resíduos da fresagem asfáltica como sendo Classe A, que são os resíduos que podem ser reciclados ou reutilizados para produção de agregados, tais como de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação.

2.2 Pavimentos

De acordo com Senço (2008), pavimento é a estrutura construída sobre a terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos do tráfego, melhorar as condições de rolamento quanto à segurança e ao conforto dos usuários e resistir ao desgaste (esforços horizontais), resultando numa superfície de rolamento com maior durabilidade.

Segundo Bernucci et al. (2008) e Balbo (2007), o pavimento é composto por quatro camadas principais, sendo elas: revestimento, base, sub-base e reforço do subleito. O subleito integra a estrutura na função de fundação, em todos os casos, exceto nos casos em que não possuem camadas de base, sub-base e/ou reforço.

O comportamento estrutural do pavimento depende da espessura de cada uma de suas camadas, das características mecânicas destas e do subleito, assim como da interação entre as mesmas. Sendo assim, as estruturas de pavimentos são classificadas de acordo com a rigidez do conjunto, em pavimentos flexíveis ou rígidos. Alguns autores têm empregado ainda mais uma subdivisão, representada pelos pavimentos semirrígidos (BERNUCCI et al., 2008).

Conforme a norma NBR 7207/82 (ABNT, 1982), os pavimentos flexíveis são aqueles que apresentam revestimentos asfálticos e camada de base ou sub-base composta de agregados granulares, enquanto os pavimentos rígidos apresentam camada de revestimento de concreto de cimento Portland assentada sobre o solo de fundação ou sub-base intermediária. Para Bernucci et al. (2008), o pavimento semirrígido tem como definição um revestimento asfáltico assente sobre uma camada rígida, onde normalmente a base ou sub-base são compostas por materiais cimentados que resistem e são solicitados à tração.

2.3 Reciclagem de pavimentos

Reciclagem de pavimentos, segundo Bernucci et al. (2008), é o processo de reabilitação rodoviária que consiste no aproveitamento de misturas asfálticas envelhecidas e deterioradas para produção de novas misturas, utilizando os agregados e ligantes remanescentes obtidos da fresagem, com acréscimo de agentes rejuvenescedores, como espuma de asfalto, emulsão asfáltica, cimento Portland ou outro aditivo químico. Na técnica de reciclagem, a camada deteriorada do pavimento é retirada, parcial ou totalmente, através da fresagem e o material oriundo deste corte é utilizado na nova camada a ser executada.



De acordo com a The Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA, 1997), há uma considerável economia de custos, recursos e energia através do processo de reciclagem dos materiais de um pavimento já existente. Além disso, há redução dos problemas de disposição dos resíduos decorrentes de processos de restauração. Também, devido ao reaproveitamento dos materiais existentes, a geometria e espessura originais do pavimento podem ser mantidas durante o processo construtivo.

Segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006), dentre as vantagens da reciclagem podem ser citadas: a conservação de agregados, ligantes e energia, rapidez executiva, restauração das condições geométricas existentes da pista de rolamento, bem como a preservação ambiental e a redução dos custos com implantação. Além disso, a diminuição da demanda de novos materiais e das respectivas distâncias de transporte são benefícios importantes devido às restrições impostas pela legislação ambiental e a crescente valorização dos locais de ocorrências de jazidas.

David (2006) acrescenta que as leis ambientais estabelecidas nos últimos anos preveem reduções rigorosas na emissão de gases poluentes, no descarte correto de resíduos e na exploração de materiais não-renováveis, fortalecendo, assim, a justificativa para o uso da reciclagem de pavimentos no meio rodoviário.

A ARRA (1997) definiu os tipos de reciclagem em cinco categorias distintas, de acordo com o tipo de execução, conforme segue.

- Reciclagem a frio in situ: Nesta técnica de reciclagem, o material existente no pavimento é reutilizado no próprio local e permite uma execução mais rápida e econômica em relação ao processo em usina, devido à redução ou exclusão significativa de transporte de material. É composta por um conjunto de máquinas que trabalham em sequência compondo um “trem” de reciclagem que realiza a fresagem do material (WIRTGEN, 2012).

- Reciclagem à quente em usina: É o processo de reciclagem onde o pavimento degradado é removido por fresagem, sendo transportado para a usina onde será realizada a produção da mistura reciclada. Na técnica de reciclagem à quente, o pavimento deteriorado é combinado com novos agregados e ligante asfáltico com acréscimo de calor para gerar a mistura reciclada. Para esta técnica de reciclagem podem ser utilizadas usinas do tipo intermitente (gravimétrica) ou usinas a tambor (drum-mixer). Após a produção, a mistura é lançada e compactada através da adoção de equipamentos convencionais, semelhante à execução de concreto asfáltico tradicional (DNIT, 2006).

- Reciclagem à quente in situ: Consiste no amolecimento através do aquecimento com calor da camada de revestimento existente, seguido da escarificação de parte ou totalidade do material asfáltico. O material é misturado aos novos agregados e ligantes asfáltico aquecidos. Os materiais são misturados e distribuídos no próprio local com auxílio de uma pavimentadora tradicional, sem necessidade de usina de mistura. Neste tipo de reciclagem, não é necessário remover o material original do local da obra (DNIT, 2006). Este método de reciclagem tem como objetivo principal reabilitar as características funcionais do pavimento apenas na camada de desgaste, não pode ser utilizado em casos onde o pavimento contenha patologias nas camadas estruturais (Cunha, 2010).

- Reciclagem profunda: A reciclagem profunda se trata de um processo de reabilitação realizado sem a adição de calor e contempla a remoção total do revestimento asfáltico com frações pré-determinadas das camadas da base, sub-base e/ou subleito. Estes materiais são triturados e misturados, podendo ser acrescidos de agregados virgens e/ou aditivos estabilizantes, com a finalidade de formar um material de base homogênea.



Normalmente, estes aditivos estabilizantes aumentam a resistência mecânica e a resistência estrutural do pavimento, suportando a capacidade de carga prevista (ARRA, 1997). Os aditivos mais utilizados na reciclagem profunda são os cloretos de cálcio, cimento Portland, cinzas volantes e a cal.

2.4 Estabilização das camadas do pavimento

Na pavimentação, a estabilização de um solo tem como objetivo aumentar a capacidade de resistir e suportar os carregamentos e esforços do tráfego e também às ações erosivas de agentes naturais. A estabilização pode ocorrer através de processos naturais e artificiais, resultando na diminuição do tempo de execução da obra e economia ao empreendimento (Marques, 2009).

De acordo com Cordeiro (2007), os principais tipos de estabilização são: a granulométrica, a mecânica e a química, definidas conforme a seguir:

Estabilização granulométrica: Pode ser definida como a utilização de um material ou uma mistura de materiais de forma que os mesmos se enquadrem dentro da especificação desejada (Marques, 2009).

Estabilização de mecânica: É considerada o método mais antigo utilizado nas construções de estradas. Ocorre por meio de uma energia externa de compactação que ao ser aplicado no solo reduz o número de vazios, alterando as condições de compressibilidade e permeabilidade do solo, aumentando a resistência aos esforços externos (Medina; Motta, 2015).

Estabilização química: Quando utilizada em solos granulares, tem a função a de melhoria da resistência ao cisalhamento, causado pelo atrito gerado pelo contato das superfícies das partículas, com a adição de quantidades menores de ligantes nas interfaces de contato dos grãos (Marques, 2009).

Yoder e Witczak (1975) descrevem diferentes aditivos que podem ser utilizados para estabilização química, sendo eles: agentes cimentantes, materiais que possuem pozolana (cinza da casca de arroz), modificadores, impermeabilizantes, agentes de retenção de água e produtos químicos diversos.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

O local onde serão extraídas as amostras para o estudo da reciclagem situa-se na ERS-223, Trecho Entr. BRS-153/386 (P/Soledade) - Entr. ERS-142 (P/Victor Graeff).

O revestimento existente no trecho é predominantemente do tipo CBUQ (concreto betuminoso usinado à quente) com espessura média de 6,0 cm. A estrutura do pavimento existente é do tipo flexível com base e sub-base de Brita Graduada com espessura média de 30 cm de camada granular (base + sub-base) (DAER, 2016).

Os materiais a serem utilizados nesta pesquisa serão constituídos de fresado asfáltico e material granular, provenientes de coleta em campo (revestimento e base, respectivamente), além do cimento CP II E 32. Este tipo de cimento apresenta trabalhabilidade compatível com o método construtivo, além de ser um dos cimentos mais



utilizados no País e de existirem diversas experiências com a sua utilização em misturas recicladas de pavimentos.

Caso seja necessária a utilização de agregados adicionais para correção da granulometria do material fresado, os mesmos serão oriundos da pedra comercial do Município de Ibirubá, por possuir menor distância média de transporte.

A caracterização dos materiais coletados da rodovia ERS-223 será realizada a partir de ensaios de granulometria do material fresado proveniente do revestimento e dos agregados, conforme descrito a seguir.

3.1.1 Análise granulométrica do material fresado:

Para determinar a granulometria do material fresado serão realizados ensaios por peneiramento manual, de acordo com as recomendações da norma de DNER-ME 080/94 - Solos - análise granulométrica por peneiramento (DNIT, 1994). Serão ensaiadas três amostras para elaboração da curva granulométrica, de acordo com a heterogeneidade dos materiais envolvidos.

3.1.2 Ensaios dos agregados

De acordo com a norma DNIT 167/2013-ES - Pavimentação – Reciclagem profunda de pavimentos “in situ” com adição de cimento Portland – Especificação de Serviço, para os agregados a serem utilizados na mistura, deverão ser realizados os seguintes ensaios:

- Agregado graúdo:
 - análise granulométrica: DNER-ME 083/98 - Agregados - análise granulométrica,
 - desgaste los angeles: DNER-ME 035/98 - Agregados - determinação da abrasão “Los Angeles”,
 - índice de forma: DNER-ME 086/94 - Agregado - determinação do índice de forma,
 - durabilidade: DNER-ME 089/94 - Agregados - avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio
- Agregado miúdo:
 - análise granulométrica: DNER-ME 083/98 - Agregados - análise granulométrica;
 - equivalente de areia: DNER-ME 054/97 - Equivalente de areia

3.1.3 Dosagem das misturas

A mistura reciclada deverá apresentar granulometria densa e bem graduada e deverá se enquadrar em uma das faixas granulométricas conforme item 5.3.1.1 da Norma DNIT 167/2013-E e Tabela 1 apresentada a seguir.



Tabela 1. Composição Granulométrica da mistura reciclada

| Tabela 1 – Composição granulométrica | | | | |
|--------------------------------------|---------------|------------------------------------|---------|------------------------------------|
| Peneira de malha quadrada | | Porcentagem passando, em massa (%) | | Tolerância da faixa de projeto (%) |
| ABNT | Abertura (mm) | I | II | |
| 2" | 50,8 | 100 | 100 | |
| 1" | 25,4 | 75 – 90 | 100 | ± 7 |
| 3/8" | 9,50 | 40 – 75 | 50 – 85 | ± 7 |
| Nº 4 | 4,75 | 30 – 60 | 35 – 65 | ± 5 |
| Nº 10 | 2,0 | 20 – 45 | 25 – 50 | ± 5 |
| Nº 40 | 0,425 | 15 – 30 | 15 - 30 | ± 2 |
| Nº 200 | 0,075 | 5 - 15 | 5 - 15 | ± 2 |

Fonte: DNIT 167/2013-E (2013)

Além disso, para um bom comportamento da mistura reciclada, a norma recomenda verificar para os seguintes aspectos:

- A participação do material fresado do revestimento asfáltico deverá ser limitada a 50% em relação a massa seca misturada;
- Pelo menos 95% do material deve passar na peneira 2”;
- O percentual máximo de 15% de finos passantes na peneira nº 200;
- Não deverão existir patamares ou grandes descontinuidades na curva granulométrica;
- Resistência compressão simples (RCS), aos 7 dias de cura, entre 2,1 a 2,5 Mpa;
- Resistência à tração por compressão diametral (RTCD), aos 7 dias, entre 0,25 Mpa e 0,35 Mpa;

As misturas propostas neste estudo serão compostas por uma matriz de 50% de RAP e 50% agregados, 25% RAP e 75% agregados e 10% RAP e 90% agregados, com teores de cimento de 0%, 3% e 6%, totalizando 9 misturas, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Matriz das misturas propostas no estudo

| Mistura | % RAP (material fresado) | % agregados | Teor de cimento (%) |
|---------|--------------------------|-------------|---------------------|
| 1 | 50 | 50 | 0 |
| 2 | 50 | 50 | 3 |
| 3 | 50 | 50 | 6 |
| 4 | 25 | 75 | 0 |
| 5 | 25 | 75 | 3 |
| 6 | 25 | 75 | 6 |
| 7 | 10 | 90 | 0 |
| 8 | 10 | 90 | 3 |
| 9 | 10 | 90 | 6 |

Fonte: Autor (2018)



3.1.4 Granulometria da mistura

A partir dos dados obtidos das curvas granulométricas de cada material e da porcentagem de fresado nas misturas, serão determinadas as curvas granulométricas das nove misturas compostas por fresado e agregado.

Concluída a análise granulométrica, deverá ser verificado se os resultados se encontram dentro da faixa sugerida pela especificação de serviço DNIT 167/2013-ES - Pavimentação – Reciclagem profunda de pavimentos “in situ” com adição de cimento Portland. Caso a mistura não se enquadre nas faixas, deverá ser realizada a correção da granulometria através da adição de agregados miúdos e graúdos, conforme necessário.

3.1.5 Ensaio de compactação

Os ensaios de compactação serão realizados para as misturas de agregado e fresado. Os ensaios atenderão a norma DNIT-ME 164/2013 (DNIT, 2013) com objetivo de se obter o peso específico aparente seco máximo e o teor de umidade ótimo obtidos para cada mistura, sem reuso do material.

3.1.6 ISC – Índice de Suporte Califórnia

O Índice de Suporte Califórnia (ISC) será determinado de acordo a norma DNER-ME 049/94 (DNER, 1994) para a mistura de material fresado e agregado. O valor do ISC exprime a porcentagem da resistência à penetração do material em relação à resistência de uma brita-padrão (100%).

3.1.7 Resistência à compressão simples

Este ensaio será realizado através do rompimento dos corpos de prova utilizando-se uma prensa hidráulica digital e será realizado conforme DNER-ME 091/98 (DNIT, 1998) para as misturas com adição de cimento.

Os corpos de prova serão moldados na forma cilíndrica, com medidas de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, onde a quantidade total da mistura é dividida em cinco partes iguais e compactada. Serão moldados dois corpos de prova para cada misturas com adição de cimento para o tempo de cura de sete dias. Após as amostras serão submetidas a um esforço de compressão até sua ruptura.

3.1.8 Ensaios de resistência à tração por compressão diametral

A determinação da resistência à tração por compressão diametral será realizada conforme método de ensaio DNIT-ME 136 (DNIT, 2010) para as misturas com adição de cimento.

Serão moldados dois corpos de prova cilíndricos para cada mistura estudada, com medidas de 10 cm x 6 cm, colocadas em uma única camada, onde a mistura será inserida no molde e compactada. Este ensaio utilizará os mesmos corpos de prova do ensaio de Módulo de Resiliência por se tratar de um ensaio não destrutivo.

3.1.9 Ensaios de módulo de resiliência

O ensaio é baseado na norma DNIT – ME 135/2010 (DNIT, 2010) - Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio e será realizado no laboratório de pavimentação (LAPAV) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para as misturas com adição de cimento.



SEFIC2018
UNILASALLE

CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA A
REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

22 A 27
DE OUTUBRO

Os corpos de prova serão moldados na forma cilíndrica, com medidas de 10 cm de diâmetro por 6 cm de altura, colocados em camada única, onde a mistura será inserida no molde e compactada.

Serão moldados dois corpos de prova para cada misturas para um tempo de cura de sete dias. Como o ensaio de módulo de resiliência é não destrutivo, os mesmos corpos de prova serão utilizados para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

Segundo a referida norma, a relação entre a tensão de tração e a deformação específica recuperável representam o módulo de resiliência.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se refere ao projeto de Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais da Universidade La Salle – Canoas/RS e, portanto, ainda não dispõe de resultados e conclusões.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Amostragem de resíduos sólidos. NBR 10.007. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. NBR 10.006. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. Resíduos sólidos. NBR 10.004. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Terminologia e classificação de pavimentação: NBR 7207. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ARANHA, A. L. Avaliação laboratorial e de campo da tecnologia de reciclagem de base com cimento para a reabilitação de pavimentos. Dissertação de Mestrado em engenharia – USP, São Paulo, 2013.

ARRA - ASPHALT RECYCLING AND RECLAIMING ASSOCIATION. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments Participant's Reference Book. U.S. Department of Transportation, FHWA-SA-98-042, Washington, D.C. Dezembro, 1997.

BALBO, J. T. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

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

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução N° 307/2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasil, 2002.

CORDEIRO, J. K. da S. Estabilização química e solidificação do resíduo oleoso gerado nas atividades de E&P de petróleo, com solo para o uso em camadas de bases e/ou sub-bases de pavimentos rodoviários. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2007.

CUNHA, C. M. Reciclagem de Pavimentos Rodoviários Flexíveis Diferentes Tipos de Reciclagem. Dissertação (Mestrado) - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa: Departamento de Engenharia Civil, 2010.



DAER – DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM. Projeto Final de Engenharia de Rodovias Estaduais Programa CREMA/RS – Lote 1. Volume 1 – Relatório do Projeto. Maio/2016.

DAVID, D. de. Misturas asfálticas recicladas a frio: estudo em laboratório utilizando emulsão e agente de reciclagem emulsionado. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

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

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: DNER-ME 091/98. Rio de Janeiro, 1998.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio: DNIT 135/2010 – ME. Rio de Janeiro, 2010.

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

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Pavimentação – Reciclagem profunda de pavimentos “in situ” com adição de cimento Portland – Especificação de Serviço: DNIT 167/2013 – ES. Rio de Janeiro, 2013.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio: DNIT 164/2013 – ME. Rio de Janeiro, 2013.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Solos Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas: DNER-ME 049/94. Rio de Janeiro, 1994.

MARQUES, G. L. O. Estabilização dos Solos para Fins de Pavimentação. Notas de Aula da disciplina de Pavimentação. Departamento de Transportes e Geotecnia. Faculdade de Engenharia Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2009.

MEDINA, J. Apostila de estabilização de solos – COPPE/UFR. 1987.

MEDINA, J. de; MOTTA, L. M. G. da. Mecânica dos Pavimentos. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.

PAIVA, C. E. L.; OLIVEIRA, P. C. A.; BONFIM, V. As perspectivas de reabilitação de pavimentos no estado de São Paulo – Brasil: Enquadramento e técnicas usuais. Construção Magazine, Vol. 53, Porto, 2013.

PEREIRA, K. L. A. Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Natal, 2012.

SENÇO, W. Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários. São Paulo: PINI, 2008.

WIRTGEN. Reciclagem a frio: Tecnologia de reciclagem a frio. Wirtgen. Windhagen, Alemanha, 2012.

YODER, E. J; WITCZAK, M. W. Principles of pavement design. 2ªed. Nova Iorque: John Wiley & Sonos, INC. 1975.