

DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DA MINERAÇÃO PARA ATIVIDADES GEOTÉCNICAS A FIM DE REDUZIR IMPACTOS AMBIENTAIS

Jonatas Kennedy Silva de Medeiros (*), Wily Santos Machado, Damares de Sá Ramalho Neta, Nayla Kelly Antunes Oliveira, Larissa Santana Batista.

*Universidade Federal de Campina Grande – Campus Pombal, jonataskennedy@hotmail.com

RESUMO

Devido ao grande volume de resíduos gerados, a extração e o beneficiamento mineral são agentes de agressão e poluição ambiental que causam problemas sociais e ambientais. 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 em atividades geotécnicas para reduzir os impactos ambientais. Na metodologia, realizou-se ensaios de caracterização física e mecânica dos resíduos, conforme as normas vigentes da ABNT. Os resíduos de caulim, dolomita e scheelita apresentaram bons resultados de compressão e cisalhamento, enquanto que somente os resíduos de dolomita e scheelita demonstraram números satisfatórios de ISC. Com a análise dos resultados constatou-se a viabilidade da utilização dos resíduos em subleito e sub-base para pavimentação, filtros e camadas de base de aterros e como incremento em muros de arrimo, sendo soluções viáveis de utilização dos resíduos contribuindo para a engenharia geotécnica e com a sustentabilidade dos recursos naturais.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos, Mineração, Geotecnia.

INTRODUÇÃO

A atividade mineradora influi significativamente na conjuntura econômica da sociedade atual, a mesma transversaliza todos os setores da produção e é indispensável para o avanço da tecnologia que por sua vez possibilita melhorias na qualidade de vida. Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) (2015) em 2014 o Brasil produziu US\$ 40 bilhões a partir da mineração, demonstrando um avanço no crescimento e diversificação da exploração de seus recursos minerais.

A mineração e o beneficiamento mineral produzem resíduos que quando não são reintroduzidos em outro processo produtivo é estocado em bacias de contenção, que além de proporcionar altíssimos custos de construção e manutenção, permanece latente o risco de rompimento e desastres ambientais (KATO, 2017).

Segundo Menezes *et al* (2009) a partir da extração e beneficiamento do caulim, há a presença do alto teor de outros materiais acessórios, produzindo assim enormes quantidades de resíduos, cerca de 80% a 90% do volume explorado, sendo descartado no meio como resíduo, aumentando assim os impactos ambientais.

A dolomita é um mineral de constituição inorgânica, quimicamente inerte, extraído de jazidas e beneficiado em diversas faixas granulométricas de acordo com a aplicação desejada (SILVA NETO, 2007). A mesma ocupa o terceiro lugar como insumo básico na fabricação do vidro, depois da areia de quartzo e da barrilha (Na_2CO_3) (SAMPAIO e ALMEIDA, 2005).

A scheelita é um mineral bastante extraído no Brasil, a maior mina de scheelita da América do Sul está localizada no município de Currais Novos – RN é a mina Brejuí. Nela de todo material extraído, apenas 0,8% é constituído pelo minério almejado, e 99,2% retorna ao meio ambiente como resíduos em pilhas e bacias de deposição. Estima-se um acúmulo de resíduo do beneficiamento da scheelita na ordem de 4,5 milhões de tonelada do resíduo grosso e 2,5 milhões do resíduo fino (GERAB, 2014).

Um dos maiores desafios ambientais enfrentados pela população mundial é a gestão eficaz de resíduos sólidos, devido a sua grande produção e diversidade, ficando cada vez mais difícil pensar em um destino ecologicamente correto e sustentável (PEREIRA, 2012). Em contrapartida, na engenharia geotécnica é amplo o leque de aplicações que podem ser destinados os resíduos de mineração e é crescente o número de pesquisas que visam confirmar a viabilidade técnica e econômica dessa.

OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo analisar o desempenho da utilização dos resíduos de caulim, scheelita e de dolomita como materiais constituintes das atividades geotécnicas, com a finalidade de propor novo destino aos resíduos e reduzir a sua presença no meio ambiente, contribuindo, conseqüentemente, para diminuição dos impactos negativos causados por sua destinação inadequada.

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 (análise granulométrica, determinação da massa específica, limites de Atterberg), e ensaios mecânicos, como compactação (Proctor intermediário), compressão simples, índice de suporte Califórnia (ISC) 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 mecânica
Fonte: Autor do Trabalho

Ensaio	Norma
Compactação	NBR 7182/1986
Compressão Simples	NBR 12770/1984
Índice de Suporte Califórnia	NBR 9895/1987
Cisalhamento Direto	ASTM D3080

RESULTADOS

Análise Granulométrica

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.

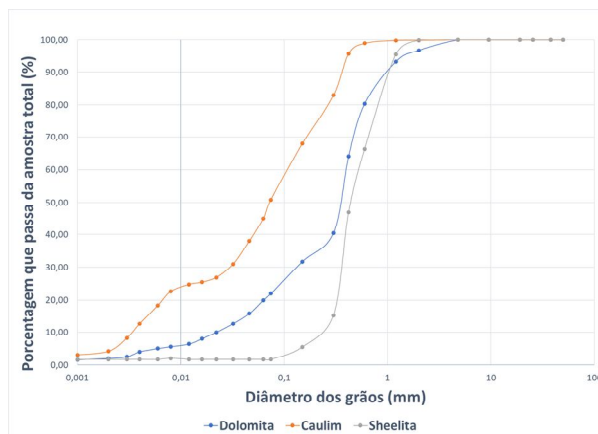


Figura 1. Curvas granulométricas dos resíduos de caulim, dolomita e scheelita. Fonte: Autor do Trabalho

Observando as porcentagens passantes na peneira e formato padrão apresentado, pode-se tratar o resíduo de caulim como mal graduado e de granulação aberta, o resíduo de dolomita como 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

Resíduo	CC	CU
Caulim	2,29	34,29
Dolomita	2,97	13,64
Scheelita	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.

O resíduo de dolomita é avaliado como um resíduo 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 (%)	Scheelita (%)
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 obtenham 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.

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 ³)
Caulim	1,14
Dolomita	1,78
Scheelita	2,60

O valor mais elevado da massa específica do resíduo da scheelita é justificado pela presença de tungstênio no resíduo, que possui massa específica de 19,55 g/cm³.

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.

Limites de Atterberg

Com a execução dos ensaios para a obtenção dos Limites de Atterberg não obteve-se teores de umidade, pois os resíduos não apresentaram características plásticas e líquidas. Correspondendo a avaliação feita a partir da granulometria, pois todos os resíduos apresentam maior porcentagem de areia.

Conforme as análise granulométricas e os resultados dos limites de Atterberg de acordo com a American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) o resíduo da dolomita e da scheelita classificam-se no grupo A-3, apresentando como materiais constituintes fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia, tendo comportamento como subleito de excelente a bom. O resíduo de caulim classifica-se no grupo A-4, possuindo como material constituinte os solos siltosos e apresentando comportamento como subleito de sofrível a mau.

De acordo com a Classificação Unificada dos Solos (The Unified Soil Classification System – USCS) o resíduo de caulim é classificado como ML, silte inorgânico, areia muito fina ou areias finas, siltosas e argilosas; o resíduo da dolomita como SM: areia siltosa, mistura de areia e silte e o resíduo de scheelita é classificado como SP: areia mau graduada ou areia pedregulhosa, com pouco ou nenhum fino.

Compactação

A partir do ensaio de compactação obteve-se as curvas de compactação dos resíduos, analisando as mesmas foi possível indicar seus parâmetros ótimos que foram determinados por meio da energia de Proctor Intermediário.

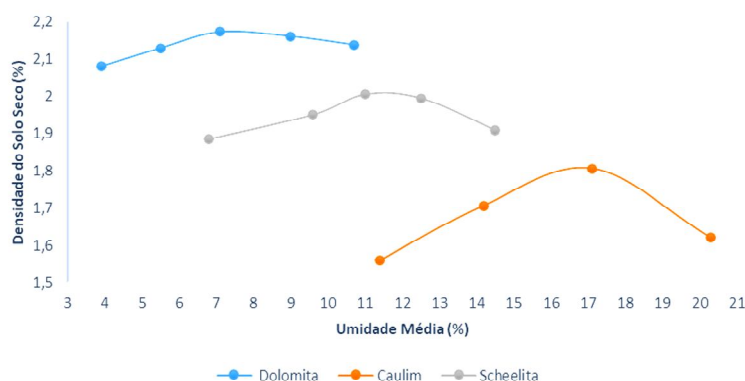


Figura 2. Curvas de compactação dos resíduos. Fonte: Autor do Trabalho

Os valores de umidade ótima e densidade máxima estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6. Parâmetros ótimos para as curvas de compactação dos resíduos. Fonte: Autor do Trabalho

Resíduo	$W_{ótima}$ (%)	$\gamma_{d\ Máx}$ (g/cm ³)
Dolomita	7,71	2,176
Caulim	17,31	1,807
Scheelita	11,56	2,013

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 ($\gamma_{d\ Máx}$) de 1,807g/cm³. 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 conseqüentemente 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 $\gamma_{d\ Máx}$ de 2,013g/cm³, 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/cm³, sendo assim o que apresentou os melhores resultados para os referidos parâmetros dentre os três resíduos analisados.

Desta forma fica evidente que o resíduo de dolomita apresentou os resultados mais favoráveis para sua aplicação em materiais de 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.

Resistência à Compressão Simples

A partir dos valores contidos na Figura 3, constata-se que o resíduo da dolomita quando compactado na sua umidade ótima, obteve uma resistência a compressão simples (RCS) de 28,44 KPa, o resíduo do caulim apresentou um valor de RCS de 24,42 KPa, inferior ao valor do resíduo de dolomita, visto que a mesma possui uma melhor aglutinação das partículas com uma menor adição de água. Vale salientar a baixa resistência a compressão simples do resíduo de scheelita, cerca de 1,25 KPa, esse baixo valor ocorre devido a elevada presença de areia em sua composição, pois quando não confinada a areia tende a apresentar uma baixa resistência a compressão simples.

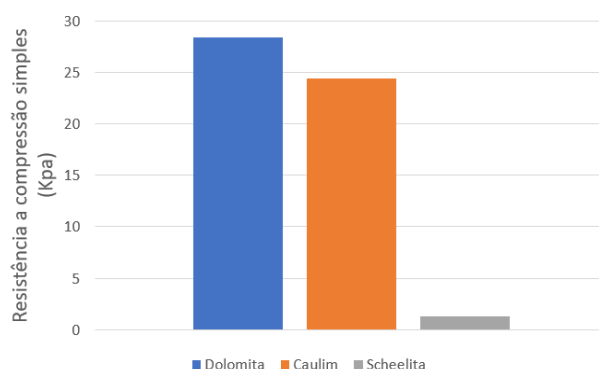


Figura 3. Resistência à compressão simples. Fonte: Autor do Trabalho

Índice de Suporte Califórnia

De acordo com os resultados dos ensaios de Índice de Suporte Califórnia contidos na Tabela 7 e 8, verifica-se que o resíduo de caulim não apresentou resultado de ISC, o que pode ser explicado pela má absorção de água desse resíduo, conferindo-lhe um aspecto borrachudo, não oferecendo resistência à penetração para o cálculo do ISC (Figura 4), além disso percebe-se uma expansão de 2,08%. Sendo assim, implica que este material não deve ser usado em camadas de pavimentação.

Tabela 7. ISC.

Fonte: Autor do Trabalho

Resíduo	ISC (%)
Caulim	-
Dolomita	22,72
Scheelita	15,47

Tabela 8. Expansão.

Fonte: Autor do Trabalho

Resíduo	Expansão (%)
Caulim	2,08
Dolomita	-0,13
Scheelita	-0,02



Figura 4. Resíduo do caulim após o ensaio de ISC. Fonte: Autor do Trabalho

Conforme os resultados, o resíduo de dolomita apresentou um resultado satisfatório, tornando-se favorável a sua utilização como sub-base na pavimentação, pois apresenta ISC de 22,72% e uma contração de 0,13%. Por fim, o resíduo de scheelita apresentou um ISC de 15,47% e uma contração de 0,02%, mostrando-se conveniente sua utilização como reforço de subleito na pavimentação.

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 5 a 10 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 obter o intercepto de coesão e o ângulo de atrito interno descritos na tabela 9 para os três resíduos de mineração.

O gráfico apresentado na figura 5 descreve o comportamento do resíduo de caulim durante a realização do ensaio. Observa-se que para a tensão normal de 50 KPa encontra-se uma tensão cisalhante máxima de 37,2 KPa. Aumentando a tensão normal para 100 KPa, tem-se uma tensão de cisalhamento máxima de aproximadamente 99,8 KPa atuando sobre o resíduo, enquanto que ao dobrar a tensão normal para 200 KPa, obtém-se uma tensão de cisalhamento de 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. No caso do solo fofo os grãos movimentam-se horizontalmente, sendo mobilizada a sua resistência.

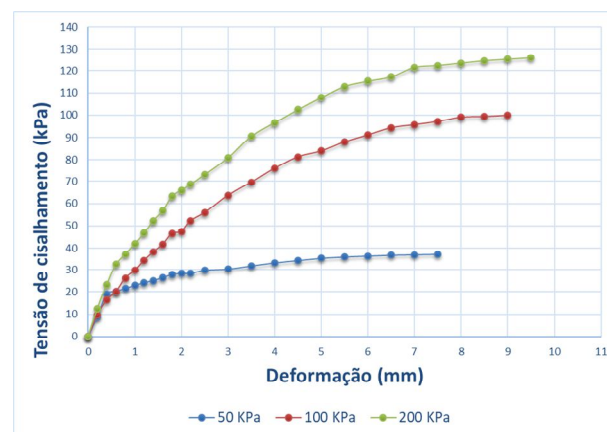


Figura 5: Diagrama tensão (KPa) x deformação (mm) no ensaio de Cisalhamento Direto do resíduo de Caulim. Fonte: Autor do Trabalho

A seguir, na figura 6 é exibida 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 de 28,62° e coesão 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.

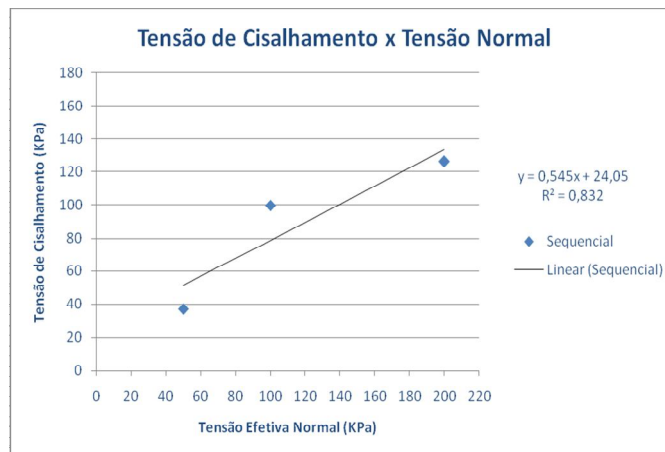


Figura 6: Envoltória de ruptura do resíduo de Caulim. Fonte: Autor do Trabalho

Com o resíduo de dolomita, obteve-se o comportamento demonstrado na figura 7, em que ao analisar a tensão normal de 50 KPa encontra-se uma tensão cisalhante máxima de 66,14 KPa. Elevando a tensão normal para 100 KPa, tem-se uma tensão de cisalhamento máxima 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.

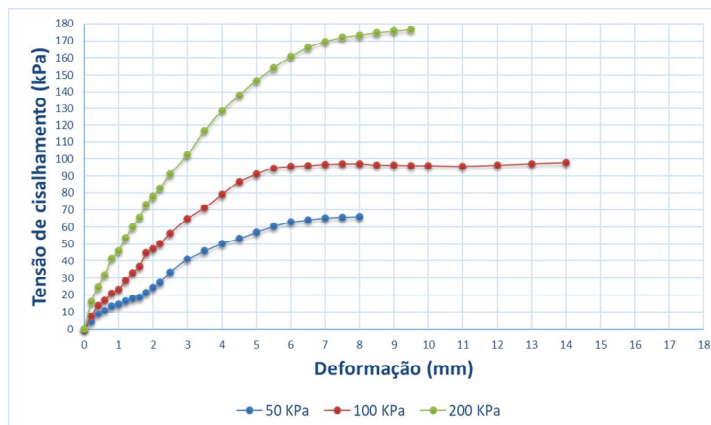


Figura 7: Diagrama tensão (kPa) x deformação (mm) no ensaio de Cisalhamento Direto do resíduo de Dolomita. Fonte: Autor do Trabalho

Por meio da figura 8 é possível identificar o ângulo de atrito e a coesão do resíduo de dolomita, sendo $36,65^\circ$ e 26,73 KPa respectivamente. O resíduo, possui um ângulo de atrito maior, por estar mais compactado, proporcionando assim acréscimo de resistência. No entanto, também apresenta coesão considerável, apresentando assim, características granulares e coesivas, o que permite obter um material com propriedades ideais de resistência e trabalhabilidade.

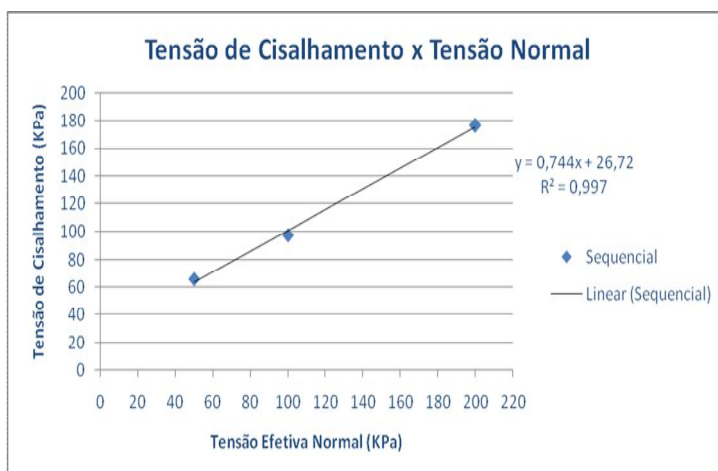


Figura 8: Envoltória de ruptura do resíduo de Dolomita. Fonte: Autor do Trabalho

O gráfico a seguir ilustrado na figura 9 descreve o comportamento do resíduo da scheelita durante o ensaio de cisalhamento direto, observando-se que as deformações acontecem com menores valores de tensão.

Aplicando-se uma tensão normal de 50 KPa obtém-se uma tensão cisalhante máxima de 42,83 KPa. Ampliando-se a tensão normal para 100 KPa, encontra-se uma tensão de cisalhamento máxima atuante sobre o resíduo de 70,84 KPa, por outro lado, acrescentando mais 100 KPa na tensão normal (200 KPa), alcança-se uma tensão de cisalhamento de 125,66 KPa.

Assim como ocorrido com o resíduo de caulim, as características da curva demonstram um comportamento de ruptura plástica, em que esse tipo de resíduo esborroa-se facilmente ao ser cortado ou escavado.

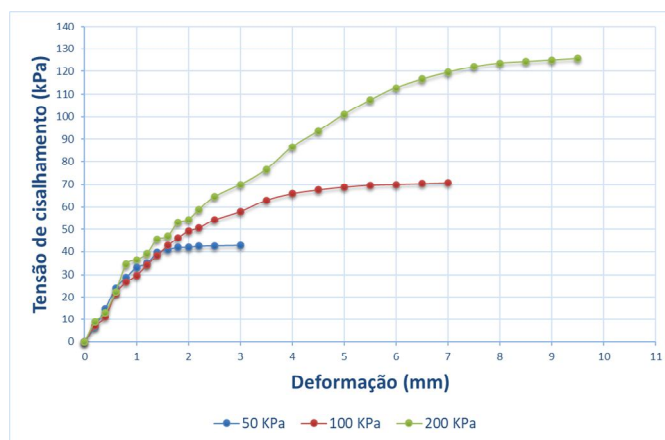


Figura 9: Diagrama tensão (kPa) x deformação (mm) no ensaio de Cisalhamento Direto do resíduo da Scheelita. Fonte: Autor do Trabalho

A envoltória de resistência ao cisalhamento (Figura 10) 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, o ângulo de atrito obtido é de 28,88° e a coesão de 15,42 KPa.

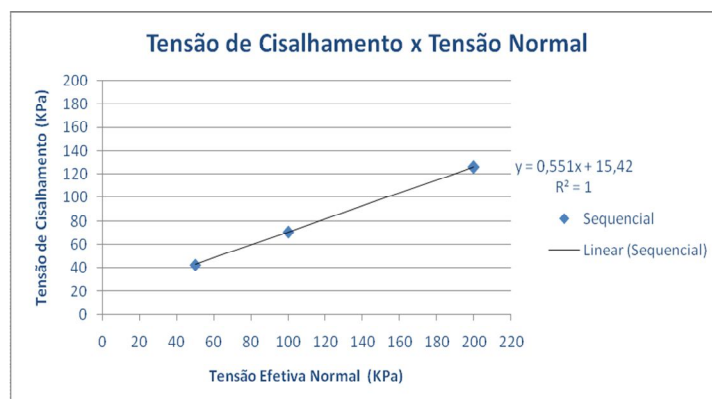


Figura 10: Envolvória de ruptura do resíduo de Scheelita. Fonte: Autor do Trabalho

Para melhor visualização, os resultados do ângulo de atrito e do intercepto coesivo dos resíduos estão descritos na tabela 9 e foram obtidos a partir da equação da reta com o ajuste da envoltória linear do critério de ruptura de Mohr-Coulomb.

Tabela 9: Ângulo de atrito interno e coesão.
Fonte: Autor do Trabalho

Resíduo	Ângulo de atrito (°)	Coesão (KPa)
Caulim	28,62	24,05
Dolomita	36,65	26,73
Scheelita	28,88	15,42

Comparando-se os três materiais analisados, observa-se que o segundo (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 geotécnicas 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.

De acordo com os resultados obtidos, o resíduo de caulim foi caracterizado como um material granular com grande presença de finos, com baixa densidade máxima seca e inexistência de resultado para o Índice de Suporte Califórnia. Os valores encontrados com o ensaio de cisalhamento direto corroboram com sua análise granulométrica, onde o mesmo tem características coesivas e friccionais entre as suas partículas, apresentando comportamento como subleito de sofrível a mau, além de não poder ser utilizado como camada de pavimento devido sua expansão.

O resíduo da dolomita foi classificado como uma areia siltosa, apresentando os melhores resultados para os ensaios de compactação, índice de suporte Califórnia e cisalhamento direto, ocasionado pelo melhor comportamento da estrutura matriz do resíduo. Através da análise dos seus resultados, suas características possibilitam sua utilização em obras de terra, subleito e sub-base para pavimentação, como incremento para evitar problemas de empuxos sobre muros de arrimo, capacidade de carga de sapata, estabilidade de aterros e de cortes, além de aumentar a durabilidade da superfície de rolamento do pavimento.

A realização dos ensaios com o resíduo de scheelita possibilitou a caracterização do material como uma areia pedregulhosa. A curva de resistência ao cisalhamento direto demonstra a fraca agregação entres as partículas, justificada também pela grande quantidade de areia. Além disso, o resíduo da scheelita apresentou taxas razoáveis no ensaio de índice de suporte Califórnia que relacionadas à sua granulometria possibilita a sua utilização em subleito para pavimentação.

Dessa forma, comprovou-se que a reutilização dos resíduos de mineração é tecnicamente viável, sobretudo o resíduo de dolomita e scheelita, tendo em vista que atendem alguns requisitos estabelecidos para utilização em obras de Geotecnia, além de se tratar de um material de qualidade e de baixo custo, podendo assim ser utilizado pelas empresas, contribuindo também para a diminuição dos impactos ambientais gerados pelo descarte inadequado desses resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GERAB, André Tabosa Fernandes de Santa Cruz. **Utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita em aplicações rodoviárias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2014.
2. Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. 10ª Edição. Brasília: IBRAM. 2015.
3. KATO, Ricardo Bentes. **Aplicação do Resíduo da Mineração do Cobre para Melhoria do Desempenho de Misturas Asfálticas**. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 14, n. 1. 2017
4. MENEZES, Romualdo R. et al. **Atividade pozolânica dos resíduos do beneficiamento do caulim para uso em argamassas para alvenaria**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n. 6, p. 795-801, 2009.
5. PEREIRA, K. L. A. **Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Natal. 2012.
6. SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. **Calcário e dolomito. Rochas e minerais industriais**. V. 1. 2005.
7. SILVA NETO, Gilson da. **Estudo de Matérias Primas do Rio Grande do Norte para Uso em Revestimento Poroso: Influência do teor de dolomita e temperatura de calcinação nas propriedades físico-mecânicas**. 2007