

PANORAMA DOS ESTUDOS DE APROVEITAMENTO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO DO ESTADO DO PARÁ DE 2010 A 2020

COSTA, J.H.B.¹, BERGERMAN, M.G.²

¹Instituto Federal do Pará (IFPA), Campus Belém, Coordenação de Mineração, e-mail:

jaime.costa@ifpa.edu.br

²Universidade de São Paulo (USP), Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi apresentar um panorama dos estudos de aproveitamento de rejeitos de mineração do Estado do Pará no período de 2010 a 2020. Para isso, a metodologia utilizada foi a da revisão sistemática e da análise bibliométrica dos trabalhos obtidos. Como resultado foi possível observar que houve uma crescente do número de trabalhos publicados sobre o tema durante o período estudado. O Caulim foi o bem mineral que apresentou o maior número de trabalhos publicados de aproveitamento do rejeito gerado do seu processamento (42,2%). A síntese de produtos a partir dos rejeitos, especialmente a síntese de zeólitas a partir do rejeito do beneficiamento de caulim, foi a principal área de aplicação dos trabalhos selecionados na pesquisa seguida da área da Construção Civil. A UFPA foi a instituição de pesquisa que mais publicou trabalhos sobre o tema de aproveitamento de rejeitos paraenses durante o período estudado (56,3%). Com essa pesquisa foi possível traçar um panorama dos estudos de aproveitamento de rejeitos de Mineração do Estado do Pará, entregando uma síntese estruturada do desenvolvimento científico durante o período de 2010 a 2020, para contribuir com pesquisadores que desejem trabalhar com o referido tema.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento de rejeitos, Mineração, Panorama, Pará, Revisão sistemática.

ABSTRACT

The aim of this work was to present an overview of studies on the use of mining tailings in the State of Pará from 2010 to 2020. For this, the methodology used was the systematic review and bibliometric analysis of the works obtained. As a result, it was possible to observe that there was an increasing number of published works on the subject during the period studied. Kaolin was the mineral that presented the highest number of published works on the use of the waste generated from its processing (42.2%). The synthesis of products from the tailings, especially the synthesis of zeolites from the tailings of kaolin processing, was the main area of application of the works selected in the research, followed by the area of Civil Construction. UFPA was the research institution that most published works on the subject of waste use in Pará during the period studied (56.3%). With this research, it was possible to draw an overview of studies on the use of mining tailings in the State of Pará, delivering a structured synthesis of scientific development during the period from 2010 to 2020, to contribute to researchers who wish to work with the aforementioned topic.

KEYWORDS: Overview, Mining tailings, Pará, Bibliometric analysis.

1. INTRODUÇÃO

O setor mineral tem grande importância social e econômica para o país. O Brasil, detentor de território com extensão continental e de notável diversidade geológica conquistou uma posição de destaque no cenário global, tanto em reservas quanto em produção mineral. No ano de 2019, o valor da produção mineral brasileira foi de US\$ 38 bilhões, o que representou cerca de 16,8% do PIB Industrial do país. No Comércio Exterior, a indústria extrativa mineral, no ano de 2019, contribuiu com mais de US\$ 32 bilhões em exportações de minérios, sendo somente o minério de ferro responsável por US\$ 22,1 bilhões deste valor. O Brasil produz cerca de 80 substâncias minerais não energéticas, destacando-se, entre outras, as produções de nióbio, minério de ferro, bauxita e manganês (IBRAM, 2020).

O Estado do Pará tornou-se o maior produtor mineral do Brasil em 2019 ultrapassando, pela primeira vez na história, o Estado de Minas Gerais, destacando-se, em primeiro lugar, na produção de minério de ferro, de cobre, bauxita e caulim (ANM, 2020b). Essa liderança pode ser justificada pelo aumento de produção de minério de ferro no Pará e pelo cenário de menor produção em terras mineiras após o fechamento de operações de mineradoras devido ao rompimento de barragens de rejeito. Os principais produtos exportados pela indústria de extração mineral do Pará em 2019 foram: minério de ferro, gerando um lucro de US\$ 13,968 bilhões, seguido de concentrado de cobre (US\$ 1,899 bilhão), ouro (US\$ 295 milhões), minério de manganês (US\$ 260 milhões), bauxita (US\$ 134 milhões), caulim (US\$ 119 milhões) (SEDEME, 2020).

A geração de resíduos é parte inerente de qualquer processo produtivo. No caso da mineração, nos últimos anos, em função do aumento da demanda por insumos minerais, houve um grande crescimento de suas atividades, havendo, inclusive, viabilidade à lavra e ao beneficiamento de minérios com teores sucessivamente mais baixos. Resultou daí a geração, igualmente crescente, de resíduos da mineração, que se diferenciam dos produzidos em outros setores, notadamente por haver resíduos sólidos da extração – o estéril – e do beneficiamento – os rejeitos (IBRAM, 2019).

Os estéreis são os materiais escavados, gerados pelas atividades de extração (ou lavra) no decapeamento da mina, que não têm valor econômico e ficam geralmente dispostos em pilhas. Os rejeitos são resíduos resultantes dos processos de beneficiamento a que são submetidas às substâncias minerais. Estes processos têm a finalidade de padronizar o tamanho dos fragmentos, remover minerais associados sem valor econômico e aumentar a qualidade, pureza ou teor do produto final (SILVA; VIANA; CAVALCANTE, 2012).

Na atividade de mineração, grandes volumes e massas de materiais são extraídos e movimentados. A quantidade de resíduos gerada pela atividade depende do processo utilizado para extração do minério, da concentração da substância mineral estocada na rocha matriz e da localização da jazida em relação à superfície (SILVA; VIANA; CAVALCANTE, 2012).

O grande volume de resíduos gerados na indústria extrativa mineral traz indagações à cerca da disposição e destino final destes resíduos. A solução adotada pelas mineradoras é a disposição planejada e adequada dos resíduos. No caso do estéril, o sistema de disposição deve funcionar como uma estrutura projetada e implantada para acumular materiais, em caráter temporário ou definitivo, dispostos de modo planejado e controlado em condições de estabilidade geotécnica e protegidos de ações erosivas. O sistema de disposição dos rejeitos deve ser projetado como uma estrutura de engenharia para contenção e deposição de

resíduos originados de beneficiamento de minérios, captação de água e tratamento de efluentes (SILVA; VIANA; CAVALCANTE, 2012).

Essas instalações de armazenamento são um dos legados mais visíveis de uma operação mineira, que, mesmo depois de fechados e reabilitados devem permanecer estáveis e sem efeitos negativos ao meio ambiente (IBRAM, 2019).

Nesse contexto, o aproveitamento de rejeitos e estéril é um tema que ganhou relevância nos últimos anos, em especial com a consolidação dos conceitos de licença social para operar (LSO) e de economia circular, correspondendo a uma tendência do setor mineral mundial (ANM, 2020a).

A necessidade de dar destinação sustentável aos resíduos da mineração, em especial os rejeitos, ganhou mais relevância após os desastres das barragens de rejeito em Mariana (2015) e Brumadinho (2019), ambos no Estado de Minas Gerais, e o aproveitamento econômico desses materiais surge como alternativa à deposição em estruturas como pilhas e barragens (ANM, 2020a).

Com base nos dados declarados no Relatório Anual de Lavra (RAL), no período de 2010 a 2019, estima-se que, no Brasil, um total de 3,4 bilhões de toneladas de rejeitos e 8,2 bilhões de toneladas de estéril foram geradas em empreendimentos produtores de ferro, ouro, cobre, fosfato, estanho, alumínio, níquel, carvão, manganês, zinco, cromo e vanádio (ANM, 2020a).

O Pará é um dos principais estados mineradores do país e ainda, não se tem, um panorama dos estudos realizados no Estado sobre o tema aproveitamento de rejeitos nos últimos anos; logo, apresentar um estudo com essa temática torna-se de grande importância para os pesquisadores que pretendem atuar nessa área pois será possível identificar lacunas no estado da arte atual a fim de sugerir pesquisas adicionais.

O objetivo deste trabalho foi apresentar um panorama dos estudos de aproveitamento de rejeitos de mineração do Estado do Pará no período de 2010 a 2020.

2. MATERIAL E MÉTODOS

De acordo com o Cadastro Estadual de Recursos Minerais da SEDEME (2022), o Pará é responsável atualmente pela extração de mais de 26 bens minerais, sendo que algumas substâncias minerais destacam-se pelo grande volume produzido e exportado, como os minérios de ferro, ouro, cobre e manganês. Nesse contexto e baseado no levantamento bibliográfico sobre barragens de contenção de rejeitos do Pará, foram selecionados para esse estudo seis produtos minerais: minério de ferro, cobre, manganês, ouro, alumínio (bauxita) e caulim.

Os procedimentos de pesquisa adotados nesse estudo se caracterizam como pesquisa bibliográfica e análise bibliométrica. Conforme Gil (2010), a pesquisa bibliográfica é elaborada com base em material já publicado, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos.

Já a análise bibliométrica, de acordo com Costa et al. (2012), é um método quantitativo e estatístico que visa mensurar os índices de produção e propagação do conhecimento, bem como acompanhar o desenvolvimento de inúmeras áreas científicas, identificando por exemplo, os padrões de autoria e publicação.

A metodologia adotada nesse estudo consistiu de uma revisão bibliográfica sistemática de trabalhos presentes nas bases de dados Scopus, Google Acadêmico, repositórios de universidades paraenses (Universidade Federal do Pará - UFPA, Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - UNIFESSPA), e anais do Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa - ENTMMME, com o intuito de obter diferentes classes de estudos realizada por meio de filtros, abrangendo o aproveitamento de rejeitos de minérios paraenses.

Foram utilizados como buscadores (palavras-chave) os termos: Aproveitamento de Rejeitos Pará, Rejeito de Caulim, Rejeito de Cobre, Rejeito de Minério de Ferro, Rejeito de Minério de Manganês, Rejeito de Ouro, Rejeito do Beneficiamento de Bauxita, bauxite ore tailing, bauxite washing residue, copper ore tailing, copper mining waste, gold ore tailing, gold mining waste, iron ore tailing, iron mining waste, kaolin ore tailing, kaolin mining waste, manganese ore tailing e manganese mining waste (sendo também utilizadas aspas para pesquisar o termo exato), com o objetivo de serem retornados estudos focados na Reutilização dos Rejeitos oriundos da Indústria de Mineração Paraense. Seguiram-se como parâmetros de inclusão:

- a) Pertinência dos conteúdos em relação ao tema abordado neste trabalho;
- b) Trabalho completo;
- c) País de origem Brasil;
- d) Estar escrito em português ou inglês; e
- e) Publicado entre 01/01/2010 e 31/12/2020.

Foram excluídos todos os trabalhos publicados sem relação com o tema dessa pesquisa, fora do período e do país de origem selecionados, dos idiomas definidos e os trabalhos com disponibilidade mediante pagamento.

A realização da busca nos bancos de dados selecionados se deu através do acesso online, entre os meses de janeiro e março de 2022.

Para selecionar os trabalhos, utilizou-se inicialmente o título, sendo inclusos os títulos aderentes ao tema. Logo em seguida, pelo resumo, em que foram excluídos aqueles que não possuíam aderência aos temas abordados nesta revisão sistemática.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Panorama dos estudos de aproveitamento de rejeitos de mineração do Pará.

Durante a busca nas bases de dados e seleção dos trabalhos de aproveitamento de rejeitos de mineração do Pará publicados entre 2010 e 2020 foram encontrados 64 trabalhos pertinentes ao tema.

A **Figura 1** mostra os trabalhos de aproveitamento de rejeitos de mineração do Pará, publicados entre 2010 e 2020, por tipo de bem mineral processado.

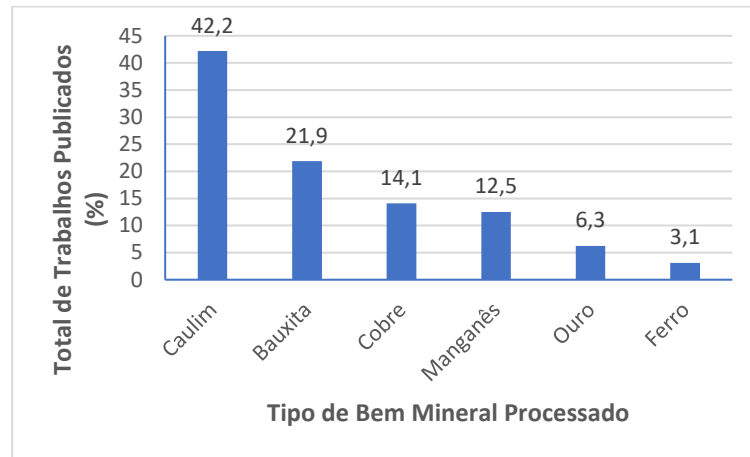


Figura 1. Trabalhos Publicados (%) por Tipos de Rejeitos de Mineração

Dentre os seis bens minerais mais produzidos no Estado do Pará, o Caulim é o que apresenta o maior número de trabalhos publicados de aproveitamento do rejeito gerado do seu processamento (42,2%) durante o período estudado.

Como mostrado na **Figura 2**, é possível observar que houve uma crescente do número de trabalhos publicados sobre o tema durante o período estudado com exceção dos anos de 2014, com 5 trabalhos, 2016, com 4 trabalhos publicados, e de 2020 com somente 1 trabalho. O maior número de trabalhos foi publicado no período 2015 – 2020 (45) com praticamente o dobro de publicações do período de 2010 – 2014 (19).

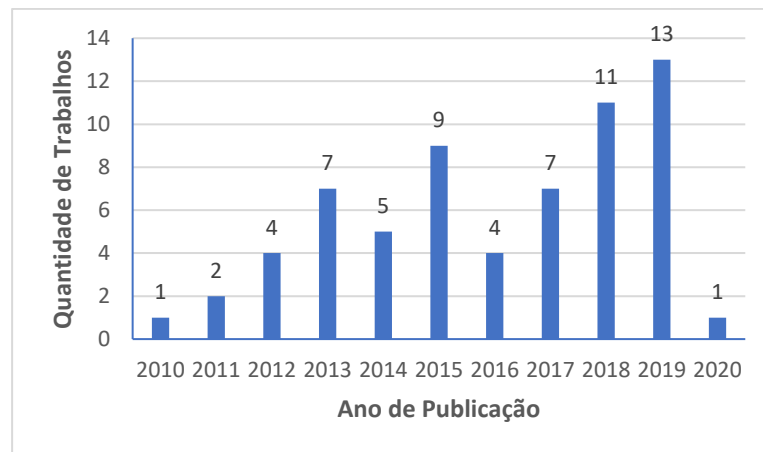


Figura 2. Número de Trabalhos por Ano de Publicação

Na **Figura 3** é possível observar que a dissertação de mestrado foi o tipo de trabalho mais publicado sobre o tema da pesquisa com 28,1% do total de trabalhos selecionados.

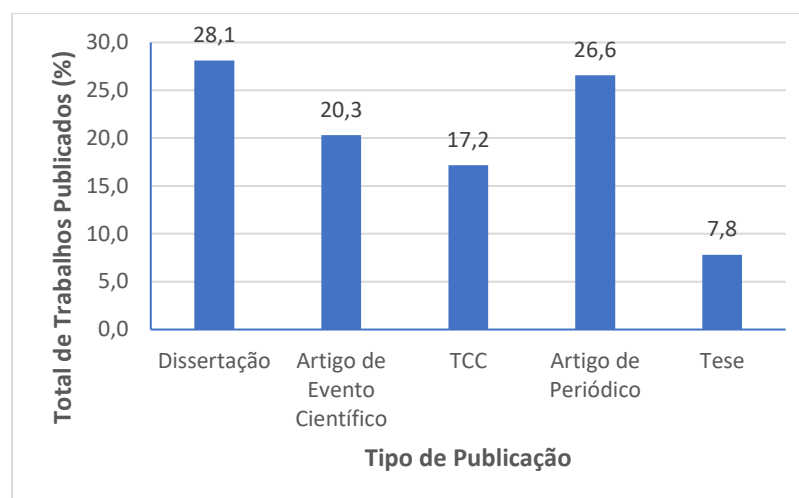


Figura 3. Trabalhos Publicados por Tipo de Publicação

A **Figura 4** mostra que a síntese de produtos a partir dos rejeitos, especialmente a síntese de zeólitas a partir do rejeito do beneficiamento de caulim, é a principal área de aplicação dos trabalhos selecionados na pesquisa seguida da área da Construção Civil (cerâmica vermelha, agregados, argamassas, geopolímero).

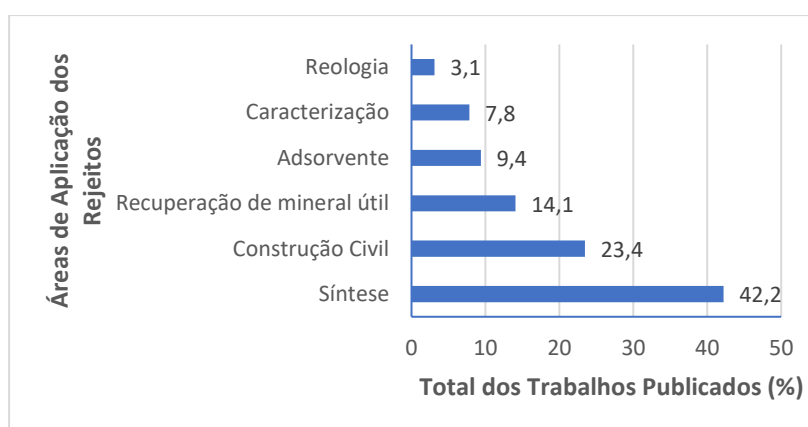


Figura 4. Trabalhos Publicados por Áreas de Aplicação dos Rejeitos

É possível observar na **Figura 5** que a UFPA é a instituição de pesquisa que mais publicou trabalhos sobre o tema de aproveitamento de rejeitos paraenses durante o período estudado. Foi possível identificar que outras instituições de pesquisa de fora do estado do Pará também publicaram trabalhos (USP, UFRN, UFOP, UFRGS).

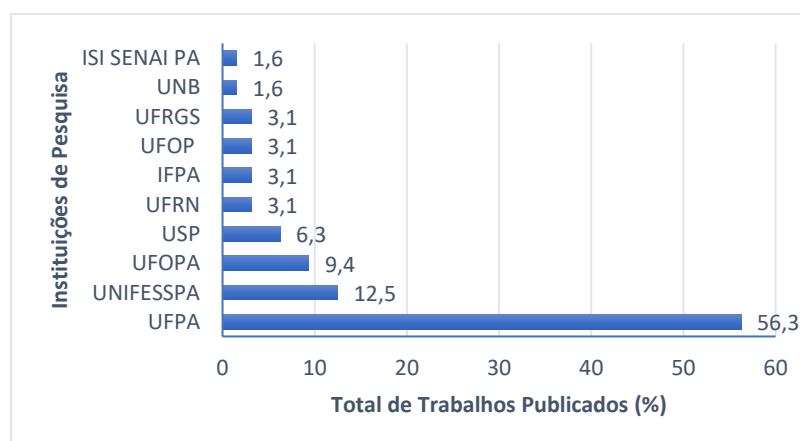


Figura 5. Trabalhos Publicados por Instituições de Pesquisa

Os autores com mais trabalhos publicados sobre o tema durante o período estudado foram ANGÉLICA, NEVES e PAZ, todos pesquisadores da UFPA, sendo que seus trabalhos foram sobre aproveitamento de rejeito de caulim.

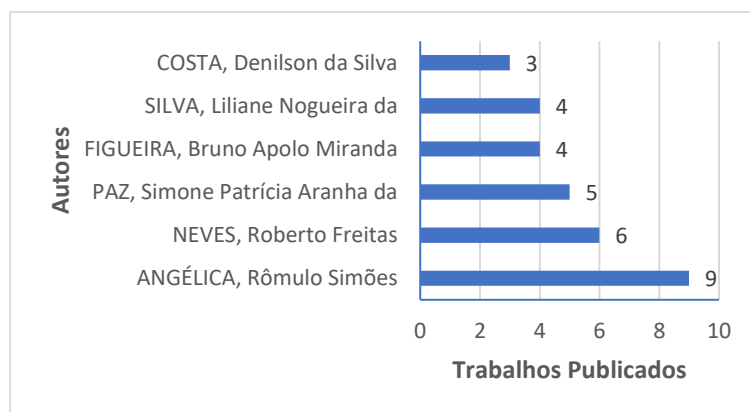


Figura 6. Autores com mais Trabalhos Publicados

4. CONCLUSÕES

O Caulim foi o bem mineral que apresentou o maior número de trabalhos publicados de aproveitamento do rejeito gerado do seu processamento (42,2%). Provavelmente por causa da proximidade e facilidade de logística das minas e usinas com o campus da principal instituição de pesquisa do Pará, a UFPA, localizado em Belém.

Foi possível observar que houve uma crescente do número de trabalhos publicados sobre o tema durante o período estudado com exceção dos anos de 2014, com 5 trabalhos, 2016, com 4 trabalhos publicados, e de 2020 com somente 1 trabalho. O maior número de trabalhos foi publicado no período 2015 – 2020 (45) com praticamente o dobro de publicações do período de 2010 – 2014 (19).

A síntese de produtos a partir dos rejeitos, especialmente a síntese de zeólitas a partir do rejeito do beneficiamento de caulim, foi a principal área de aplicação dos trabalhos selecionados na pesquisa seguida da área da Construção Civil (cerâmica vermelha, agregados, argamassas, geopolímero).

A dissertação de mestrado foi o tipo de trabalho mais publicado sobre o tema da pesquisa com 28,1% do total de trabalhos selecionados.

A UFPA foi a instituição de pesquisa que mais publicou trabalhos sobre o tema de aproveitamento de rejeitos paraenses durante o período estudado (56,3%). Foi possível identificar que outras instituições de pesquisa de fora do estado do Pará também publicaram trabalhos (USP, UFRN, UFOP, UFRGS).

Os autores com mais trabalhos publicados sobre o tema durante o período estudado foram ANGÉLICA, NEVES e PAZ, todos pesquisadores da UFPA, sendo que seus trabalhos foram sobre aproveitamento de rejeito de caulim.

As tendências e oportunidades de pesquisas identificadas foram para o estudo do aproveitamento dos rejeitos de Mineração de Cobre, Manganês, Bauxita, Ouro e Ferro que se encontram com poucos trabalhos publicados.

Com esse trabalho foi possível traçar um panorama dos estudos de aproveitamento de rejeitos de Mineração do Estado do Pará, entregando uma síntese estruturada do desenvolvimento científico durante o período de 2010 a 2020, para contribuir com pesquisadores que desejem trabalhar com o referido tema.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Pró-reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação – PROPPG do Instituto Federal do Pará pelo apoio.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Aproveitamento de rejeitos e estéril. Análise de impacto regulatório. Versão 1. ANM, 2020a. Disponível em <https://www.gov.br/anm/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/consultas-publicas/consulta-publica-04-2020-aproveitamento-de-esteril-e-rejeitos-1>. Acessado em 29/03/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas ano base 2019. Brasília: ANM, 2020b.

COSTA, T. et al. A bibliometria e a avaliação da produção científica: indicadores e ferramentas. Revista Actas do Congresso Nacional de Bibliotecários, Arquivistas e Documentalistas, São Paulo, v. 8, n. 32, p. 37-45, out./dez. 2012.

GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. Informações sobre a Economia Mineral Brasileira: Ano Base 2019. 1.ed. Brasília: IBRAM, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. Guia de Boas Práticas: Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos. 1.ed. Brasília: IBRAM, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração. organizador, Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2016.

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, MINERAÇÃO E ENERGIA DO ESTADO DO PARÁ - SEDEME. Sinopse da Produção Mineral do Pará 2020. Belém: SEDEME, 2020.

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, MINERAÇÃO E ENERGIA DO ESTADO DO PARÁ - SEDEME. Cadastro Estadual de Recursos Minerais. Belém: SEDEME, 2022. Disponível em: <https://www.sedeme.pa.gov.br/portal-do-minerador>. Acesso em: 15 fev. 2022.

SILVA, A. P. M. DA; VIANA, J. P.; CAVALCANTE, A. L. B. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas - Relatório de Pesquisa. Brasília: IPEA, 2012.