

**ESTUDO DA REUTILIZAÇÃO DO REJEITO DE SCHEELITA EM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NA COMPOSIÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS**

André Luiz Alves da Silva (*), Larissa Santana Batista, Suélen Silva Figueiredo Andrade, Jennifer Paloma da Cruz Leal, Daniel Beserra Costa

*Universidade Federal de Campina Grande, al.alves95@gmail.com

RESUMO

Um dos tipos de misturas asfálticas mais empregadas no Brasil é o Concreto Asfáltico (CA), também chamado de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), ele é o produto da mistura entre agregados de diferentes graduações com o cimento asfáltico. A utilização de agregados naturais para a confecção do CBUQ apresenta como consequência, por se tratar de um recurso finito, a extinção do mesmo. Devido à esta problemática e o aumento do foco nas questões ambientais, nos últimos anos pesquisas vem se desenvolvendo com o intuito de encontrar uma matéria prima alternativa para produção do Concreto asfáltico. O setor bastante focado nessas pesquisas é o da mineração. Um dos maiores desafios enfrentados nos últimos anos é a gestão adequada dos resíduos sólidos oriundos dessa indústria, isso se dá devido ao aumento da produção e a diminuição de locais utilizados para depósito desses rejeitos. Em contrapartida, tem-se na construção civil um dos maiores consumistas de materiais. A reutilização de resíduos minerais no setor civil, se feita de maneira criteriosa, além de reduzir custos, possibilita um tratamento, ou um destino final ambientalmente correto, para o que seria, somente, mais uma fonte de poluição. Assim, este trabalho analisa a utilização do rejeito advindo do melhoramento da scheelita na produção de concreto asfáltico substituindo a areia pelo rejeito nas frações de 50 e 100%. Para isso foram realizados ensaios de caracterização física do e ensaios mecânicos da mistura: Resistência à Tração (RT), Módulo de Resiliência (MR) e Flow Number. As misturas modificadas apresentaram um RT de 0,992 MPa, para a substituição em 100%, e 0,955 MPa para a substituição em 50%, enquanto que, para o mesmo ensaio, a mistura convencional atingiu 1,11 MPa. Foi observado que todos os resultados foram superiores aos limites mínimos exigidos pelo DNIT e que a substituição total do resíduo na mistura apresentou os melhores resultados do que a parcial em todos os ensaios bem como do que a convencional nos ensaios de MR e Flow Number.

PALAVRAS-CHAVE: Misturas Asfálticas, scheelita, Resíduos da mineração.

ABSTRACT

One of the most commonly used asphalt mixtures in Brazil is asphalt concrete, also called hot machined bituminous concrete, which is the product of mixing aggregates of different grades with asphalt cement. The use of natural aggregates for the production of the bituminous concrete presents as a consequence, because it is a finite resource, the extinction of the same. Due to this problem and the increased focus on environmental issues, in recent years research has been developing in order to find an alternative raw material for the production of asphalt concrete. The sector that is very focused on these researches is the mining sector. One of the biggest challenges faced in recent years is the adequate management of solid waste from this industry, this is due to the increase in production and the reduction of sites used to deposit these wastes. On the other hand, civil construction is one of the largest consumers of materials. The reuse of mineral waste in the civil sector, if done in a careful manner, in addition to reducing costs, enables a treatment, or an environmentally correct final destination, for what would only be one more source of pollution. Thus, this work analyzes the use of tailings resulting from the improvement of scheelite in the production of asphalt concrete replacing sand by tailings in fractions of 50 and 100%. For this purpose, tests of physical characterization of the waste and characteristic tests of the mixture were performed: Tensile Strength, Resilience Module and Flow Number. The modified mixtures presented a Tensile Strength of 0.992 MPa for 100% substitution and 0.955 MPa for 50% substitution, while for the same test, the conventional mixture reached 1.11 MPa. It was observed that all results were higher than the minimum limits required by DNIT, that the total replacement of the residue in the mixture presented better results than the partial in all tests and than the conventional in the Resilience Module and Flow Number tests.

KEY WORDS: Asphalt mixtures, scheelita, mining waste.



INTRODUÇÃO

Existem basicamente três tipos de pavimentos: rígidos, semirrígidos e flexíveis, que se diferenciam entre si principalmente pelo tipo de revestimento utilizado, concreto, asfalto, solo-betume e pela forma como se dissipam as cargas de tráfego entre as camadas do pavimento.

No país existem mais de duzentos mil quilômetros de rodovias pavimentadas, a maioria delas por pavimentos flexíveis: Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), Tratamento Superficial Simples (TSS), duplo (TSD), triplo (TST) entre outros. Para o dimensionamento desses pavimentos são levados em conta principalmente o tráfego estimado para o local, com a finalidade de proporcionar requisitos mínimos de segurança, estabilidade, flexibilidade, impermeabilidade, resistência a fadiga, derrapagem e ao trincamento térmico.

Segundo Senço (2007) o pavimento flexível consegue resistir as deformações, até um determinado limite, sem romper-se. Tais deformações acontecem devido ao tráfego atuante na via. As cargas que são transmitidas por meio das rodas dos veículos atuam numa área de contato que possui uma forma aproximadamente elíptica e a pressão exercida tem uma distribuição aproximadamente parabólica com a pressão máxima exercida no centro da área carregada.

O pavimento sofre três tipos de carregamento, são eles: compressão vertical na superfície, transmitida por meio das camadas de asfalto; tensões de tração, atuando horizontalmente na parte inferior da camada de asfalto e tensões de cisalhamento (Costa, 2018). Esses carregamentos são responsáveis pelo aparecimento de patologias como: rompimento por fadiga e deformação permanente.

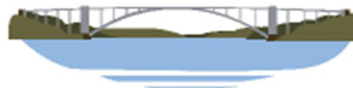
Devido a isso, nos pavimentos asfálticos, as camadas de base, sub-base e reforço do subleito possui uma maior importância estrutural nos pavimentos flexíveis se comparado aos pavimentos rígidos. A combinação de materiais, assim como as espessuras das camadas constituintes determinadas na dosagem desses pavimentos, visa limitar as tensões e deformações na estrutura do pavimento (BERNUCCI et al, 2008).

A fim de combater essas patologias é realizado uma criteriosa seleção de agregados e ligantes. O esqueleto granular dos agregados, assim como as suas propriedades, influenciam diretamente na resistência à deformação permanente das misturas. Assim, é imprescindível que as características tecnológicas dos agregados sejam determinadas antes da sua aplicação na produção de misturas asfálticas. É de suma importância a garantia da homogeneidade do material, que haja também intertravamento entre os grãos e uma boa resistência ao cisalhamento para que a camada de asfalto possa suportar as cargas e as intempéries as quais são submetidas. Os agregados devem ser caracterizados quanto a granulometria, absorção, densidade, resistência a abrasão, sanidade, forma, angularidade e equivalente de areia (GENNESSEAU, 2015).

A granulometria dos agregados influencia diretamente em propriedades importantes como trabalhabilidade, rigidez, estabilidade, permeabilidade, durabilidade, resistência à fadiga, à deformação permanente e ao dano por umidade induzida. É importante que os agregados miúdos estejam livres de torrões de argila e de substâncias nocivas, porque quanto maior a presença de argila a probabilidade de a mistura apresentar retração e ruptura aumenta. Quanto maior a resistência a abrasão, melhor o agregado suportará as cargas provenientes do tráfego sem que haja ruptura e partículas que apresentam uma forma mais cúbica e arestas mais afiladas, melhor a trabalhabilidade e a resistência ao cisalhamento da mistura (Bernucci et al, 2008).

Outro componente importante para se obter uma mistura com boas características mecânicas é o ligante asfáltico. O CAP é constituído de 1 a 10% por heteroátomos (nitrogênio, oxigênio, enxofre e metais – vanádio, níquel, ferro, magnésio e cálcio) que seu unem por meio de ligações covalentes e de 90 a 99% de grandes cadeias de hidrocarbonetos (KATO, 2016). Possui propriedades de adesivo termoviscoelástico impermeável à água e pouco reativo. O CAP em temperaturas baixas apresenta-se semissólido, viscoelástico à temperatura ambiente e líquido em altas temperaturas. É solúvel, quase que por completo, no bissulfeto de carbono, benzeno ou tricloroetileno e sua composição química tem muita influência no desempenho físico e mecânico das misturas asfálticas (GODOI, 2011).

O uso do CAP na pavimentação é uma de suas mais importantes aplicações. Isso se dá pelo fato de ser um material aglomerante, com grande adesividade, o que proporciona uma forte união dos agregados permitindo uma flexibilidade controlável. O CAP é impermeável, durável e resiste a ação da maioria dos ácidos, álcalis e sais, podendo ser utilizado com ou sem aditivos. Eles são classificados tanto pelo seu “grau de dureza”, através da penetração, quanto pela sua viscosidade. Define-se penetração de um CAP como a distância, em décimos de milímetro, que uma agulha padronizada penetra verticalmente numa amostra de cimento asfáltico, sob específicas condições de carga, tempo e temperatura. Quanto mais difícil a penetração, “mais duro” é o cimento asfáltico. Enquanto que a viscosidade é uma medida de



consistência do CAP que se dá pela a sua resistência ao escoamento (Bernucci et al, 2008). Asfaltos poucos viscosos acarretam em misturas betuminosas menos rígidas, conseqüentemente mais propensa às deformações irreversíveis.

Misturas asfálticas são o resultado do arranjo entre o ligante e o agregado em proporções adequadas e definidas por meio de ensaios laboratoriais. Elas podem ser usinadas a quente ou a frio e preparadas na própria rodovia ou em usinas móveis (ARAO, 2016).

As misturas a quente são obtidas através do aquecimento do ligante asfálticos e dos agregados pétreos com a usinagem realizada a temperaturas entre 150 e 180°C. Já as misturas mornas e semimornas são realizadas a uma temperatura entre as misturas a frio e a quente por meio do aquecimento parcial dos agregados, podendo ser utilizados asfalto ou emulsão. Quando a temperatura final, ou seja, após a usinagem, for superior a 100°C a mistura é classificada como morna e semimorna abaixo dessa temperatura. Enquanto que as misturas a frio são realizadas a temperatura ambiente com a utilização de emulsões asfálticas e sem aquecimento dos agregados (SILVA, 2017).

Na mistura asfáltica, cerca de 95% do volume total correspondem aos agregados, os outros 5% correspondem ao ligante e vazios não preenchidos. Para se definir a composição de uma mistura asfáltica utilizam-se métodos de dosagem que auxiliam na escolha dos materiais, na verificação de suas propriedades, na observância do teor ótimo de ligante, na observância do comportamento mecânico requerido por norma, dentre outros (GENNESSEAU, 2015).

As misturas asfálticas tem como objetivo principal apresentar as seguintes características: Estabilidade (resistir a deformação permanente quando submetido a uma carga.), durabilidade (propriedade de manter as características de coesão, adesão e reológicas, resistindo a desintegração provocadas pelo tráfego e pelas intempéries), resistência a fadiga e resistência ao deslizamento dos pneus.

Nas últimas décadas, com o crescimento das preocupações ambientais, a utilização exacerbada de recursos oriundos da natureza, como por exemplo os agregados utilizados na convecção das misturas asfálticas, vem sendo repensada por serem considerados recurso finitos. Diante disso, houve um aumento no desenvolvimento de pesquisas para que se desenvolvessem soluções alternativas para a substituição desses recursos por outros materiais. Uma das vertentes dessas pesquisas estudam a utilização de rejeitos oriundos das atividades mineradoras na composição de concreto, argamassa, asfaltos e outros produtos.

O setor de mineração é a base econômica de muitos países pois contribui consideravelmente no Produto Interno Bruto (PIB), na geração de empregos e pelo efeito de sua cadeia produtiva com outros setores econômicos, como por exemplo: Setor metalúrgico, siderúrgico, alguns segmentos do setor naval, energético e da construção civil (SOUZA, SOUZA E KATO, 2015).

A mineração naturalmente é uma atividade agressiva ao meio ambiente, se realizada sem o atendimento de políticas ambientais vigentes, podem trazer conseqüências drásticas ao meio natural e social. Os principais problemas gerados pela atividade mineradora são: poluição da água, do ar, poluição sonora e subsidência do terreno (GERAB, 2014).

O setor da construção civil é um dos maiores consumistas de materiais. Somente ele é responsável pelo uso de 15 a 50% dos recursos naturais extraídos. A reutilização de resíduos nesse setor, se feita de maneira criteriosa possibilita um tratamento, ou um destino final ambientalmente correto, para o que seria fonte de poluição além de reduzir custos. O reaproveitamento influenciaria de maneira objetiva na diminuição dos impactos causados pela extração de matéria-prima diretamente do ambiente (SILVEIRA, 2015).

Em alguns estudos já realizados, a reutilização de resíduos oriundos da mineração para fins de pavimentação obteve resultados bastantes satisfatórios. Kato (2017), ao utilizar rejeitos de mineração de cobre obteve, de imediato, três benefícios a mistura: redução do teor de vazios, redução do teor de CAP e o aproveitamento de um material que é descartado na natureza. Silva (2017), ao utilizar o resíduo proveniente da extração do minério de ferro em misturas asfálticas, observou uma diminuição do teor de projeto da mistura, uma resistência à tração semelhante a obtida na mistura convencional e um melhor desempenho em relação à fadiga.

Outro rejeito proveniente da atividade mineral que também já foi estudado na confecção de materiais utilizados na construção civil, como concreto e argamassa, é o resíduo oriundo do beneficiamento da scheelita. A scheelita é um mineral extraído principalmente nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. Encontrada nos pegmatitos graníticos, em depósitos metamórficos de contato e nos filões de minério de alta temperatura que estão associados com rochas graníticas, em certos locais, a scheelita pode ser encontrada juntamente com o ouro, é uma importante fonte de tungstênio, um



mineral que apresenta boa condutividade elétrica, alta densidade e ponto de fusão superior a 4.500 °C, características que proporcionam a elas serem usadas nas indústrias petrolífera, bélica, aeroespacial, mecânica, entre outras.

Trabalhos realizados com o resíduo proveniente da extração da scheelita demonstram que ela possui propriedades físico-químicas que lhe capacitam a ser incorporada em aplicações rodoviárias, podendo ir desde o tratamento de sub-base, base, até a sua utilização em Revestimentos asfálticos. Pela sua granulometria ela-scheelita pode ser substituída no lugar da areia para a produção de misturas asfálticas.

Os principais efeitos ao meio ambientes ocasionados pela extração da scheelita estão relacionadas à flora, com abertura de acessos; ao ar, com efeitos da britagem e detonações; ao solo, com a erosão; aos gases, com a utilização da pirita (aquecimento em presença de oxigênio); à poluição sonora, através do uso de marteletes pneumáticos e a poluição visual, devido as pilhas de resíduos (GERAB, 2014).

Por tanto, este trabalho tem por finalidade a análise do comportamento e a viabilidade do resíduo proveniente do beneficiamento da scheelita na constituição de misturas asfálticas com o intuito de apresentar uma solução ecológica e economicamente viável para a reutilização desse produto.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Realizar a análise da viabilidade do uso do resíduo, gerado a partir do melhoramento da scheelita, em misturas asfálticas substituindo, parcial e total, a fração fina.

Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização física dos agregados para análise das suas influências na mistura asfáltica e adequação nas normas vigentes;
- Realizar a caracterização física do ligante asfáltico utilizado na composição da mistura para análise de possíveis influências e adequação às normas vigentes;
- Analisar o comportamento mecânico das misturas asfálticas modificadas com o rejeito mineral em comparação com a mistura asfáltica padrão;
- Determinar em qual porcentagem de substituição do resíduo, 100% ou 50%, se obtém um pavimento com melhores características de durabilidade e resistência.
- Destinar um uso para o rejeito a fim de reduzir os impactos ambientais por ele causado;
- Apresentar uma alternativa econômica e ecologicamente viável para a reutilização do resíduo na construção civil.

METODOLOGIA

Os agregados graúdos foram caracterizados quanto: determinação do índice de forma (DNIT – ME 086/94), massa específica real, absorção, Abrasão “Los Angeles” (DNIT – ME 035/98) e Partícula alongada e achatada (ASTM D 4791). Já os agregados miúdos e o resíduo foram caracterizados quanto: massa específica real, absorção, equivalente de areia (DNIT – ME 054/97) e angularidade de agregado miúdo (AASHTO T 304).

O ligante foi caracterizado quanto a penetração (ABNT NBR 6576/07), ponto de amolecimento (ABNT NBR 6560/16) e viscosidade (ABNT NBR 9277/14).

Os corpos de prova foram confeccionados através do compactador giratório SUPERPAVE. A mistura contendo agregado e ligante ficou em repouso em estufa durante o período de uma hora, com o objetivo de simular o envelhecimento da mistura asfáltica, antes de ser levado ao compactador. Ao todo foram confeccionados 18 CP's, sendo 6 para cada composição (convencional, substituição em 50% e 100%), os quais 3 foram usados para determinação do RT (DNIT – ME 136/10) e o restante para a determinação do MR (ABNT NBR 16018/11).

Na figura 1 encontra-se as etapas realizadas em laboratório para caracterização física e mecânica dos agregados, ligantes e da mistura asfáltica.

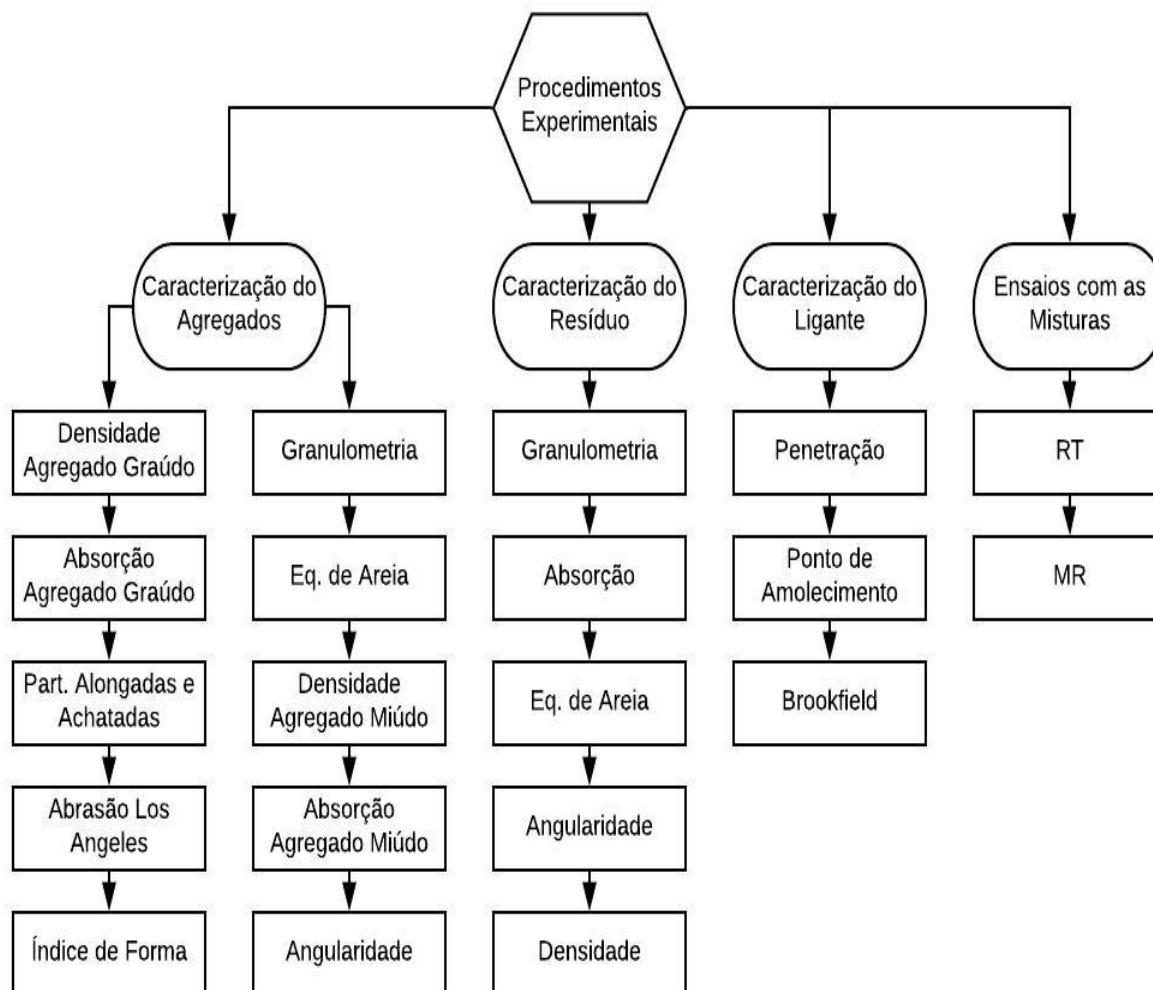
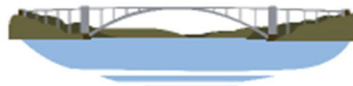


Figura 1: Ensaio Realizados. Fonte: Autor do Trabalho

RESULTADOS

Agregados

Os agregados graúdos obtiveram valores de Abrasão “Los Angeles” e Índice de Forma dentro dos parâmetros exigidos pelo DNIT (ES 031/06) para serem utilizados em Cimentos Asfálticos. A alta resistência ao desgaste do agregado promove a mistura, um melhor comportamento quanto a ruptura devida as tensões sofridas oriundas do tráfego da via. Quanto a forma do agregado, espera-se que a mistura apresente um bom intertravamento e atrito interno, resultando numa maior estabilidade mecânica. Segundo Bernucci et al. (2008), os valores de partículas alongadas e achatadas devem ser inferiores a 10%, por tanto, os valores encontrados atendem a esse requisito.

Os valores de Equivalente de Areia para os agregados miúdos e para o rejeito atendem as especificações do DNIT (ES 031/06). A scheelita apresentou valores de angularidade inferiores ao da areia e pó de pedra, o que, de acordo com Bernucci et al. (2008), restringe o seu uso para volumes de tráfego muito altos, por não promoverem um melhor atrito entre as partículas diminuindo a resistência quanto à deformação permanente. Valores de Massa Específica e absorção foram próximos ao encontrados em outras literaturas, como Queiroz (2016), Costa Filho (2017) e Medeiros (2016). Os resultados estão expostos na tabela 1.

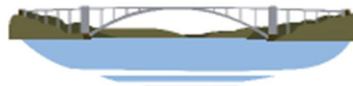


Tabela 1: Resultados obtidos. Fonte: Autor do Trabalho

MATERIAL	ENSAIOS						
	Massa Específica Real	Absorção	Abrasão "Los Angeles"	Índice de Forma	Partículas Alongadas e Achatadas	Angularidade	Equivalente de Areia
Brita 19	2,65	0,35%	21,26%	0,6794	3,32%	–	–
Brita 12,5	2,64	0,52%	21,26%	0,8549	2,82%	–	–
Areia	2,43	0,68%	–	–	–	51%	79,07%
Pó de Pedra	2,52	0,87%	–	–	–	50,41%	62,68%
Scheelita	2,68	0,87%	–	–	–	40,46%	77,50%

CAP

Segundo as novas especificações do CAP utilizadas no Brasil, o ligante utilizado é classificado na categoria de CAP 50 – 70. Os resultados obtidos, apresentados na tabela 2, estão dentro dos parâmetros mínimos exigidos pelo DNIT para cimento asfáltico de petróleo utilizados em pavimentação apresentados na norma DNIT – EM 095/06. Espera-se que o CAP, pelas suas características de viscosidade e penetração, adicione a mistura uma melhor resistência às deformações permanentes.

Tabela 2: Caracterização do CAP. Fonte: Autor do Trabalho

CARACTERÍSTICAS	UN.	RESULTADOS
PENETRAÇÃO (100g, 5s, 25°C)	0,1 mm	50,29
Ponto de Amolecimento	°C	54,25
VISCOSIDADE BROOKFIELD		
a 135 °C	cP	330
a 150 °C		168
a 177 °C		64

Pela viscosidade do ligante, foi possível determinar a temperatura necessária para a sua mistura com os agregados. Sabendo-se que o agregado precisa estar a uma temperatura superior em 15°C a do ligante, para a realização da mistura o ligante foi aquecido até a temperatura de 150°C (temperatura de mistura) e os agregados até a temperatura de 165°C.

Mistura Asfáltica

Os resultados obtidos para a Resistência à Tração (RT) estão demonstrados na figura 3. O DNIT (ES 031/06), determina que a resistência à tração em misturas asfálticas necessita ser superiores ao 0,65 MPa para serem utilizados em pavimentos. Neste quesito, todas as amostras atingiram valores superiores, ou seja, estão aptos para serem utilizados.

Como pode ser observado, a mistura convencional foi a que obteve o melhor resultado, enquanto que a mistura com 50% de resíduo a pior. Subentende-se que a última possui uma maior quantidade de vazios, por isso a menor resistência. Isso já era o esperado devido a angularidade da scheelita. Portanto, as misturas com substituição da scheelita estão mais propensas ao aparecimento de fissuras e trincas do que a mistura convencional.

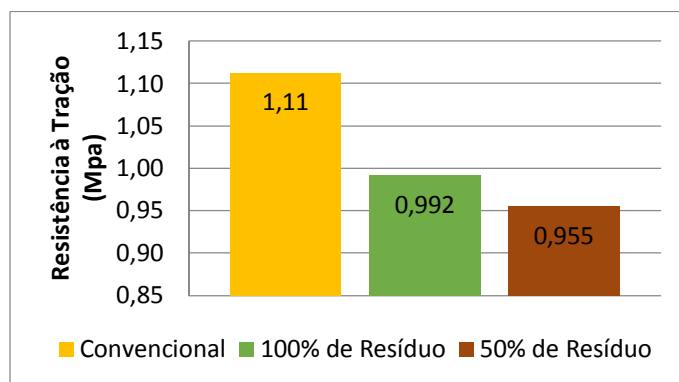
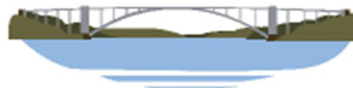


Figura 3: Resistência à Tração. Fonte: Autor do Trabalho.

A figura 4 expõe os resultados encontrados para o Módulo de Resiliência (MR). De acordo com Bernucci et al (2008), os valores típicos do Módulo de resiliência variam de 2000 a 8000 MPa, os valores encontrados estão dentro do intervalo citado. Houve um decréscimo de rigidez na mistura com 50% de resíduo em relação as outras duas misturas, que atingiram valores muito próximos.

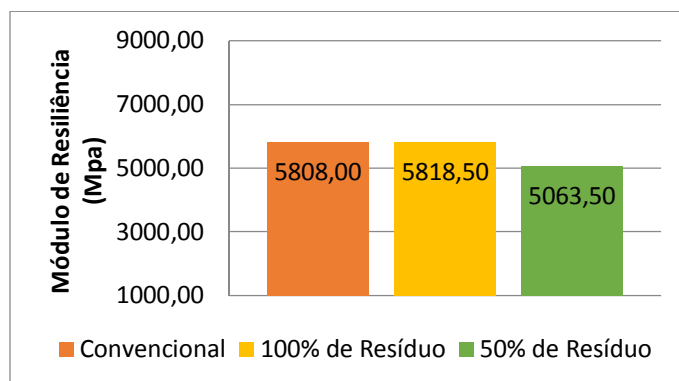


Figura 4: Módulo de Resiliência. Fonte: Autor do Trabalho.

Observa-se que a mistura com areia, scheelita e pó de pedra, não apresentam uma bom intertravamento entre as partículas se comparada com as duas outras misturas. O que confere a ela resultados inferiores nos ensaios realizados. No entanto, a mistura asfáltica contendo scheelita e pó de pedra, apresentou uma resistência a deformações permanentes semelhante ao obtido pela mistura convencional, apesar da angularidade do resíduo de scheelita ser inferior ao da areia.

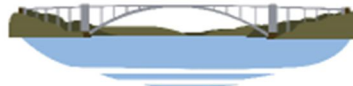
CONCLUSÕES

Os três tipos de misturas asfálticas convencionadas nesta pesquisa superam os requisitos mínimos exigidos pelo DNIT para misturas asfálticas, logo, todas poderiam ser aplicadas para pavimentação de estradas. As misturas modificadas apresentaram menores valores de RT e são mais susceptíveis ao aparecimento de trincas e fissuras. No entanto, Mistura asfáltica em que a areia foi substituída totalmente pela scheelita apresentou resistência a deformações permanentes semelhantes a mistura convencional. Podemos concluir que a mistura com teor de 100% de scheelita apresenta um melhor atrito entre as partículas se comparado a mistura com teor de 50%, classificando como sendo o melhor teor a ser utilizado na mistura modificada o de 100%.

Com base nos resultados obtidos para os ensaios realizados nesse trabalho, pode-se concluir que o resíduo oriundo do beneficiamento da scheelita apresenta-se como uma alternativa viável do ponto de vista ambiental e econômico para a substituição da areia em misturas asfálticas de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAO, Mieka. **Avaliação do Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas com a Inserção de Polietileno Tereftalato (PET) Triturado**: Aplicação a um Pavimento Reforçado com Malha de Aço. 2016. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.



2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16018**: Misturas asfálticas – Determinação da rigidez por compressão diametral sob carga repetida. Rio de Janeiro: Abnt, 2011.
3. BERNUCCI, Liedi Bariane et al. **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA**: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras, 2008.
4. COSTA, Daniel Beserra. **ANÁLISE DA DEFORMAÇÃO PERMANENTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS A PARTIR DOS CRITÉRIOS DE MOHR COULOMB**. 2018. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.
5. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **DNIT-ES 031**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: Dnit, 2006.
6. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **DNIT-ME 136**: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro: Dnit, 2010.
7. GENNESSEAU, Manuela de Mesquita Lopes. **Avaliação da durabilidade de misturas asfálticas a quente e mornas contendo material asfáltico fresado**. 2015. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
8. GERAB, André Tabosa Fernandes de Santa Cruz. **UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO GROSSO DO BENEFICIAMENTO DA SCHEELITA EM APLICAÇÕES RODOVIÁRIAS**. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
9. GODOI, Luciane de. **ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS LIGANTES ASFÁLTICOS UTILIZADOS NA IMPRIMAÇÃO ASFÁLTICA RELACIONADOS À EMISSÃO DE VOC's**. 2011. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
10. KATO, Ricardo Bentes. **APLICAÇÃO DO RESÍDUO DA MINERAÇÃO DO COBRE PARA MELHORIA DO DESEMPENHO DE MISTURAS ASFÁLTICAS**. *Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, [s.l.], v. 14, n. 1, p.17-23, 28 ago. 2017. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v14i1.46021>.
11. KATO, Ricardo Bentes. **ESTUDO DA INFLUENCIA DO RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE COBRE SULFETADO NAS PROPRIEDADES DO CIMENTO ASFÁLTICO**. 2016. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Recurso Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.
12. SENÇO, Wlastermiler de. **MANUAL DE TÉCNICAS DE PAVIMENTAÇÃO**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. 1 v.
13. SILVA, Rodolfo Gonçalves Oliveira da. **CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO ASFÁLTICO ELABORADO COM REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO**. 2017. 205 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
14. SILVEIRA, Marina Duque. **Utilização de resíduos da mineração na construção civil**. 2015. 29 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
15. SOUZA, José Antônio; SOUZA, João Mota; KATO, Ricardo Bentes. Análise do Desempenho de Concreto Betuminoso Usinado à Quente com Adição de Rejeito da Mineração do Cobre Segundo os Parâmetros Marshall. *Engineering And Science*, Cuiabá, v. 2, n. 3, p.3-12, out. 2015.