



## ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA RECICLAGEM DE CONCRETO ASFÁLTICO COMO CAMADA DE PAVIMENTO

<sup>1</sup> Rodrigo André Klamt

<sup>2</sup> Priscilla Rodrigues Fontoura

<sup>3</sup> Jaelson Budny

<sup>4</sup> Fladimir Fernandes dos Santos

### RESUMO

O presente estudo tem como objetivo analisar o desempenho do material fresado misturado com aglomerantes e adições minerais quanto à resistência à tração por compressão diametral, com o intuito de avaliar a sua aplicação em camadas de base e sub-base de pavimentos e na busca por soluções sustentáveis satisfatórias em termos de pavimentação. Os materiais utilizados foram o material fresado de pavimento asfáltico e pó de pedra, tendo como aglomerantes o cimento Portland pozolânico CP-IV e a cal hidratada dolomítica CH-II, com adições minerais de sílica da casca de arroz e cinza volante. Foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões 10cm de diâmetro e 5cm de altura com energia modificada do ensaio Proctor e realizados ensaios de resistência à tração por compressão diametral, sendo que as adições foram realizadas em diferentes teores. Os resultados indicam que a melhor composição dos materiais no quesito da maior resistência à tração por compressão diametral foi composta por 80% de material fresado e 20% de pó de pedra, contendo adições de 5% de cimento e 5% de sílica da casca de arroz. Essa mistura obteve resistência a tração por compressão diametral superior a 1,15 MPa. Portanto, essa mistura vem a ser a de melhor desempenho técnico e ambiental, reutilizando resíduos da própria pavimentação e também da produção de arroz.

**Palavras-chave:** Material fresado. Sílica de casca de arroz. Reciclagem de pavimentos. resistência à tração por compressão diametral.

### STUDY OF THE USE OF ASPHALT CONCRETE RECYCLING AS PAVEMENT LAYER

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Santa Maria, RS (Brasil). E-mail: [rodrigoklamt@outlook.com](mailto:rodrigoklamt@outlook.com)

<sup>2</sup> Bacharel em Engenharia Civil – Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA. Alegrete, RS (Brasil). E-mail: [priscilla.fontoura@hotmail.com](mailto:priscilla.fontoura@hotmail.com)

<sup>3</sup> Doutor em Ciências em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ (Brasil). E-mail: [jaelsonbudny@gmail.com](mailto:jaelsonbudny@gmail.com)

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, SC (Brasil). E-mail: [fladimirsantos@unipampa.edu.br](mailto:fladimirsantos@unipampa.edu.br)





## ABSTRACT

The present study aims to analyze the performance of milling material mixed with binders and mineral additions for tensile strength by diametrical compression, with the purpose of evaluating its application in the base layers and sub-base of pavements and in the search for satisfactory solutions in terms of pavement. The materials used were the milled material of asphalt pavement and stone powder, with the CP-IV pozzolanic Portland cement and the dolomite hydrated lime CH-II, with mineral additions of rice husk and fly ash. Cylindrical specimens measuring 10cm in diameter and 5cm in height were molded with modified energy from the Proctor test and tensile strength tests were carried out by diametrical compression, and the additions were performed at different levels. The results indicated that the quantitative of the mixture that obtained the highest tensile strength by diametrical compression was composed of 80% of milled material and 20% of stone powder, containing 5% cement and 5% silica content of the rice husk. This mixture obtained tensile strength by diametrical compression of more than 1.15 MPa. Therefore, this mixture comes to be the one of better technical and environmental performance, reusing residues of the pavement itself and also of rice production.

**Keywords:** Milling material. Rice husk silica. Pavement recycling.

## ESTUDIO DEL USO DEL ASFALTO DE RECICLAJE DE HORMIGÓN COMO CAPA DE SUELO

### RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo analizar el rendimiento del material molido mezclado con aglutinantes y adiciones minerales como la resistencia a la tracción por compresión diametral, con el fin de evaluar su aplicación en capas de base y sub-suelo de base y la búsqueda de soluciones sostenibles satisfactorios en términos de pavimentación. Los materiales se molieron y material de pavimentación de asfalto polvo de piedra con cemento Portland puzolánico como aglutinantes CP-IV e hidratada cal dolomítica II-CH, con la adición de minerales de sílice a partir de cáscara de arroz y cenizas volantes. Ellos se moldearon probetas cilíndricas con unas dimensiones de 10 cm de diámetro y 5 cm de altura con energía ensayo Proctor modificado y realizaron pruebas de resistencia a la compresión de tracción diametral y adiciones se hicieron en diferentes niveles. Los resultados indican que la cantidad de mezcla que tenía la fuerza más alta a la tracción por compresión diametral se compone de 80% del material molido y 20% de polvo de piedra que contiene adiciones de cemento 5% y 5% de cáscara de arroz de sílice. Esta mezcla obtenida resistencia a la tracción por compresión diametral mayor que 1,15 MPa. Por lo tanto, esta mezcla tiene que ser el mejor rendimiento técnico y medioambiental mediante la reutilización de residuos de la propia pavimentación y también la producción de arroz.

**Palabras-clave:** Material mecanizado. Arroz cáscara de sílice. Resistencia a la tracción por compresión diametral.





## 1 Introdução

O Brasil tem como principal sistema de transporte de cargas e passageiros as rodovias, as quais possuem grande importância na economia do país, segundo o Ministério dos Transportes (2007). Anualmente a Confederação Nacional do Transporte [CNT] realiza uma pesquisa sobre as condições das rodovias brasileiras, que abrange todas as rodovias federais e os principais trechos estaduais, diagnosticando que 58,2% dos pavimentos possuem algum tipo de deficiência, sendo 34,6% classificados como regular, 17,3% como ruim e 6,3% classificados como péssimo (CNT, 2016). A má qualidade das rodovias gera impactos sociais e econômicos negativos para o país, tais como: o aumento de acidentes, o maior consumo de combustível, o atraso na entrega de mercadorias, prejuízos financeiros, ambientais entre outros. Esses impactos evidenciam a necessidade dos serviços de manutenção ou restauração das rodovias.

As obras de infraestrutura ganharam impulso com as políticas públicas brasileiras adotadas, principalmente depois dos anos 2000, o que mostra um cenário positivo para as áreas da engenharia. Nesse contexto, os desenvolvimentos de novos materiais e de novas técnicas construtivas podem possibilitar à execução de pavimentos menos onerosos e mais duradouros. A reciclagem e o reaproveitamento de resíduos gerados na construção civil, como os materiais de fresagem do recapeamento das rodovias, podem contribuir positivamente no que se refere à conservação dos recursos naturais e a utilização de materiais alternativos.

No Brasil, estudos realizados em algumas cidades mostram que os resíduos gerados na construção civil chegam, em alguns casos, a representar 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (Santos, Cândida, & Ferreira, 2010; MMA, & ICLEI, 2012). Sob esse enfoque, pode-se dizer que a construção civil se evidencia por ser gerador de impactos ambientais, na qual, além de consumir recursos naturais não renováveis, ela também gera uma enorme quantidade de resíduos (Tozzi, 2006). Utilizando-se da afirmação de Souza, Paliari, Agopyan e Andrade (2004), entende-se que isso pode significar o desperdício de recursos naturais.

A preocupação mundial com relação aos resíduos gerados na construção civil tem

aumentado devido ao desenvolvimento desordenado das cidades, ao crescimento da população, ao gerenciamento inadequado desses resíduos e a falta de áreas de disposição final ambientalmente adequada de rejeitos (Guerra, 2009). Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo analisar o desempenho de material fresado misturado com aglomerantes e adições minerais quanto à resistência à tração por compressão diametral, com o intuito de avaliar a sua aplicação em camadas de base e sub-base de pavimentos e na busca por soluções sustentáveis satisfatórias em termos de pavimentação.

Espera-se, com esse estudo, evidenciar a possibilidade de utilização de materiais fresados de pavimentos asfálticos – melhorados quimicamente, sem perder as características mecânicas dos mesmos – em camadas de base de pavimentos, visando a destinação final economicamente e ambientalmente adequada deste material.

De acordo com o que afirmam Branco, Pereira e Santos (2008), entende-se que a evolução das técnicas de reciclagem de pavimentos – tornando-os mais econômicos –, e que as restrições impostas pela legislação ambiental, em vigor, faz com que a reciclagem tenha cada vez mais importância para a construção de rodovias.

Em face disso, o reaproveitamento de material asfáltico fresado torna-se um tema importante, pois, diminuindo-se o desperdício de materiais, se estará contribuindo para com a conservação do meio ambiente, bem como para a economia de jazidas naturais, devido à menor velocidade de exploração das mesmas, aliando-se a diminuição do custo dos pavimentos, uma vez que esses materiais apresentam custos inferiores aos convencionais.

## 2 Referencial teórico

Devido à expansão das atividades do setor da construção civil e a crescente geração de resíduos, no Brasil foram elaboradas algumas regulamentações buscando o uso racional dos recursos naturais, a redução consciente quanto ao uso de materiais, ou até mesmo o reaproveitamento dos resíduos gerados, visando uma melhor gestão ambiental e também a minimização dos impactos ambientais (Santos, Tambara, Cechin, Almeida, & Sousa, 2012).

Pode-se dizer que atualmente há um conjunto de leis e políticas públicas, além de



normas técnicas, que são fundamentais para a correta gestão de resíduos da construção civil, nas quais contribuem para minimizar os impactos ambientais, tais como, entre outras, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente [CONAMA], Resolução CONAMA n. 307, 2002, Resolução CONAMA n. 308, 2002, Resolução CONAMA n. 348, 2004, Resolução CONAMA n. 404, 2008, Resolução CONAMA n. 431, 2011, Resolução CONAMA n. 448, 2012 e Resolução CONAMA n. 469, 2015 nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT] ABNT NBR 10.004, 2004 e ABNT NBR 15.116, 2004.

Nesse sentido, com base em Brasil (2017), pode-se dizer que uma das possibilidades que contribui para promover a reflexão sobre a correta gestão de resíduos consiste em a sociedade e o meio empresarial adotar a política dos 5R's, na qual implica em cinco ações iniciadas com a letra R, que podem ser aplicáveis no dia-a-dia, sendo elas:

- Reduzir: implica em reduzir o consumo;
- Repensar: vai além de apenas reduzir o consumo exagerado e o desperdício. Trata-se de rever práticas visando a sustentabilidade;
- Reaproveitar (reutilizar): é dar um novo uso a algo ou tornar a utilizá-lo;
- Reciclar: é tratar os resíduos para que sejam reutilizados de alguma forma;
- Recusar: é evitar consumir produtos que gerem impactos socioambientais significativos.

Aqui torna-se importante ressaltar que, além da filosofia denominada de 5R's, deve-se ainda atentar, conforme o SINDUSCON-MG e SENAI- MG (2008), que a gestão de resíduos deve ser iniciada na fase de concepção de um empreendimento, buscando maior interface entre projetos, processos construtivos e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos. Para que isso ocorra, é necessário que haja a conscientização e a sensibilização dos agentes envolvidos, que cada empresa crie uma metodologia própria.

Cabe citar que na Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, na Resolução CONAMA n. 307, de 05 de julho de 2002 e na Resolução CONAMA n. 448, de 18 de janeiro de 2012, consta a informação de que o objetivo prioritário do gerador de resíduos é a não geração e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Existem resíduos que são reaproveitáveis, na qual se deve dar uma destinação final ambientalmente adequada (por meio da reciclagem ou reutilização), mas também existem aqueles que não são reaproveitáveis, que, por não servirem para a reciclagem e reutilização, são considerados como rejeitos, nos quais devem ter uma disposição final ambientalmente adequada em aterros específicos ou em aterros de inertes (Lei 12.305, 2010).

Em face disso, aproveita-se aqui para evidenciar a classificação utilizada para os resíduos específicos da construção civil, que consta no Artigo 3º da Resolução CONAMA n. 307, de 05 de julho de 2002 (p. 02), qual seja:

I - Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso (redação dada pela Resolução n. 469/2015).

III - Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (redação dada pela Resolução n. 431/2011).

IV - Classe D – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (redação dada pela Resolução n. 348/2004).





## Estudo da Utilização da Reciclagem de Concreto Asfáltico como Camada de Pavimento

Na supracitada Resolução é possível observar que existem diferentes tipos de classes de resíduos da construção civil, com distintas soluções para cada uma delas, nas quais envolvem a reciclagem, o reaproveitamento, o armazenamento, enfim, a destinação final para os resíduos e disposição final para rejeitos – ambientalmente adequada – produzidos pelo setor da construção civil. Mas vale dizer que é a NBR 15.116 (ABNT, 2004) que trata especificamente de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

No que se refere a reciclagem de pavimentos, ela utiliza o material asfáltico fresado para realizar novas misturas e pode ser aplicada como nova camada de rolamento ou como camada de base reforçada.

A reciclagem de pavimentos resume-se em obter novas misturas betuminosas utilizando material fresado de pavimentos, com adição de agregados e ligantes. Com o emprego desta técnica pode-se reabilitar tanto as características superficiais, quanto as estruturais do pavimento (Branco, Pereira, & Santos, 2008).

Os agregados fresados são os elementos principais das misturas recicladas, sendo empregados teores variados, podendo inclusive, as misturas serem integralmente compostas por material fresado, sem qualquer adição de material virgem (Silva, Bernucci, Ferri, Suzuki, & Chaves, 2011, p. 2).

A técnica de fresagem gera grandes volumes de um material nobre e é necessário que os serviços sejam aprimorados visando reutilizar o material fresado. Caso o mesmo não seja aproveitado na reciclagem a quente ou a frio, pode gerar um passivo ambiental por ficar depositado no leito das rodovias (Rosa, Lorenzo, & Pacheco, 2007).

Atualmente, a preocupação com a proteção ao meio ambiente e a preservação de recursos naturais faz com que soluções técnicas na área de engenharia rodoviária se preocupem em minimizar os impactos ambientais causados pela construção de rodovias e a manutenção delas, não deixando a parte técnica de lado.

Nesse contexto observa-se que parte da rede pavimentada brasileira encontra-se deteriorada, o que exige grandes investimentos para a execução de serviços de restauração. As soluções a serem empregadas precisam

aproveitar os recursos de maneira racional e eficiente. Desse modo, a reciclagem de materiais asfálticos vem sendo empregada nos processos de restauração rodoviária, na qual, tal alternativa possibilita o reaproveitamento dos agregados e ligantes do pavimento deteriorados, conservando a geometria e a espessura do pavimento existente, proporcionando reduzir custos e preservar o meio ambiente (David, 2006).

Destaca-se que, em seu estudo, Silva (2013) constatou a viabilidade econômica do emprego do resíduo fresado do pavimento asfáltico nas misturas de solo e material fresado e solo material fresado com adição de 2% e 4% de cimento na estabilização granulométrica e química das misturas, e o emprego de concreto asfáltico reciclado a quente na taxa de reciclagem de 100%, em relação às soluções usualmente empregadas, para a execução das camadas de pavimento em solos de baixa capacidade de suporte, proporcionando, também a preservação dos recursos naturais.

Zubaran e Motta (2015) também estudaram o comportamento de misturas asfálticas com uso de material fresado como camada de revestimento, e os resultados mecânicos das misturas indicaram a viabilidade econômica, ambiental e técnica da reciclagem morna mediante critérios de seleção dos materiais e dos equipamentos utilizados.

Diante o exposto, no Brasil, a reciclagem e o reaproveitamento dos resíduos gerados na construção civil vêm se ampliando lentamente e estão atendendo às necessidades do setor da construção civil. Mas é preciso uma maior fiscalização e participação dos órgãos públicos, da sociedade, de empresas e de profissionais no que diz respeito ao destino dado a esses resíduos, com intuito de evitar os despejos em locais inapropriados e garantir a acessibilidade a locais adequados para sua deposição final, além de reciclar e/ou reaproveitar tais resíduos (Gradin, & Costa, 2009).

A crescente conscientização pelo correto emprego dos recursos naturais, da necessidade da preservação ambiental e da redução das emissões de poluentes tem impulsionado a busca de alternativas ambientalmente favoráveis. Ainda que as técnicas aplicáveis devam obedecer a questões como a maior durabilidade e a preservação das rodovias. Com isso, os métodos de reciclagem de pavimentos têm ganhado a simpatia dos órgãos de gestão e da sociedade, por serem alternativas técnicas politicamente corretas





e economicamente viáveis (Pires, Specht, Pinheiro, Pereira, & Renz, 2016).

### 3 Procedimentos metodológicos

#### 3.1 Materiais

O material fresado utilizado na pesquisa foi extraído pela técnica de fresagem à frio de um trecho da BR – 290, próximo à cidade de Rosário do Sul, Estado do Rio Grande do Sul. O mesmo foi peneirado e a fração de material utilizada foi a passante na peneira 9,5 mm. A escolha da fração de material fresado se deu pelas dimensões dos moldes dos corpos de prova cilíndricos de 10x5cm suportarem o tamanho máximo do agregado inferior a três vezes o diâmetro do corpo de prova.

Além do material fresado, foram utilizados pó de pedra e solo na composição das misturas. O pó de pedra foi obtido em pedreira localizada na cidade de Alegrete/RS, sendo oriundo de rocha basáltica. O solo utilizado é proveniente da jazida localizada no município de Alegrete/RS na latitude (29°50'13.46") Sul e longitude (55°46'27.01") Oeste. A adição de solo natural e do pó de pedra foi utilizada para preencher os vazios do material fresado, visando beneficiar a resistência da mistura e diminuindo os índices de vazios (Pires, Specht, Pinheiro, Pereira, & Conceição, 2013).

Os materiais que serviram como aglomerantes foram o cimento Portland CP IV – 32 e a cal hidratada CH-II de origem dolomítica, sendo utilizadas duas adições minerais, a sílica da casca de arroz e a cinza volante. O cimento e a cal são industrializados e foram adquiridas no comércio local. Já a sílica da casca de arroz foi cedida pela empresa Pillecco Nobre, localizada na cidade de Alegrete e a cinza volante foi cedida pela Usina Termelétrica Presidente Médici – UTPM – Candiota II, localizada no município de Candiota/RS.

#### 3.2 Métodos

Foram realizadas misturas contendo material fresado, pó de pedra, solo, aglomerantes e adições minerais. Para cada mistura as quantidades de aglomerantes e adições minerais foram calculadas com base na proporção de massa na mistura de 80% de fresado e 20 % de pó de pedra ou solo. Foram realizadas 20 diferentes misturas, identificadas na Tabela 1. A composição das misturas tendo como base 80%

de material fresado e 20% de solo ou pó de pedra se deu por análise previa das curvas granulométricas dos materiais, e pelo fato de que as adições de 20% de solo ou pó de pedra ao material fresado proporcionaram um ganho de trabalhabilidade nas misturas.

Visando definir a quantidade de água a ser adicionada às misturas foi realizado o ensaio de compactação Proctor com energia modificada, conforme NBR 7182 (ABNT, 2016) Para moldagem dos corpos de prova foi seguida as recomendações de ensaio expostas na ME-180, (DNER, 1994a). Primeiramente foi realizada a mistura de todos os traços a seco, até que houvesse a homogeneização dos mesmos. Após adicionou-se a quantidade de água referente ao teor de umidade ótima definido pela curva de compactação e procedeu-se a compactação dos corpos de prova, utilizando o compactador Marshall.

A metodologia de ensaio ME-136 (DNIT, 2010b) determina que o CP destinado aos ensaios de resistência à tração por compressão diametral [RTCD] deve apresentar forma cilíndrica, com altura entre 3,5cm e 6,5cm e diâmetro de  $10 \pm 2$ cm. Para compactar os CP's adotou-se a energia de compactação modificada do ensaio Proctor, com 50 golpes, determinado através ME-181 (DNER, 1994b)





Tabela 1 - Nomenclatura das misturas utilizadas no estudo

Nomenclatura	Composição do Traço
M1	F+So (80% + 20%)
M2	F+So+Ci (80% + 20% + 5%)
M3	F+So+C (80% + 20% + 10%)
M4	F+So+Si (80% + 20% + 10%)
M5	F+So+CV (80% + 20% + 10%)
M6	F+So+Ci+CV (80% + 20% + 5% + 5%)
M7	F+So+C+CV (80% + 20% + 10% + 5%)
M8	F+So+Ci+Si (80% + 20% + 5% + 5%)
M9	F+So+C+Si (80% + 20% + 10% + 5%)
M10	F+So+C+Si (80% + 20% + 5% + 10%)
M11	F+P (80% + 20%)
M12	F+P+Ci (80% + 20% + 5%)
M13	F+P+C (80% + 20% + 10%)
M14	F+P+Si (80% + 20% + 10%)
M15	F+P+CV (80% + 20% + 10%)
M16	F+P+Si+Ci (80% + 20% + 5% + 5%)
M17	F+P+Ci+CV (80% + 20% + 5% + 5%)
M18	F+P+C+Si (80% + 20% + 10% + 5%)
M19	F+P+C+CV (80% + 20% + 10% + 5%)
M20	F+P+C+Si (80% + 20% + 5% + 10%)

F - Fresado; So - Solo; Ci - Cimento; C - Cal; CV - Cinza Volante; P - Pó de Pedra; Si - Sílica de Casca de Arroz

Decorridas 24 horas após a moldagem, os CP's foram desmoldados e acondicionados em ambiente climatizado a 22°C para a cura em câmara úmida por um período de 28 dias. Foram moldados seis CP's para cada traço estudado. Aos 28 dias de cura os corpos de prova foram ensaiados até a ruptura. Realizou-se o ensaio de resistência à tração por compressão diametral, seguindo a orientação da ME-181 (DNER, 1994b). Dos 6 CP's existentes de cada traço, 3 CP's foram colocados submersos em água 24 horas antes do ensaio e 3 CP's foram ensaiados com a umidade natural de cura.

A análise da resistência à tração foi obtida pela realização do ensaio brasileiro de compressão diametral desenvolvido pelo professor Lobo Carneiro, conforme ME - 136 (DNIT, 2010b). Os CP's foram rompidos com velocidade de aplicação do carregamento de 0,8 mm/s, sendo que o software utilizado forneceu os dados da força resistente de ruptura, da tensão resistente e os gráficos de ruptura. Para calcular a resistência à tração por compressão diametral empregou-se a Equação 1, de acordo com o especificado na ME-181 (DNER, 1994b).





$$RTCD = \frac{2 * F}{\pi * d * h}$$

Onde:

RTCD = Resistência à tração por compressão diametral (MPa);

F = carga máxima obtida do ensaio (N);

d = diâmetro do corpo de prova (mm);

h = altura do corpo de prova (mm).

A umidade foi verificada após a execução dos ensaios. Foram medidas as umidades de amostras que não ficaram submersas

#### 4 Análise e discussão dos resultados

Na Figura 1 são apresentadas as curvas granulométricas do material fresado, do pó de pedra e do solo utilizados no presente estudo.

Foi determinado o teor de umidade ótima para a mistura de 80% Fresado e 20% Pó de Pedra, sendo obtido o peso específico aparente seco máximo ( $\gamma_{dmax}$ ) igual a 23,58 kN/m<sup>3</sup> para a

(CP natural) e de amostras que passaram 24 horas imersas (CP submerso), a fim de avaliar a umidade real no momento do ensaio.

umidade ótima (wótima) de 7,5%, onde esse teor foi utilizado para as demais misturas contendo pó de pedra. Já para mistura de 80% Fresado e 20% Solo, foi obtido o peso específico aparente seco máximo ( $\gamma_{dmax}$ ) igual a 23,52 kN/m<sup>3</sup> para a umidade ótima (wótima) de 9,0%, esse teor foi utilizado para as demais misturas contendo solo. As curvas de compactação estão apresentadas na Figura 2.

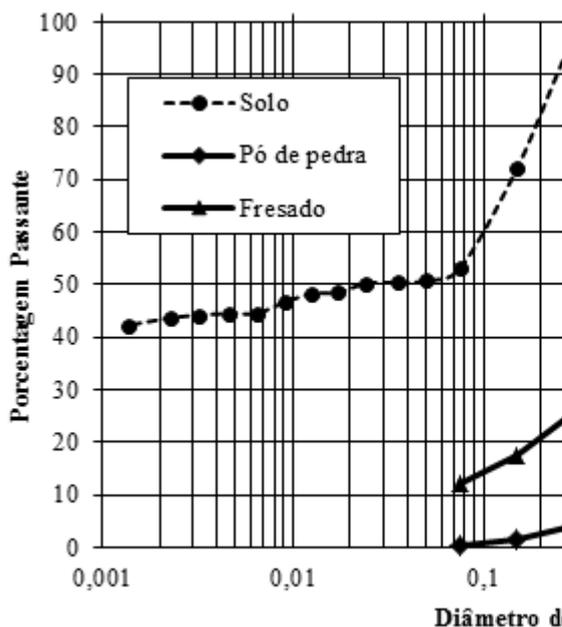


Figura 1 - Curva granulométrica do fresado, do pó de pedra e do solo.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios da resistência a tração por compressão diametral das misturas estudadas, bem como os valores de desvio padrão e coeficiente de variação para um conjunto de 3 amostras ensaiadas para cada mistura. Também é

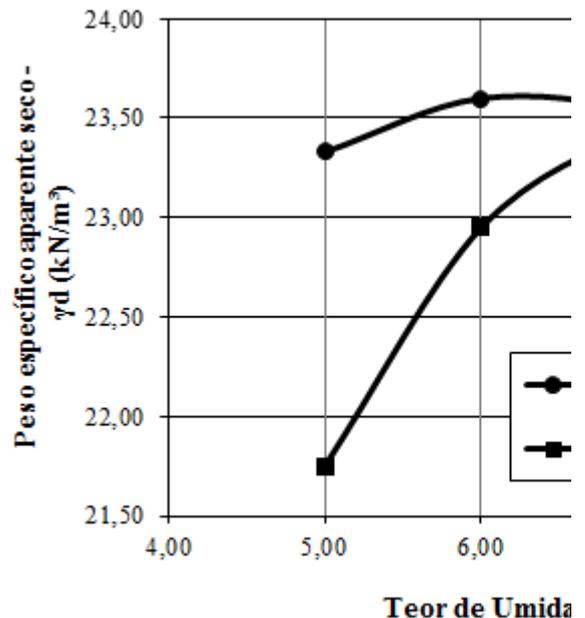


Figura 2 - Curva de compactação do Fresado + Pó de Pedra e do Fresado + Solo

apresentada a umidade na qual as amostras foram rompidas.





Tabela 2 - Resultados de Resistência à Tração por Compressão Diametral

Mistura		Resistência à Tração por Compressão Diametral (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de variação	Umidade Ensaída (%)**
M1	CP's secos	0,12	0,09	0,77	3,54
	CP's submersos	0,01	0,01	1,15	7,10
M2	CP's secos	0,02	0,02	1,06	5,25
	CP's submersos	0,54	0,08	0,15	8,71
M3	CP's secos	0,40	0,05	0,13	3,83
	CP's submersos	0,18	0,02	0,10	8,28
M4	CP's secos	0,35	0,05	0,15	2,76
	CP's submersos	0,01	0,01	1,15	8,49
M5	CP's secos	0,43	0,05	0,10	1,93
	CP's submersos	_*	_*	_*	15,16
M6	CP's secos	0,83	0,04	0,05	3,93
	CP's submersos	0,49	0,02	0,04	7,85
M7	CP's secos	0,71	0,04	0,06	3,78
	CP's submersos	0,35	0,04	0,11	8,01
M8	CP's secos	1,09	0,12	0,11	5,83
	CP's submersos	0,94	0,09	0,09	8,27
M9	CP's secos	0,93	0,06	0,06	4,69
	CP's submersos	0,58	0,10	0,16	8,46
M10	CP's secos	1,00	0,01	0,01	4,62
	CP's submersos	0,74	0,01	0,01	8,81
M11	CP's secos	0,05	0,02	0,31	2,01
	CP's submersos	_*	_*	_*	21,17
M12	CP's secos	0,36	0,06	0,18	3,01
	CP's submersos	0,32	0,02	0,07	8,33
M13	CP's secos	0,21	0,03	0,15	2,12
	CP's submersos	0,14	0,01	0,07	8,12
M14	CP's secos	0,06	0,01	0,10	3,16
	CP's submersos	_*	_*	_*	18,29
M15	CP's secos	0,06	0,01	0,10	1,71
	CP's submersos	_*	_*	_*	14,33
M16	CP's secos	1,15	0,05	0,04	5,16
	CP's submersos	0,88	0,12	0,14	7,78
M17	CP's secos	0,59	0,01	0,02	4,08
	CP's submersos	0,5	0,06	0,11	7,82
M18	CP's secos	0,88	0,16	0,18	4,78
	CP's submersos	0,77	0,03	0,03	9,53



M1	CP's secos	0,42	0,05	0,12	3,19
9	CP's submersos	0,38	0,04	0,09	7,98
M2	CP's secos	0,90	0,03	0,03	4,9
0	CP's submersos	0,93	0,08	0,08	9,15

\* A estrutura dos CP's desmanchou após 24 horas imerso em água; \*\* A umidade moldada de todas as amostras M1 até M10 foi de 9,0% e das amostras M11 a M20 foi de 7,5%;

Com base nos dados de umidade presentes na Tabela 2 é perceptível que a umidade presente nos CP's secos, ou seja, aqueles que não foram imersos em água por 24 horas antes da ruptura, apresentaram umidade inferior a que foram moldados. Nos CP's submersos a umidade aproximou-se à de moldagem, mas a maioria das misturas ainda encontrava-se com valores menores, sendo que o valor máximo corresponde à mistura M11 (80% Fresado + 20% Pó de Pedra), a qual se desmanchou. Outras misturas, também com altos valores de umidade, desmancharam: as misturas M5 (80% Fresado + 20% Solo + 10% de Cinza Volante), M14 (80% Fresado + 20% Pó de Pedra + 10% de Sílica) e M15 (80% Fresado + 20% Pó de Pedra + 10% de Cinza

Volante). É possível afirmar que essas misturas atingiram seu nível máximo de saturação, e não apresentaram ligações químicas suficientes para manter a coesão das mesmas.

Na Figura 3 são apresentados graficamente os resultados de Resistência à Tração por Compressão Diametral das misturas que tem em sua base a composição de Fresado e Solo. Na Figura 4 são apresentados os resultados para as misturas que tem a base de Fresado e Pó de Pedra. Por meio da barra de erros, é possível observar a dispersão dos resultados com os valores de máximas e mínimas resistências obtidas para cada conjunto de 3 amostras ensaiadas.

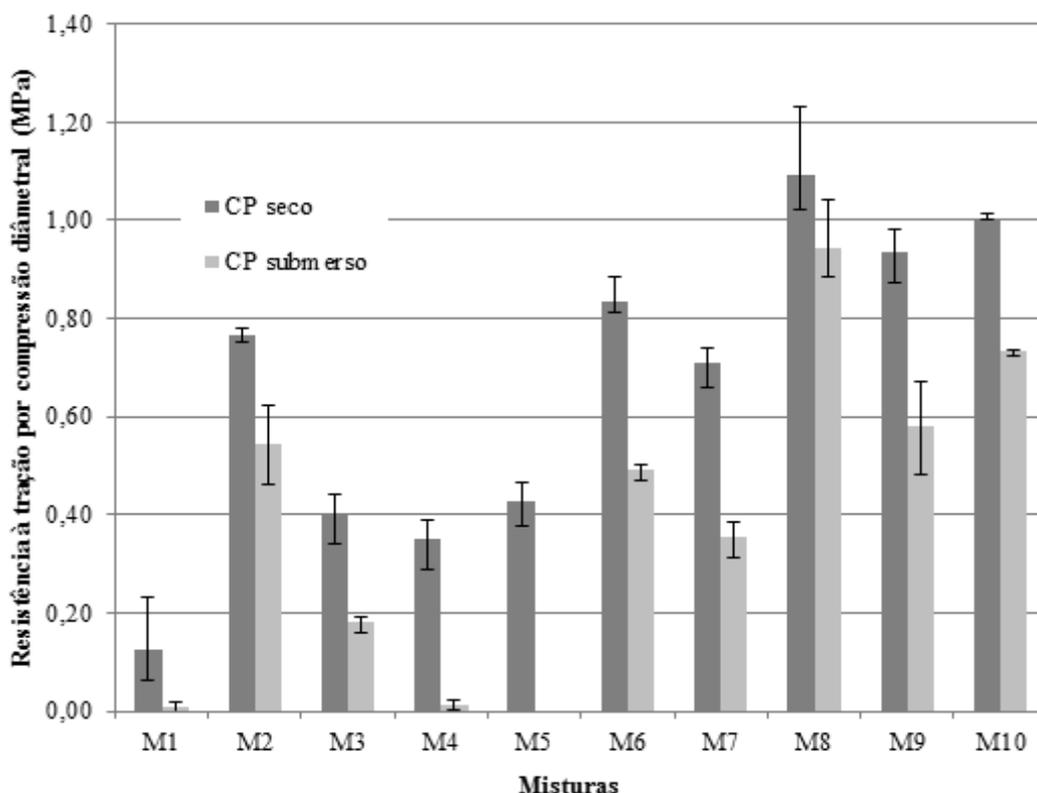


Figura 3 - Resistência à tração por compressão diametral das misturas de Fresado + Pó de Pedra + Adições





Analisando a Figura 3, para as misturas a seco, nota-se que entre as misturas de fresado e de solo, a que manifestou maior valor de Resistência à Tração por Compressão Diametral foi a mistura M8, com 5% Cimento e 5% de Sílica de Casca de Arroz. No entanto as misturas M9 (com 5% de Cal e 10% de Sílica de Casca de Arroz) e M10 (com 10% de Cal e 5% de Sílica de

Casca de Arroz) também poderiam ser utilizadas como camada de pavimento.

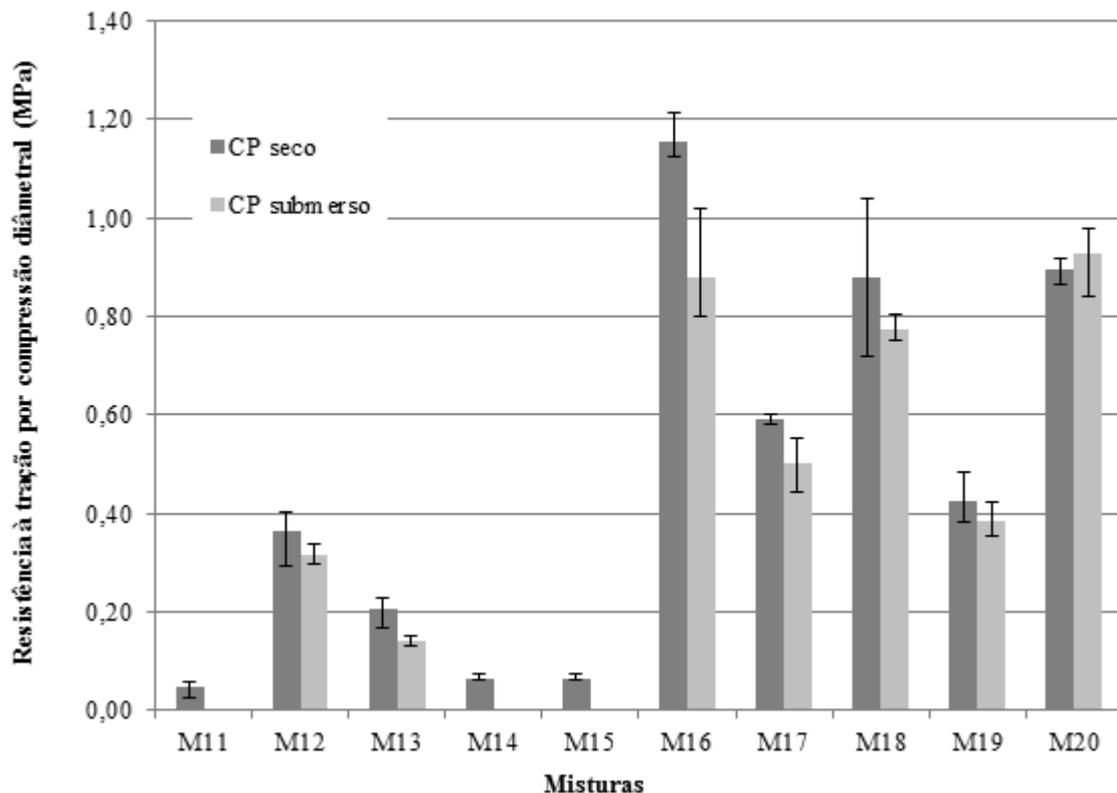


Figura 4 - Resistência à tração por compressão diametral das misturas de Fresado + Solo + Adições

Quanto às misturas de fresado e pó de pedra, a que manifestou maior valor de tensão resistente foi à mistura denominada M16, que tem como adição 5% de cimento e 5% de sílica da casca de arroz, sendo este, também, o melhor traço entre todas as 20 misturas estudadas. Mas considerando-se que a abrangência da barra de erros, composta dos valores máximos e mínimos de RTCD obtida nos ensaios, as misturas M18

(com 10% de Cal e 5% de Sílica de Casca de Arroz) e M20 (com 5% de cal e 10% de sílica da casca de arroz) também seriam uma boa opção para aplicação em camadas de pavimentos.

Analisando as misturas que foram colocadas submersas, para as misturas Fresado + Solo o maior valor de RCTD também foi obtido no traço M8 (com 5% Cimento e 5% de Sílica de Casca de Arroz). Para os traços Fresado + Pó de



Pedra o maior valor de RCTD foi para mistura M20, com 5% de cal e 10% de sílica da casca de arroz, sendo que a M16 (com adição 5% de cimento e 5% de sílica da casca de arroz), considerando a barras de erros atinge um RTCD maior que a M20, podendo também ser uma boa solução para uso em camadas de pavimentos. Os CP's oriundos dos traços M1, M4 e M5, para as misturas Fresado + solo, e as misturas M11, M14 e M15, para os traços com Fresado e Pó de Pedra, desmancharam durante o período em que estiveram submersos em água. A ausência de agentes cimentantes nessas misturas explica a desagregação das mesmas na presença de umidade.

As adições de cinza volante e sílica de casca de arroz tiveram melhor desempenho junto

às misturas de fresado e solo (M4 e M5) quando se compara as mesmas adições nas misturas de fresado e pó de pedra (M14 e M15).

A adição de sílica e cinza volante, sem nenhum outro agente químico, não apresentou melhora na resistência nas misturas de fresado e solo, assim como nas misturas de fresado e pó de pedra. Entretanto, quando estes materiais combinados com cal ou cimento apresentaram incremento na RTCD quando comparadas as misturas que continham apenas cal ou cimento.

Durante a ruptura das amostras (Figura 5) foi possível perceber que a fissura sempre ocorreu no sentido vertical, o que indica que a deformação crítica é perpendicular ao diâmetro solicitado.



Figura 1 - Comportamento do CP no momento da ruptura

Em estudo conduzido por Pires, Specht, Pinheiro, Pereira e Conceição (2013), em amostras de material fresado com adições de cimento, foi constatado que o valor da resistência à tração por compressão diametral é equivalente a 16% do valor da resistência por compressão simples. Tomando esta relação para o presente estudo, pode-se admitir que o valor de 2,1 MPa, prescrito pelas normas NBR 12253 (ABNT, 2012) e DNIT 143 - ES (DNIT, 2010a) como resistência mínima obtida no ensaio de resistência à compressão simples para aplicação de materiais em camadas de base de pavimentos, é atendido pelo ensaio de resistência a tração por compressão diametral quando a resistência for  $\geq 0,336$  MPa.

Visto a aprovação técnica de misturas para utilização em camadas de pavimentos é importante ressaltar a vantagem ambiental de reutilizar esses materiais, principalmente o material fresado, que compõe 80% da mistura.

Para este estudo foi considerada apenas a fresagem superficial, que tem como objetivo melhorar a textura do pavimento, aumentar a resistência à derrapagem ou melhorar a aderência a uma nova camada (Fresar, 2013). Na fresagem superficial a espessura de corte pode chegar a profundidade de 5 cm e atinge geralmente a camada de revestimento. Como exemplo de aplicação, pode-se considerar um quilômetro de rodovia, com pista simples e largura de cada pista igual a 3,6 m, ao fresar-se 5 cm de espessura de Concreto Asfáltico tem-se um volume de 360 m<sup>3</sup> de material fresado por quilômetro que poderá ser utilizado para construção de camada de base de outro pavimento, evitando, assim, a extração de recursos naturais dessa grandeza.

## 5 Considerações finais

Visando a destinação final ambientalmente adequada de material fresado de pavimentos, esta pesquisa apresentou resultados



sobre a possibilidade de utilização de tais materiais em camadas de base de pavimentos, destacando-se que eles foram melhorados quimicamente sem perder as suas características mecânicas.

Com base nos ensaios realizados foi possível avaliar qual mistura apresentou a maior resistência à tração por compressão diametral, visando sua aplicação em camadas de base e sub-base de pavimentos. Ficou evidente que a mistura que teve melhor resposta às adições químicas apresentando acréscimo na resistência foi à mistura M16, que tem em sua composição 80% de material fresado, 20% de pó de pedra, 5% de sílica da casca de arroz e 5% de cimento.

A adição de 5% de cimento e 5% de sílica da casca de arroz desempenhou acréscimo na resistência à tração por compressão diametral na ordem de 786%. Nota-se que a mistura M20, foi a que permaneceu mais estável quanto aos efeitos da saturação dos CP's. Desta forma, a aplicação

da mesma em locais onde existe a elevação do lençol freático, ou chuvas intensas, aliadas a uma drenagem ineficiente, pode ser mais indicada.

Ficou constatado na pesquisa que as características mecânicas dos pavimentos não são prejudicadas com a utilização dos fresados e que, além dessa vantagem, tem-se um fator muito importante que só traz impactos positivos. A utilização de material fresado de pavimentos asfálticos em camadas de base de pavimentos minimiza a utilização de recursos naturais, além de evitar a disposição inadequada dos fresados, bem como da sílica da casca de arroz e da cinza volante, materiais que causam impactos negativos no meio ambiente.

Com base nos resultados obtidos, poderiam ser realizados trechos experimentais com as misturas de forma a testar essas soluções como camada de revestimento de estradas rurais, visto que as mesmas compreendem uma parcela significativa da malha rodoviária do Brasil.

[http://educacaoadistancia.camara.leg.br/cartilhas/ca\\_2016\\_sustentabilidade/](http://educacaoadistancia.camara.leg.br/cartilhas/ca_2016_sustentabilidade/)

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. (2016). *Pesquisa CNT de rodovias 2016*. Recuperado de <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/>

David, D. (2006). *Mistura asfáltica reciclada a frio: estudo em laboratório utilizando emulsão e agente de reciclagem emulsionado* (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

DNER- ME 180/94, de 13 de abril de 1994a. Solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada – determinação da resistência à compressão simples, Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DNER-ME 181/94, de 13 de abril de 1994b. Solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada – determinação da resistência à tração por compressão diametral, Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DNIT 136/2010-ME, de 17 de novembro de 2010b. Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro:

### Referências

ABNT NBR 12253, de 20 de agosto de 2012.

Solo - Cimento - Dosagem para Emprego como Camada de Pavimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 15.116, de 31 de agosto de 2004.

Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 7182, de 29 de setembro de 2016.

Solo: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Branco, F., Pereira, P., Santos, L. P. (2008). *Pavimentos rodoviários*. Coimbra: Almedina.

BRASIL – Câmara dos Deputados, Centro de Formação, Treinamento e Aperfeiçoamento (2017). *Cartilha “Sustentabilidade e os 5R’s”*. Recuperado de



- Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre.
- DNIT 143/2010-ES, de 17 de novembro de 2010a. Pavimentação – Base de solo-cimento – especificação de serviço. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre.
- DNIT. (2006). *Manual de restauração de pavimentos asfálticos* (2ª ed.). Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre (DNIT).
- FRESAR (2013). *Tecnologia de pavimentos. Fresagem fina*. Belo Horizonte: Fresar Tecnologia de Pavimentos.
- Gradin, A. M. N., & Costa, P. S. N. (2009). *Reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil*. Recuperado de <http://www.conhecer.org.br/download/RESIDUOS/leitura%20anexa%202.pdf>
- Guerra, J. S. (2009). *Gestão de resíduos da construção civil em obras de edificações* (Dissertação de Mestrado). Pós-graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, Pe, Brasil.
- Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Atos2007-2010/2010/Lei/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Atos2007-2010/2010/Lei/L12305.htm)
- Ministério dos Transportes (2007). *Plano Nacional de Logística e Transporte 2007*. Brasília: Ministério dos Transportes. Recuperado de <http://www.transportes.gov.br/>
- MMA – Ministério do Meio Ambiente, & ICLEI - Secretaria para a América do Sul. (2012). *Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente e ICLEI-Brasil. Recuperado de [http://www.mma.gov.br/estruturas/182/\\_arquivos/manual\\_de\\_residuos\\_solidos3003\\_182.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/182/_arquivos/manual_de_residuos_solidos3003_182.pdf)
- Pires, G. M., Specht, L. P., Pinheiro, R. J. B., Pereira, D. S., & Conceição, B. M. (2013). Estudo do material fresado estabilizado química e granulometricamente para aplicação em bases de pavimentos. *Anais do Congresso Ibero-Latinoamericano de Asfalto*, República da Guatemala, Guatemala, 17. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/273978967\\_Estudo\\_do\\_material\\_fresado\\_estabilizado\\_quimica\\_e\\_granulometricamente\\_para\\_aplicacao\\_em\\_bases\\_de\\_pavimentos](https://www.researchgate.net/publication/273978967_Estudo_do_material_fresado_estabilizado_quimica_e_granulometricamente_para_aplicacao_em_bases_de_pavimentos)
- Pires, G. M., Specht, L. P., Pinheiro, R. J. B., Pereira, D. S., & Renz, E. M., (2016). Comportamento mecânico de material fresado após processo de estabilização granulométrica e química por meio da incorporação de cimento e cinza de casca de arroz moída. *Revista Matéria* (Rio Janeiro), 21(2), 365-384.
- Resolução CONAMA n. 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Recuperado de <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>
- Resolução CONAMA n. 308, de 21 de março de 2002. Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte. Recuperado de <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=330>
- Resolução CONAMA n. 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Recuperado de <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>
- Resolução CONAMA n. 404, de 11 de novembro de 2008. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. Recuperado de <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=592>
- Resolução CONAMA n. 431, de 24 de maio de 2011. Altera o artigo 3º da Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Recuperado de





- <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>
- Resolução CONAMA n. 448, de 18 de janeiro de 2012. Altera os artigos. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Recuperado de <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672>
- Resolução CONAMA n. 469, de 30 de julho de 2015. Altera a Resolução CONAMA n. 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Recuperado de <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=714>
- Rosa, P., Lorenzo, C., & Pacheco, A. (2007). Material fresado – de problema à solução econômica em obras de pavimentação. *Anais da Reunião Anual de Pavimentação / Encontro Nacional de Conservação Rodoviária*, Manaus, AM, Brasil, 38 / 12.
- Santos, F. F., Tambara, L. U. D., Cechin, N. F., Almeida, V. L., & Sousa, M. A. B. (2012). Adequação dos Municípios do Estado do Rio Grande do Sul à Legislação de Gestão de Resíduos da Construção Civil. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 4, 1-18.
- Santos, H. N., Cândida, A. C., & Ferreira, T. K. S. (2010). Ações referentes a gestão de resíduos da construção civil em Araguari-MG. *Anais do Encontro Nacional dos Geógrafos (ENG)*, 2010, Porto Alegre, RS, Brasil, 16.
- Silva, A. M., Bernucci, L., Ferri, S., Suzuki, C. Y., & Chaves, J. M. (2011). Avaliação dos parâmetros de projeto de restauração de pavimentos asfálticos utilizando misturas recicladas com 100% de agregados fresados. *Anais da Reunião de Pavimentação Urbana*, Porto Alegre, RS, Brasil, 17.
- Silva, E. S. (2013). *Utilização de resíduo de fresagem de pavimentos asfálticos em bases estabilizadas granulometricamente e em revestimentos asfálticos na cidade de Manaus* (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil.
- SINDUSCON- MG, & SENAI- MG. (2008). *Gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil* (3ª ed. rev. e ampl.). Belo Horizonte: SINDUSCON- MG.
- Souza, U. E. L., Paliari, J. C., Agopyan, V., & Andrade, A. C. (2004). Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. *Revista Ambiente Construído*, 4(4), 33-46.
- Specht, L. P., Hirsch, F., Cronst, F., & Tiecker, E. (2012). *Reciclagem de pavimentos: Alternativas de utilização de material fresado como camada de base e sub-base – Relatório 2*. Porto Alegre: Concepa.
- Tozzi, R. F. (2006). *Estudo da influência do gerenciamento na geração dos resíduos da construção civil (RCC): estudo de caso de duas obras em Curitiba/PR* (Dissertação de Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.
- Zubaran, M., & Motta, L.M.G. (2015). Avaliação de misturas asfálticas recicladas mornas em laboratório e usina de asfalto. *Anais da Reunião Anual de Pavimentação / Encontro Nacional de Conservação Rodoviária*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 44 / 18.