

**DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS PARA O ARRANJO  
PRODUTIVO LOCAL DE CAULIM NOS PEGMATITOS RN/PB**F.W.H. VIDAL<sup>1</sup>, K. M. ALMEIDA, A. P. F. SOUSA, N. F. CASTROCentro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-8368-3982><sup>1</sup>fwhollanda@gmail.com<sup>1</sup>

Submetido 18/07/2023 - Aceito 01/12/2023

DOI: 10.15628/holos.2023.15795

**RESUMO**

A região do Seridó, situada no Nordeste brasileiro, nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, é conhecida por suas vastas reservas de caulim oriundas de pegmatitos. Pequenas empresas fazem o processo de extração e beneficiamento do minério. No entanto, essas operações são precárias. A falta de planejamento na lavra e no processo de beneficiamento faz com que os pequenos produtores de caulim tenham apenas um aproveitamento de 25%, e diversos acidentes causados na etapa de extração. O projeto Entidades Associadas do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI, em parceria com a Universidade Federal de Campina Grande - UFCG foi criado para desenvolver ações integradas de pesquisa, tecnologias e inovação para agregar valor à cadeia produtiva mineral na região do Seridó. Foi elaborado um plano de trabalho onde se fez o levantamento de informações da área. Foram coletados

dados em campo e utilizados na elaboração de mapas e modelos geológicos para cálculo de cubagem, utilizando software computacional. Além disso, foi montada uma planta piloto de beneficiamento de caulim utilizando hidrociclone, visando o aumento de recuperação do mineral minério. Na etapa de planejamento de lavra foram elaborados dois cenários de lavra com características geométricas distintas. O primeiro cenário apresentou resultados melhores que o segundo. A tonelada de minério foi maior e a relação estéril minério menor. No processo de beneficiamento a recuperação de caulim apresentou bom resultado. O concentrado do processo apresentou altas porcentagens de caulinita. O projeto de lavra e beneficiamento mostrou a possibilidade de extrair e tratar um minério de forma mais segura e viável economicamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Caulim, hidrociclone, beneficiamento, Seridó.**DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE TECHNOLOGIES FOR THE LOCAL PRODUCTIVE  
CLUSTER OF KAOLIN FROM PEGMATITES RN/PB****ABSTRACT**

The Seridó region, located in northeastern Brazil, in the states of Paraíba and Rio Grande do Norte, is known for its vast reserves of kaolin from pegmatites. Small companies mine and process ore. However, these operations are precarious, lacking mining planning and processing studies. Consequently, the recovery rates are only 25%, and mining accidents happen. Within a Ministry of Science and Technology work project named Associated Entities, the Centre for Mineral Technology and the Federal University of Campina Grande carried out integrated research, technology and innovation actions to add value to the mineral production chain in the Seridó region. After elaborating on a working plan, the partners collected information on the area, which they used to

construct geological maps and computerized mine models. In addition, a kaolin processing plant with a hydrocyclone, aiming to increase the ore's recovery, was studied. This project results were two pit design scenarios with distinct geometric characteristics for the mine planning stage. The first scenario presented better results than the second, with a higher ore tonnage recovery and a lower waste/ore ratio. In the processing stage, the hydrocyclone tested plant led to a concentrate with high kaolinite percentages. The mining and processing project showed the possibility of extracting and processing the kaolin ore in a safer and more economically viable way for small producers.

**KEYWORDS:** Kaolin, hydrocyclone, beneficiation, Seridó.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização cada vez maior de matérias primas minerais em diferentes áreas da indústria faz atrativa a exploração de reservas por pequenos mineradores. A mineração em pequena escala tem crescido gradativamente nos últimos anos no Brasil, onde a indústria da mineração é predominantemente formada por micro e pequenas empresas (IBRAM, 2020). Elas servem de base para o fortalecimento das cadeias produtivas de diferentes setores industriais, aproveitando depósitos sem interesse para grandes empresas e dinamizando as economias locais (FREITAS *et al.*, 2021). Por outro lado, muitas dessas operações são artesanais, de baixo nível tecnológico, nas quais a falta de conhecimento geológico e planejamento das operações, bem como uso de métodos ineficientes de lavra e beneficiamento, podem causar danos ambientais, econômicos e sociais e representam os principais desafios para seu desenvolvimento (DE TOMI *et al.*, 2021). Um exemplo disso é a mineração de caulim na região do Seridó, localizada no Nordeste Brasileiro, nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte.

Na Província Pegmatítica Borborema/Seridó, a produção de caulim é conduzida com considerável intensidade, sendo um polo significativo dessa indústria mineral. No entanto, esse processo produtivo também resulta em uma considerável quantidade de resíduos, um subproduto da extração e processamento do caulim (PEREIRA, 2022). A gestão desses resíduos torna-se um ponto crucial para a sustentabilidade da indústria, exigindo medidas eficazes de manejo e, preferencialmente, estratégias que visem à reutilização ou à reciclagem desse material, mitigando os impactos ambientais e maximizando a eficiência do ciclo produtivo do caulim na região. Estratégias inovadoras de aproveitamento desses resíduos podem não apenas reduzir potenciais impactos ambientais adversos, mas também abrir caminho para novas aplicações e oportunidades econômicas (LEANDRO, 2017).

Essa região é conhecida por suas vastas reservas de caulim oriundas de pegmatitos. O caulim é um silicato hidratado de alumínio, composto então por  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  e  $H_2O$  (SOUSA *et al.*, 2005). Sua formação pode ser originada em dois tipos de depósitos: primários e secundários (LUZ; CHAVES, 2000). O caulim de depósito primário é resultado da alteração de rochas pegmatíticas por ações do intemperismo. A região do Seridó é composta por caulim deste tipo de depósito. O depósito secundário, por sua vez, é resultado da deposição de caulim transportado por correntes de água ao longo do tempo. As propriedades naturais do caulim como: granulometria fina, brancura, pouca abrasão e estabilidade química ajudam a torná-lo uma das argilas mais utilizadas no mundo (REZENDE, 2008). Ele é muito utilizado em cerâmica branca, plásticos, tintas, refratários e, em especial, no papel (LUZ *et al.*, 2008).

A extração de caulim na região do Seridó está concentrada entre nos municípios Juazeirinho, Assunção, Tenório e Junco do Seridó, no estado da Paraíba-PB e no município de Equador, no estado do Rio Grande do Norte-RN. Esses municípios estão nos domínios ou nas proximidades da Província Pegmatítica da Borborema (VIDAL *et al.*, 2017). Diversas pequenas empresas extraem e beneficiam o minério de caulim na região do Seridó. O método de lavra e o

processamento de caulim são realizados de maneira rudimentar (SILVA *et al.*, 2010). Normalmente, não são realizados estudos de planejamento de lavra para a abertura da jazida. Observa-se um grande volume de resíduo gerado pelas empresas da região, o que indica o uso de técnicas de produção de caulim ineficientes. Segundo Rezende (2013), aproximadamente 75% do caulim extraído e processado torna-se resíduo. A caracterização do resíduo mostra que ainda há uma grande porcentagem de caulim sendo descartado, aproximadamente 30% (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Nos micro e pequenos empreendimentos, lavram-se os depósitos minerais de caulim com conhecimento geológico superficial, baixo grau de mecanização e uso de técnicas inapropriadas, tanto na lavra quanto no beneficiamento. Além disso, a qualificação dos recursos humanos nas frentes de lavra e nas unidades de beneficiamento é baixa. A lavra é artesanal, sendo a grande maioria da extração de caulim realizada por garimpeiros. Os mais experientes cavam túneis subterrâneos para retirar o caulim, o que na prática é realizado sem nenhum planejamento nem estudo de estabilidade geotécnica. Em consequência, a região possui alto índice de acidentes com mortes. Existe também carência de recursos financeiros, estrutura de comercialização e enorme dificuldade para manter a legalização de áreas já requeridas para extração (VIDAL *et al.*, 2017). Segundo Silva e Lima (2016), o dimensionamento e modelagem de blocos é uma alternativa para solucionar os problemas com a extração irregular do caulim no nordeste brasileiro.

Para minimizar esse quadro, foi executado o Projeto: “Integração de pesquisa e desenvolvimento tecnológico voltado para o aproveitamento racional e sustentável de minerais de pegmatitos e rochas de quartzitos”. Este foi financiado à época pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, por meio do Programa Entidades Associadas Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/ Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. O objetivo geral do projeto foi desenvolver e implantar ações integradas de pesquisa, desenvolvimento de tecnologias e inovação para agregar valor à cadeia produtiva mineral e viabilizar o aproveitamento sustentável de pequenos depósitos minerais na Província Pegmatítica da Borborema/Seridó. Buscava-se, com isso, contribuir para minimizar ou erradicar os graves problemas que inibem o desenvolvimento de atividades de mineração de caulim, importantes para a economia regional, e fortalecer o Arranjo Produtivo Local, APL de Pegmatitos RN/PB.

Dentre as diversas ações estabelecidas no plano de trabalho, os parceiros do projeto elaboraram e desenvolveram um projeto piloto em áreas que já estavam formalizadas por cooperativas de pequenos mineradores, como a Cooperativa dos Trabalhadores de Minério e Agricultura do Equador e Seridó - COOTMAES, localizada no município do Equador-RN. Esse projeto piloto, desenvolvido e realizado por uma equipe coordenada por Marinésio Pinheiro Lima, professor da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE e Francisco Wilson Hollanda Vidal, coordenador do programa Entidades Associadas do CETEM, consistiu de ações de caráter tecnológico nas etapas de lavra e beneficiamento numa área minerada de caulim denominada Galo Branco. A finalidade do projeto na lavra foi fazer o levantamento de dados necessários para o seu planejamento e com isso propor um cenário viável para as atividades de extração. No beneficiamento, o objetivo foi estudar outras tecnologias de processamento acrescentando um

novo equipamento, um separador hidrociclone. O projeto piloto permitiu a elaboração de um plano de aproveitamento sustentável em todas as etapas da mineração de caulim.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi realizado um reconhecimento da área onde se aplicaria o projeto. A seguir, foram coletadas informações sobre produção local, condições de trabalho e equipamentos utilizados. Essas informações preliminares foram essenciais para realização da pesquisa tecnológica.

As atividades de campo iniciaram-se pelo mapeamento topográfico das áreas alvo de estudo. No local já existiam operações rudimentares de mineração de caulim, na grande maioria, feitas por garimpeiros. Então, foi selecionada a área de interesse, onde se realizou um estudo detalhado por meio de um levantamento planialtimétrico. No levantamento foram coletados pontos de cotas específicos por meio de caminhamento. As atividades foram executadas utilizando um GPS de alta precisão milimétrica. Com as informações coletadas foi possível criar um banco de dados com várias informações da topografia do local. Os dados contribuíram na execução do processo de krigagem para informar as características da superfície da área. O acervo final ajudou na criação de uma superfície topográfica em 2D e 3D, ilustrada na Figura 1.

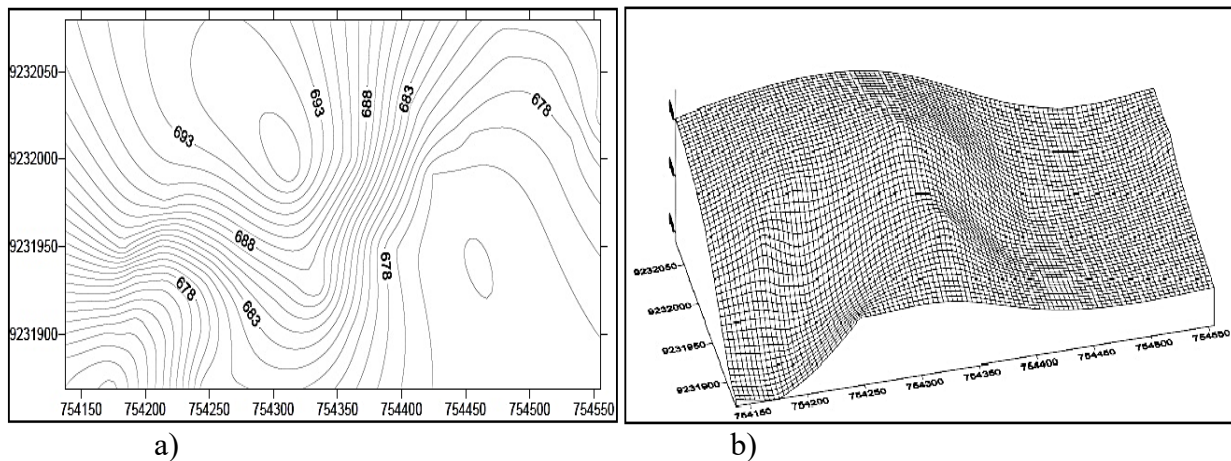


Figura 1: Superfície topográfica da área proposta para lavra de caulim - a) mapa 2D; b) wireframe 3D.

Um mapeamento geológico e geotécnico das áreas de interesse foi realizado por meio de observação de poços de extração de caulim criados por garimpeiros da região, coleta de amostras e reconhecimento geológico para detalhamento das feições geológicas observadas. Com essas informações, foi possível identificar e caracterizar todo o corpo mineralizado de caulim. O modelo foi representado graficamente para que fosse realizada a interpretação em 3D, como mostra a Figura 2.

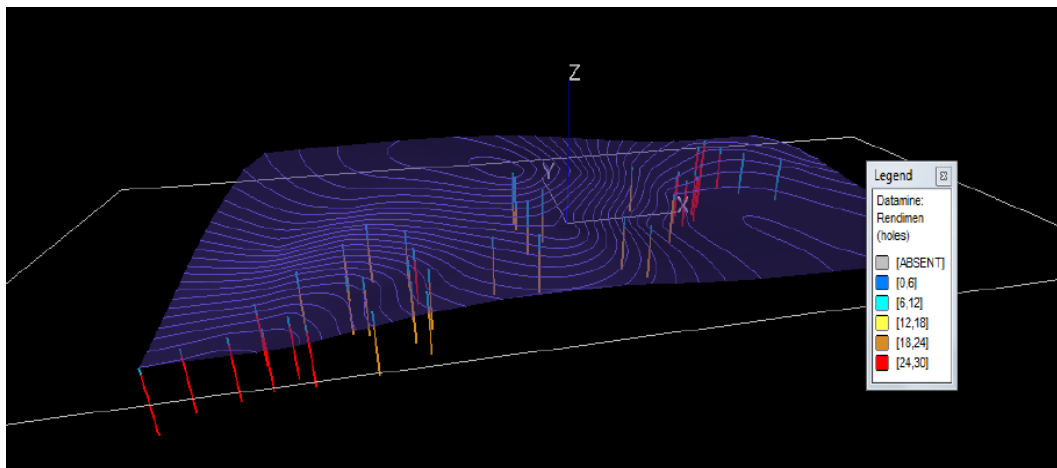


Figura 2: Dados dos poços e da topografia visualizados em três dimensões.

O mapeamento geotécnico foi realizado para determinar a direção e sentido das discontinuidades dos afloramentos e da rocha encaixante, no caso o quartzito encontrado na região. Os dados coletados foram reunidos com o objetivo de propor um método de lavra adequado para as condições dos depósitos existentes na região. Eles foram agrupados em arquivos TXT em planilhas do Excel com as seguintes informações: localização dos poços existentes, profundidade dos poços, capeamento aparente e rendimento do caulim. Os arquivos foram importados e representados graficamente para ser realizada a interpretação geológica. Com as informações de subsuperfície foi feita a interpretação geológica através de segmentos de retas (strings) do contorno do corpo de caulim em seções perpendiculares ao longo do corpo. A interpolação das espessuras mineralizadas foi realizada para cada seção. Cada interpretação resultante foi projetada perpendicularmente para o volume do corpo estendendo-se até a próxima seção. Assim, unindo-se as seções obteve-se a cubagem do depósito como um todo. Após todas as seções interpretadas foi criado então o modelo 3D do corpo de caulim, Figura 3.

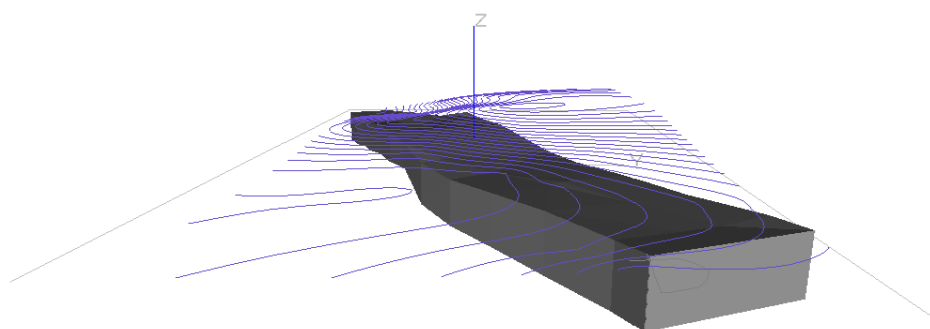


Figura 3: Modelo 3D do corpo de caulim.

Os dados interpretados foram rearranjados em um modelo de blocos (Figura 4). Nele, foi representado o minério de interesse juntamente com todo estéril que compõe a encaixante do corpo mineralizado. Foi utilizado o Inverso do Quadrado da Distância (IDQ) para sua representação. O modelo tridimensional contribui para quantificar os aspectos geológicos e técnico-econômicos.

Com todas as informações coletadas, interpretadas e modeladas foram analisados dois cenários possíveis para o desenvolvimento da lavra do caulim.

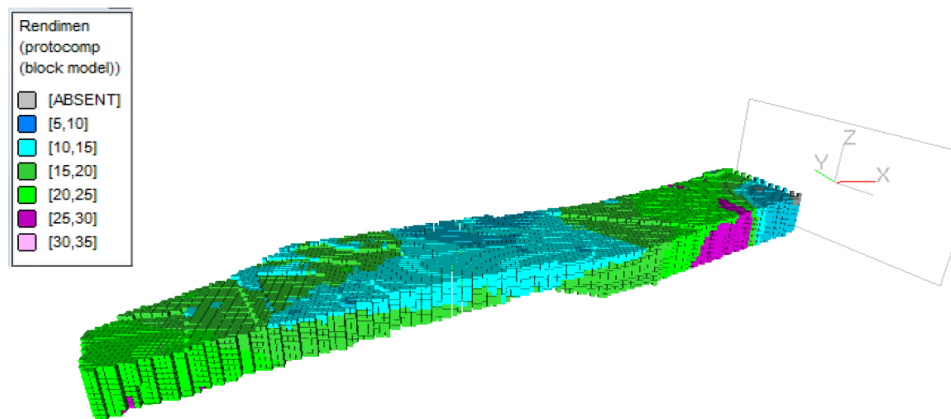


Figura 4: Modelo de bloco em 3D do corpo mineralizado de caulim.

## 2.1 Primeiro cenário de lavra proposto

O primeiro cenário foi desenvolvido prevendo uma recuperação do minério até o nível 658 m, totalizando quatro bancadas de 5,0 m de altura e largura, com um sistema de rampas em espiral. Os parâmetros geométricos da cava encontram-se descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros geométricos do primeiro modelo de lavra.

Parâmetros para construção do primeiro cenário de lavra	
Elevação mínima	658 m
Número de bancadas	4
Altura da bancada	5 m
Largura da berma	5 m
Ângulo de talude final	45°
Inclinação da face	80°
Sistema de rampa	Espiral
Inclinação da rampa	10%
Largura da rampa	5 m

## 2.2 Segundo cenário de lavra proposto

O segundo cenário prevê uma recuperação de minério até o nível 660 m, com a utilização de cinco bancadas com 5,0 m de altura e largura, com um sistema de rampas em zig-zag. Os parâmetros geométricos da cava do segundo cenário encontram-se descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros geométricos do segundo modelo de lavra.

Parâmetros para construção do segundo cenário de lavra	
Elevação mínima	660 m
Número de bancadas	5
Altura da bancada	5 m
Largura da berma	5 m

Ângulo de talude final	45°
Inclinação da face	80°
Sistema de rampa	Zig-zag
Inclinação da rampa	12%
Largura da rampa	5 m

### 2.3 Proposta do processo de beneficiamento

Concomitantemente com o projeto de lavra foi realizado um estudo para melhorar o beneficiamento do caulim utilizando um hidrociclone. Foram coletadas amostras de minério de caulim de duas empresas da região para ensaios tecnológicos e processo de beneficiamento com hidrociclone. O material foi desagregado e peneirado e com a fração < 0,84 mm foi preparada a polpa com 20% de sólidos para o processo de hidrociclonagem, com a pressão de 10 psi. A partir dos resultados obtidos de análises granulométricas, mineralógicas, químicas e os ensaios preliminares de classificação no hidrociclone foram determinados os melhores parâmetros para o beneficiamento do caulim da região. A seguir, dando prosseguimento à pesquisa, foi montada uma planta piloto utilizando o ciclone do modelo AKW JC 91, com vortex de 1 ½ abertura do apex em 10 mm e alimentação da polpa com válvula aberta (Figura 5). A granulometria de alimentação foi mantida constante.



Figura 5: Ensaio de hidrociclonagem de caulim.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a modelização da cava foi escolhida uma área com menor espessura de capeamento e onde o modelo de blocos apontou melhor rendimento (25 a 30%). Para esse local foram então construídos dois cenários de desenho de cava. Foram considerados os parâmetros mais conservadores no que diz respeito à inclinação final dos taludes.

### 3.1 Primeiro cenário de lavra

Para o primeiro cenário de desenho da cava escolheu-se a cota base 658 m, a partir da qual foram projetados os níveis seguintes até extrapolar a topografia. Os níveis são interligados com

uma rampa em espiral de 5 m de largura e inclinação de 10%, inicialmente obedecendo a um ângulo de talude de 45°. A Figura 6 mostra a vista superior e em perfil do projeto.

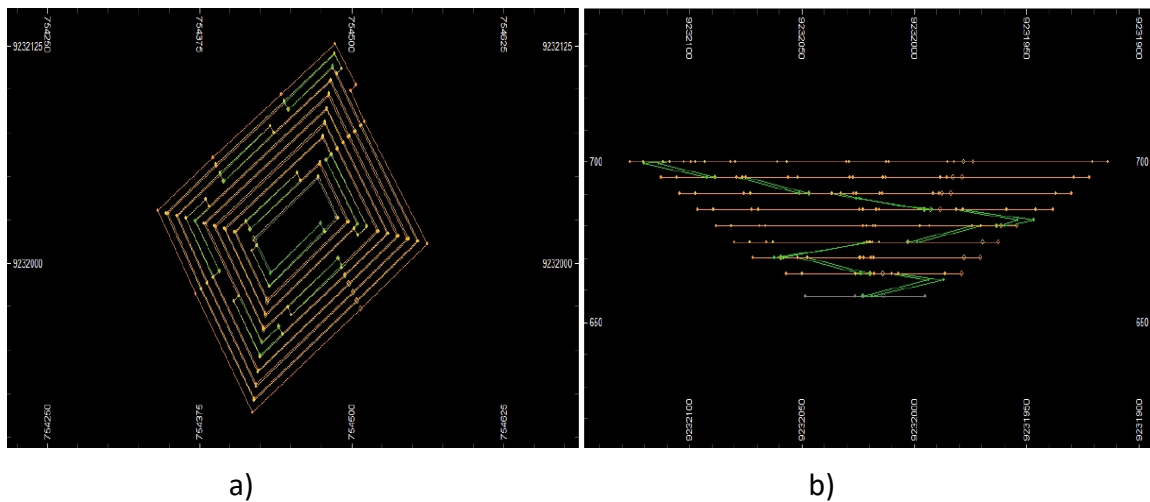


Figura 6: Projeto do primeiro cenário de lavra proposto, rampa em espiral - a) vista superior; b) perfil norte-sul.

Intersectando o desenho da cava com a topografia obteve-se a cava final, estimando-se o volume total (Figura 7a). A seguir, o corpo de caulim modelado em blocos foi inserido para determinar os volumes de minério e estéril (Figura 7b).

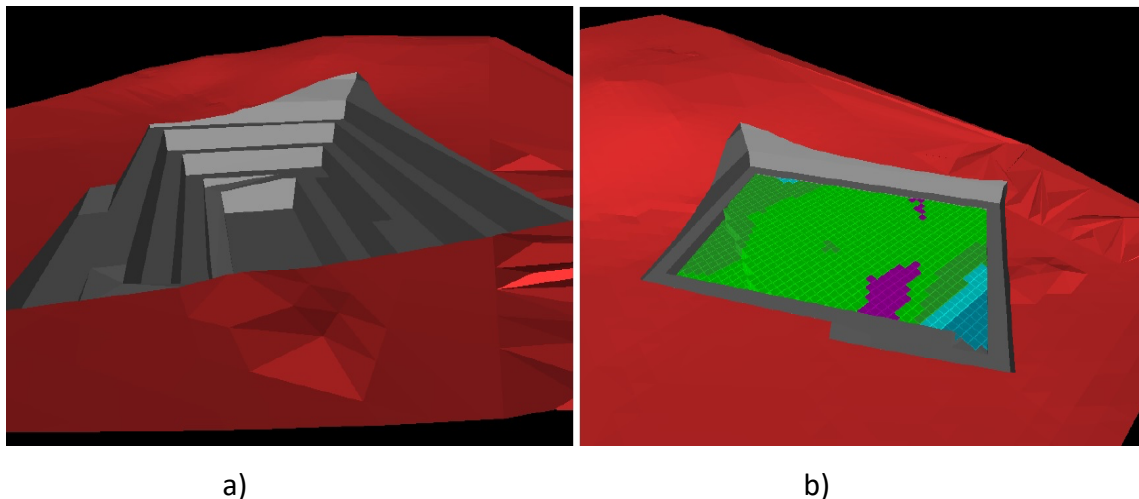


Figura 7: Vista em perspectiva da lavra - a) modelo da cava; b) cava com modelo de blocos do corpo mineralizado de caulim.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros geométricos e volumes calculados para o primeiro cenário de lavra proposto.

Tabela 3: Parâmetros e resultados do primeiro cenário de lavra

Resultados estimados no primeiro cenário de lavra	
Elevação máxima	686,88 m
Elevação mínima	658 m



Número de bancadas	4
Altura da bancada	5 m
Largura da berma	5 m
Ângulo de talude final	45°
Inclinação da face	80°
Sistema de rampa	Espiral
Inclinação da rampa	10%
Largura da rampa	5 m
Volume de estéril	30.165,78 m <sup>3</sup>
Volume de minério	56.518,20 m <sup>3</sup>
Volume total da cava	86.683,98 m <sup>3</sup>
Tonelagem da cava	225.378,34 t
Tonelagem de minério	146.947,32 t
Tonelagem de estéril	78.431,03 t
REM	0,53

A análise do modelo de blocos no primeiro cenário de lavra proposto apresenta 146.946,80 t de caulim, possuindo então um rendimento médio de 24,11 %, Tabela 4.

**Tabela 4: Volume de caulim do primeiro cenário de lavra junto com os respectivos rendimentos.**

Rendimento (%)	Volume (m <sup>3</sup> )	Toneladas	Rendimento médio (%)
5 - 10	256,90	667,94	8,68
10 - 15	631,10	1.640,86	12,78
15 - 20	6509,30	16.924,18	18,52
20 - 25	21747,60	56.543,76	23,11
25 - 30	27373,10	71.170,06	26,63
<b>Total</b>	<b>56.518,00</b>	<b>146.946,80</b>	<b>24,11</b>

### 3.2 Segundo cenário de lavra

O segundo cenário foi projetado para iniciar na cota base 660 m também foram projetados os níveis seguintes até extrapolar toda a topografia. Foram projetadas rampas de 5 m de largura e inclinação de 12% para interligar os níveis. O ângulo utilizado inicialmente foi de 45°. Foi determinado através da análise do projeto da cava, o volume total e a quantidade possível de estéril. A Figura 8 mostra a vista superior e em perfil do projeto.

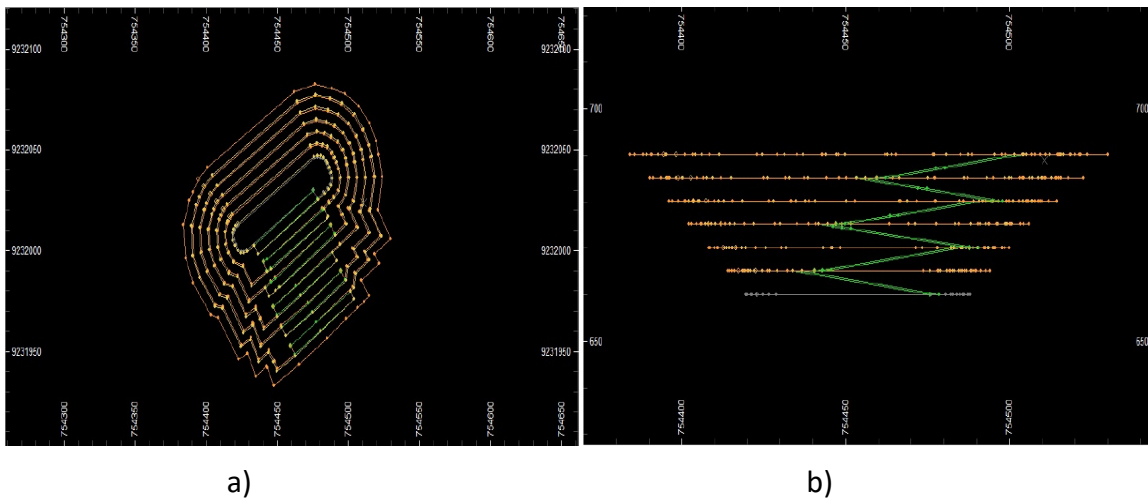


Figura 8: Projeto do segundo cenário de lavra proposto, cava em zig-zag - a) vista superior; b) perfil leste-oeste.

O desenho da cava incorporado com a topografia permitiu estimar o volume total da cava. Com o modelo de blocos foi possível determinar a produção em toneladas (Figura 9).

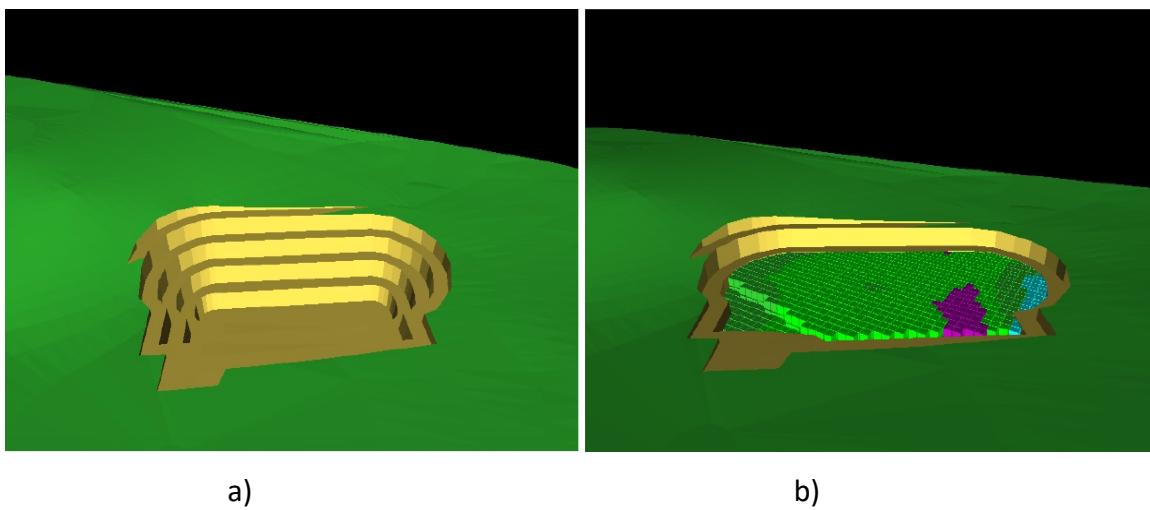


Figura 9: Vista em perspectiva da lavra - a) modelo da cava; b) cava com modelo de blocos do corpo mineralizado de caulim.

A Tabela 5 mostra os resultados da movimentação de minério e estéril para o segundo cenário de lavra proposto.

**Tabela 5: Parâmetros e resultados do segundo cenário de lavra**

Resultados estimados no segundo cenário de lavra	
Elevação máxima	683,13 m
Elevação mínima	660 m
Número de bancadas	5
Altura da bancada	5 m
Largura da berma	5 m
Ângulo de talude final	45°
Inclinação da face	80°

Sistema de rampa	zig-zag
Inclinação da rampa	12%
Largura da rampa	5 m
Volume de estéril	25.452,26 m <sup>3</sup>
Volume de minério	41.519,40 m <sup>3</sup>
Volume total da cava	66.971,66 m <sup>3</sup>
Tonelagem da cava	174.126,32 t
Tonelagem de minério	107.950,44 t
Tonelagem de estéril	66.175,87 t
REM	0,61

O modelo de blocos analisado mostra que no segundo cenário de lavra proposto a quantidade de caulim na lavra foi de 107.950,44 t, que corresponde um rendimento total de 23,96% (Tabela 6). Esse resultado indica que o segundo cenário possui valor de tonelagem de minério inferior ao primeiro cenário de lavra proposto.

**Tabela 6: Volume de caulim do segundo cenário de lavra junto com os respectivos rendimentos.**

Rendimento (%)	Volume (m <sup>3</sup> )	Toneladas	Rendimento médio (%)
5 - 10	5,70	14,82	9.21
10 - 15	585,50	1.522,30	13.17
15 - 20	4740,20	12.324,52	18.45
20 - 25	17591,60	45.738,16	23.12
25 - 30	18596,40	48.350,64	26.49
<b>Total</b>	<b>41519,40</b>	<b>107.950,44</b>	<b>23.96</b>

### 3.3 Comparação entre os dois cenários de lavra propostos

O processo de lavra proposto considerou desmonte mecânico com equipamentos de produtividade média de escavação e estimativa de carregamento de, aproximadamente, 240 m<sup>3</sup>/h. Com os parâmetros delimitados, e os dois cenários projetados, foi possível uma comparação entre eles (Tabela 7).

**Tabela 7: Comparativo entre os cenários de lavra propostos.**

	1° Cenário	2° Cenário
<b>Cava (t)</b>	225.378,34	174126,32
<b>Minério (t)</b>	146.946,80	107.950,44
<b>Estéril (t)</b>	78.431,54	66.175,88
<b>REM</b>	0,53	0,61

<b>Custo de Lavra (R\$/m<sup>3</sup>)</b>	5	5
<b>Preço Min. (R\$/t)</b>	20	20
<b>Receita</b>	2.938.936,00	2.159.008,80
<b>Despesa</b>	433.419,90	334.858,30
<b>Lucro Líquido</b>	2.505.516,10	1.824.150,50

Os resultados mostram o primeiro cenário mais vantajoso que o segundo, com maior recuperação do minério e menor relação estéril/minério (REM). O modelo em espiral apresenta uma maior eficiência do sistema de rampa para as condições locais do projeto.

### 3.4 Beneficiamento com hidrociclone

O ensaio com o hidrociclone resultou em, aproximadamente, 50% em peso no overflow, sendo 80% de material <0,045 mm e 20% > 0,045 mm. No underflow, 30% correspondeu à fração <0,045 mm e 70% à fração >0,045 mm. A análise mineralógica (Difração de Raios X - DRX) mostrou que o minério é composto por caulinita, moscovita, quartzo e microclina. A análise química por Fluorescência de Raios X (FRX) nos produtos da hidrociclonagem mostrou um percentual favorável de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nas frações mais finas. O overflow da hidrociclonagem continha 49,42% de SiO<sub>2</sub> e 37,51% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, compostos principais na estrutura química do caulim. Portanto, os ensaios realizados em hidrociclone em escala de bancada mostraram a possibilidade de obtenção de concentrados com teores de 86,93% de caulinita.

### 3.5 Panorama atual

Os pesquisadores da UFCG e outras instituições de pesquisa continuaram trabalhando no desenvolvimento sustentável dos micros e pequenos empreendimentos de mineração no Seridó, após a conclusão do Projeto Entidades Associadas CETEM & UFCG em 2017. Foram desenvolvidas ações para a continuidade da organização social e produtiva do segmento da mineração em pequena escala, com o objetivo de formalizar mais áreas mineradas para a Cooperativa dos Trabalhadores de Minério e Agricultura do Equador e Seridó - COOTMAES. Posteriormente, novos projetos foram desenvolvidos para aperfeiçoar os métodos de lavra aplicados nas áreas já formalizadas da cooperativa.

Além disso, atualmente está sendo iniciado em escala piloto um processo de adequação das unidades de beneficiamento de pequenos produtores de caulim no município de Equador, com o objetivo de elevar a recuperação do minério e reduzir a geração de resíduos no entorno dessas unidades. E, por fim, estão sendo realizados estudos para o aproveitamento integral dos resíduos de caulim dispostos em pilhas volumétricas nas áreas circunvizinhas a esses pequenos empreendimentos.

Em resumo, os pesquisadores continuam a trabalhar em ações que visam ao desenvolvimento sustentável dos micros e pequenos empreendimentos de mineração no Seridó, com ações de formalização de áreas mineradas, aprimoramento de métodos de lavra, melhoria na recuperação do minério e redução de resíduos, além de estudos para o aproveitamento integral dos resíduos de caulim.

#### 4 CONCLUSÕES

O Projeto Entidades Associadas proporcionou aos produtores da região a possibilidade de trabalhar em um cenário de lavra economicamente viável. Os resultados do projeto mostraram que o primeiro cenário de lavra proposto, com rampas em espiral, é o mais apropriado, com uma reserva calculada de 146.946,80 toneladas de minério. Sua relação estéril/minério (REM) é de 0,53, o que significa que é menor que a do segundo cenário de lavra, resultando em menores quantidades de estéril gerado. O projeto de lavra mostrou a possibilidade de extrair o minério de forma mais segura e economicamente viável, contribuindo para a diminuição de acidentes sofridos pelos garimpeiros.

No processo de beneficiamento, utilizando hidrociclones, a recuperação de caulim apresentou bom resultado, com aproximadamente 50% como produto e 80% de material <0,045 mm. O concentrado do processo apresentou uma porcentagem de 86,93% de caulinita, o que indica a viabilidade de utilização dessa ferramenta na planta de beneficiamento, já que as empresas da região possuem um aproveitamento de apenas 25%.

As práticas desenvolvidas pelo trabalho mostram a importância do extensionismo mineral. Com o projeto, os pequenos empreendimentos mineiros puderam ter acesso à inovação e novas tecnologias sustentáveis desenvolvidas atualmente. Os resultados proporcionaram, inicialmente, a organização da produção mineral, o fortalecimento do cooperativismo/associativismo, o respeito à legislação mineral, ambiental, trabalhista e tributária.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Ao Programa Entidades Associadas – MCTI/CETEM/UFCG, ACETEL, PROMINAS e todos que colaboraram nas atividades desenvolvidas.

#### 6 REFERÊNCIAS

Almeida, K. M., Vidal, F. W. H., Castro, N. F. (2016). Estudo de Caracterização e Beneficiamento de Resíduo de Caulim. In: IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste e IV Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste, 2016, João Pessoa/PB. Anais do IV Simpósio de Minerais do Nordeste. RIO DE JANEIRO: CETEM/MCTI, 2016. v. 1. p. 553-561.

Bertolino, L. C., Silva, F. A. N. G., & Luz, A. B. (2010). Estudo de beneficiamento do rejeito de caulim da região do Seridó. In Anais do II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste (pp. 91-98).

Campina Grande: CETEM/UFPE.

De Tomi, G., Araújo, C. H. X., Azevedo, J. P. D. (2021). Pequena Mineração Responsável. In: Freitas, A. F., Freitas, A. F. (org.) Cooperativismo mineral no Brasil : características, desafios e perspectivas. Viçosa, MG : Editora Asa Pequena, 2021.

Freitas, A. F., Santos, A. M., Freitas, A. F. (2021). Introduzindo o tema e o livro. In: Freitas, A. F., Freitas, A. F. (org.) Cooperativismo mineral no Brasil : características, desafios e perspectivas. Viçosa, MG : Editora Asa Pequena, 2021.

IBRAM. (2020). Informações sobre a economia mineral brasileira 2020 – Ano base 2019. 1. ed. Brasília: Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM).

Leandro, A. P., Viera, E. V., Gonçalves, L. L., & Ataíde, T. (2017). ESTUDO DO RESÍDUO DE CAULIM PEGMATÍTICO USADO COMO INGREDIENTE NA FORMULAÇÃO DE CIMENTO PORTLAND. HOLOS, 6, 224-232.

Luz, A. B., Chaves, A. P. (2000). Tecnologia do caulim: ênfase na indústria de papel. Série Rochas e Minerais Industriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT.

Luz, A. B., & Linz, F. A. F. (2008). Caulim. In A. B. Luz & F. A. F. Linz (Eds.), Rochas & Minerais Industriais - Uso e Atribuições (1st ed., pp. 29-40). Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral.

Pereira, H. L., de Sousa, A. P. F., & Vidal, F. W. H. (2022). CONTEXTO PRODUTIVO DO CAULIM DE GALO BRANCO EM EQUADOR, RN. HOLOS, 8.

Rezende, M. L. S. (2013). Resíduo de caulim primário como material pozolânico em concreto seco: propriedades físico-mecânicas e durabilidade [Doctoral dissertation, UFCG].

Rezende, M. L. S., Costa, A. S., Oliveira, F. C. M., Nascimento, R. M., Melo, C. A. C., & Vieira, A. R. (2008). Utilização do resíduo de caulim em blocos de vedação. Revista Escola de Minas, 61(3), 285-290.

Silva, D. H. L & Lima, M. P. (2016). Modelo de bloco da mina Galo Branco, Equador - Rio Grande do Norte. In: Anais do IV Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste, 2016, João Pessoa/PB. IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste e IV Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste. RIO DE JANEIRO: CETEM/MCTI, v. 1.

Sousa, J. F., Sá, R. T. A. de, Silva, T. C. S. da, & Lopes, J. J. (2005). Minerais de Argila. In F. W. H. Vidal et al. (Eds.), Rochas e Minerais Industriais do Estado do Ceará (pp. 83-94). Fortaleza, CE, Brasil: CETEM/UECE/DNPM/FUNCAP/SENAI.

Vidal, F. W. H., Vieira, F. F., Souza, A. P. F., Bertolino, L. C., & Campos, V. M. J. S. (2017). Planejamento de lavra para redução dos impactos ambientais na mineração de caulim na região do Seridó dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte [Relatório técnico final elaborado para o Programa Entidades Associadas CETEM-UFCG (RRT 0027-00-17)]. CETEM.

**HOW TO CITE THIS ARTICLE**

Marvila de Almeida, K., Wilson Hollanda Vidal, F., Ferreira Sousa, A. P., & Fernández Castro, N. (2023). DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS PARA O ARRANJO PRODUTIVO LOCAL DE CAULIM NOS PEGMATITOS RN/PB. HOLOS, 6(39). <https://doi.org/10.15628/holos.2023.15795>

**ABOUT THE AUTHORS****F. W. H. VIDAL**

Doutor e Mestre em Engenharia Mineral pela Universidade de São Paulo (USP), Graduação em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Pesquisador aposentado do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).

E-mail: [fwhollanda@gmail.com](mailto:fwhollanda@gmail.com)

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-8368-3982>

**K. M. ALMEIDA**

Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Graduação em Engenharia de Minas pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes). Pesquisador no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).

E-mail: [kayronemarvila@gmail.com](mailto:kayronemarvila@gmail.com)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6140-8358>

**A. P. F. SOUSA**

Mestre de Graduado em Engenharia de Minas pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Professor titular no curso de Engenharia de Minas na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

E-mail: [apedrogalo@gmail.com](mailto:apedrogalo@gmail.com)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1425-1639>

**N. F. CASTRO**

Doutoranda e Mestre em Geologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Graduação em Engenharia de Minas Universidade de São Paulo (USP), Graduação em Engenharia de Minas pela Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Pesquisadora titular no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).

E-mail: [nutriacastro@gmail.com](mailto:nutriacastro@gmail.com)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3073-5529>

**Editora Responsável:** Francinaide de Lima Silva Nascimento



Submetido 18/07/2023

Aceito 01/12/2023

