

# SÉRIE Tecnologia Ambiental

## **Avaliação de risco ecológico da disposição dos resíduos oriundos da lavra e beneficiamento do mármore Bege Bahia**

**Cristiane Andrade de Lima  
Roberto Carlos da Conceição Ribeiro  
Caroline Martins de Sousa  
Manuella de Lima Ribeiro  
Pedro Paulo Cardoso Lima**



# **SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**Avaliação de risco ecológico da disposição dos resíduos oriundos da lavra e beneficiamento do mármore Bege Bahia**

## **PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

**Luiz Inácio Lula da Silva**

Presidente

## **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

**Luciana Santos**

Ministra de Estado

**Luis Manuel Rebelo Fernandes**

Secretário Executivo

**Isa Assef dos Santos**

Subsecretária de Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

## **CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

**Silvia Cristina Alves França**

Diretora

**Robson Araujo D'Avila**

Coordenador Substituto de Administração - COADM

**Andréa Camardella de Lima Rizzo**

Coordenadora de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

**Paulo Fernando Almeida Braga**

Coordenador de Processamento e Tecnologias Mineraias - COPTM

**Marisa Nascimento**

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

**Leonardo Luiz Lyrio da Silveira**

Coordenador de Rochas Ornamentais - CORON

**Arnaldo Alcover Neto**

Coordenador de Análises Mineraias - COAMI

# SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

STA - 139

## **Avaliação de risco ecológico da disposição dos resíduos oriundos da lavra e beneficiamento do mármore Bege Bahia**

### **Cristiane Andrade de Lima**

Engenheiro Químico, D.Sc., Instituto Estadual do Ambiente/INEA

### **Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Engenheiro Químico, D.Sc., Pesquisador do CETEM/MCTI

### **Caroline Martins de Sousa**

Engenheira Ambiental, M.Sc., pesquisadora colaboradora do CETEM/MCTI

### **Manuella de Lima Ribeiro**

Estagiária do CETEM, aluna de graduação de Engenharia Química da UERJ

### **Pedro Paulo Cardoso Lima**

Bolsista de Iniciação Científica do CETEM/MCTI

**CETEM/MCTI**

2025

# SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

**Editor:** Luis Gonzaga Santos Sobral

**Subeditor:** Andréa Camardella de Lima Rizzo

**CONSELHO EDITORIAL:** Saulo Rodrigues P. Filho (UNB), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luis Enrique Sánchez (EPUSP), Virginia Sampaio Ciminelli (UFMG), Luís Alberto Dantas Barbosa (UFBA), Ricardo Melamed (UNB), Marcello F. Veiga (University of British Columbia-Canadá), Bruce Marshall (University of British Columbia-Canadá).

Não existe uma definição única que se enquadre na ampla diversidade que o tema “Tecnologias Ambientais” abrange. Em primeiro lugar, o campo das Tecnologias Ambientais é caracterizado por um alto grau de diversidade e heterogeneidade. Em geral, o termo é usado para incluir tecnologias e aplicações que supostamente ajudam a reduzir o impacto negativo da atividade industrial e dos serviços, de usuários privados ou públicos, no meio ambiente. O conceito se refere, normalmente, a tecnologias “no final do processo” (end-of-pipe) integradas a tecnologias limpas e de recuperação de áreas contaminadas. No entanto, também pode abranger questões de sentido mais amplo, como monitoramento, medição, mudança de produtos ou gerenciamento de sistemas ambientais. As tecnologias ambientais são, portanto, de natureza interdisciplinar e podem ser aplicadas em qualquer etapa da cadeia produção-consumo. Tendo isso em mente, a *Série de Tecnologia Ambiental* tem por objetivo congrega especialistas, tais como: pesquisadores, tecnologistas, professores etc., do CETEM em particular, para que divulguem suas pesquisas em áreas tão diversas para servirem como estímulo para os novos e futuros pesquisadores.

There is no single definition that fits the wide diversity that the theme “Environmental Technologies” covers. First, the field of Environmental Technologies is characterized by a high degree of diversity and heterogeneity. In general, the term is used to include technologies and applications that are supposed to help reduce the negative impact of industrial activities and services, by private or public users, on the environment. The concept usually refers to technologies “at the end of the process” (end-of-pipe) integrated with clean technologies and recovery of contaminated areas. However, it can also cover broader issues such as monitoring, measuring, changing products or managing environmental systems. Environmental technologies are, therefore, of an interdisciplinary nature and can be applied at any stage of the production-consumption chain. Bearing this in mind, the “Environmental Technology Series” aims at bringing together specialists, such as: researchers, technologists, professors etc., from CETEM in particular, to disseminate their research in such diverse areas to serve as a stimulus for new and future researchers.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Copyright © 2025 CETEM/MCTI

Todos os direitos reservados.  
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação de copyright (Lei 5.988)

Valéria Cristina de Souza  
Diagramação e Editoração Eletrônica

André Luiz Costa Alves  
Projeto Gráfico

Informações:  
CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Av. Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ  
Homepage: [www.cetem.gov.br](http://www.cetem.gov.br)

CIP – Catalogação na Publicação

A945

Avaliação de risco ecológico da disposição dos resíduos oriundos da lavra e beneficiamento do mármore Bege Bahia / Cristiane Andrade de Lima [et al.] – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2025. 69 p. - (Série Tecnologia Ambiental; 139).

ISBN 978-65-5919-060-7.

1. Rochas ornamentais. 2. Resíduos de rochas. 3. Mármore Bege Bahia. 4. Avaliação de risco ecológico. I. Lima, Cristiane Andrade. II. Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição. III. Sousa, Caroline Martins IV. Ribeiro, Manuella de Lima. V. Lima, Pedro Paulo Cardoso. VI. Centro de Tecnologia Mineral. VII. Série.

CDD 552.4

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do CETEM/MCTI  
Bibliotecário(a) Rosana Silva de Oliveira CRB7 – 5849

# SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1   INTRODUÇÃO	11
1.1   Mármore Bege Bahia	11
1.2   Geração de Resíduos	14
1.3   Aplicações Industriais	17
1.4   Avaliação de Risco Ecológico	18
2   OBJETIVO	26
3   MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1   Formulação do Problema	27
3.2   Avaliação da Exposição	27
3.3   Avaliação da Toxicidade	28
3.4   Caracterização do Risco	28
4   RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1   Seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQIs)	29
4.2   Caracterização dos Receptores Ecológicos	30
4.3   Modelo Conceitual	30
4.4   Sumário dos Resultados da Avaliação de Risco Ecológico	31
5   CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

## RESUMO

Todas as formas de vida podem ser afetadas pela presença de metais dependendo da dose e da forma química. Muitos metais são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, sendo requeridos em baixas concentrações, mas podem danificar sistemas biológicos, dependendo da concentração existente, condições de uso e susceptibilidade do organismo envolvido. Uma dificuldade surge ao se converter o risco associado a um particular agente químico em uma medida do risco total representado por todos os agentes poluentes liberados em um determinado local ou região. Neste contexto, buscam-se relacionar a intensidade da poluição com os potenciais riscos ecológicos e expressá-los como estimativas numéricas comparáveis. Para tal, foram desenvolvidas metodologias para avaliação de risco ecológico face a um cenário de deposição de resíduos gerados na lavra e no beneficiamento do Mármore Bege Bahia. Os resultados de uma avaliação de risco permitem identificar os compostos químicos de interesse (CQIs), bem como as subáreas dentro da área de estudo que representam risco. Estas informações podem ser usadas para orientar decisões de gerenciamento de riscos, incluindo decisões de se e onde ações de remediação seriam necessárias. O objetivo foi avaliar se os resíduos da lavra e do beneficiamento do Mármore Bege Bahia depositados em aterros da região representam risco ecológico. Para tal foi utilizada uma abordagem toxicológica baseada nas metodologias de avaliação de risco ecológico propostas pela US EPA (*United States Environmental Protection Agency*). Os resultados indicaram que não há risco ecológico para a disposição dos resíduos nos aterros para flora e fauna da região.

### Palavras-chave

Resíduos de rochas, mármore Bege Bahia, avaliação de risco à saúde humana.

## **ABSTRACT**

All forms of life can be affected by the presence of metals depending on the dose and chemical form. Many metals are essential for the growth of all types of organisms, being required in low concentrations, but can damage biological systems, depending on the existing concentration, conditions of use and susceptibility of the organism involved. A difficulty arises when converting the risk associated with a particular chemical agent into a measure of the total risk posed by all polluting agents released in a given location or region. The methodologies were developed to assess ecological risk in a scenario of contamination of waste generated in the mining and processing of Bahia Beige Marble. The results of a risk assessment allow you to identify the chemical compounds of interest, as well as the subareas within the study area that represent risk. This information can be used to guide risk management decisions, including decisions as to whether and where remediation actions would be necessary. The objective was to evaluate whether waste from the mining and processing of Bahia Bege Marble deposited in landfills in the region represents an ecological risk. To this end, methodologies were developed to assess ecological risk in a scenario of contamination of waste generated in the mining and processing of Bahia Beige Marble. The results of a risk assessment allow you to identify the chemical compounds of interest (CQIs), as well as the subareas within the study area that represent risk. This information can be used to guide risk management decisions, including decisions as to whether and where remediation actions would be necessary. The objective was to evaluate whether waste from the mining and processing of Bahia Bege Marble deposited in landfills in the region represents an ecological risk. To this end, a toxicological approach was used based on the ecological risk assessment methodologies proposed by the US EPA (United

States Environmental Protection Agency). The results indicated that there is no ecological risk for disposing of waste in landfills for the region's flora and fauna.

**Keywords**

Dimension stone waste, Bahia Beige marble, ecological risk assessment.



## 1 | INTRODUÇÃO

### 1.1 | Mármore Bege Bahia

A Bahia posiciona-se como o terceiro maior produtor de rochas ornamentais do Brasil, possuindo a mais completa diversidade de cores de rochas do país, que vão desde as suas mais famosas rochas azuis, passando para uma variedade de cores incluindo-se mármores, granitos, arenitos e conglomerados.

O calcário conhecido comercialmente como Bege Bahia é um material do tipo “calcrete” ou caliche, abundante na região do rio Salitre. Esta rocha é tipificada na formação Caatinga, de ambiente continental, o calcrete provém de alteração de calcários de formação salitre, de ambiente marinho. É identificado como mármore quando, além do padrão estético tão apreciado no Brasil, evidenciam-se as propriedades físicas e tecnológicas do material utilizado como rocha ornamental.

Descoberto há mais de 50 anos como rocha para revestimento, o mármore Bege Bahia teve sua extração e comercialização iniciada a partir da década de 70. Inicialmente extraído em bloquetes para recorte de pequenas peças, desde sua inserção no mercado já recebeu vários nomes, até ficar consagrado como Bege Bahia, uma referência à cor da rocha e seu Estado de origem.

A extração e produção do mármore Bege Bahia, teve início com Guilhermino Jatobá, Gian Franco Biglia e José de Castro que, sem dúvidas, enfrentaram desafios enormes à época para a extração e beneficiamento da rocha, em função da infraestrutura precária em relação ao transporte, energia, mão de obra, comunicação e inexistência de tecnologia e insumos apropriados.

Foi formado pela dissolução *in situ* de carbonato e reprecipitação do calcário marinho da Formação Salitre Neoproterozóica após alteração química, física e biogênica em um ambiente árido/semiárido. Esses processos resultaram em um calcário de tom claro, estruturalmente semelhante a uma brecha, caracterizado por um arranjo heterogêneo de fragmentos calcários em uma matriz de micrita, tipicamente exibindo cavidades irregulares e centimétricas com cristais de calcita cobrindo suas paredes, lembrando geodos. O Bege Bahia possui boas características tecnológicas para sua utilização como pedra natural, e os tons terrosos e os padrões distintos – principalmente a presença generalizada de cavidades – conferem a este calcário bege claro único um aspecto visual semelhante ao do travertino. Por isso, também é nomeado e comercializado como “Travertino Nacional” ou “Travertino Brasileiro”. Por isso, têm sido utilizadas inúmeras vezes desde meados do século XX em design de interiores, pisos e revestimentos de residências, e em fachadas e colunas de edifícios modernos em todo o país. Abrange também importantes edifícios do patrimônio brasileiro, como o Supremo Tribunal Federal em Brasília, capital do Brasil. As características geológicas e tecnológicas do calcrete Bege Bahia, somadas à sua importante contribuição para a sustentabilidade social e econômica da região de Ourolândia, e para o setor de pedras naturais brasileiro, mostram sua importância como pedra patrimonial. Além disso, a área de ocorrência de calcretes na região de Ourolândia é de importância no âmbito da geoconservação devido aos seus significativos sistemas cársticos desenvolvidos nas Formações Salitre e Caatinga com relevantes sítios espeleológicos e paleontológicos (FRASCÁ et al., 2025).

Extraído e beneficiado na região de Ourolândia, região centro-norte do Estado da Bahia, no vale do Rio Salitre, o mármore Bege Bahia, corresponde petrograficamente ao calcário não metamórfico.

O Município de Ourolândia situa-se na macrorregião centro-norte da Bahia e no Território de Identidade de Piemonte da Chapada Diamantina (Alto do Vale do Rio Salitre) pertencendo, de acordo com Plano Diretor de Regionalização da Saúde do Estado da Bahia, à macrorregião Centro Norte como município satélite da microrregião de Jacobina, integrante da mesorregião Centro-Norte Baiano. O acesso a partir de Salvador se realiza pelas rodovias pavimentadas BR-324, BR-116 e BA 368 num percurso total de 415 km. Para circulação dentro do município as vias são de terra ou cascalho.

Ourolândia limita-se a leste com o Município de Jacobina, à sul com Várzea Nova e Morro do Chapéu, à oeste com Sento Sé e Umburanas, e ao norte com Mirangaba. A área municipal é de 1.333 km<sup>2</sup>. A sede municipal tem altitude de 576 metros e coordenadas geográficas 10°58'00" de latitude sul e 41°01'00" de longitude oeste. As jazidas ocorrem na formação geológica "caatinga", nas várias tonalidades da cor Bege. De ocorrência calcária plana e sedimentação secundária, as pedreiras são cobertas por uma grande quantidade de casqueiro, que é removido para abertura de poços, tanto por meio do rebaixamento de pisos quanto do tombamento de bancadas de até seis metros. Nesses casos, é utilizado o fio diamantado, buscando sempre o maior aproveitamento da matéria prima e pisos mais compactados sem infiltração. Após a extração dos blocos, ocorre a seleção da matéria prima (RIBEIRO, 2014).

## 1.2 | Geração de Resíduos

Sabe-se que todo processo gera uma quantidade significativa de resíduos, tanto grosseiros, gerado pela quebra das peças durante o corte e resíduos finos que aparecem na forma de lama. Após a evaporação da água, o pó resultante é acumulado nas serrarias ou pedreiras (FARIAS, 1995) ou encaminhado para aterros específicos.

O desdobramento e o polimento ocorrem em vias úmidas e tem como consequência direta a geração de efluente. No desdobramento o efluente é composto de água e resíduo sólido (pó de calcário) oriundo do bloco que está sendo serrado. A serragem origina, também, fragmentos de calcário, conhecidos como casqueiro (laterais externas do bloco) assim como pedaços de chapas quebradas durante o processo. Estes resíduos sólidos não são compatibilizados como integrante do efluente. Em Ourolândia, atualmente, operam 16 (dezesseis) teares, todos diamantados, variando no porte entre os teares “normais” com capacidade para blocos de  $8\text{m}^3$  e os denominados “grandes” com capacidade para desdobrar blocos de  $10\text{m}^3$ . Os teares “normais” têm capacidade nominal para serrar 26 (vinte e seis) blocos de mármore por mês. Os teares “grandes” podem atingir a 42 (quarenta e dois) blocos/mês. Em termos de volume de mármore desdobrado, considerando-se que 10 (dez) teares são do tipo normal, tem-se que mensalmente sejam serrados  $2.080\text{ m}^3$ . Os restantes, do tipo grande, desdobram  $2.520\text{ m}^3/\text{mês}$  perfazendo um volume nominal máximo de  $4.600\text{ m}^3/\text{mês}$ . Estima-se, com base em informações locais, que sejam gerados na serragem 22% (vinte e dois por cento) de pó de calcário e 8% (oito por cento) de casqueiro representado por, aproximadamente, quatro chapas nas laterais externas do bloco. Nominalmente tem-se uma produção máxima de  $1.012\text{ m}^3/\text{mês}$  de pó de calcário

e cerca de 368 m<sup>3</sup>/mês de casqueiro. Na linha do raciocínio acima apresentado e considerando-se as informações prestadas pelos empreendedores pode-se estabelecer que atualmente são serrados aproximadamente 300 blocos de mármore Bege Bahia gerando mais de 600 m<sup>3</sup> de pó de calcário e mais de 200 m<sup>3</sup> de casqueiro.

Na etapa de polimento, além da água e resíduos sólidos, o efluente é composto de outros insumos utilizados: resina, catalisador e material abrasivo. Destes insumos a resina é utilizada em maior escala e, segundo Calhau et al. (2010), é uma resina poliéster ortotereftálica insaturada diluída em monômero de estireno, onde numa possível lixiviação para o meio ambiente poderá contaminar solo e os corpos d'água. A mistura dos efluentes provenientes da serragem e os originados pelo polimento provocará a contaminação do pó de mármore (calcário) oriundo do desdobramento dos blocos, podendo inviabilizar o aproveitamento do mesmo, como um subproduto do mármore em função dos efeitos químicos nocivos da resina no meio ambiente ainda serem pouco conhecidos.

Na etapa de polimento o volume de efluente gerado é enviado para tanques de decantação construídos em série. O processo de decantação para a remoção de partículas sólidas em suspensão é um dos mais comuns no tratamento da água. Consiste na utilização das forças gravitacionais para decantar as partículas de densidade superior à da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. Nestes tipos de tratamento uma parcela da água é recuperada podendo retornar ao processo industrial.

Nas Figuras 1 a 3 estão apresentados depósitos de resíduos do Mármore Bege Bahia.



**Figura 1:** Blocos residuais do Mármore Bege Bahia.



**Figura 2:** Resíduos grosseiros do Mármore Bege Bahia.



**Figura 3:** Depósito de resíduos finos do Mármore Bege Bahia.

### 1.3 | Aplicações Industriais

Devido à homogeneidade do resíduo, constituído praticamente de carbonato de cálcio, muitos estudos foram realizados por Ribeiro, et al. 2011 (a); Ribeiro e Conceição (2011 b); Ribeiro, et al. 2013, Ribeiro, et al. 2015 (a), Ribeiro, e Oliveira 2015 (b), Ribeiro et al 2015 (c), Ribeiro, R.C.C et al. 2016 (a), Ribeiro et al. 2016 (b) na aplicação, principalmente no setor polimérico. No entanto, torna-se cada vez mais importante a realização de estudos de avaliação de risco ecológico para verificação das condições da flora e da fauna da região onde os resíduos ficam dispostos.

## 1.4 | Avaliação de Risco Ecológico

A avaliação de risco ecológico é um método formal e científico para definição e estimativa da probabilidade e magnitude de impactos adversos em plantas, animais e/ou outros receptores ecológicos presentes em uma área específica afetada por um fator de estresse particular. Os fatores de estresse podem ser lançamentos/emissões de produtos químicos, outras ações humanas e catástrofes naturais (EA, 2003).

A avaliação de risco ecológico leva em consideração outros bens a proteger, como o risco a ecossistemas aquáticos ou à fauna e flora. Nela são seguidos, basicamente, os mesmos princípios utilizados para a avaliação dos riscos à saúde humana (US EPA, 1998).

Em 1998 foi publicado pela US EPA o "Guidelines for Ecological Risk Assessment", que descreve, de maneira clara, o processo da Avaliação de Risco Ecológico (ARE): formulação do problema, fase de análise, caracterização do risco. Na condução da avaliação de risco ecológico, esse guia tornou-se um documento chave para muitos gerenciadores de risco e para trabalhos acadêmicos. A partir desta publicação, despertou-se a necessidade da realização deste processo não só para o ser humano, mas para os demais seres vivos, devido, principalmente, ao fato dos efeitos dos contaminantes para o ser humano serem diferentes daqueles apresentados para a flora e fauna.

No Brasil a avaliação de risco ecológico ainda não é utilizada como ferramenta para o cumprimento das leis ambientais ou como norteadora das tomadas de decisões de proteção ambiental, e sua metodologia ainda não está bem definida e amadurecida.

Quando há a necessidade da aplicação da avaliação de risco, utiliza-se ou a metodologia norte-americana ou a metodologia holandesa (PEDROZO et al., 2002). O Estado de São Paulo, por meio de seu órgão ambiental estadual, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), estabelece uma lista de valores orientadores para solos e águas subterrâneas (CETESB, 2001a). Esta lista é composta por valores de referência, alerta e intervenção (agrícola, residencial e industrial) para solo, além de valores de intervenção para água subterrânea; sendo que estes valores passaram por uma revisão e uma nova lista foi publicada quatro anos depois (CETESB, 2005a). Em 2001, a CETESB publicou ainda o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001b) no qual contempla um capítulo denominado "Avaliação de Risco à Saúde Humana", onde era recomendada pela CETESB uma metodologia brasileira para avaliação de risco, apenas para saúde humana, sendo que esta é baseada em metodologias internacionalmente reconhecidas para avaliação de risco, tais como da US EPA (1989a), ASTM (1998), VROM (2000).

Atualmente, em países onde a avaliação de risco já é bastante utilizada, são realizados trabalhos para o desenvolvimento e refinamento de metodologias de avaliação de risco ecológico. E para a sua reprodução regional com o objetivo de produzir literatura relevante e disponibilizar uma quantidade substancial de dados ecotoxicológicos que sustentem a análise de risco. Muitas aproximações são utilizadas na ARE, como a modelagem ecológica, testes toxicológicos, os biomarcadores e os bioindicadores. Todos ainda são pouco utilizados e estudados, mas são ótimas ferramentas para a condução da avaliação de risco. Para a realização de uma avaliação de risco ecológico mais realista e confiável, muitos ecologistas recomendam a integração entre o

uso dos modelos ecológicos e a toxicologia com o objetivo de avaliar os riscos para populações ou para níveis ecológicos de organização maiores e alcançar maior relevância (PASTOROK et al., 2003).

A avaliação de risco ecológico é um processo lógico para definir, objetivamente, a probabilidade com que um efeito adverso, em um organismo ou em uma coleção de organismos, possa ocorrer devido a uma modificação ambiental, tal como exposição a contaminantes (US EPA, 1998).

Os procedimentos de avaliação de risco ecológico podem ser utilizados para avaliar a probabilidade de que efeitos estejam sendo causados pela exposição presente ou passada (análise retrospectiva) ou a probabilidade de efeitos adversos futuros (análise prospectiva). O paradigma de análise de risco inclui as seguintes etapas principais (Figura 4).

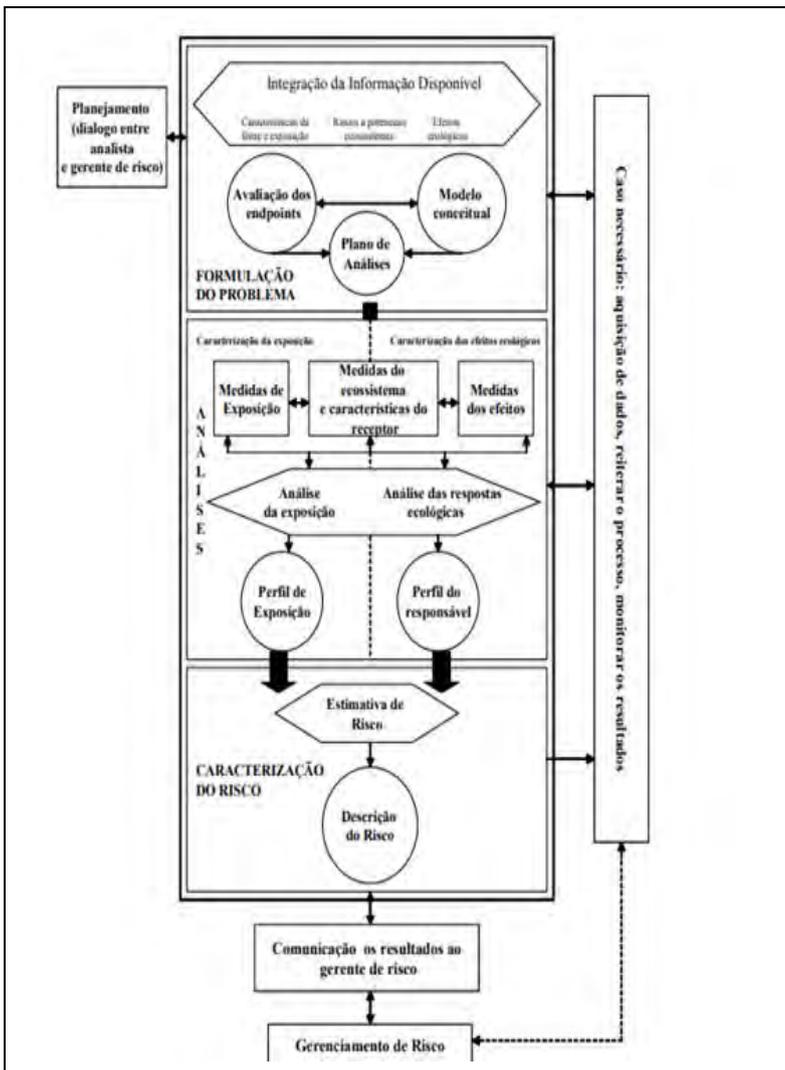


Figura 4: Procedimento para análise de risco ecológico de acordo com a agência de proteção ambiental americana (USEPA, 1998).

### 1.4.1 | Formulação do problema

Esta etapa ajuda a focar a avaliação de risco nas substâncias químicas, receptores e vias de exposição de maior preocupação (ou seja, substâncias químicas com o maior potencial tóxico; organismos com maior probabilidade e susceptibilidade de exposição; vias de exposição que contemplem grande parte da exposição às substâncias químicas emitidas). Além dos receptores ecológicos, também devem ser considerados os “componentes ecológicos valiosos” como, por exemplo, um microhabitat único cuja habilidade de funcionamento possa vir a ser afetada pelas substâncias químicas ou outros fatores de estresse que podem ser potencializados em decorrência do projeto. Isto deve ser feito de forma que se nenhum risco inaceitável for predito neste estágio, é muito provável que nenhum risco inaceitável seja calculado para quaisquer outras substâncias químicas, receptores ou vias de exposição (US EPA, 1998).

A formulação do problema é o processo de planejamento e de determinação do escopo que estabelece os objetivos e foco da análise. Nele, são integradas as informações disponíveis sobre os fatores de estresse, características deste, oportunidades de exposição, características do receptor ecológico e/ou ecossistema potencialmente em perigo, bem como os efeitos ecológicos esperados. Três produtos são esperados após esta integração: a seleção dos objetivos da avaliação - endpoints (os componentes ou atributos dos ecossistemas a serem protegidos), a elaboração do modelo conceitual (representação dos meios hipotéticos pelos quais atividades humanas induzem efeitos nos endpoints) e o plano de análises (delimitação da análise incluindo dados, parâmetros e métodos necessários para a condução da fase de análise) (US EPA, 2002).

A outra tarefa principal na formulação do problema é o estabelecimento dos objetivos do gerenciamento do risco, os chamados *endpoints* da avaliação. Os objetivos do gerenciamento do risco são os meios para se atingir os endpoints indicados anteriormente; por exemplo, como nós atingiremos o valor de risco residual aceitável para o local de mineração para que este possa ser vendido a um comprador em potencial? Um *endpoint* da avaliação é uma indicação geral do que deve ser protegido. A medição do *endpoint* é uma medição quantitativa que serve como limite para determinar se o endpoint da avaliação pode ou não ser atingido.

Para os receptores humanos, o *endpoint* da avaliação é focado na proteção dos indivíduos. Para os receptores ecológicos (fauna e flora), o *endpoint* da avaliação pode ser a proteção dos indivíduos ou das populações, dependendo da sensibilidade e da importância do receptor para a área do estudo. Uma variedade de medições de *endpoints* pode ser usada para os receptores ecológicos. As medidas da exposição incluem concentrações em água, na vegetação, no solo e no sedimento, e podem também incluir concentrações residuais no tecido. As medidas dos efeitos incluem valores orientadores toxicológicos disponíveis na literatura, bem como dados de campo sobre a comunidade ou estrutura populacional (US EPA, 2002).

A formulação do problema está completa quando os objetivos do gerenciamento do risco e as medições destes estiverem estabelecidos, além da seleção preliminar e do desenvolvimento dos modelos conceituais das interações fontes/vias de exposição/receptores. Os resultados da formulação do problema são reportados às duas etapas seguintes da avaliação de risco: avaliação da exposição e avaliação dos efeitos, consolidadas em uma única etapa chamada de análise do risco.

### 1.4.2 | Avaliação da exposição

Na avaliação da exposição é realizada uma estimativa da dose que o receptor pode estar exposto por todas as vias de exposição aplicáveis. Para organismos terrestres, a avaliação da exposição determina a dose de uma substância química que um animal pode absorver por todas as vias de exposição aplicáveis. A dose depende da concentração nos diferentes meios (isto é, ar, água, solo, sedimento e alimento), quanto tempo o animal passa em contato com este meio e as características fisiológicas deste animal (ou seja, taxas de ingestão, taxas de inalação, peso corporal e preferências alimentares). Para organismos aquáticos, a avaliação da exposição considera a concentração na água a qual cada organismo está exposto, bem como no sedimento (para os organismos que apresentam contato com este).

Para avaliação de risco ecológico, a exposição média para a população é o maior interesse, bem como para o gerenciamento do risco que é tipicamente focado em populações (enquanto para avaliação e gerenciamento de risco à saúde humana a preocupação é com os indivíduos) (US EPA, 1998).

### 1.4.3 | Avaliação da toxicidade

A função principal da toxicologia é conhecer o risco de ocorrência do efeito tóxico e a primeira etapa da avaliação da toxicidade, identificação do perigo, é o processo que tenta reconhecer se a exposição a determinado agente pode estar relacionada ao aumento da incidência de determinado efeito adverso e se há possibilidade do seu efeito ocorrer no receptor em questão. A avaliação da toxicidade envolve a caracterização da natureza da exposição e da força de evidência donexo causal (CHASIN e AZEVEDO, 2003).

Na avaliação da toxicidade determina-se a dose ou concentração aceitável para receptores específicos que podem estar expostos em condições sem risco ou com um risco mínimo de desenvolvimento de efeitos adversos.

#### 1.4.4 | Caracterização do risco

Na etapa de caracterização do risco, comparam-se os resultados da avaliação da exposição com os da avaliação da toxicidade e determina-se o potencial das substâncias químicas provenientes do local de causar risco à saúde dos receptores ecológicos (EA, 2003).

O risco é determinado pela razão entre a exposição específica do local e o nível de exposição aceitável. Se essa razão, chamada de quociente de perigo (ou razão de exposição), for menor do que 1, não há risco. Por outro lado, se o quociente de perigo for maior do que 1, há uma possível indicação de risco inaceitável e, neste caso, os resultados devem ser reavaliados, de acordo com o grau de conservadorismo aplicado na avaliação e na magnitude do quociente de perigo (US EPA, 1998).

Mais do que um simples procedimento científico, a análise de risco ecológico é mais um instrumento de gerenciamento ambiental. É utilizado para predizer os resultados de atividades tais como utilização de substâncias químicas, introdução de espécies ou para atribuir efeitos observados a causas potenciais em análises retrospectivas.

A análise pode gerar, também, informações que auxiliam a tomada de decisões. Isto é especialmente importante quando várias alternativas de ações de remediação existem e quando os recursos para redução do risco são limitados (US EPA, 1998).

## **2 | OBJETIVO**

O objetivo desse trabalho foi verificar o risco ecológico causado pela disposição dos resíduos oriundos da lavra do Mármore Bege Bahia nos aterros da região de exploração da referida rocha.

### **3 | MATERIAIS E MÉTODOS**

A avaliação de risco ecológico envolve uma avaliação da exposição e dos riscos aos receptores ecológicos. Nesta avaliação foram considerados como receptores sensíveis os organismos terrestres (plantas e animais). Essa avaliação seguiu a metodologia proposta pela agência de proteção ambiental americana (US EPA, 1998) para os resíduos do Mármore Bege Bahia dispostos nos aterros da região.

O resíduo se trata de um carbonato de cálcio, sendo cerca de 50% CaO, 49% perda por calcinação (relacionado aos carbonatos) e 1% de sílica já caracterizado por difração e fluorescência de raios-X.

#### **3.1 | Formulação do Problema**

Durante este estágio foi realizada uma revisão da literatura, examinando-se os tipos de receptores ecológicos que potencialmente estariam presentes na área de interesse.

Ao final da formulação do problema foi desenvolvido um modelo conceitual relacionando os futuros receptores ecológicos, as vias de exposição e meios contaminados.

#### **3.2 | Avaliação da Exposição**

A avaliação da exposição foi feita com base nos resultados analíticos de amostras de resíduo foram realizados ensaios por meio de absorção atômica e ICP-Plasma da Coordenação de Análises Minerais (COAMI) do CETEM que serviram de base para as formulações.

### 3.3 | Avaliação da Toxicidade

Esta etapa incluiu a revisão de dados de literatura sobre a toxicidade dos contaminantes aos receptores ecológicos de interesse.

A flora local é constituída por: Juazeiro, Umbuzeiro, Aroeira do Sertão, Nicotiana, Catingueira, Moleque Duro, Umburana de Cheiro, Umburana de cambão, Angico, Mandioca Brava, Barriguda de Espinho, Embiruçu, Cabeça de Frade, Feicheroa, Palmatória, *Cephalocereus strictus*, Caruá, Macambira, *Jatrofa phyllacantha*, Quiabenta, Pau d'arco, Gerbão, *Jatopha Mutabilis*, Caliandra, Malva, Tripa de galinha, Velame e Icó.

Já a fauna local apresenta: Raposa, Rastro de Mão Pelada, *Callithrix penicillat*, Morcego *Artibeus jamaicensis*, Tatu peba, Beija flor, *Scardafella squamata*, *Sicalis flaveola*, *Coragyps atratus*, Tito Alba, *Vanellus chilensis*, *Rhea americana*, João de Barro, *Bubulcus ibis*, *Tropidurus hispidus*, *Tropidurus semitaeniatus*, *Hemidactylus mabuya*, Calango do rabo vermelho, *Tropidurus semitaeniatus*, *Rhinella crucifer*, *Physalaemus sp.*, *Odontophrynus sp.*, *Leptodactylus ocellatus*, Larva lepdóptera, Borboleta, *Rhopalurus rochai*, Jataí, Arbocícola, Terrícola e Exu.

### 3.4 | Caracterização do Risco

Nesta etapa a magnitude e a probabilidade dos riscos foram estimadas para cada receptor. A avaliação de risco para os organismos terrestres foi baseada na concentração de contaminantes nos resíduos, que foram comparadas aos valores de referência de toxicidade disponíveis na literatura para cada um dos receptores.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 | Seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQIs)

Na Tabela 1 encontram-se os teores de metais detectados nas amostras de resíduo, bem como sua comparação com alguns dos valores orientadores nacionais e internacionais para proteção da saúde de receptores ecológicos para seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQIs) onde se pode verificar que todos os elementos avaliados encontram-se abaixo dos padrões de referência.

**Tabela 1:** Teor de metais na amostra de resíduo e comparação com valores orientadores para proteção da saúde de receptores ecológicos.

Parâmetros	Unidade	Referência	Bege Bahia
Antimônio	mg/kg	2,0	2,0
Arsênio	mg/kg	15,0	2,0
Cádmio	mg/kg	1,3	1,0
Chumbo	mg/kg	72,0	60,0
Cobalto	mg/kg	25,0	6,8
Cobre	mg/kg	60,0	20,0
Cromo	mg/kg	75,0	20,0
Mercúrio	mg/kg	0,5	0,0
Níquel	mg/kg	30,0	20,0
Selênio	mg/kg	5,0	2,0
Vanádio	mg/kg	1,6	1,2

**Notas:**

**CONAMA 420**

Lista de valores de prevenção para solo, estabelecido na Resolução CONAMA Nº420/2009

**US EPA**

*Ecological Screening Levels* - US EPA (2003)

- Não há valor de referência estabelecido para este parâmetro nos padrões de referência adotados

**Valores em vermelho** - Superiores aos valores de referência adotados ou não há valor de referência

## 4.2 | Caracterização dos Receptores Ecológicos

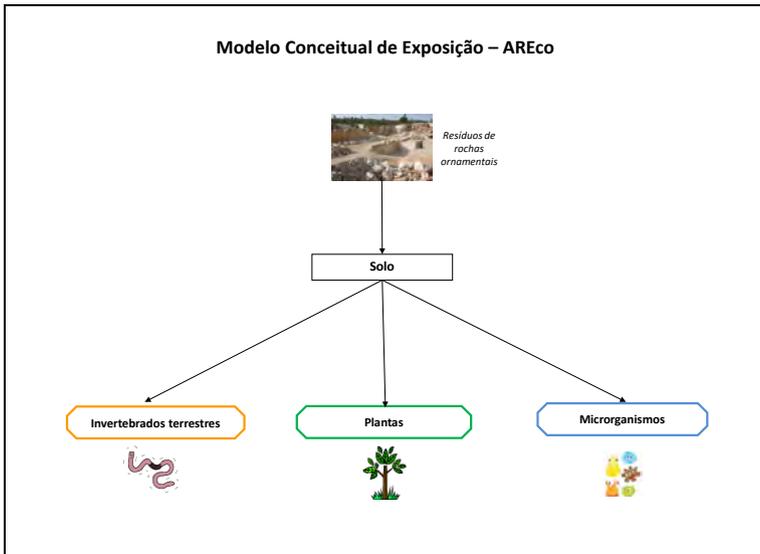
Na avaliação de risco ecológico não foram identificados receptores ecológicos relevantes para o cenário. A seguir, encontram-se descritos os receptores de preocupação selecionados:

A flora local é constituída por: Juazeiro, Umbuzeiro, Aroeira do Sertão, Nicotiana, Catingueira, Moleque Duro, Umburana de Cheiro, Umburana de cambão, Angico, Mandioca Brava, Barriguda de Espinho, Embiruçu, Cabeça de Frade, Feicheroa, Palmatória, *Cephalocereus strictus*, Caruá, Macambira, *Jatrofa phyllacantha*, Quiabenta, Pau d'arco, Gerbão, *Jatopha Mutabilis*, Caliandra, Malva, Tripa de galinha, Velame e Icó.

Já a fauna local apresenta: Raposa, Rastro de Mão Pelada, *Callithrix penicillat*, Morcego *Artibeus jamaicensis*, Tatu peba, Beija flor, *Scardafella squamata*, *Sicalis flaveola*, *Coragyps atratus*, Tito Alba, *Vanellus chilensis*, *Rhea americana*, João de Barro, *Bubulcus ibis*, *Tropidurus hispidus*, *Tropidurus semitaeniatus*, *Hemidactylus mabuya*, Calango do rabo vermelho, *Tropidurus semitaeniatus*, *Rhinella crucifer*, *Physalaemus sp.*, *Odontophrynus sp.*, *Leptodactylus ocellatus*, Larva lepdóptera, Borboleta, *Rhopalurus rochai*, Jtaí, Arbocícola, Terrícola e Exu.

## 4.3 | Modelo Conceitual

A partir da identificação das substâncias químicas de interesse, dos receptores potenciais e das vias de exposição foi desenvolvido um modelo conceitual de exposição para o cenário do aterro, refletindo o entendimento inicial sobre a área com base nos dados disponíveis, tal como descrito na Figura 5.



**Figura 5:** Modelo conceitual de exposição para receptores ecológicos.

#### 4.4 | Sumário dos Resultados da Avaliação de Risco Ecológico

A memória de cálculo do risco para receptores ecológicos encontra-se descrita nas Tabelas 2, 3 e 4.

**Tabela 2:** Resultados de risco para receptores ecológicos (plantas).

Parâmetro	Concentração máxima (mg/kg)	VTR (mg/kg) Plantas	Referência	HQ Plantas
Cádmio	1,00E+01	32	US EPA (2005a)	3,1E-01
Cobalto	6,08E+01	13	US EPA (2005b)	4,7E+00
Ferro	7,65E+02	10	ODEQ (2001)	7,7E+01
Manganês	7,27E+01	500	ODEQ (2001)	1,5E-01
Vanádio	1,19E+01	2	ODEQ (2001)	1,0E+00

**Notas:**

VTR - Valor de Toxicidade de Referência

HQ = Concentração / VTR

 HQ > 1, proteção dos indivíduos

 HQ > 10, proteção da comunidade

nc - não calculado

nd - VTR não disponível

**Tabela 3:** Resultados de risco para receptores ecológicos (invertebrados terrestres).

Parâmetro	Concentração máxima (mg/kg)	VTR (mg/kg) Invert.	Referência	HQ Invertebrados
Cádmio	1,00E+01	140	US EPA (2005a)	7,1E-02
Cobalto	6,08E+01	1000	ODEQ (2001)	6,1E-02
Ferro	7,65E+02	200	ODEQ (2001)	3,8E+00
Manganês	7,27E+01	100	ODEQ (2001)	7,3E-01
Vanádio	1,19E+01	nd	-	nc

**Notas:**

VTR - Valor de Toxicidade de Referência

HQ = Concentração / VTR

 HQ > 1, proteção dos indivíduos

 HQ > 10, proteção da comunidade

nc - não calculado

nd - VTR não disponível

**Tabela 4:** Resultados de risco para receptores ecológicos (microrganismos).

Parâmetro	Concentração máxima (mg/kg)	VTR (mg/kg) Microrg.	Referência	HQ Microrganismos
Cádmio	1,00E+01	20	Sample et. al (1997)	5,0E-01
Cobalto	6,08E+01	1000	Sample et. al (1997)	6,1E-02
Ferro	7,65E+02	200	Sample et. al (1997)	3,8E+00
Manganês	7,27E+01	100	Sample et. al (1997)	7,3E-01
Vanádio	1,19E+01	20	Sample et. al (1997)	6,0E-01

**Notas:**

VTR - Valor de Toxicidade de Referência

HQ = Concentração / VTR

 HQ > 1, proteção dos indivíduos

 HQ > 10, proteção da comunidade

nc - não calculado

nd - VTR não disponível

Os resultados não sugerem riscos para todos os receptores ecológicos avaliados e, conseqüentemente, a flora e fauna local não sofrem risco devido aos resíduos gerados na lavra e beneficiamento do Mármore Bege Bahia.

Nas Figuras 6 a 63 encontram-se as principais espécies vegetais e animais encontradas na região que não são afetadas pelos resíduos.



**Figura 6:** Juazeiro.



**Figura 7:** Umbuzeiro.



**Figura 8:** Aroeira do Sertão



**Figura 9:** Nicotiana.



**Figura 10:** Catingueira.



**Figura 11:** Moleque Duro.



**Figura 12:** Umburana de Cheiro.



**Figura 13:** Umburana de cambão.



**Figura 14:** Angico.



**Figura 15:** Mandioca Brava.



**Figura 16:** Barriguda de Espinho.



**Figura 17:** Embiruçu.



**Figura 18:** Cabeça de Frade.



**Figura 19:** Feicheroa.



**Figura 20:** Palmatória.



**Figura 21:** *Cephalocereus strictus*.



**Figura 22:** Caruá.



**Figura 23:** Macambira.



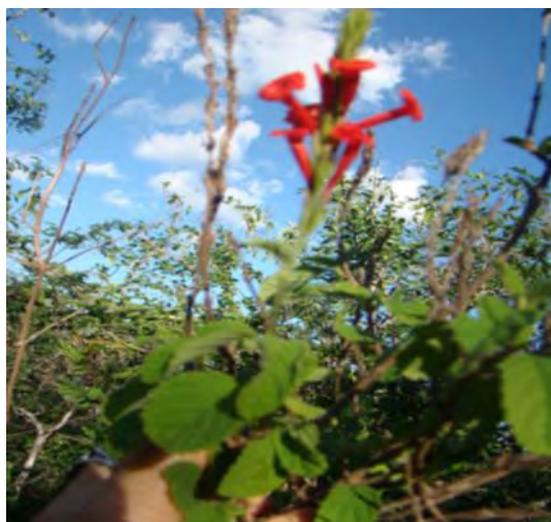
**Figura 24:** *Jatrofa phyllacantha*.



**Figura 25:** Quiabenta.



**Figura 26:** Pau d'arco.



**Figura 27:** Gerbão.



**Figura 28:** *Jatopha Mutabilis*.



**Figura 29:** Caliandra.



**Figura 30:** Malva.



**Figura 31:** Tripa de galinha.



**Figura 32:** Velame.



**Figura 33:** Icó.



**Figura 34:** Raposa.



**Figura 35:** Rastro de Mão Pelada.



**Figura 36:** *Callitrix penicillat.*



**Figura 37:** Morcego *Artibeus jamaicensis.*



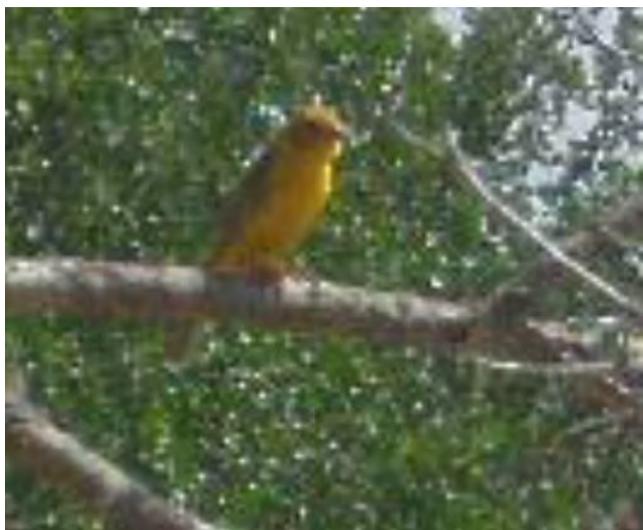
**Figura 38:** Tatu peba.



**Figura 39:** Beija flor.



**Figura 40:** *Scardafella squamata*.



**Figura 41:** *Sicalis flaveola*.



**Figura 42:** *Coragyps atratus*.



**Figura 43:** Tito Alba.



**Figura 44:** *Vanellus chilensis*.



**Figura 45:** *Rhea americana*.



**Figura 46:** João de Barro.



**Figura 47:** *Bubulcus ibis*.



**Figura 48:** *Tropidurus hispidus*.



**Figura 49:** *Tropidurus semitaeniatus*.



**Figura 50:** *Hemidactylus mabuya*.



**Figura 51:** Calango do rabo vermelho.



**Figura 52:** *Tropidurus semitaeniatus*.



**Figura 53:** *Rhinella crucifer*.



**Figura 54:** *Physalaemus sp.*



**Figura 55:** *Odontophrynus sp.*



**Figura 56:** *Leptodactylus ocellatus*.



**Figura 57:** Larva lepdóptera.



**Figura 58:** Borboleta.



**Figura 59:** *Rhopalurus rochai*.



**Figura 60:** Jataí.



**Figura 61:** Arbocícola.



**Figura 62:** Terrícola.



**Figura 63:** Exu.

## 5 | CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que a deposição dos resíduos gerados na lavra e no beneficiamento do Mármore Bege Bahia nos aterros da região de exploração da rocha não gera risco ecológico para flora e fauna da região.

A flora local é constituída por: Juazeiro, Umbuzeiro, Aroeira do Sertão, Nicotiana, Catingueira, Moleque Duro, Umburana de Cheiro, Umburana de cambão, Angico, Mandioca Brava, Barriguda de Espinho, Embiruçu, Cabeça de Frade, Feicheroa, Palmatória, *Cephalocereus strictus*, Caruá, Macambira, *Jatrofa phyllacantha*, Quiabenta, Pau d'arco, Gerbão, *Jatopha Mutabilis*, Caliandra, Malva, Tripa de galinha, Velame e Icó.

Já a fauna local apresenta: Raposa, Rastro de Mão Pelada, *Callithrix penicillat*, Morcego *Artibeus jamaicensis*, Tatu peba, Beija flor, *Scardafella squamata*, *Sicalis flaveola*, *Coragyps atratus*, Tito Alba, *Vanellus chilensis*, *Rhea americana*, João de Barro, *Bubulcus ibis*, *Tropidurus hispidus*, *Tropidurus semitaeniatus*, *Hemidactylus mabuya*, Calango do rabo vermelho, *Tropidurus semitaeniatus*, *Rhinella crucifer*, *Physalaemus sp.*, *Odontophrynus sp.*, *Leptodactylus ocellatus*, Larva lepdóptera, Borboleta., *Rhopalurus rochai*, Jataí, Arboicóla, Terrícola e Exu.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTILHOS, Z.C.; CASTRO, A.M.; RAMOS, A.S.; LIMA, C.A. e RODRIGUES, A.P.C. (2005). Avaliação de risco à saúde humana: Conceitos e metodologia. Série Estudos e Documentos – CETEM. ISSN - 0103-6319.

CCME (Canadian Council of Ministers of Environment). Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. Summary Tables, Update 6.0.2, November, 2006.

CETESB (Companhia e Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo. 2001.

CETESB (Companhia e Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) Decisão de diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005.

FARIAS, C.E.G. Mercado Nacional. Séries Estudos Econômicos Sobre Rochas, vol. 2, Fortaleza. 1995.

FRASCÁ, M.H.B.O.; CASTRO, N.F.; RIBEIRO, R.C.C.; MAGALHÃES, A.C.F. e NAVARRO, F.C. Bege Bahia: the Calcrete Known as Brazilian Travertine, Geoheritage, (2025) <https://doi.org/10.1007/s12371-024-01060-7>.

GOLDER, 2005. Guidance document for country foods surveys for the purpose of human health risk assessment. Submitted to: Health Canada. Golder Associates Ltd., Canadá, 2005.

HC (Health Canada). Federal Contaminated Site Risk Assessment in Canada. Part I: Guidance on Human Preliminary Quantitative Risk Assessment (PQRA). September, 2004.

IARC – International Agency for Cancer Research. <http://monographs.iarc.fr>. Acesso em fevereiro de 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)  
The Risk Assessment Information System (RAIS) <http://risk.lsd.ornl.gov>. Acesso em fevereiro de 2025.

LIMA, C.A. (2004). Quantificação do decréscimo do risco associado à biorremediação de solo contaminado por hidrocarbonetos de petróleo – Tese de Mestrado, Escola de Química/UFRJ, RJ.

LIMA, C.A. Avaliação de risco ambiental como ferramenta para o descomissionamento de uma indústria de metalurgia de zinco, Escola de Química, Tese de doutoramento, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2009.

RIBEIRO, R.C.C. Aproveitamento de resíduos oriundos da lavra e do beneficiamento do mármore Bege Bahia visando a geração de compósitos poliméricos, Relatório Técnico final do projeto CNPq/Processo 550185/2011-9; Edital nº 44/2010 – Chamada 2 – Tecnologias de sistemas produtivos locais do setor mineral, CETEM, 2014.

RIBEIRO, R.C.C., LIMA, C.A.; MOREIRA, T.C.R. (2015 c). Avaliação de risco à saúde humana da aplicação de resíduos gerados na lavra e beneficiamento do Mármore Bege Bahia como carga no setor polimérico, Livro Série Tecnologia Ambiental, Rio de Janeiro: CETEM, 41p.

RIBEIRO, R.C.C.; CONCEIÇÃO, M.N. (2011 b). Processo de incorporação de resíduos oriundos do beneficiamento da pedra sabão na composição do pavimento asfáltico, patente depositada PI 221112356619, INPI.

RIBEIRO, R.C.C.; OLIVEIRA, M.G. (2015 b). Processo de formação de tubetes e/ou vasos poliméricos agrícolas utilizando como carga, resíduos minerais, patente depositada BR1020150182465, INPI.

RIBEIRO, R.C.C.; OLIVEIRA, M.G.; ARRUDA, C.M.R.; CARRISSO, R.C.C e RIBEIRO, L. (2011 a). Processo de formação de compósitos poliméricos utilizando como carga resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de mármore e calcários ornamentais, Patente depositada 221109118311, INPI.

RIBEIRO, R.C.C.; OLIVEIRA, M.G.; CONCEIÇÃO, M.N. (2013). Processo de formação de papel polimérico utilizando como carga resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais, Patente depositada, BR 1020130188816, INPI.

RIBEIRO, R.C.C.; OLIVEIRA, M.G.; HENRIQUES, C.; LACERDA, G.; SANTOS, C.A.M.; HOLLANDA, F.W. (2016 b). Processo de formação de compósito de poliuretano com resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de caulim, patente depositada BR1020160300720, INPI.

RIBEIRO, R.C.C.; OLIVEIRA, M.G.; SOUZA, N. (2016 a). Processo de formação de papel Braille polimérico utilizando como carga resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais, patente depositada BR1020160082854, INPI.

RIBEIRO, R.C.C.; OLIVEIRA, M.G.; VELOSO, F. (2015 a). Processo de formação de armações de óculos utilizando resíduos de pedra sabão e polipropileno, PI221109118311, INPI.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Human Health Evaluation Manual: Part A. July 1989.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Human Health Evaluation Manual: Part E, Supplemental guidance for dermal risk assessment. Julho 2004.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC 20460. Dezembro, 2002.

USEPA – IRIS Database for Risk Assessment. <http://www.epa.gov/iris/>. Acesso em fevereiro de 2025.

VROM (Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment). Intervention values and target values: soil quality standards. The Hague. VROM, 19p. 2000.

## SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2024, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 390 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <https://www.gov.br/cetem/pt-br/assuntos/repositorio-mineralis-e-biblioteca>.

### Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-138 – **Estudo de uma porcelana que ornamenta o mosaico da fonte do Jardim das Princesas do Museu Nacional do Rio de Janeiro.** Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Manuella de Lima Ribeiro, Marcelle Lemos de Amorim Cerqueira e Rosana Elisa Coppedê Silva, 2025.

STA-137 – **Pré-viabilidade econômica da utilização dos resíduos do mármore Bege Bahia na produção de pisos geradores de energia.** Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Gilson Ezequiel Ferreira e Pedro Paulo Cardoso Lima, 2025.

STA-136 – **Avaliação de risco à saúde humana da utilização de resíduos oriundos da lavra e beneficiamento do mármore Bege Bahia na produção de pisos geradores de energia.** Cristiane Andrade de Lima, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Caroline Martins de Sousa, Manuella de Lima Ribeiro e Pedro Paulo Cardoso Lima, 2025.

## **INFORMAÇÕES GERAIS**

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ  
E-mail: [biblioteca@cetem.gov.br](mailto:biblioteca@cetem.gov.br)  
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

## **NOVAS PUBLICAÇÕES**

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



## Missão Institucional

**Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.**

## O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na cidade Universitário, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m<sup>2</sup> de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 47 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.