



## ANÁLISE DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA MINERAÇÃO PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO COM BASE NA CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO MECÂNICA

Suélen Silva Figueiredo Andrade (\*), Larissa Santana Batista 2, Wily Santos Machado 3, Jonatas Kennedy Silva de Medeiros 4, Thyago Lima Souza 5

\* Universidade Federal de Campina Grande, jonataskennedy@hotmail.com.

### RESUMO

Devido ao grande volume de resíduos gerados, a extração e o beneficiamento mineral são agentes de agressão e poluição ambiental. Uma forma de mitigar esses efeitos é o reaproveitamento desses resíduos em cadeias de produção de materiais alternativos. A construção civil, que demanda demasiadamente recursos naturais, é um setor que permite a inserção de rejeitos como substituição de insumos. Este trabalho tem como objetivo a caracterização dos resíduos de caulim, dolomita e scheelita com a finalidade de analisar suas propriedades e estudar a viabilidade de sua utilização na pavimentação. Na metodologia, realizou-se ensaios de caracterização dos resíduos, conforme as normas vigentes da ABNT. Os resíduos de caulim, dolomita e scheelita apresentaram bons resultados de resistência ao cisalhamento, em contrapartida somente os dois últimos demonstraram resultados satisfatórios para ISC. Com a análise dos resultados constatou-se a viabilidade da utilização dos resíduos da scheelita e da dolomita como reforço de subleito, na substituição de materiais com índice de expansão maior que 2% e CBR menor que 2%, conforme norma DNIT, e como sub-base para pavimentação. Quanto ao resíduo de caulim, não foi possível utilizá-lo em camadas de pavimentos, tendo em vista que não apresentou ISC e obteve-se uma expansão maior que 2%, no entanto, sua utilização em misturas asfálticas mostrou-se satisfatória, devido a sua composição granulométrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos, Sustentabilidade, Pavimentação.

### ABSTRACT

Due to the large volume of waste generated, extraction and mineral processing are agents of aggression and environmental pollution. One way to mitigate these effects is to reuse these wastes in production chains of alternative materials. Civil construction, which demands too much natural resources, is a sector that allows the insertion of tailings as replacement of inputs. This work aims to characterize the residues of kaolin, dolomite and scheelite in order to analyze their properties and to study the feasibility of their use in paving. In the methodology, the waste characterization tests were carried out, according to the current norms of the ABNT. The residues of kaolin, dolomite and scheelite presented good results of shear strength, in contrast only the last two showed satisfactory results for ISC. With the analysis of the results, it was verified the feasibility of using scheelite and dolomite residues as subgrade reinforcement, replacing materials with expansion index greater than 2% and CBR less than 2%, according to the DNIT standard, and as sub-base for paving. Regarding the kaolin residue, it was not possible to use it in layers of pavements, since it did not present SSI and an expansion of more than 2% was obtained, however, its use in asphalt mixtures was satisfactory, due to granulometric composition.

**KEY WORDS:** Waste, Sustainability, Paving

### INTRODUÇÃO

A mineração é um dos setores que mais contribui para a economia brasileira e é sem dúvidas, uma atividade indispensável à sobrevivência humana, contribuindo de forma decisiva para o bem estar e qualidade de vida das presentes e futuras gerações, além de ser considerada fundamental para o desenvolvimento econômico e social de muitos países (SOUZA et al., 2018).

Mesmo que estas atividades de mineração estejam dentro dos parâmetros legais, de forma responsável, ainda assim geram impactos. A geração de resíduos acaba ocupando grandes espaços, causando poluição visual, poluição sonora, emissão de particulados e possíveis danos à saúde. É primordial uma gestão adequada para esses resíduos, que os destinem para setores onde possam ser utilizados e aproveitados, como forma alternativa de diminuir os efeitos provocados pela mineração.

Por outro lado, a infraestrutura de transportes é fator de extrema importância para promover o desenvolvimento socioeconômico de uma sociedade, a mesma possibilita a movimentação de cargas e pessoas, facilitando o acesso a



mercados, a serviços de educação, lazer e saúde. Ou seja, a qualidade do sistema de transporte é também um indicador de desenvolvimento e qualidade de vida de um país.

Dessa forma, se faz necessário o investimento nesse setor e em função dos altos custos dos materiais utilizados na pavimentação e os altos impactos ambientais na retirada de insumos do meio ambiente é necessário também buscar materiais alternativos para a utilização nas camadas de base e sub-base do pavimento e os resíduos da mineração se apresentam como alternativa, pois estão dispostos sem valor econômico e com características que podem ser aproveitadas para esse fim.

## OBJETIVO

Esse trabalho tem por objetivo apresentar as características físicas e mecânicas dos resíduos de dolomita, caulim e scheelita, tendo em vista que os mesmos vêm demonstrando importância significativa pela quantidade de resíduos gerado, bem como analisar a viabilidade para suas possíveis aplicações na pavimentação, contribuindo assim, para redução das pilhas de rejeitos dispostos no meio ambiente.

## METODOLOGIA

Inicialmente foram coletados os resíduos de caulim, dolomita e scheelita, a partir das pilhas de rejeitos localizadas no interior das mineradoras no Rio Grande do Norte – RN. Com base nas normas da ABNT, foram realizados os ensaios de caracterização física (determinação da massa específica, análise granulométrica, limites de Atterberg), e ensaios mecânicos, como compactação (Proctor intermediário), Índice de Suporte Califórnia e cisalhamento direto.

Os ensaios de caracterização física foram realizados de acordo com as normas vigentes, conforme Tabela 1.

**Tabela 1. Ensaios de caracterização física.**

**Fonte: Autor do trabalho.**

Ensaio	Norma
Análise Granulométrica	NBR 6508/1984
Massa Específica dos Sólidos	NBR NM 52/2003
Limite de Liquidez	NBR 6459/1984
Limite de Plasticidade	NBR 7180/1984

Nos ensaios mecânicos seguiu-se as especificações prescritas nas respectivas normas de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2. Ensaios mecânicos.**

**Fonte: Autor do trabalho.**

Ensaio	Norma
Compactação	NBR 7182/1986
Índice de Suporte Califórnia	NBR 9895/1987
Cisalhamento Direto	ASTM D3080

Os ensaios foram realizados visando fornecer parâmetros determinantes para viabilizar a utilização desses resíduos em atividades destinadas a pavimentação com intuito de observar suas principais características e propriedades mecânicas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise granulométrica foi realizada a partir dos ensaios de peneiramento e sedimentação. Com os resultados, obteve-se as curvas granulométricas expressas na Figura 1.

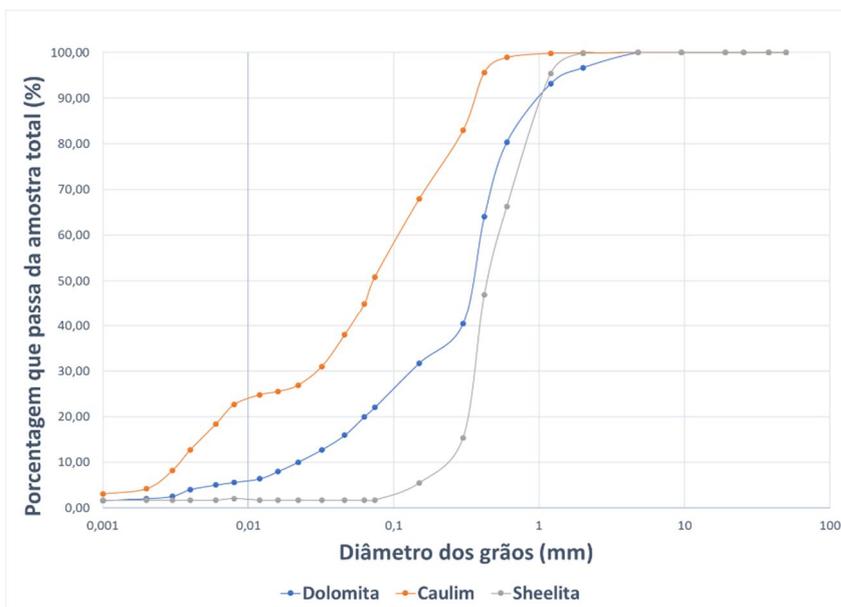


Figura 1. Curvas granulométricas dos resíduos de caulim, dolomita e scheelita. Fonte: Autor do trabalho.

Observando as porcentagens passantes e formato padrão apresentado, pode-se tratar o resíduo de caulim como mal graduado e de granulação aberta, o resíduo de dolomita como um bem graduado e de uniformidade média e o resíduo da scheelita como uniforme e mal graduado.

O coeficiente de curvatura (CC) fornece a ideia do formato da curva e permite detectar descontinuidades e o coeficiente de uniformidade (CU) indica a falta ou não de uniformidade do material. Os valores desses coeficientes para os resíduos estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Coeficiente de curvatura e uniformidade. Fonte: Autor do trabalho.

Resíduo	CC	CU
Caulim	2,29	34,29
Dolomita	2,97	13,64
Sheelita	0,98	2,12

A partir desses valores, o resíduo de caulim pode ser classificado como um resíduo bem graduado e desuniforme, não correspondendo diretamente ao resultado da forma da sua curva granulométrica, pois a mesma apresenta degraus, o que implica na ausência de faixas de tamanho de grãos. Além disso, o resíduo de dolomita é avaliado como bem graduado e de uniformidade média, correspondendo ao aspecto da sua curva granulométrica. Já o resíduo da scheelita apresenta resultados para granulometria com ausência de grãos e muita uniformidade, corroborando a análise feita a partir da forma da sua curva granulométrica.

Analisando os dados coletados podemos obter os resultados da caracterização do resíduo estudado. Apresenta-se na Tabela 4, o resumo dos resultados das curvas granulométricas.

Tabela 4. Resumo da Granulometria. Fonte: Autor do trabalho.

Classificação	Caulim (%)	Dolomita (%)	Sheelita (%)
Pedregulho	0,02	0,02	0,01
Areia Grossa	0,10	3,32	0,16
Areia Média	4,26	32,61	52,86
Areia Fina	57,62	48,14	45,33
Silte	25,25	11,91	0,00
Argila	12,75	4,00	1,64



De acordo com as porcentagens apresentadas, o resíduo de caulim e de dolomita apresentam maiores porcentagens de material fino, por isso, espera-se que apresentem um valor alto para coesão e um baixo valor de compressibilidade, assim como para permeabilidade, pois os finos ocuparão os vazios, dificultando o escoamento da água através dele.

Em contrapartida o resíduo da schellita possui maior porcentagem de material granular, por isso, o solo deve apresentar baixo intercepto coesivo, porém um valor alto de permeabilidade, pois os vazios existentes entre os grãos facilitam a passagem de água entre eles.

A partir dos dados obtidos na granulometria, podem-se utilizar os resíduos da mineração como agregado miúdo em misturas asfálticas, desde que realize uma seleção granulométrica pelo fato da existência de finos, tendo em vista que a maior parte do tamanho de suas partículas atendem as especificações do DNIT 031/2006 em que o agregado miúdo deve ser um material com dimensões maiores que 0,075mm e inferiores a 2,0mm.

Por outro lado, a presença de pó (material passante na peneira #200) nos resíduos de caulim e dolomita diminui-se os vazios do esqueleto mineral e eleva-se a trabalhabilidade da mistura asfáltica até certo ponto, pois segundo Bernucci *et al.* (2010) se a maior parte do pó tiver partículas maiores que 0,040mm, elas vão atuar como filler.

#### • Massa específica

Com as amostras secas previamente em estufa, realizou-se o ensaio e obteve-se os resultados descritos na Tabela 5.

**Tabela 5. Massa Específica. Fonte: Autor do trabalho.**

Resíduo	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )
Caulim	1,14
Dolomita	1,78
Scheelita	2,60

Atestando os resultados de granulometria, percebe-se que quanto menor o diâmetro dos grãos do resíduo, menor sua massa específica. O contrário acontece com o resíduo da scheelita, que possui grãos maiores, por isso sua massa específica se torna mais elevada. O valor mais elevado da massa específica do resíduo da scheelita também é justificado pela presença de tungstênio, que possui massa específica de 19,55 g/cm<sup>3</sup>. Assim, a massa específica influenciará em alguns aspectos, como na dosagem de pavimentos, tanto para as misturas asfálticas como para o pavimento rígido, por tratar-se de uma característica do material. Quanto maior a massa específica, menor será o volume utilizado do resíduo.

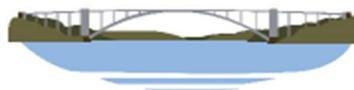
#### • Limites de Atteberg

Com a execução dos ensaios para a obtenção dos Limites de Atterberg, notou-se que os resíduos não apresentaram características plásticas e líquidas, correspondendo à avaliação feita a partir da análise granulometria, pois todos os resíduos são compostos, em maior parte, por partículas com dimensões granulares.

Conforme as análises granulométricas e os resultados dos limites de Atterberg de acordo com a American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) o resíduo de scheelita classifica-se no grupo A-3, apresentando como material constituinte areia e o resíduo da dolomita enquadra-se no grupo A-2-4, sendo classificado como areia siltosa, ambos apontando comportamento como subleito de excelente a bom. Em contrapartida, o resíduo de caulim integra o grupo A-4, tendo em sua composição material siltoso, com um comportamento satisfatório a deficiente quando utilizado como subleito.

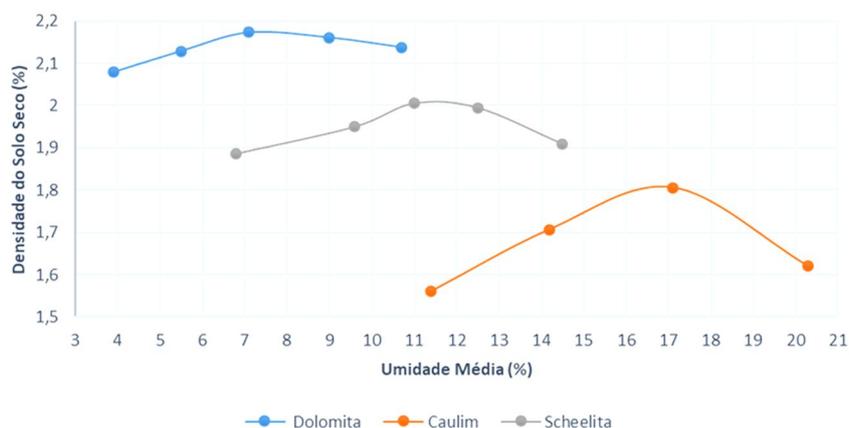
De acordo com a Classificação Unificada dos Solos (The Unified Soil Classification System – USCS) o resíduo de caulim é classificado como ML: silte inorgânico; o resíduo de dolomita como SM: areia siltosa; e o resíduo da scheelita é classificado como SP: areia mau graduada.

Tendo em vista que os materiais analisados foram classificados como não plásticos e a porcentagem passante na peneira #200 dos resíduos de dolomita e scheelita foi inferior a 35%, pode-se afirmar que o Índice de grupo (IG) é zero, conforme a equação proposta por DAS (2007). Por outro lado, o resíduo de caulim apresentou 50,81% de material passante na peneira #200, encontrando-se IG = 3. Pode-se concluir que, os resíduos analisados segundo este critério poderão exibir um bom desempenho como fundação para pavimentação.



### • Ensaio de compactação

A partir do ensaio de compactação, realizado com a utilização da energia de Proctor Intermediário, foram obtidas as curvas de compactação dos resíduos (Figura 2). Por meio da análise destas, foi possível indicar os parâmetros ótimos dos materiais.



**Figura 2: Curvas de compactação dos resíduos. Fonte: Autor do trabalho.**

Conforme a Figura 2, percebe-se que o resíduo de caulim apresentou uma umidade ótima ( $W_{ótima}$ ) de 17,31% e uma densidade máxima seca ( $\gamma_{dMáx}$ ) de 1,807g/cm<sup>3</sup>. Esta elevada umidade ótima apresentada comprova o resultado da análise granulométrica deste resíduo, pois quanto maior for a porcentagem de finos do solo maior será a quantidade de água necessária para lubrificar suas partículas e consequentemente o mesmo atingirá uma menor densidade seca.

Analisando a curva de compactação do resíduo da scheelita, verifica-se que a mesma apresentou uma  $W_{ótima}$  de 11,53% e  $\gamma_{dMáx}$  de 2,013g/cm<sup>3</sup>, ao comparar estes valores com os do resíduo de caulim, constata-se que o resíduo da scheelita exibiu valores superiores de densidade seca máxima e valores inferiores de umidade, isto acontece pelo fato do mesmo apresentar uma granulometria mais grosseira do que o resíduo de caulim.

Por fim, observa-se que o resíduo de dolomita apresentou uma  $W_{ótima}$  de 7,71% e  $\gamma_{dMáx}$  de 2,176g/cm<sup>3</sup>, sendo estes os melhores resultados para os referidos parâmetros dentre os três resíduos analisados. Desta forma, fica evidente que o resíduo de dolomita apontou resultados mais favoráveis para sua aplicação como material utilizado na pavimentação, pois o mesmo demonstrou possuir uma elevada densidade seca e uma baixa umidade ótima, tendendo assim a apresentar bons comportamentos quando sujeito a solicitações, com resistências elevadas e baixa compressibilidade.

### • Índice de Suporte Califórnia (ISC)

A Tabela 6 exibe os resultados do ISC dos resíduos, usando a energia de Proctor Intermediário, compactados em suas respectivas umidades ótimas.

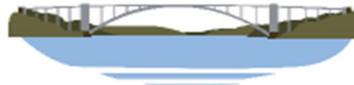
**Tabela 6: ISC e Expansão. Fonte: Autor do trabalho.**

Resíduo	ISC (%)	Expansão (%)
Caulim	-	2,08
Dolomita	22,72	-0,13
Scheelita	15,47	-0,02

Conforme especifica Souza (1981), quando se desejar e for justificável uma segurança maior, a partir dos resultados do ISC e do índice de grupo, pode-se calcular o Índice de Suporte (IS) com a seguinte expressão:

$$IS = \frac{ISC + ISC_{IG}}{2} \quad \text{equação (1)}$$

em que  $ISC$ : valor de ISC determinado no ensaio respectivo [%];  
 $ISC_{IG}$ : valor encontrado com base no índice de grupo, dado na tabela a seguir

**Tabela 8: ISC<sub>IG</sub>. Fonte: SOUZA,1981.**

Índice de Grupo(IG)	ISC (%)	Índice de Grupo(IG)	ISC (%)
0	20	7	8
1	18	8	7
2	15	9 a 10	6
3	13	11 a 12	5
4	12	13 a 14	4
5	10	116 a 17	3
6	9	18 a 20	2

De acordo com a Tabela 7, verifica-se que o resíduo de caulim não apresentou resultado de ISC, entretanto por meio da Tabela 8 e da equação (1), verifica-se um valor de IS de 6,5% inferior ao intervalo recomendado por Souza (1981). Estes resultados podem ser explicados pela má absorção de água desse resíduo, conferindo-lhe um aspecto borrachudo, representado na Figura 3, não oferecendo resistência a penetração para o cálculo do ISC. Percebe-se também uma expansão de 2,08% o que implica que este material não deve ser usado em camadas de pavimentos.

**Figura 3: Resíduo de caulim após o ensaio de ISC. Fonte: Autor do trabalho.**

Analisando os valores obtidos nas Tabelas 7 e 8, e com base na equação descrita acima, constatou-se que o resíduo de dolomita apresentou um resultado satisfatório, tornando-se favorável a sua utilização como material de sub-base, reforço de subleito e na substituição de materiais com expansão maior que 2% ou CBR menor que 2%, pois o mesmo apresenta ISC de 22,72%, IS de 21,36% e uma contração de 0,13%, estando estes valores contidos nos intervalos estabelecidos por Souza (1981).

Por fim, o resíduo da scheelita apresentou um ISC de 15,47%, IS de 17,74% e uma contração de 0,02%, mostrando-se conveniente sua utilização como reforço de subleito e subleito de pavimentos, estando estes valores dentro dos limites orientados por Souza (1981).

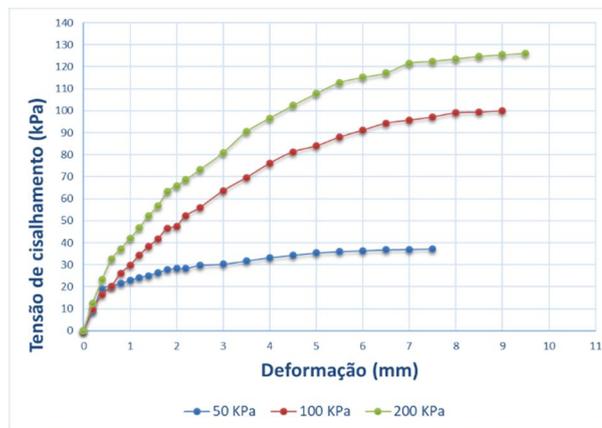
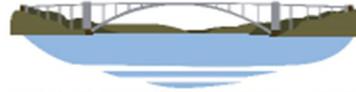
#### • Ensaio de Cisalhamento Direto

As tensões de 50, 100 e 200 KPa foram utilizadas para realização do ensaio na condição não-drenado, com os corpos de prova compactados na umidade ótima sendo cisalhados a uma velocidade de deslocamento de 0,3mm/min.

As Figuras 4 a 9 apresentam gráficos que ilustram as curvas de tensão cisalhante em função do deslocamento horizontal e a envoltória de resistência, obtida a partir dos pontos de ruptura, onde foi possível encontrar o intercepto de coesão e o ângulo de atrito interno para os três resíduos de mineração.

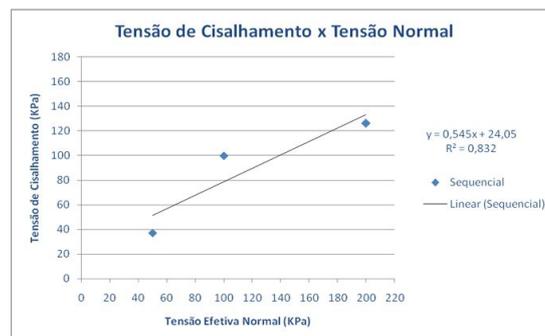
O gráfico apresentado na Figura 4 descreve o comportamento do resíduo de caulim durante a realização do ensaio. Observa-se que para a tensão normal ( $\sigma$ ) de 50, 100 e 200 KPa encontra-se respectivamente, uma tensão cisalhante máxima ( $\tau$ ) de 37,2, 99,8 e 126 KPa.

Por meio dos aspectos das curvas pode-se classificá-las como em forma de ruptura plástica, ocorrendo geralmente em areia fofa ou pouco compacta, cujo esforço máximo é mantido com a continuidade da deformação. Nesse caso os grãos movimentam-se horizontalmente, sendo mobilizada a sua resistência.



**Figura 4: Diagrama tensão (KPa) x deformação (mm) no ensaio de Cisalhamento Direto do resíduo de Caulim: Fonte: Autor do trabalho**

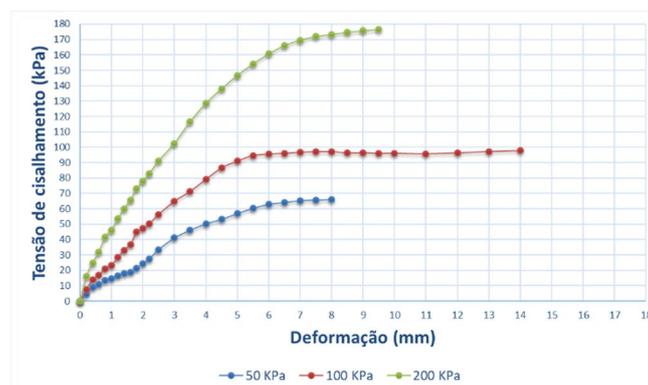
A seguir, na Figura 5 é exibido a envoltória de ruptura do resíduo de caulim (tensão de cisalhamento x tensão normal efetiva), onde ajustando-se a envoltória linear do critério de ruptura de Mohr-Coulomb é possível obter um ângulo de atrito ( $\phi$ ) de  $28,62^\circ$  e coesão ( $c$ ) de 24,05 KPa. Com esses dados, percebemos que o resíduo tem uma granulometria variada, sendo material granular com presença de finos, onde a resistência ao cisalhamento é determinada pelas características coesivas e friccionais entre as suas partículas.



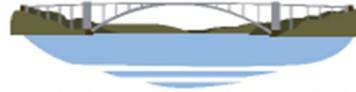
**Figura 5: Envoltória de ruptura do resíduo de Caulim. Fonte: Autor do trabalho.**

Com o resíduo de dolomita, obteve-se o comportamento demonstrado na Figura 6, em que ao analisar  $\sigma = 50$  KPa encontra-se  $\tau = 66,14$  KPa. Elevando  $\sigma$  para 100 KPa, tem-se  $\tau$  atuante sobre o resíduo de aproximadamente 97,85 KPa, em contrapartida dobrando-se a tensão normal para 200 KPa, obtém-se uma tensão de cisalhamento de 176,67 KPa.

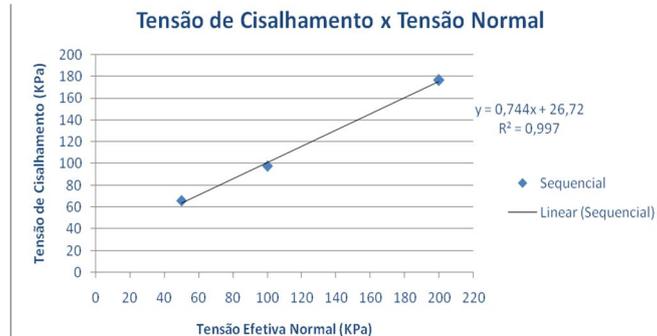
As curvas geradas de tensão x deformação apresentam pequenos picos de resistência característicos de areias densas, que acontece, sobretudo, devido o entrosamento dos grãos. Nesse caso, há um trabalho adicional para superar o embricamento entre partículas, gerando necessariamente uma expansão volumétrica durante o cisalhamento. Assim, quanto mais denso for o material, maior a parcela de *interlocking* e, conseqüentemente, maior a resistência do resíduo.



**Figura 6: Diagrama tensão (KPa) x deformação (mm) no ensaio de Cisalhamento Direto do resíduo de Dolomita. Fonte: Autor do trabalho.**

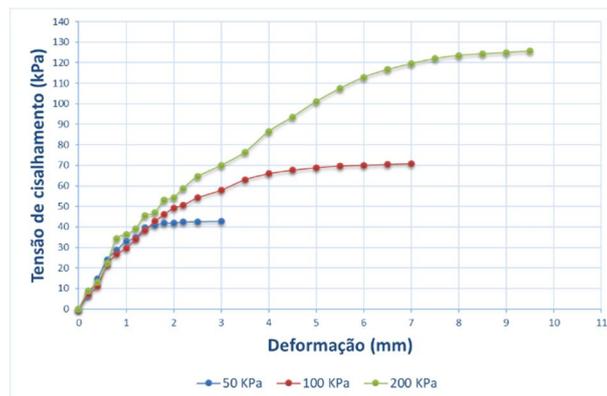


Por meio da figura 7 é possível identificar  $\phi=36,65^\circ$  e  $c=26,73$  KPa. O resíduo, possui  $\phi$  maior, por estar mais compactado, proporcionando assim acréscimo de resistência. Contudo, também apresenta coesão, exibindo assim, características granulares e coesivas, o que permite obter um material com propriedades ideais de resistência e trabalhabilidade.



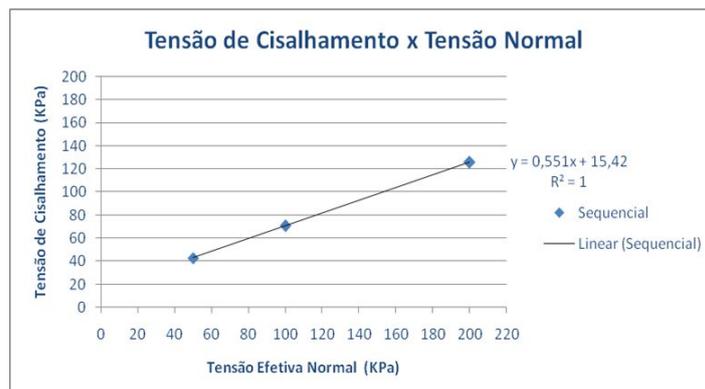
**Figura 7: Envoltória de ruptura do resíduo de Dolomita. Fonte: Autor do trabalho.**

O gráfico a seguir (Figura 8) descreve o comportamento do resíduo da scheelita, observando-se que as deformações ocorrem com menores valores de tensão. Aplicando-se  $\sigma$  de 50, 100 e 200 KPa obtém-se  $\tau$  de 42,83, 70,84 e 125,66 KPa, respectivamente. Assim como ocorrido com o resíduo de caulim, as características da curva demonstram um comportamento de ruptura plástica, onde esse resíduo esborroa-se facilmente ao ser cortado ou escavado.



**Figura 8: Diagrama tensão (KPa) x deformação (mm) no ensaio de Cisalhamento Direto do resíduo da Scheelita. Fonte: Autor do trabalho.**

A envoltória de resistência ao cisalhamento (Figura 9) do resíduo da scheelita apresenta uma inclinação constante ao longo de toda a faixa de tensões normais aplicadas. Isso acontece por causa da agregação fraca entre as partículas, pois, neste resíduo, há maior quantidade de areia e menor porcentagem de finos, sendo a resistência ao cisalhamento dependente basicamente do atrito entre as partículas. Então, não são realizadas mudanças significativas na inclinação e no intercepto da envoltória pelo fato dos agregados não apresentarem resistência suficiente. Sendo assim,  $\phi = 28,88^\circ$  e  $c = 15,42$  KPa.



**Figura 9: Envoltória de ruptura do resíduo da Scheelita. Fonte: Autor do trabalho.**

Comparando-se os três materiais analisados, observa-se que o resíduo de dolomita foi capaz de suportar maiores valores de tensão de cisalhamento com menores deformações, enquanto que os demais não apresentaram boa resistência.

Portanto, o comportamento desse rejeito de mineração contribui para evitar exemplos comuns de problemas de estabilidade de aterros e de cortes, oferecendo resistência à deformação sob o efeito da aplicação de cargas, além de atender uma das principais funções do pavimento, que é incrementar a resistência ao cisalhamento quanto aos esforços horizontais tornando mais durável possível a superfície de rolamento.

## CONCLUSÕES

A incorporação dos resíduos de mineração em atividades da construção civil promove a diminuição do acúmulo desses materiais no meio ambiente, contribuindo para a redução das bacias e pilhas de rejeito e a exploração de recursos naturais. Comparando-se os três resíduos analisados, conclui-se que ambos podem ser utilizados como agregado miúdo em misturas asfálticas, além disso, os resíduos de dolomita e caulim podem atuar como material que preencherá os vazios do esqueleto mineral, melhorando a trabalhabilidade.

O resíduo de caulim não poderá ser utilizado como camada de pavimentos, visto que não apresentou valor de ISC e exibiu uma expansão maior que 2%, não estando dentro dos limites estabelecidos por Souza (1981) no Manual de Projeto de Pavimentos Flexíveis. Em contrapartida, o resíduo de scheelita apresentou taxas razoáveis no ensaio de Índice de Suporte Califórnia que relacionadas à sua granulometria possibilitam a sua utilização como subleito e reforço de subleito para pavimentação. Por fim, o resíduo de dolomita demonstrou os melhores resultados para os ensaios de compactação, índice de suporte califórnia e cisalhamento direto, suas características possibilitam sua utilização em subleito e sub-base para pavimentação, como incremento para evitar problemas de estabilidade de aterros e de cortes, além de aumentar a durabilidade da superfície de rolamento do pavimento.

Desta forma, comprovou-se que a reutilização dos resíduos de mineração é tecnicamente viável tendo em vista que foram atendidos os requisitos estabelecidos para utilização em obras de pavimentação. É necessário dar uma maior ênfase ao resíduo de dolomita, uma vez que este resíduo obteve melhor desempenho entre os três rejeitos, e dessa maneira alcançou um maior número de possibilidades para aplicação em pavimentação. Além disso, por se tratar de materiais de qualidade e de baixo custo, amplia-se ainda mais a possibilidade das empresas aplicá-los para os mais diversos fins, o que acaba por contribuir também para a diminuição dos impactos ambientais gerados pelo descarte inadequado destes resíduos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras: Abeda, 2010. 67 p.
2. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Pavimentação. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa**. Instituto de Pesquisa Rodoviárias. 3 ed. – Rio de Janeiro, 2006. 274p.
3. SOUZA, Marcondes Mendes de et al. **Estudo do comportamento térmico e absorção de água em revestimento cerâmico, utilizando na formulação da massa: argila, quartzo, feldspato e resíduos do beneficiamento do caulim**. Anais Congresso Sul-americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Gramado: IBEAS, 2018. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2018/V-018.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2019.