

NÚMERO 31

Brasília, maio de 2026

ISSN: 2448-2242

DOI: <http://doi.org/10.29396/itcprm.2026.31>

O POTENCIAL DOS BASALTOS DO TRIÂNGULO MINEIRO PARA USO NA AGRICULTURA

AUTORES

Marcelo de Souza Marinho (marcelo.marinho@sgb.gov.br)Alessandra Elisa Blaskowski (alessandra.blaskowski@sgb.gov.br)Ronaldo Souto Gonçalves (ronaldo.goncalves@sgb.gov.br)Álvaro Cesar Elias Mendes (alvaro.mendes@sgb.gov.br)

Serviço Geológico do Brasil - SGB

ABSTRACT

The use of silicate minerals emerges as a strategic alternative for tropical agriculture, aiming to reduce Brazil's external dependence on soluble fertilizers. This study presents the results of the project "Evaluation of Agromineral Potential of Brazil", focusing on the agronomic potential of waste and by-products from basalt mining in the Triângulo Mineiro mesoregion, western Minas Gerais State. The methodology involved georeferencing and integrating geology and mineral resources databases, assessing mining processes recorded by the National Mining Agency (ANM), and conducting field work with sampling at quarry faces and processing yards. Chemical (XRF and ICP-OES/MS), granulometric, and mineralogical (XRD and optical petrography) analyses were performed. The results indicate that the basaltic rocks in the area can be divided into two main chemical groups: (i) a more primitive type, rich in Ca, Mg, Ni and Cu, characteristic of Uberlândia-Araguari and Iturama-Frutal districts; and (ii) another more evolved type, enriched in K and P, observed in Ituiutaba-Centralina. Both groups stand out for their significant contents of Ca (6%) and MgO (3%), as well as Fe (105,000 ppm) and Mn (1,600 ppm) as declarable micronutrients. Although, in some cases, potassium levels may fall below the regulatory threshold for soil remineralizers ($< 1\% K_2O$), these materials can be registered within MAPA under "new product" category. Additionally, the study identified major mining residues, generally associated with breccias zones, including layers rich in zeolites (in the Frutal region), carbonates, and 2:1 clay minerals, which are suitable for agronomic application. The production assessment indicates an annual generation potential of 630,000 tons of quarry dust in the region. Incorporating this material into the agricultural market is technically and economically viable, with potential to condition between 60,000 and 210,000 hectares annually and generate up to R\$ 60 million in revenue, thereby promoting circular economy and sustainability within the state.

Keywords: Soil remineralizer. Serra Geral Group. Quarry dust. Circular economy.



Esta obra está sob a Licença Creative Commons. Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

1 – INTRODUÇÃO

O uso de insumos minerais como adubos e corretivos de solo constitui a segunda maior despesa para agricultores no Estado de Minas Gerais (13,76%), atrás apenas de gastos com sal, ração e outros complementos animais (21,4%) (IBGE, 2017a; Fortini, 2021). Em solos tropicais, os fertilizantes solúveis mostram alta suscetibilidade à lixiviação e, quando não associados a práticas de manejo adequadas, possuem baixa eficiência de aproveitamento dos nutrientes (Baligar; Bennett, 1986). Além disso, constituem um recurso natural não renovável, com elevada dependência do mercado externo (Baligar; Fageria; He, 2001; Barros *et al.*, 2016; Carvalho *et al.*, 2018). De acordo com dados da Associação Nacional para a Difusão de Adubos - ANDA (2025), em 2024, cerca de 90% de todos os insumos entregues ao mercado foram importados. Nossa dependência externa cresceu em torno de 24% entre 1998 e 2020 (Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2022), o que faz dos fertilizantes solúveis insumos altamente críticos para economia brasileira, ou seja, tem elevado potencial de afetar a segurança econômica e alimentar do país.

Como alternativa ou complemento aos fertilizantes solúveis, o uso de pó de rochas silicáticas tem sido proposto como opção no manejo de solos em condições tropicais. Diversos estudos indicaram efeitos benéficos à nutrição do solo com uso de diferentes pós de rocha. Por exemplo, cita-se o aumento de pH do solo, aumento da atividade biológica, aumento da massa e densidade de raízes, incremento da capacidade de troca catiônica através da formação de novas fases minerais (Van Straaten, 2006, 2007; Martins *et al.*, 2008; Carvalho, 2012; Carvalho *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2019; Swoboda; Döring; Hamer, 2022).

Entretanto, deve-se realizar uma inspeção criteriosa do material a ser utilizado, observando os níveis de elementos potencialmente tóxicos (e.g. Hg, As, Pb), o teor de macro e micronutrientes e a finalidade que o agricultor deseja obter. Isso torna imprescindível a identificação de unidades geológicas que apresentem características químicas e mineralógicas propícias para o uso na agricultura (*i.e.* Unidades de Interesse Agrogeológico, Blaskowski *et al.*, 2016) e constitui um ponto estratégico para a economia e a segurança alimentar do Brasil. Esses materiais podem se enquadrar no conceito de remineralizadores de solos, conforme a legislação brasileira vigente, desde que atendidos os critérios químicos, mineralógicos e granulométricos estabelecidos.

O uso de pós de rochas basálticas tem ganhado destaque mundialmente devido às suas características químicas e texturais. Quimicamente, os pós de rochas basálticas se destacam pelo alto teor de macronutrientes (Ca, Mg, P), micronutrientes (Fe, Ni, Mn e Cu) e elementos benéficos

(Si) (Lewis *et al.*, 2021; Theodoro *et al.*, 2021; Luchese *et al.*, 2023; Rodrigues *et al.*, 2024). A aplicação dessas rochas na agricultura tem sido proposta também como um mecanismo de redução de CO₂ atmosférico (Kelland *et al.*, 2020; Lewis *et al.*, 2021). Além disso, devido a sua natureza eruptiva e de resfriamento rápido, o vidro vulcânico presente nessas rochas possui taxas de intemperismo mais elevadas que rochas faneríticas (Gudbrandsson *et al.*, 2008), resultando em maior disponibilização de nutrientes. O potencial agrônomo desses materiais está associado não apenas à composição química total, mas também à mineralogia e à reatividade dos minerais constituintes, que controlam a liberação gradual de nutrientes no solo.

No estado de Minas Gerais, o basalto está restrito à mesorregião do Triângulo Mineiro e foi alvo de estudo do projeto Avaliação do Potencial Agromineral do Brasil – Área Triângulo Mineiro e Adjacências. O projeto tem como objetivos principais: (i) caracterizar química e mineralogicamente unidades geológicas de interesse agrônomo no Triângulo Mineiro e adjacências, (ii) inventariar as principais minas e pedreiras que exploram tais unidades na região e (iii) estimar as características químicas, físicas e de produção dos resíduos gerados na extração desses materiais. Este informe técnico apresenta os primeiros resultados desse projeto, com o foco específico nas rochas basálticas. Com isso, pretende-se traçar o potencial da mesorregião do Triângulo Mineiro para o aproveitamento de resíduos e subprodutos da mineração de basaltos na agricultura. A avaliação desses materiais sob a ótica do aproveitamento agrícola contribui para a redução de passivos ambientais e para a promoção de estratégias de economia circular na mineração.

2 – METODOLOGIA

2.1 – Base de Dados de Geologia e Recursos Minerais

Os dados de geologia, geoquímica e recursos minerais foram georreferenciados e tratados no *software* ArcMap 10.8.2 e QGIS 3.32.2. As principais bases de mapas geológicos foram os mapas geológicos e de recursos minerais do estado de Minas Gerais (Pinto; Silva, 2014; Silva *et al.*, 2020), a base de geologia e recursos minerais do Serviço Geológico do Brasil – SGB (2017-2026), a base geológica de escala 1:100.000 do Projeto Triângulo Mineiro/Ouro Preto (Romano; Rezende, 2017), a base de recursos minerais das folhas Riolândia, Campina Verde, Ituiutaba, Uberlândia e Uberaba do mesmo projeto (Campello; Corrêa; Ferreira, 2017; Carvalho; Nogueira; Novo, 2017; Felmer; Ferreira; Quintão, 2017; Pacheco *et al.*, 2017; Seer; Moraes, 2017) e a base de dados de Geoinformação Mineral da Agência Nacional de Mineração – ANM (2025a).

Os dados coletados do Sistema de Informação Geográfica da Mineração (Agência Nacional de Mineração, 2025b) para a mesorregião do Triângulo Mineiro foram filtrados quanto a:

- Substância: gabro, diabásio e basalto;
- Situação: concessão de lavra, licenciamento ou requerimento de concessão de lavra.

Posteriormente, a localização de cavas nos processos foi feita por meio de imagens de satélite do BaseMap do ArcGIS utilizando o *software* ArcMap 10.8.2. Além disso, foi realizada uma consulta junto à ANM da produção mineral bruta de basalto para construção civil entre os anos de 2021 a 2023 para todos os processos minerários em atividade na mesorregião. Os dados de produção mineral foram utilizados para estimar o potencial de geração de finos de britagem na área de estudo.

2.2 – Trabalho de Campo e Coleta de Amostras

O acervo de dados de geologia da região foi complementado com a execução de quatro perfis geológicos de pequena escala com coleta de amostras da rocha. O acervo de dados de recursos minerais foi consistido em campo com a visita de minas ativas e inativas. Nas minas ativas foi realizada a entrevista guiada de encarregados e/ou gestores, com coleta de informações técnicas (equipamentos de britagem e peneiramento), econômicas (produção, produtos, preços) e administrativas (fatores críticos na atividade). Nesses locais foram coletadas amostras representativas da frente de lavra e dos pós de brita no pátio de beneficiamento. A relação dos pontos visitados está apresentada no Anexo I.

Os pós de brita compreendem a fração mais fina resultante do processo de britagem, com granulometria abaixo de 4,76 mm ou 4 *mesh*. A coleta do pó de brita foi realizada em amostra composta de 10 locais diferentes da pilha de pó, totalizando uma massa entre 25-30 kg para cada amostra. Em laboratório as amostras foram homogeneizadas e quarteadas. As frações provenientes do quarteamento sucessivo foram enviadas para análises química e granulométrica por peneiramento a seco.

2.3 – Análises Químicas, Granulométricas e Mineralógicas

As análises químicas foram realizadas no laboratório SGS-GEOSOL de Vespasiano/MG. Os elementos maiores foram analisados pelo método de Fluorescência de Raios X, com abertura por fusão com tetraborato de lítio e perda ao fogo a 1000°C. Os elementos traços (n=50) foram analisados através do método de ICP-OES/ICP-MS com abertura em quatro ácidos. Os resultados dessas análises, assim como os limites de detecção para cada elemento estão apresentados no Anexo II.

O estudo granulométrico foi realizado no Laboratório de Análises Minerais (LAMIN) do Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) no município de Caeté/MG. O método foi peneiramento a seco com uso de 09 aberturas: 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,7 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, 0,063 mm.

A identificação das principais fases minerais foi feita por petrografia óptica de refração e reflexão e difratometria de raios X (DRX). As análises de DRX foram feitas no Laboratório de Análises Minerais (LAMIN) do Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), no Rio de Janeiro. Foi utilizado um difratômetro de raios X modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), da PANalytical. O equipamento possui goniômetro PW3050/60 (Theta/Theta) e com tubo ânodo de Cu ($K\alpha_1$ 1,5406 Å), modelo PW3373/00, foco fino longo, 2200W, 60kV. O detector utilizado é do tipo RTMS, Pixel/1D.

A aquisição de dados foi feita com o *software* X'Pert Data Collector, versão 2.1a, e o tratamento dos dados com o *software* X'Pert HighScore versão 3.0d, também da PANalytical. As condições de análise foram: 40 kV de voltagem, corrente de 40 mA; ângulo de varredura (2θ): 5°–70° com step size de 0,02°. A identificação dos minerais foi feita através da comparação do difratograma obtido com padrões (fichas) do banco de dados do ICDD-PDF (International Center for Diffraction Data – Powder Diffraction File). A petrografia foi utilizada para identificar a presença e o teor de minerais com potencial reativo em solos.

3 – CONTEXTO GEOLÓGICO

A mesorregião do Triângulo Mineiro está inserida na borda noroeste da Bacia do Paraná (Figura 1A), uma bacia sedimentar intracontinental de natureza polifásica. Nos estágios finais de sua evolução, durante a fragmentação do supercontinente Gondwana no Eocretáceo (135 Ma), a Bacia do Paraná foi palco de um amplo evento magmático continental (*i.e.* Província Mágmatca Paraná-Etendeka) responsável pela extrusão de mais 780.000 km³ de lavas de composição predominantemente basáltica (Piccirillo *et al.*, 1989; Marques; Ernesto, 2004). Os derrames recobriram cerca de 1.200.000 km² abrangendo os estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, além de áreas no Uruguai, Argentina, Paraguai e no sudoeste da África (Namíbia, Angola).

Estima-se que os derrames basálticos possuam espessura média de 300 m nas bordas da bacia e cerca de 1000 m em sua porção central e atingem espessura máxima de 1700 m no depocentro da bacia no estado de São Paulo (Leinz *et al.*, 1966; Marques; Ernesto, 2004). Em termos químicos, os derrames compreendem cerca de 90% de basaltos toleíticos, 7% de basaltos andesíticos e 3% de riodacitos a riolitos (Piccirillo *et al.*, 1989).

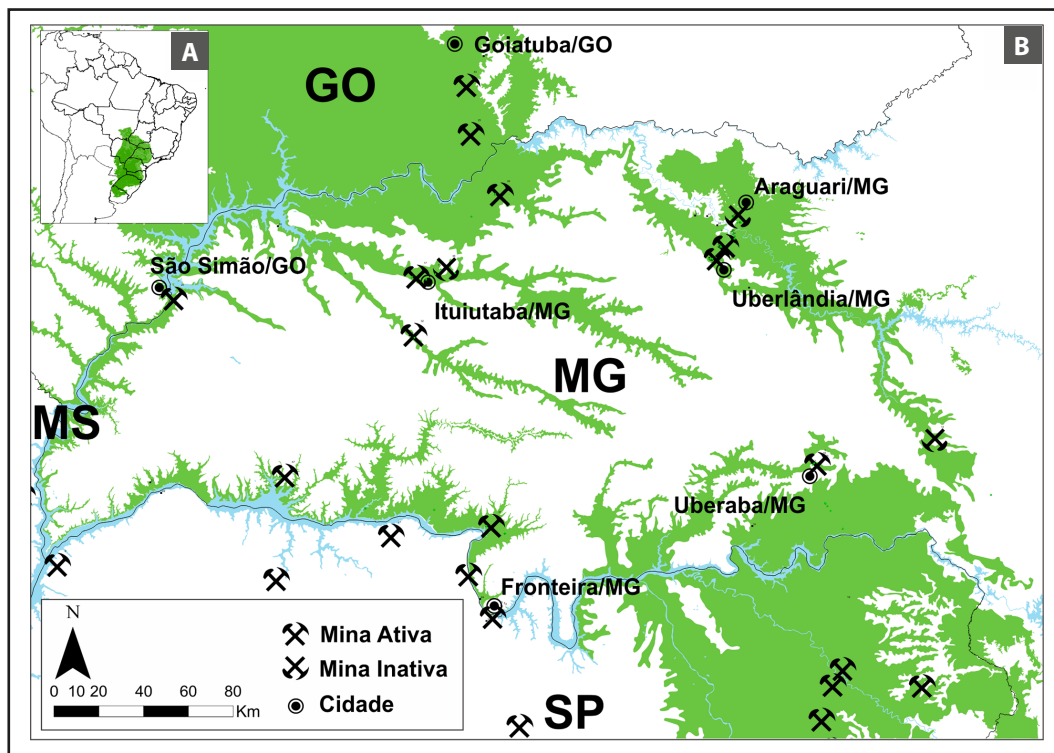


Figura 1. A – Área de ocorrência da Bacia do Paraná na América do Sul (em verde). B – Distribuição espacial dos derrames e sills basálticos da Província Magmática Paraná-Etendeka na área de estudo (em verde), com destaque para principais pedreiras ativas e inativas de basalto em Minas Gerais e estados adjacentes. Fonte: Elaborado pelos autores.

Tais rochas têm sido formalmente inseridas na antiga denominação Formação Serra Geral, recentemente formalizada em nível de grupo (Rossetti *et al.*, 2018).

No Triângulo Mineiro, o Grupo Serra Geral tem espessuras de 1000-1200 m na região do Pontal do Triângulo Mineiro, entre os municípios de Iturama/MG e Frutal/MG, e decresce sistematicamente no sentido nordeste, atingindo 200-300 m na região entre Uberlândia/MG e Uberaba/MG até a borda da bacia delimitada pelo arco do Alto Paranaíba, entre as cidades Sacramento/MG e Santa Juliana/MG (Batezelli, 2003).

O grupo sobrepõe arenitos formados em ambientes eólicos ou fluvio-lacustres da Formação Botucatu, com os quais ocorrem intercalados na base dos depósitos na porção leste do Triângulo Mineiro (Moraes; Seer, 2018a). Os derrames basálticos também ocorrem sobrepondo diretamente o embasamento, localmente representado por xistos e/ou quartzitos dos grupos Araxá e Canastra. A unidade é sobreposta na região por sedimentos do Grupo Bauru (Pinto; Silva, 2014).

A geomorfologia da Bacia do Paraná no Triângulo Mineiro constitui o prolongamento do Planalto Ocidental Paulista, marcado por um planalto dissecado com relevo plano ou com colinas suaves e o desenvolvimento de Latossolos Vermelhos distroférricos (IBGE, 2017b). As principais exposições de rocha do Grupo Serra Geral ocorrem em drenagens de ordem superior das bacias hidrográficas dos rios Paranaíba e Grande (e.g. rios Prata, Tijuco, Verde, Araguari) (Figura 1). As características estratigráficas, composicionais

e geomorfológicas do Grupo Serra Geral condicionam a ocorrência, exposição e exploração dos basaltos na região, influenciando diretamente o aproveitamento de finos de britagem.

4 - OS BASALTOS DO TRIÂNGULO MINEIRO

4.1 – ASPECTOS DE CAMPO, PETROGRAFIA E MINERALOGIA

Os derrames basálticos investigados na região do Triângulo Mineiro apresentam normalmente estruturas entabladas (indicativa de resfriamento mais rápido) ou colunar (marcada por disjunções colunares bem desenvolvidas) e exibem zonas vesiculares e/ou amigdaloidais marcando o topo dos derrames. É comum também, especialmente observado na região de Uberlândia/MG, a presença de intercalações de camadas de arenito (intertrape). Outra feição comum nos topos de derrames são as zonas de brecha. As brechas constituem um resíduo característico nas lavras de basalto, sendo comum o rebaixamento da lavra ser restringido pela sua presença. As características mineralógicas e químicas dessas zonas têm grande variabilidade e serão abordadas no item 3.3. Corpos de diabásio ocorrem na forma de sills em meio a arenitos da Formação Botucatu, conforme apontado por Seer e Moraes (2017) no município de Delta/MG, ou como parte do próprio derrame vulcânico, como identificado por esse projeto na região de Ituiutaba/MG.

É interessante notar que no corpo de diabásio de Ituiutaba/ MG a rocha é maciça e exibe um sistema de fraturamento regular com espaçamento métrico.

As rochas basálticas apresentam uma composição mineral relativamente monótona, apesar de possuírem uma grande diversidade textural. Predominam rochas hipocristalinas de granulação fina a microglomeroporfiríticas com diferentes proporções de mesóstase (Figura 2A, B). As rochas afaníticas foram identificadas em um afloramento no perfil Uberaba-Delta/MG (Figura 2B) e em uma pedreira em Centralina/MG. O corpo de diabásio de Ituiutaba/MG é holocristalino a hipocristalino com textura intersertal (Figura 2C).

A mineralogia principal é formada por plagioclásio, clinopiroxênio e, localmente, pseudomorfos de olivina substituídos por iddingsita. Os minerais acessórios são

magnetita, ilmenita e apatita. A mesóstase possui granulação fina a criptocristalina. No primeiro caso apresenta composição mineralógica similar aos microfenocristais, ao passo que em rochas ricas em material vítreo exibe aspecto esverdeado, algo amorfo, rico em minerais opacos esqueletiformes (Figura 2D).

Os minerais opacos ocorrem tanto com morfologia dendrítica a esqueletiforme, com tamanho máximo de 0,2 mm, comumente associada à mesóstase (Figura 2D, E), ou sob a forma de cristais granulares euédricos a subédricos com até 0,5 mm (Figura 2E). No diabásio de Ituiutaba, os minerais opacos apresentam cristais maiores que 1 mm, sendo comumente vistos a olho nu. As principais fases minerais opacas identificadas são magnetita, ilmenita (Figura 2F) e, subordinadamente hematita.

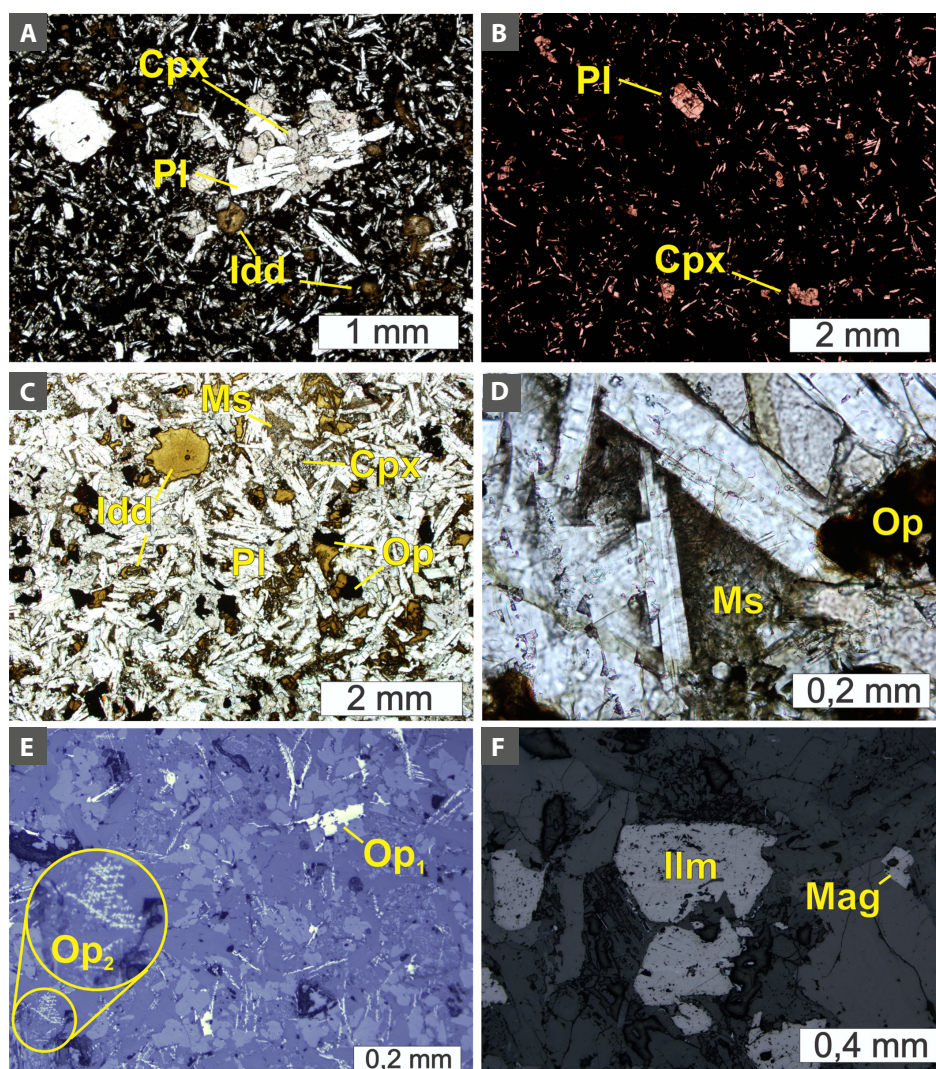


Figura 2. Fotomicrografias de rochas basálticas do Triângulo Mineiro. A: Rocha microcristalina com textura glomeroporfirítica dada pela presença de plagioclásio (Pl), clinopiroxênio (Cpx) e pseudomorfos de olivina alterados para Iddingsita (Idd) imersos em matriz composta por mesóstase e minerais opacos. Luz polarizada plana. Amostra MM-R-0001B, Ecobrix, Uberlândia/MG. B: Basaltos afaníticos com microlitos de clinopiroxênio e plagioclásio em mesóstase composta por material amorfo e opacos. Luz polarizada plana. Amostra MM-R-0018B, Uberaba/MG. C: Diabásio de granulação média composto por plagioclásio (Pl), clinopiroxênio (Cpx), iddingsita (Idd), opacos (Op) e mesóstase (Ms). Luz polarizada plana. Amostra MM-R-0025B, Pedreira INCOPOL, Ituiutaba/MG. D: Detalhe da amostra anterior com destaque para intercumulus composto por mesóstase de material amorfo e opacos aciculares. Luz polarizada plana. E: Minerais opacos (magnetita, ilmenita) em basalto microcristalino com duas morfologias distintas: granular (Op₁) e esqueletal (Op₂). Luz refletida. Amostra MM-R-0001B, Pedreira Ecobrix, Uberlândia/MG. F: Ilmenita (Ilm) com macla lamelar e cristais subédricos de magnetita (Mag) em diabásio. Luz refletida. Amostra MM-R-0025B. Fonte: Fotos tiradas pelos autores.

4.2 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA

As rochas basálticas do Triângulo Mineiro têm composição básica de natureza toleítica e são classificadas quimicamente pelo diagrama TAS (Le Bas *et al.*, 1986) como basaltos, com apenas duas amostras posicionadas fora desse campo (Figura 3).

A correlação entre os principais óxidos está apresentada na matriz de correlação linear de Pearson (Tabela 1). A análise da matriz destaca a forte correlação positiva entre CaO e MgO (0.87), e uma correlação moderada desses elementos com Al_2O_3 (0.52 e 0.36, respectivamente). Essa relação entre CaO e MgO aponta para o fracionamento de minerais ferromagnesianos, como clinopiroxênio (ex.: $(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al)_2O_6$). Já a correlação entre Al_2O_3 e CaO aponta para a presença dos plagioclásios (ex.: $(Ca,Na)(Al,Si)_4O_8$). O P_2O_5 , por sua vez, possui relação inversa com CaO, Al_2O_3 e MgO, e correlação positiva com TiO_2 (0.7), Fe_2O_3 (0.38), Na_2O (0.59) e K_2O (0.53), o que sugere a concentração desses elementos em fases tardias da cristalização.

A análise dessas correlações, combinada com a distribuição dos macronutrientes (Ca, Mg, K e P) nas diferentes regiões produtoras de basalto (Figura 4), permite inferir a presença de dois tipos de rochas basálticas na área:

1. Rochas mais primitivas: caracterizadas por teores mais elevados de Ca e Mg e mais baixos de K e P. Esse é o padrão observado em Uberlândia-Araguari e Iturama-Frutal.

2. Rochas mais evoluídas: com teores mais elevados de K e P e mais baixos de Ca e Mg. Esse é o comportamento verificado nos basaltos e diabásios do distrito de Ituiutaba-Centralina.

O distrito mineral de Uberaba-Delta apresenta comportamento composicional transicional entre os dois grupos. Esses resultados são consistentes com os dados observados por Moraes e Seer (2018b) para os grupos de basaltos da região de Sacramento e Uberlândia.

Os micronutrientes ferro (Fe) e manganês (Mn) apresentam uma correlação positiva moderada. Todos os distritos minerais têm teores declaráveis em rótulo para esses micronutrientes (>0,1%) conforme ANEXO II da Instrução Normativa nº 05 (Brasil, 2016a), o que pode agregar valor ao produto (Tabela 2). Aqueles distritos de rochas mais primitivas mostram teores de níquel (Ni) declaráveis pelo normativo supracitado e concentrações mais elevadas de cobre (Cu) (Tabela 2). É o caso de pedreiras e afloramentos dos distritos de Uberlândia-Araguari, Uberaba-Delta e Iturama-Frutal (Tabela 2). O zinco (Zn) apresenta um teor médio de 120 ppm, o cobalto (Co) 39 ppm e o molibdênio (Mo) é de 1.1 ppm.

Com base na análise petrográfica (item 4.1), os basaltos apresentam baixa percentagem de sílica de baixa reatividade (quartzo, sílica microcristalina). Grande parte do silício (Si) está incorporado em silicatos da estrutura cristalina de minerais como piroxênio, olivina, plagioclásio, argilominerais e na mesóstase (*i.e.* alteração do vidro vulcânico), indicando uma fonte solúvel também declarável no rótulo do produto.

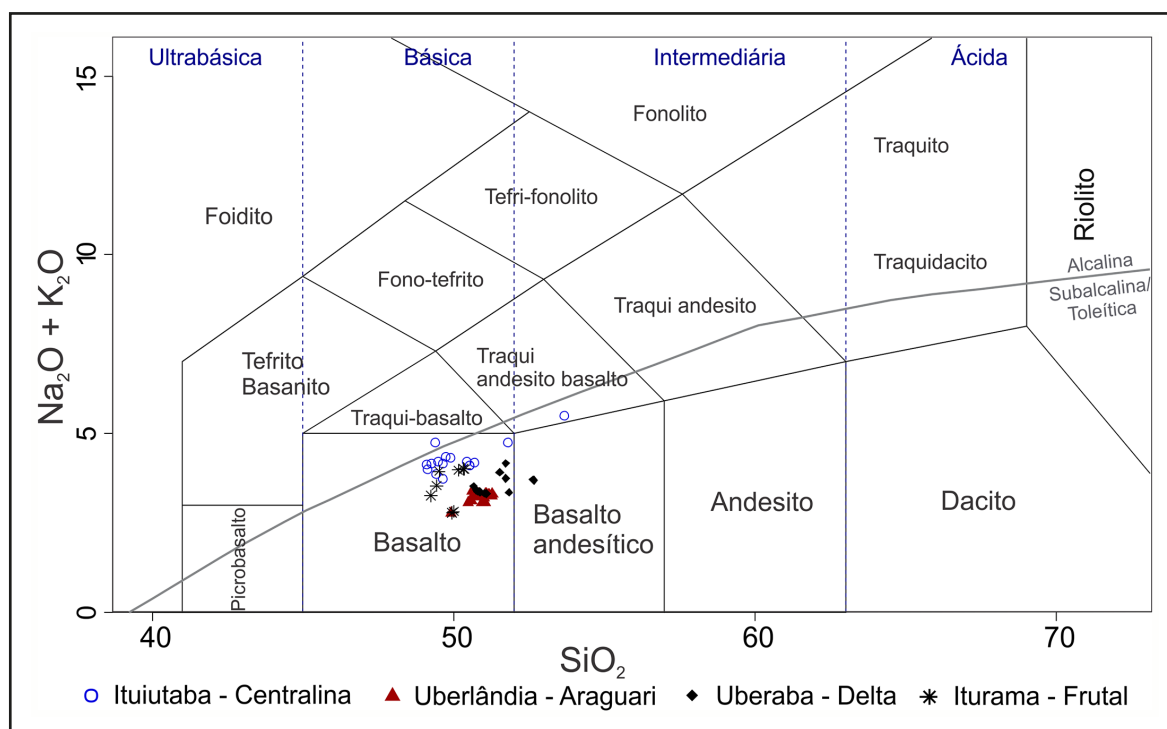


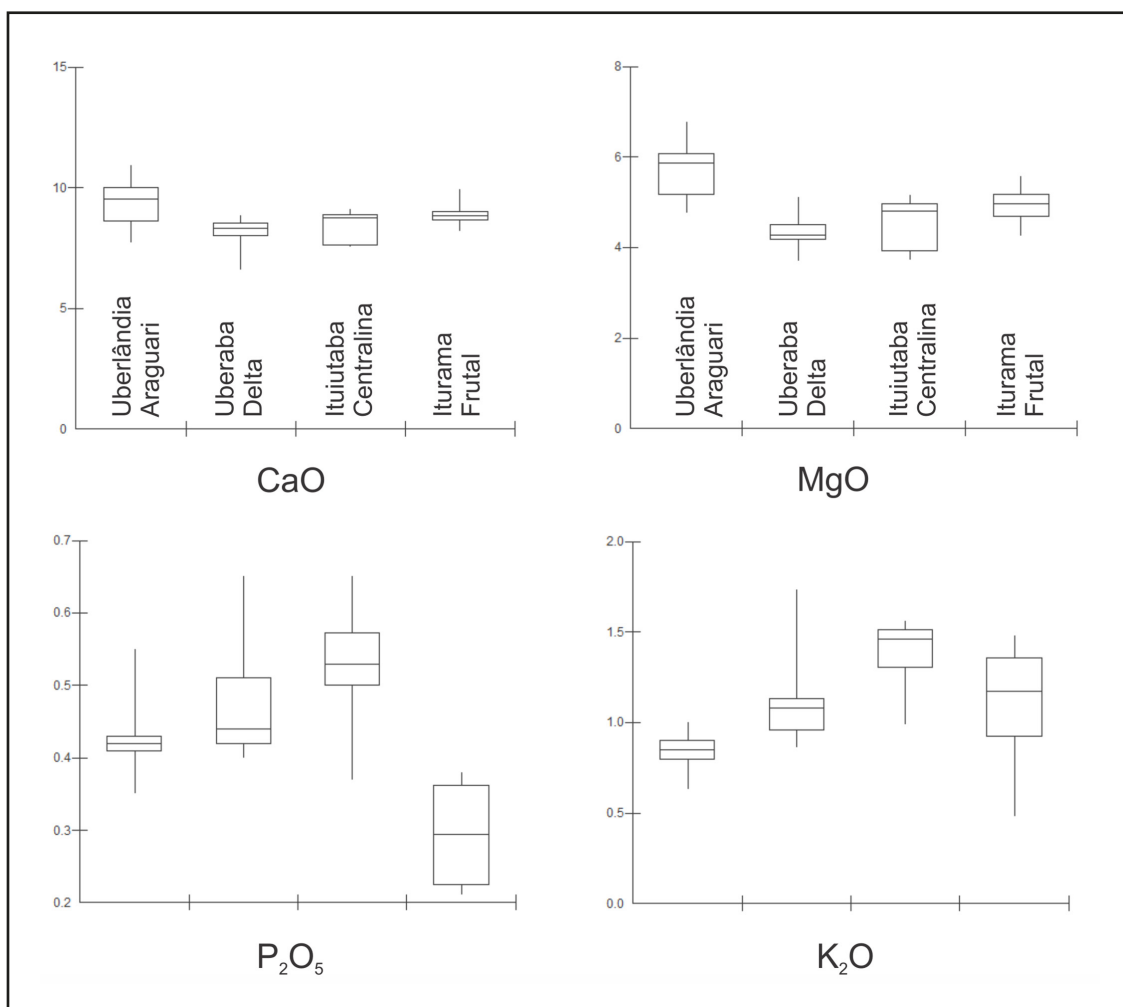
Figura 3. Classificação química por álcalis total versus sílica (TAS, modificado de Le Bas *et al.*, 1986) das rochas basálticas do Triângulo Mineiro com a indicação dos principais distritos minerais.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 1. Matriz de correlação de Pearson para elementos maiores de rochas basálticas do Triângulo Mineiro.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	TiO ₂	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	MnO
SiO ₂	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	0.30	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	-0.42	-0.68	1.00	-	-	-	-	-	-	-
CaO	-0.17	0.52	-0.50	1.00	-	-	-	-	-	-
MgO	-0.30	0.36	-0.32	0.87	1.00	-	-	-	-	-
TiO ₂	-0.10	-0.64	0.66	-0.60	-0.65	1.00	-	-	-	-
P ₂ O ₅	0.27	-0.40	0.38	-0.81	-0.90	0.70	1.00	-	-	-
Na ₂ O	0.10	-0.10	0.03	-0.44	-0.57	0.14	0.59	1.00	-	-
K ₂ O	-0.06	-0.24	0.21	-0.58	-0.50	0.25	0.53	0.63	1.00	-
MnO	-0.38	-0.38	0.48	-0.17	0.00	0.05	0.07	0.23	0.18	1.00

Fonte: Elaborado pelos autores.

**Figura 4.** Distribuição dos principais macroelementos (CaO, MgO, K₂O e P₂O₅) das rochas basálticas do Triângulo Mineiro separados por distritos minerais.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2. Valores médios para micronutrientes e elementos benéficos distribuídos pelos polos industriais de basalto no Triângulo Mineiro.

Pólo Industrial	Micronutrientes e Elementos Benéficos (%)							
	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Co	V	Si
Uberlândia-Araguari	10.4	0.15	0.018	0.012	0.006	0.004	0.047	23.7
Uberaba-Delta	10.4	0.16	0.015	0.013	0.004	0.004	0.044	23.9
Ituiutaba-Centralina	10.7	0.17	0.012	0.012	0.002	0.004	0.044	23.3
Iturama-Frutal	10.4	0.18	0.022	0.011	0.005	0.004	0.049	23.2

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.3 – RESÍDUOS DA PRODUÇÃO MINERAL

Os principais resíduos gerados pela produção de basalto na região constituem predominantemente o material estéril gerado no avanço da cava da pedreira. Parte desses materiais pode apresentar potencial de adequação como coproduto ou subproduto, a depender do seu reaproveitamento. Este material é composto por:

- zonas vesiculares, amigdaloidais, venulares e brechas;
- camadas de arenitos intercaladas no basalto;
- saprólito, oriundo de decapeamento;
- solo, oriundo de decapeamento;

As zonas vesiculares, amigdaloidais, venulares e brechas constituem feições típicas dos derrames de basaltos do Grupo Serra Geral, muitas vezes contribuindo para a delimitação dos diferentes derrames de lava (Leinz *et al.*, 1966; Rossetti, 2014). Tais feições são deletérias para a produção de agregados para construção civil em função da presença de argilominerais expansivos (argilas 2:1) e carbonatos, que contribuem para reação álcalis-agregado e álcali-carbonato. Entretanto, sob o ponto de vista do uso agrícola tais materiais podem apresentar potencial de utilização.

As zonas de brechas e níveis amigdaloidais e/ou vesiculares apresentam grande variabilidade mineralógica, química e textural entre as diferentes localidades. Foram observadas vesículas, amígdalas, geodos de dimensão milimétrica e decimétrica (Figura 5). Os principais preenchimentos são de sílica (Figuras 5A, B e C), calcita (Figuras 5D), argilominerais (celadonita, Figura 5A, C e D) e zeólitas (Figura 5E e F). Na maior parte das exposições as brechas são do tipo suportada por fragmentos, com feições *crackle* ou *jigsaw* (Figura 5A). Em Frutal/MG observou-se a formação de bolsões de zonas de brechas, por vezes associados com zonas apicais de confluência de disjunções colunares.

Os minerais de sílica têm ampla distribuição como cimento de brechas e preenchimento de amígdalas e revestimento de vesículas (Figuras 5A, B e C).

É comum a ocorrência de sílica amorfa (opala), sílica microcristalina (calcedônia, cristobalita) e quartzo. Em duas lavras na região de Uberlândia e Uberaba foram descritas drusas centimétricas a decimétricas de quartzo e/ou calcedônia, por vezes associado a níveis de arenito intertrapeados (Figura 5B). De maneira geral, a presença dominante desses minerais é negativa para o uso agrícola e também para a produção de agregados.

A celadonita $[K(Mg,Fe^{2+})(Fe^{3+})(Si_4O_{10})(OH)_2]$ é o principal argilomineral encontrado em amígdalas e zonas de brecha, ou mesmo disseminada pela matriz da rocha. Está comumente associada a minerais de sílica (Figura 5C) ou mesmo calcita (Figura 5D). Sua presença em brechas e vesículas eleva o teor de K_2O em relação aos basaltos na ordem de 1-2%. O mineral é um filossilicato 2:1 do tipo dioctaedral, com estrutura similar a muscovita. Não foram encontrados parâmetros de dissolução do mineral ou mesmo experimentos agrícolas para averiguar seu comportamento. Entretanto, Reid *et al.* (1988) apresentam evidências que o processo intempérico registrado em solos do deserto de Mojave (Califórnia, EUA) foi capaz de disponibilizar o K^+ intracamada da celadonita e transformá-la em argila expansiva tipo esmectita.

Os principais carbonatos identificados foram a calcita e, através da difração de raios X, a ankerita. Foram identificadas tanto zonas de brecha com cimento carbonático, como na Pedreira Beira Rio em Uberaba/MG, quanto no preenchimento de vesículas, amígdalas e comumente vênulas calcíticas (Figura 5D), especialmente no perfil Iturama - Frutal.

Na região de Frutal/MG foram identificadas zonas de amígdalas, vesículas e brechas hidrotermais parcialmente preenchidas com zeólitas (Figura 5E, 5F). As zeólitas também foram observadas em afloramentos ao longo da BR-255, às margens do Rio Grande, entre as cidades de São Francisco de Sales/MG e Itapagipe/MG (Figura 1). A presença de zeólitas é especialmente relevante devido à sua elevada capacidade de troca catiônica e retenção de nutrientes.

Na Prainha Mineração (Frutal/MG), a difração de raios X indicou a presença de mordenita $[(Ca, Na, K)_2Al_2Si_{10}O_{24} \cdot 7H_2O]$ e clinoptilolita $[(Ca, Na, K, Mg)_2Al_3Si_{15}O_{36} \cdot 12H_2O]$ associada a quartzo em amígdalas e geodos (Figura 5E) e analcima $(NaAlSi_2O_6 \cdot H_2O)$ preenchendo zonas de amígdalas associadas a brechas. Na Mineração do Bosque, o capeamento saprolítico do depósito é composto por uma zona de brecha associada a zona de amígdalas (Figura 5F). Nesse local, a zeólita laumontita $(CaAl_2Si_4O_{12} \cdot 4H_2O)$ ocorre associada a maghemita titanífera, ankerita, hematita, plagioclásio e anfibólios.

O decapeamento do maciço rochoso varia de poucos centímetros até mais de 20 m de espessura. A natureza do decapeamento também é heterogênea, dependente dos volumes de solo e saprólito e principalmente do aspecto da

rocha de origem. Nesse caso, é possível observar regiões saprolíticas desenvolvidas a partir de basaltos maciços, zonas vesiculares, de amígdalas ou de brechas (Figura 5F).

Os materiais saprolíticos são geralmente empobrecidos em relação a rocha original no que tange a soma de bases ($SBSS = Ca \text{ (mmolc dm}^{-3}) + Mg \text{ (mmolc dm}^{-3}) + K \text{ (mmolc dm}^{-3}) + Na \text{ (mmolc dm}^{-3}) + P$ (Silva, 2024). Apesar disso, a depender do grau de intemperismo do saprólito, os teores de nutrientes podem ser satisfatórios para melhoria de índices de qualidade do solo. Além disso, a presença de minerais silicáticos primários, argilas 2:1 (esmectita, celadonita) e zeólitas também podem contribuir para o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) e teor de argila. Isso é especialmente válido para solos arenosos, comuns no Grupo Bauru e na Formação Botucatu.

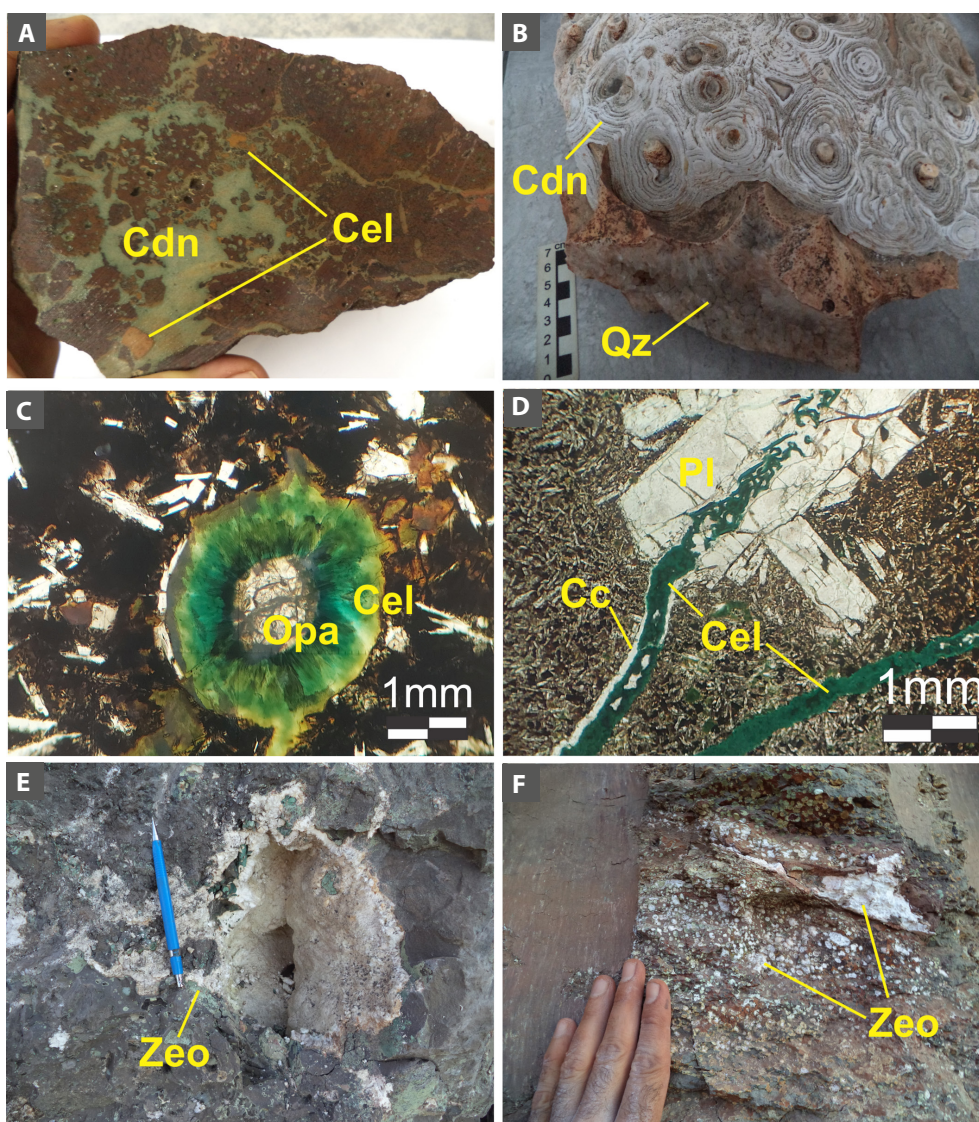


Figura 5. Aspecto de brechas e amígdalas dos basaltos do Triângulo Mineiro. A – Brecha de topo de derrame, composta por calcedônia (Cdn) e celadonita (Cel). Pedreira Ecobrix, Uberlândia/MG. B – Drusa de quartzo (Qz) com envoltória de calcedônia (Cdn), Pedreira Três Irmãos, cava 2, Uberlândia/MG. C – Fotomicrografia de amígdala em basalto preenchida por celadonita (Cel) variolítica e núcleo de opala (Opa). Corte de estrada, Delta/MG. D – Fotomicrografia de zona de venulação em basalto, com destaque para vênula preenchida por celadonita (Cel) e calcita (Cc). Pedreira COPARI, Uberaba/MG. E – Geodo parcialmente preenchido por zeólitas (Zeo) em bloco de estéril, Mineração Prainha, Frutal/MG. F – Zona vesicular em saprólito de basalto em área de decapeamento, com amígdalas preenchidas por zeólitas (Zeo). Mineração do Bosque, Frutal/MG. Fonte: Fotos tiradas pelos autores.

4.4 – INDÚSTRIA MINERAL

O levantamento realizado no SIGMINE em 2022 (Agência Nacional de Mineração, 2025b) indicou cento e sessenta (160) processos minerários para as substâncias basalto e diabásio. Destes, nove (9) correspondem a áreas em disponibilidade, nove (9) são requerimentos de pesquisa, vinte e quatro (24) são requerimentos de licenciamento, cinquenta e sete (57) são autorizações de pesquisa, doze (12) são requerimentos de lavra ou direito a requerer lavra, vinte e nove (29) são de licenciamentos, dezoito (18) são de concessões de lavra e apenas um (1) registro de extração. As concessões e os licenciamentos são majoritariamente destinados a produção de agregado, embora existam três registros para uso de basalto como pedra de talhe e revestimento. Esses dados evidenciam a forte concentração da atividade minerária voltada à produção de agregados na região.

A checagem da existência de pedreiras para produção de agregados, realizada por análise de imagens de satélite e trabalho de campo, mostrou que dos 47 processos de autorização, têm-se apenas 14 unidades de beneficiamento em produção e 4 unidades inativas (Figura 1).

A produção de agregados ocorre durante todo o ano, embora seja comum sua diminuição, ou mesmo paralisação, durante os períodos de final de ano e aqueles chuvosos. A produção bruta de basalto, conforme dados da ANM, mostra um valor médio de produção de basalto no Triângulo Mineiro na ordem de dois milhões de toneladas (Tabela 3). O município de Uberaba/MG se destaca com

47% da produção da mesorregião, seguido por Uberlândia/MG (37%) e Araguari/MG (11%). Ituiutaba/MG e Campina Verde/MG respondem por 4% e 2% da produção para o período analisado, respectivamente. É importante ressaltar que algumas pedreiras ativas visitadas em campo não foram contabilizadas nos dados de produção da ANM, visto que não estavam em atividade durante o período 2021-23. Nesse caso, a produção estimada foi feita com base nos dados fornecidos em entrevista.

Na região do Triângulo Mineiro, o pó de brita é majoritariamente utilizado para indústria da construção civil, notoriamente para o uso na pavimentação de rodovias. Apenas duas empresas já possuíam registro para comercialização do produto como remineralizador junto ao MAPA (Ecobrix, Uberlândia/MG e INCOPOL, Ituiutaba/MG) e outras duas empresas já estavam obtendo informações e análises para avaliar o registro. Nesse sentido, destaca-se o papel pioneiro da Prefeitura Municipal de Uberlândia no incentivo à pesquisa, incentivo e ampliação da divulgação sobre o uso do pó de basalto na agricultura (Uberlândia, 2025).

De acordo com as entrevistas realizadas com gestores ou responsáveis pela operação nas minas, a produção de finos varia entre 15% e 30% da produção bruta da pedreira, podendo chegar a 40% em unidades adaptadas para produção de finos. A distribuição granulométrica obtida através do peneiramento a seco do pó de rocha está apresentada na figura 6. As amostras indicadas em roxo são provenientes de empresas com adaptações de maquinário para aumento na produção de finos

Tabela 3. Dados de produção bruta anual de basalto para o Triângulo Mineiro obtidos na Agência Nacional de Mineração (ANM).

Produção Bruta de Basalto (tonelada)				
Município	2021	2022	2023	Produção Média Anual
Araguari/MG	209,886.73	179,802.89	150,807.00	180,165.54
	34,223.12	36,989.92	18,139.28	29,784.11
Campina Verde/MG	43,528.46	80,048.89	10,885.57	44,820.97
Frutal/MG*	-	-	-	105,600.00
Ituiutaba/MG	81,577.81	77,800.00	86,111.11	81,829.64
Uberaba/MG	130,550.88	-249,494.17	207,528.39	195,857.81
	605,488.00	759,726.00	769,426.65	711,546.88
Uberlândia/MG	17,419.00	22,644.70	28,758.75	22,940.82
	106,375.19	133,772.40	72,221.46	104,123.02
	64,374.50	76,185.79	75,969.23	72,176.51
	494,461.10	490,015.54	593,503.02	525,993.22
				2,074,838.51 toneladas

(*) Estimativa baseada em entrevista. Fonte: Elaborado pelos autores.

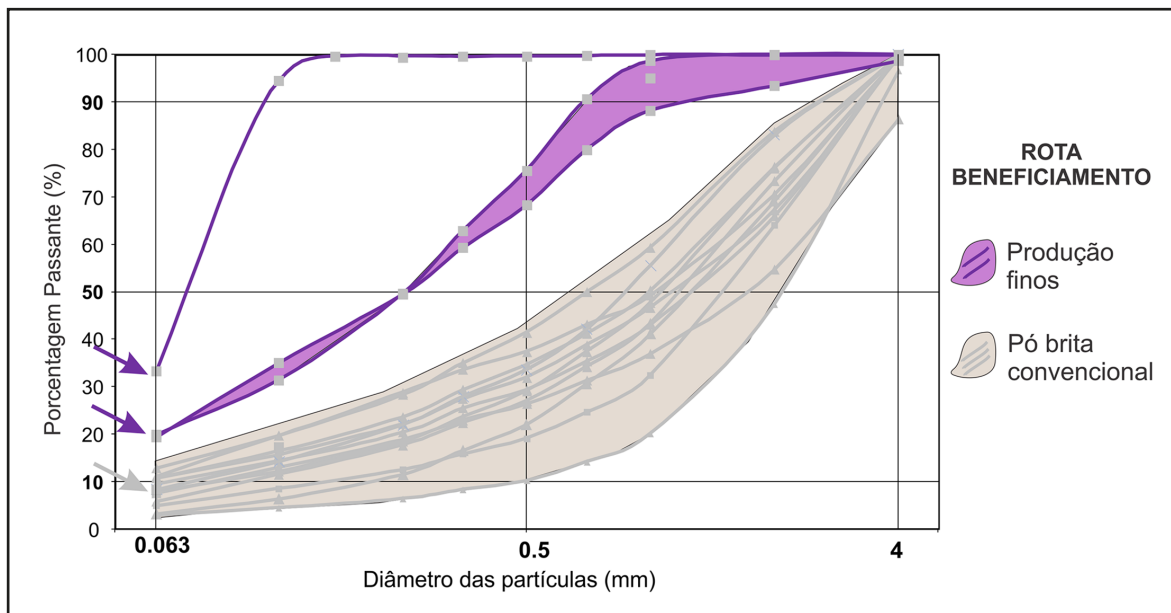


Figura 6. Curva logarítmica de distribuição granulométrica dos produtos de pó de brita comum (cinza) e filler comercializado como remineralizador (roxo). Setas indicam os valores de porcentagem de silte-argila (<0,063 mm). Fonte: Elaborado pelos autores.

e aquelas em cinza são provenientes da rota de beneficiamento convencional para produção da brita e do pó de brita (<4,7 mm).

Na rota convencional, o pó de rocha desenvolve uma curva de distribuição com forma côncava, apresentando em média 20% dos grãos com diâmetro inferior a areia fina (<0,25 mm; 06-28%) e 7% abaixo de silte-argila (<0,063 mm; 3-12%). O conteúdo médio de grãos passantes em 1 mm é de 44% (20-59%), enquanto que para 2 mm é de 69% (47-83%).

Na rota de beneficiamento para produção de finos destacam-se duas curvas com padrões distintos. Uma de *filler* (ABNT nº50), com 99% das partículas abaixo de 0,3 mm, outras duas de pó de brita (ABNT nº 50), com mais de 54% das partículas passantes em 0,3 mm. Os britadores utilizados para produção de pó de brita foram de eixo vertical (VSI) e para o *filler*, rolo de alta pressão (HPGR). A rota de produção de finos apresentou duas a quatro vezes mais partículas da granulometria silte-argila do que a produção convencional (Figura 6, vide setas), o que contribui de sobremaneira para dissolução mineral e liberação de nutrientes. Nesse contexto, a principal vantagem da adoção de rotas de beneficiamento voltadas à produção de finos está associada à maior viabilidade técnica de adequação da lavra e do beneficiamento para obtenção de materiais já enquadrados, ou próximos do enquadramento, na categoria “pó” de remineralizadores, conforme a Instrução Normativa MAPA nº 05/2016 (Brasil, 2016a).

Considerando as unidades que utilizam a rota convencional e não possuem cadastro no MAPA, tem-se uma produção estimada de 370 mil toneladas de pó de brita produzido por ano, das quais 260 mil toneladas estão

na granulometria abaixo de 2 mm. Ao considerarmos as empresas com cadastro no MAPA, esse número sobe para 630 mil toneladas de pó de brita, dos quais 470 mil toneladas estão em granulometria abaixo de 2 mm. Estimando um valor médio de venda de R\$ 120,00/tonelada do remineralizador, a inserção desse pó de brita no mercado agrícola geraria uma receita de R\$ 60 milhões, um aumento médio de 50% em relação ao valor comercializado praticado para a construção civil. Esses valores indicam elevado potencial de agregação de valor à cadeia produtiva da mineração.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

As **rochas basálticas** do Triângulo Mineiro, pertencentes à Província Magmática Paraná-Etendeka, têm natureza toleítica e são quimicamente classificadas essencialmente como basaltos. Predominam rochas com textura microcristalina, enquanto texturas afaníticas/vítreas e faneríticas de granulação média ocorrem de forma subordinada. A última está associada a corpos de diabásio.

• Composição Química e Potencial Agrícola

Em termos químicos podem ser divididas em dois grupos principais:

Basaltos mais primitivos: com teores relativamente mais elevados de cálcio (Ca), magnésio (Mg), níquel (Ni) e cobre (Cu). As amostras do polo de Uberlândia-Araguari e Iturama-Frutal possuem afinidades com este grupo.

Basaltos mais evoluídos: com teores ligeiramente mais elevados de potássio (K) e fósforo (P).

O polo de Ituiutaba-Centralina pertence a esse grupo. As amostras de Uberaba-Delta apresentaram um comportamento transicional entre os dois grupos.

Em termos de macronutrientes, as rochas basálticas se destacam pelo alto teor de cálcio e magnésio, 6% e 3%, respectivamente. Quanto aos micronutrientes e elementos benéficos, tem-se manganês (1600 ppm) e ferro (105.000 ppm), ambos são passíveis de declaração no rótulo conforme a IN 05/2016. O níquel ocorre em níveis satisfatórios em todos os distritos minerais, exceto em Ituiutaba-Centralina. Ocorrem também zinco (120 ppm), cobalto (40 ppm) e vanádio (450 ppm). O potássio, por sua vez, pode apresentar teores insuficientes para ser classificado como remineralizador pela mesma norma (<1%). Entretanto, tais produtos podem ser cadastrados no MAPA como produto novo com base na IN 6/2016 (Brasil, 2016b), mantendo uma qualidade agronômica similar aos remineralizadores já cadastrados.

• Resíduos e Indústria Mineral

As zonas de brecha e vesiculares geram grandes volumes de estéril nas operações de lavra. Embora o reaproveitamento desse material seja inviável economicamente para as pedreiras por exigir uma nova rota de beneficiamento, a presença de argilas 2:1, carbonatos e zeólitas incentivam pesquisas sobre sua eficiência agronômica e outras aplicações industriais. Sugere-se conduzir investigações também para os horizontes saprolíticos, tanto de zonas de brechas e amigdalas quanto da porção central dos derrames.

As unidades industriais em produção possuem uma boa distribuição pelo Triângulo Mineiro. A produção média anual de finos é estimada em 630 mil toneladas, com destaque para o polo industrial de Uberlândia-Araguari (350 mil toneladas) e o polo Uberaba-Delta (250 mil toneladas). Os distritos de Ituiutaba-Centralina e Iturama-Frutal apresentam uma produção estimada em 22 e 30 mil toneladas, respectivamente. As novas unidades em produção nesses distritos ainda não foram contabilizadas. A disponibilidade de finos em volumes significativos reforça a viabilidade técnica de adequação da produção mineral às exigências normativas para uso agrícola.

• Mercado e Incentivos Financeiros

A venda do pó de brita para condicionamento mineral do solo pode aumentar em até 50% o valor comercial do produto, movimentando até R\$ 60 milhões. Considerando-se um uso médio de 3 a 10 toneladas por hectare para essa finalidade, a produção de basalto do Triângulo Mineiro é capaz de condicionar entre 60 e 210 mil hectares anualmente.

Os agricultores de Minas Gerais podem contar com LabAgroMinas, um programa do Banco de Desenvolvimento

de Minas Gerais - BDMG ([2023]). O programa oferece incentivos para a transição de práticas agrícolas convencionais para regenerativas e permitem financiamento para aquisição de remineralizadores e fertilizantes naturais de base mineral.

É importante destacar que a adoção de práticas agroecológicas, ao favorecer a preservação da vida no solo, não apenas potencializa os efeitos do pó de rocha, como também promove múltiplos benefícios à fertilidade do solo, à conservação da água e ao desenvolvimento sustentável das culturas. Essas estratégias contribuem para a integração entre mineração, agricultura e políticas públicas voltadas à sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **GeoANM – Geoinformação mineral**. Brasília: ANM, 2025a. Disponível em: <https://geo.anm.gov.br/portal/home/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **SIGMINE Portal**. Brasília: ANM, 2025b. Disponível em: <https://sigmine.dnpm.gov.br>. Acesso em: 15 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Pesquisa setorial: dados 2022. São Paulo: ANDA, 2022. Disponível em: <https://anda.org.br/recursos/#pesquisa-setorial>. Acesso em: 15 mar. 2022.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Pesquisa setorial: dados 2025. São Paulo: ANDA, 2025. Disponível em: <https://anda.org.br/recursos/#pesquisa-setorial>. Acesso em: 17 jul. 2025.

BALIGAR, V. C.; BENNETT, O. L. NPK-fertilizer efficiency: a situation analysis for the tropics. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 10, n. 2, p. 147-164, 1986.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 7-8, p. 921-950, 2001.

BANCO DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS. **LabAgroMinas**: programa de incentivo à agricultura regenerativa e ao uso de insumos minerais. Brasília: BDMG, [2023]. Disponível em: <https://www.bdmg.mg.gov.br/labagrominas/>. Acesso em: 25 jul. 2025.

BARROS, I.; MARTINS, C. R.; RODRIGUES, G. S.; TEODORO, A. V. **Intensificação ecológica da agricultura**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 31 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1052888/1/Doc208.pdf>. Acesso em: 14 set. 2024.

BATEZELLI, A. **Análise da sedimentação cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes**. 2003. 183 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociên-

cias e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2003.

BLASKOWSKI, A. E.; BERGMANN, M.; CAVALCANTE, O. A. **Projeto agrominerais da região de Irecê - Jaguarari**: estado da Bahia. Salvador: CPRM, 2016. (Informe de Recursos Minerais. Série insumos minerais para agricultura; 19). Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17699>. Acesso em: 15 ago. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 5, de 10 de março de 2016**. Brasília, DF: MAPA, 2016a. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf>. Acesso em: 18 maio 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 6, de 10 de março de 2016. Diário Oficial da União**, edição 49, seção 1, p. 11, 14 mar. 2016.

CAMPELLO, M. S.; CORRÊA, T. R.; FERREIRA, V. G. **Folha Riolândia SE.22-Z-C-VI**: escala 1:100.000. Belo Horizonte: CODEMIG; UFMG, 2017. Projeto Triângulo Mineiro.

CARVALHO, A. M. X. **Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico**. 2012. 107 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

CARVALHO, A. M. X.; CARDOSO, I. M.; SOUZA, M. E. P.; THEODORO, S. H. Rochagem: o que se sabe sobre essa técnica? In: CARDOSO, I. M.; FÁVERO, C. (ed.). **Solos e agroecologia**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 101-128. (Coleção transição agroecológica; 4). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1118893>. Acesso em: 4 out. 2025.

CARVALHO, R. P.; NOGUEIRA, V.; NOVO, T. A. **Folha Campina Verde SE.22-Z-D-IV**: escala 1:100.000. Belo Horizonte: CODEMIG; UFMG, 2017. Projeto Triângulo Mineiro.

ROMANO, A. W.; REZENDE, L. F. S. **Folha Ouro Preto SF.23-X-A-III**: escala 1:100.000. [Belo Horizonte]: CODEMIG; UFMG, 2017. Escala 1:100.000. Projeto Triângulo Mineiro.

FELMER, M.; FERREIRA, V. G.; QUINTÃO, D. A. **Folha Ituiutaba - Itumbiara SE.22-Z-B-IV – SE.22-Z-B-I**: escala 1:100.000. Belo Horizonte: CODEMIG; UFMG, 2017. Projeto Triângulo Mineiro.

FORTINI, R. M. **Um novo retrato da agricultura familiar do estado de Minas Gerais**: a partir dos dados do censo agropecuário 2017. Viçosa, MG: IPPDS; UFV, 2021. Disponível em: <https://bibliotecasemiariados.ufv.br/handle/123456789/421>. Acesso em: 30 ago. 2025.

GUDBRANDSSON, S.; WOLFF-BOENISCH, D.; GÍSLASON, S. R.;

OELKERS, E. H. Dissolution rates of crystalline basalt at pH 4 and 10 and 25-75°C. **Mineralogical Magazine**, Cambridge, v. 72, n. 1, p. 155-158, 2008.

IBGE. **Censo agro 2017**: resultados definitivos. [Rio de Janeiro]: IBGE, 2017a. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-2017.html>. Acesso em: 28 set. 2022.

IBGE. **GeoFTP. Downloads**: geociências: informações ambientais: pedologia: vetores: escala 250 mil: versão 2017: recorte milionésimo. Rio de Janeiro: IBGE, 2017b. Escala 1:250.000. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/versao_2017/recorte_milionesimo/. Acesso em: 15 ago. 2025.

KELLAND, M. E.; WADE, P. W.; LEWIS, A. L.; TAYLOR, L. L.; SARKAR, B.; ANDREWS, M. G.; LOMAS, M. R.; COTTON, T. E. A.; KEMP, S. J.; JAMES, R. H.; PEARCE, C. R.; HARTLEY, S. E.; HODSON, M. E.; LEAKE, J. R.; BANWART, S. A.; BEERLING, D. J. Increased yield and CO₂ sequestration potential with the C4 cereal Sorghum bicolor cultivated in basaltic rock dust-amended agricultural soil. **Global Change Biology**, Oxford, v. 26, n. 6, p. 3658-3676, 2020.

LE BAS, M. J.; LE MAITRE, R. W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. **Journal of Petrology**, Oxford, v. 27, n. 3, p. 745-750, 1986.

LEINZ, V.; BARTORELLI, A.; SADOWSKI, G. R.; ISOTTA, C. A. L. Sobre o comportamento espacial do trapp basáltico da Bacia do Paraná. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 79-91, 1966.

LEWIS, A. L.; SARKAR, B.; WADE, P.; KEMP, S. J.; HODSON, M. E.; TAYLOR, L. L.; YEONG, K. L.; DAVIES, K.; NELSON, P. N.; BIRD, M. I.; KANTOLA, I. B.; MASTERS, M. D.; DELUCIA, E.; LEAKE, J. R.; BANWART, S. A.; BEERLING, D. J. Effects of mineralogy, chemistry and physical properties of basalts on carbon capture potential and plant-nutrient element release via enhanced weathering. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 132, 105023, 2021.

LUCHESI, A. V.; LEITE, I. J. G. C.; ALVES, M. L.; VIECELI, J. P. S.; PIVETTA, L. A.; MISSIO, R. F. Can basalt rock powder be used as an alternative nutrient source for soybeans and corn? **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 23, n. 3, p. 4044-4054, 2023.

MARQUES, L. S.; ERNESTO, M. O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D.; BRITO-NEVES, B. B. (coord.). **Geologia do continente sul-americano**: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 245-263. Disponível em: <http://sbg.sitepessoal.com/livrosadobados/geologiaSul.pdf>. Acesso em: 18 maio 2026.

MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, M. S. F. Agrominerais - rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A.

- F. (ed.). **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. p. 205-221. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/522>. Acesso em: 15 ago. 2025.
- MORAES, L. C.; SEER, H. J. Pillow lavas and fluvio-lacustrine deposits in the northeast of Paraná Continental Magmatic Province, Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Amsterdam, v. 355, p. 78-86, 2018a.
- MORAES, L. C.; SEER, H. J.; MARQUES, L. S. Geology, geochemistry and petrology of basalts from Paraná Continental Magmatic Province in the Araguari, Uberlândia, Uberaba and Sacramento regions, Minas Gerais state, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, São Paulo, v. 48, n. 2, p. 221-241, 2018b.
- PACHECO, F. E. R. C.; SERRANO, P. M.; CAXITO, F. A.; MOURA, C. D.; QUINTÃO, D. A. **Folha Uberlândia SE.22-Z-B-VI**: escala 1:100.000. Belo Horizonte: CODEMIG; UFMG, 2017. Projeto Triângulo Mineiro.
- PICCIRILLO, E. M.; CIVETTA, L.; PETRINI, R.; LONGINELLI, A.; BELLINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L. S.; MELFI, A. J. Regional variations within the Paraná flood basalts (southern Brazil): evidence for subcontinental mantle heterogeneity and crustal contamination. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 75, n. 1-2, p. 103-122, 1989.
- PINTO, C. P.; SILVA, M. A. **Mapa de recursos minerais do estado de Minas Gerais**. Edição atualizada. Belo Horizonte: CPRM; CODEMIG, 2014. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/20786>. Acesso em: 8 jul. 2022.
- REID, D. A.; GRAHAM, R. C.; EDINGER, S. B.; BOWEN, L. H.; ERVIN, J. O. Celadonite and its transformation to smectite in an entisol at Red Rock Canyon, Kern County, California. **Clays and Clay Minerals**, New York, v. 36, n. 5, p. 425-431, 1988.
- RODRIGUES, M.; BORTOLINI, P. C.; KOSERA NETO, C.; ANDRADE, E. A.; PASSOS, A. I.; PACHECO, F. P.; NANNI, M. R.; TEIXEIRA, L. M. Unlocking higher yields in Urochloa brizantha: the role of basalt powder in enhancing soil nutrient availability. **Discover Soil**, Singapore, v. 1, n. 1, 4, 2024.
- ROSSETTI, L. M. M. **Arcabouço estratigráfico da Formação Serra Geral no vale principal da sinclinal de Torres**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- ROSSETTI, L.; LIMA, E. F.; WAICHEL, B. L.; HOLE, M. J.; SIMÕES, M. S.; SCHERER, C. M. S. Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in southern Brazil: towards a formal stratigraphical framework. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, Amsterdam, v. 355, p. 98-114, 2018.
- SEER, H. J.; MORAES, L. C. **Folha Uberaba - Igarapava SE.23-Y-C-IV - SF.23-V-A-I**: escala 1:100.000. Belo Horizonte: CODEMIG; UFMG, 2017. Projeto Triângulo Mineiro.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **GEOSGB**: dados, informações e produtos do Serviço Geológico do Brasil. [Brasília]: SGB, 2017-2026. Disponível em: <https://www.geosgb.sgb.gov.br>. Acesso em: 18 maio 2026.
- SILVA, L. F. V. **Contribuição do saprolito na estimativa do intemperismo aprimorado de rocha**: revisão exploratória e estudo de caso. 2024. 163 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024. Disponível em: <http://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-02082024-084731/pt-br.html>. Acesso em: 18 maio 2026.
- SILVA, M. A.; PINTO, C. P.; PINHEIRO, M. A. P.; MARINHO, M. S.; LOMBELLO, J. C.; PINHO, J. M. M.; GOULART, L. E. A.; MAGALHÃES, J. R. **Mapa geológico do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2020. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/21828>. Acesso em: 8 jul. 2022.
- SOUZA, M. E. P.; CARDOSO, I. M.; CARVALHO, A. M. X.; LOPES, A. P.; JUCKSH, I. Gneiss and steatite vermicomposted with organic residues: release of nutrients and heavy metals. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, Isfahan, v. 8, n. 3, p. 233-240, 2019.
- SWOBODA, P.; DÖRING, T. F.; HAMER, M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: a review. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 807, pt. 3, 150976, 2022.
- THEODORO, Suzi Huff; SANDER, Andréa; BURBANO, Diego Felipe Mosquera; ALMEIDA, Gustavo Rosa. Rochas basálticas para rejuvenescer solos intemperizados. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 22, n. 37, p. 45-56, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.31514/rliberato.2021v22n37.p45>. Acesso em: 26 maio 2026.
- UBERLÂNDIA. Prefeitura. **Todas as notícias**. Etiqueta: Pó de basalto. Uberlândia: Prefeitura de Uberlândia, 2025. Disponível em: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/tags/po-de-basalto/>. Acesso em: 15 ago. 2025.
- VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 78, n. 4, p. 731-747, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/YbyT87xxXscZbZ7MhwZ-bVsN>. Acesso em: 15 ago. 2025.
- VAN STRAATEN, P. **Agrogeology**: the use of rocks for crops. Guelph, ON: Enviroquest, 2007. 426 p.

INFORME TÉCNICO Nº 31

Brasília, maio de 2026.
ISSN: 2448-2242

Publicação *on-line* seriada
Serviço Geológico do Brasil – SGB
Disponível em: www.sgb.gov.br

Serviço Geológico do Brasil

SBN – Quadra 02 – Bloco H, Ed. Central Brasília,
1º andar
Brasília- DF- Brasil
CEP: 70040-904
Telefone: (61) 2108-8400
www.sgb.gov.br
Contatos: seus@sgb.gov.br
maisa.abram@sgb.gov.br



DIRETOR DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS

Francisco Valdir Silveira

CORPO EDITORIAL

Maisa Bastos Abram
Guilherme Ferreira da Silva

REVISÃO

Joana Tiago Reis Magalhães
Guilherme Ferreira da Silva
Maisa Bastos Abram

NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Jéssica dos Santos Gonçalves

DIAGRAMAÇÃO

Divisão de Editoração Geral- DIEDIG

Anexo I – Localização dos pontos estudados.

Amostra	Latitude	Longitude	Altitude	Toponímia	Descrição da Amostra
MM-R-0001A	-18.87660	-48.33184	730	Ecobrix Britagem e Usinagem Ltda.	<i>Filler</i>
MM-R-0001B	-18.87660	-48.33184	730	Ecobrix Britagem e Usinagem Ltda.	Basalto do derrame principal da lavra
MM-R-0001C	-18.87660	-48.33184	730	Ecobrix Britagem e Usinagem Ltda.	Nível amigdaloidal (base da lavra)
MM-R-0001D	-18.87553	-48.33064	777	Ecobrix Britagem e Usinagem Ltda.	Brechas amigdaloidais (topo da lavra)
MM-R-0002A	-18.87612	-48.32413	759	BT Construções Ltda.	Pó de brita
MM-R-0002B	-18.87612	-48.32413	759	BT Construções Ltda.	Basalto do derrame principal da lavra
MM-R-0002D	-18.87645	-48.32379	792	BT Construções Ltda.	Basalto de derrame superior ao principal
MM-R-0003A	-18.82832	-48.29160	802	Britagem Três Irmãos Ltda.	Basalto da base da cava 1 (ativa)
MM-R-0003D	-18.82832	-48.29160	802	Britagem Três Irmãos Ltda.	Pó de brita (cava 1)
MM-R-0003C	-18.82623	-48.28951	764	Britagem Três Irmãos Ltda.	Basalto da base da cava 2 (inativa)
MM-R-0004A	-18.72808	-48.21258	752	Arpasa Araguari Pavimentações Ltda.	Basalto do piso inferior da cava (inativa)
MM-R-0004B	-18.72925	-48.21220	810	Arpasa Araguari Pavimentações Ltda.	Basalto do piso superior da cava (ativa)
MM-R-0004C	-18.72925	-48.21220	810	Arpasa Araguari Pavimentações Ltda.	Pó de brita (piso superior)
MM-R-0005A	-18.70805	-48.24109	769	Pedreira Marques Ltda.	Basalto do derrame principal da lavra
MM-R-0005B	-18.70805	-48.24109	769	Pedreira Marques Ltda.	Pó de brita
MM-R-0007A	-18.81860	-48.29366	761	Britagem Sao Lucas Ltda.	Basalto do derrame principal da lavra
MM-R-0007B	-18.81860	-48.29366	761	Britagem Sao Lucas Ltda.	Basalto parcialmente intemperizado
MM-R-0007C	-18.81860	-48.29366	761	Britagem Sao Lucas Ltda.	Pó de brita
MM-R-0008A	-18.81738	-48.24985	808	BR-050, sentido Uberlândia-Araguari	Basalto em corte de estrada
MM-R-00009A	-18.81393	-48.24920	791	BR-050, sentido Uberlândia-Araguari	Basalto em corte de estrada
MM-R-0011A	-18.79488	-48.23462	680	BR-050, sentido Uberlândia-Araguari	Basalto em corte de estrada (acima de arenito)
MM-R-0014A	-19.95850	-47.79971	587	BR-050, sentido Delta-Uberaba	Basalto amigdalóide em corte de estrada
MM-R-0015A	-19.88761	-47.84825	629	BR-050, sentido Delta-Uberaba	Basalto maciço em corte de estrada
MM-R-0016A	-19.85493	-47.87115	642	BR-050, sentido Uberaba-Delta	Basalto afanítico em corte de estrada
MM-R-0017A	-19.85768	-47.86876	642	BR-050, sentido Uberaba-Delta	Basalto maciço em corte de estrada
MM-R-0018A	-19.86803	-47.86176	590	BR-050, sentido Uberaba-Delta	Basalto com amigdalóide em corte de estrada
MM-R-0018B	-19.86803	-47.86176	590	BR-050, sentido Uberaba-Delta	Basalto maciço em corte de estrada
MM-R-0019A	-19.69717	-47.91555	686	COPARI Extração e Comércio de Minerais Ltda.	Basalto da base da lavra (disjunção colunar)

Amostra	Latitude	Longitude	Altitude	Toponímia	Descrição da Amostra
MM-R-0019C	-19.69717	-47.91555	703	COPARI Extração e Comércio de Minerais Ltda.	Basalto do nível superior da lavra (entablado)
MM-R-0019D	-19.69717	-47.91555	677	COPARI Extração e Comércio de Minerais Ltda.	Pó de brita
MM-R-0020A	-19.70146	-47.92116	687	Construtora e Pedreira Beira Rio Ltda.	Basalto da base da lavra (disjunção colunar)
MM-R-0020B	-19.70146	-47.92116	685	Construtora e Pedreira Beira Rio Ltda.	Brecha com cimento calcítico (base da lavra)
MM-R-0020C	-19.70146	-47.92116	710	Construtora e Pedreira Beira Rio Ltda.	Basalto do nível superior da lavra (entablado)
MM-R-0020D	-19.70146	-47.92116	687	Construtora e Pedreira Beira Rio Ltda.	Pó de brita após tratamento industrial (abrasivo)
MM-R-0020E	-19.70146	-47.92116	687	Construtora e Pedreira Beira Rio Ltda.	Pó de brita
MM-R-0025A	-18.95655	-49.47365	521	INCOPOL - Indústria e Comércio Pontal - Eireli	Filler
MM-R-0025B	-18.95655	-49.47365	521	INCOPOL - Indústria e Comércio Pontal - Eireli	Pó de brita
MM-R-0025C	-18.95655	-49.47365	531	INCOPOL - Indústria e Comércio Pontal - Eireli	Diabásio com amígdalas topo da lavra
MM-R-0025D	-18.95655	-49.47365	521	INCOPOL - Indústria e Comércio Pontal - Eireli	Diabásio em nível intermediário na lavra
MM-R-0026	-18.93297	-48.33184	531	Cachoeira da Venda Amarela	Basalto parcialmente intemperizado em cachoeira
MM-R-0028	-18.93723	-49.43640	571	ELF - Empreendimento Comerciais e Minerais Ltda.	Diabásio em mina inativa
MM-R-0029A	-18.94894	-49.53015	475	CFL Construtora Ferreira Lima Ltda. (Mina São Bento)	Pó de brita em pátio de estoque
MM-R-0029B	-18.94894	-49.53015	475	CFL Construtora Ferreira Lima Ltda. (Mina São Bento)	Diabásio da cava principal
MM-R-0029C	-18.95200	-49.53071	502	CFL Construtora Ferreira Lima Ltda. (Mina São Bento)	Diabásio em cava em abertura
MM-R-0031	-18.93398	-49.79539	451	BR-365, sentido Ituiutaba-Santa Vitória	Diabásio com amígdalas
MM-R-0032A	-18.61829	-49.19479	605	Camter Construções e Empreendimentos S.A.	Basalto afanítico (cava inativa 1)
MM-R-0032B	-18.61829	-49.19479	605	Camter Construções e Empreendimentos S.A.	Basalto afanítico com amígdalas (cava inativa 1)
MM-R-0032D	-18.61568	-49.19489	605	Camter Construções e Empreendimentos S.A.	Basalto afanítico (cava inativa 2)
MM-R-0033B	-18.70636	-49.29056	581	MG-226, sentido Canápolis - Capinópolis	Diabásio com amígdalas em matações
MM-R-0034	-18.51767	-49.49873	450	Cachoeira Dourada/MG	Basalto parcialmente intemperizado em blocos
MM-R-0035A	-19.74808	-50.05941	395	Coplan Contrutora Planalto Ltda.	Pó de brita
MM-R-0035B	-19.74808	-50.05941	395	Coplan Contrutora Planalto Ltda.	Filler
MM-R-0036A	-19.94845	-49.23096	414	Prainha Mineradora Ltda.	Pó de brita
MM-R-0036D	-19.94845	-49.23096	414	Prainha Mineradora Ltda.	Basalto com amígdalas na cava principal
MM-R-0037A	-19.97755	-49.15612	434	Mineração do Bosque Ltda.	Pó de brita
MM-R-0038A	-19.87608	-49.71722	393	MG-255, sentido São Francisco de Sales-Itapagipe	Basalto maciço em corte de estrada
MM-R-0038C	-19.87608	-49.71722	393	MG-255, sentido São Francisco de Sales-Itapagipe	Basalto com amígdalas em corte de estrada
MM-R-0039C	-19.88295	-49.43973	472	MG-255, sentido São Francisco de Sales-Itapagipe	Basalto com amígdalas em corte de estrada

Anexo II – Dados de litogeoquímica produzidos nesse estudo.

Amostra	Macronutrientes (%)					Micronutrientes (%)		Micronutrientes (ppm)						
	Soma Base	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Fe	Mn	Cu	Ni	Zn	Mo	Co	V	Se
MM-R-0001A	14.63	0.79	8.66	5.18	0.41	5.27	0.15	185.90	61.00	116.00	1.23	41.50	436.00	<1
MM-R-0001B	14.44	0.86	8.82	4.76	0.43	5.13	0.15	186.60	53.80	118.00	1.03	38.30	503.00	<1
MM-R-0001C	14.76	2.13	7.51	5.12	0.37	4.82	0.12	169.60	65.10	122.00	0.65	37.20	416.00	<1
MM-R-0001D	15.76	2.28	8.73	4.75	0.35	4.50	0.09	158.30	57.00	137.00	0.53	32.50	425.00	<1
MM-R-0002A	14.87	0.89	9.01	4.97	0.45	5.20	0.15	191.40	58.10	126.00	1.05	38.80	528.00	<1
MM-R-0002B	14.75	0.90	9.03	4.82	0.43	5.20	0.15	185.30	52.50	117.00	1.07	37.60	411.00	<1
MM-R-0002D	14.57	1.00	8.88	4.69	0.42	5.10	0.15	213.70	58.70	126.00	1.09	42.30	482.00	<1
MM-R-0003A	14.06	0.81	8.60	4.65	0.42	5.10	0.15	189.20	57.20	122.00	1.11	39.70	453.00	<1
MM-R-0003D	14.68	0.84	8.87	4.97	0.42	5.24	0.15	184.80	55.00	117.00	0.99	39.90	415.00	<1
MM-R-0003C	16.10	0.63	9.91	5.56	0.36	5.13	0.15	207.20	69.70	113.00	0.81	43.40	507.00	<1
MM-R-0004A	14.45	0.80	8.90	4.75	0.42	5.06	0.15	189.80	56.20	122.00	1.13	40.90	447.00	<1
MM-R-0004B	15.03	0.90	8.84	5.29	0.43	5.30	0.15	183.10	56.90	113.00	1.02	41.00	428.00	<1
MM-R-0004C	14.73	0.90	8.86	4.97	0.43	5.17	0.15	185.60	56.20	130.00	1.04	38.70	474.00	<1
MM-R-0005A	15.43	0.80	9.42	5.21	0.36	5.10	0.15	216.60	72.50	122.00	1.03	43.70	480.00	<1
MM-R-0005B	15.53	0.78	9.25	5.50	0.35	5.10	0.15	213.50	70.90	113.00	0.91	41.40	519.00	<1
MM-R-0007A	14.21	0.85	8.67	4.69	0.42	5.06	0.15	191.30	59.10	128.00	1.10	39.30	545.00	<1
MM-R-0007B	14.17	0.94	8.54	4.69	0.41	5.10	0.15	192.20	62.40	132.00	1.17	42.00	541.00	<1
MM-R-0007C	14.67	0.89	8.81	4.97	0.42	5.20	0.15	203.50	59.20	125.00	1.09	42.20	451.00	<1
MM-R-0008A	14.32	0.81	8.81	4.70	0.41	5.10	0.16	188.80	56.10	123.00	1.12	40.50	438.00	<1
MM-R-00009A	13.67	0.95	8.46	4.26	0.55	5.51	0.18	65.30	31.40	135.00	1.18	46.60	446.00	<1
MM-R-0011A	13.53	0.89	8.18	4.46	0.53	5.62	0.16	66.00	21.60	138.00	1.14	41.40	491.00	<1
MM-R-0014A	13.29	0.88	8.16	4.25	0.51	5.17	0.17	61.30	25.80	139.00	1.48	39.90	387.00	<1
MM-R-0015A	13.15	1.73	7.65	3.77	0.65	5.51	0.16	156.70	21.60	142.00	1.39	37.70	460.00	<1
MM-R-0016A	12.52	1.13	7.62	3.77	0.63	5.48	0.16	163.00	23.10	143.00	1.63	38.80	453.00	<1
MM-R-0017A	12.61	1.33	7.56	3.72	0.65	5.41	0.18	159.20	22.40	140.00	1.53	38.70	402.00	<1
MM-R-0018A	12.61	1.10	7.62	3.89	0.50	5.13	0.15	59.50	21.80	135.00	1.37	36.10	469.00	<1
Limite de detecção	-	0.01	0.01	0.1	0.01	0.01	0.01	0.5	0.5	1	0.05	0.1	5	1

Amostra	Macronutrientes (%)					Micronutrientes (%)				Micronutrientes (ppm)				
	Soma Base	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Fe	Mn	Cu	Ni	Zn	Mo	Co	V	Se
MM-R-0018B	12.33	0.86	7.53	3.94	0.49	5.10	0.16	59.10	24.40	135.00	1.39	36.90	403.00	<1
MM-R-0019A	14.49	0.96	8.78	4.75	0.42	5.10	0.15	192.90	56.90	122.00	1.10	40.50	439.00	<1
MM-R-0019C	14.91	1.02	8.92	4.97	0.43	5.10	0.16	192.20	57.20	120.00	1.13	41.30	466.00	<1
MM-R-0019D	14.74	0.93	8.82	4.99	0.42	5.10	0.15	188.60	56.40	120.00	1.17	40.70	465.00	<1
MM-R-0020A	15.26	1.11	9.11	5.04	0.44	5.06	0.15	191.50	57.40	122.00	0.85	40.30	516.00	<1
MM-R-0020B	11.65	3.64	4.82	3.19	0.30	2.80	0.06	80.90	41.50	60.00	0.27	21.80	205.00	<1
MM-R-0020C	14.74	0.97	8.89	4.88	0.43	5.10	0.16	189.50	55.10	119.00	0.71	39.80	379.00	<1
MM-R-0020D	15.09	1.20	8.74	5.15	0.40	5.17	0.15	185.90	58.10	116.00	1.04	41.00	444.00	<1
MM-R-0020E	14.93	1.08	8.90	4.95	0.41	5.17	0.15	188.80	56.40	118.00	0.79	40.20	464.00	<1
MM-R-0025A	13.89	1.56	8.57	3.76	0.55	4.57	0.15	53.50	7.10	90.00	0.88	34.20	277.00	<1
MM-R-0025B	14.28	1.55	8.53	4.20	0.52	5.37	0.17	73.40	8.70	124.00	1.35	44.50	393.00	<1
MM-R-0025C	13.79	1.54	7.98	4.27	0.53	5.34	0.16	87.40	11.20	122.00	1.22	39.20	464.00	<1
MM-R-0025D	14.18	1.52	8.38	4.28	0.55	5.48	0.18	62.50	7.10	119.00	1.40	38.00	427.00	<1
MM-R-0026	14.42	0.99	8.61	4.82	0.53	5.37	0.17	255.90	33.00	105.00	1.96	40.40	422.00	<1
MM-R-0028	15.04	1.43	8.50	5.11	0.48	5.55	0.18	70.80	13.80	114.00	1.27	41.90	508.00	<1
MM-R-0029A	13.89	1.45	8.07	4.37	0.48	5.48	0.17	77.60	10.50	119.00	1.37	40.60	493.00	<1
MM-R-0029B	14.36	1.47	8.41	4.48	0.50	5.44	0.17	77.00	11.30	126.00	1.25	40.50	475.00	<1
MM-R-0029C	14.08	1.47	8.29	4.32	0.50	5.37	0.17	60.20	8.40	104.00	1.18	36.50	456.00	<1
MM-R-0030	12.46	2.07	6.81	3.58	0.50	9.58	0.15	14.00	0.73	28.10	15.00	0.14	379.00	0.09
MM-R-0031	15.23	1.28	8.84	5.11	0.37	5.41	0.16	193.70	42.80	116.00	1.18	43.50	532.00	<1
MM-R-0032A	13.30	1.15	7.99	4.16	0.64	5.48	0.17	193.50	19.20	124.00	1.51	37.00	410.00	<1
MM-R-0032B	13.59	1.37	8.01	4.21	0.64	5.44	0.17	172.90	17.30	110.00	1.24	33.20	498.00	<1
MM-R-0032D	13.50	1.20	8.14	4.16	0.65	5.48	0.17	191.60	18.50	122.00	1.51	38.10	410.00	<1
MM-R-0033B	12.75	2.45	6.61	3.69	0.65	4.75	0.17	105.90	20.50	135.00	1.47	28.20	252.00	4.00
MM-R-0034	14.26	2.18	7.80	4.28	0.55	5.37	0.13	94.10	21.90	125.00	1.04	36.00	527.00	<1
MM-R-0035A	16.99	1.37	9.72	5.90	0.24	5.10	0.17	281.40	53.70	102.00	0.69	45.20	520.00	1.00
MM-R-0035B	16.93	1.35	9.70	5.88	0.23	4.99	0.16	290.90	55.50	91.00	0.82	48.00	479.00	<1
MM-R-0035C	16.58	1.25	9.55	5.78	0.23	10.21	0.17	245.80	45.10	87.00	0.83	43.90	450.00	<1
Limite de detecção	-	0.01	0.01	0.1	0.01	0.01	0.01	0.5	0.5	1	0.05	0.1	5	1

Amostra	Macronutrientes (%)					Micronutrientes (%)				Micronutrientes (ppm)				
	Soma Base	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Fe	Mn	Cu	Ni	Zn	Mo	Co	V	Se
MM-R-0035D	18.18	1.51	10.20	6.47	0.32	9.44	0.14	275.80	60.00	94.00	0.39	43.50	417.00	<1
MM-R-0036A	13.95	1.07	7.89	4.99	0.36	5.72	0.19	174.50	33.20	118.00	0.94	42.00	474.00	<1
MM-R-0036C	7.67	1.56	3.21	2.90	0.43	13.36	0.19	108.00	39.00	157.00	0.49	48.20	457.00	<1
MM-R-0036D	14.89	1.27	8.87	4.75	0.38	10.84	0.18	166.00	32.80	123.00	1.06	39.20	558.00	<1
MM-R-0036E	10.00	2.38	4.35	3.27	0.51	12.45	0.14	79.20	33.10	132.00	0.58	39.50	495.00	<1
MM-R-0037A	14.02	1.08	7.72	5.22	0.35	6.00	0.20	159.00	32.90	113.00	1.08	39.00	495.00	<1
MM-R-0037C	4.87	1.94	0.94	1.99	0.06	11.82	0.24	188.40	46.70	157.00	0.79	36.90	501.00	<1
MM-R-0038A	18.15	0.49	10.90	6.76	0.21	4.71	0.18	241.90	69.40	90.00	0.79	41.70	439.00	<1
MM-R-0038C	17.85	0.48	10.80	6.57	0.21	4.68	0.17	260.40	74.90	96.00	0.67	47.40	439.00	<1
MM-R-0039A	16.62	2.12	9.32	5.18	0.43	10.21	0.15	200.40	42.50	106.00	0.61	36.20	488.00	<1
MM-R-0039C	16.67	1.48	9.35	5.84	0.37	5.03	0.18	212.30	55.60	126.00	1.07	40.70	500.00	<1
Limite de detecção	-	0.01	0.01	0.1	0.01	0.01	0.01	0.5	0.5	1	0.05	0.1	5	1

Amostra	Elementos Potencialmente Tóxicos (ppm)				
	As	Hg	Cd	Pb	Cr
MM-R-0001A	<1	<0.01	0.10	4.70	60.00
MM-R-0001B	<1	<0.01	0.11	4.20	74.00
MM-R-0001C	<1	<0.01	0.18	6.90	90.00
MM-R-0001D	<1	<0.01	0.25	10.00	62.00
MM-R-0002A	<1	<0.01	0.11	3.80	64.00
MM-R-0002B	<1	<0.01	0.10	3.80	55.00
MM-R-0002D	<1	<0.01	0.11	4.00	54.00
MM-R-0003A	<1	<0.01	0.07	4.00	55.00
MM-R-0003D	<1	<0.01	0.11	3.70	39.00
MM-R-0003C	<1	<0.01	0.20	3.50	83.00
MM-R-0004A	<1	<0.01	0.09	4.10	58.00
MM-R-0004B	<1	<0.01	0.09	3.70	44.00
Limite de detecção	1	0.01	0.02	0.5	1

Amostra	Elementos Potencialmente Tóxicos (ppm)				
	As	Hg	Cd	Pb	Cr
MM-R-0004C	<1	<0.01	0.21	7.80	48.00
MM-R-0005A	<1	<0.01	0.18	4.90	91.00
MM-R-0005B	<1	<0.01	0.13	5.70	81.00
MM-R-0007A	<1	<0.01	0.11	4.10	45.00
MM-R-0007B	<1	<0.01	0.10	4.60	54.00
MM-R-0007C	<1	<0.01	0.12	4.30	55.00
MM-R-0008A	<1	0.01	0.10	4.10	48.00
MM-R-0009A	<1	<0.01	0.09	4.30	12.00
MM-R-0011A	<1	<0.01	0.10	4.00	8.00
MM-R-0014A	<1	<0.01	0.10	4.50	12.00
MM-R-0015A	<1	0.03	0.09	4.80	12.00
MM-R-0016A	<1	<0.01	0.08	5.30	31.00
Limite de detecção	1	0.01	0.02	0.5	1

Amostra	Elementos Potencialmente Tóxicos (ppm)				
	As	Hg	Cd	Pb	Cr
MM-R-0017A	<1	<0.01	0.11	5.30	32.00
MM-R-0018A	<1	0.01	0.12	5.10	34.00
MM-R-0018B	<1	<0.01	0.10	4.90	16.00
MM-R-0019A	<1	<0.01	0.11	3.80	50.00
MM-R-0019C	<1	0.01	0.13	4.80	73.00
MM-R-0019D	<1	<0.01	0.13	4.00	48.00
MM-R-0020A	<1	<0.01	0.09	3.60	39.00
MM-R-0020B	<1	<0.01	0.07	4.70	49.00
MM-R-0020C	<1	<0.01	0.11	3.60	38.00
MM-R-0020D	<1	<0.01	0.14	3.60	37.00
MM-R-0020E	<1	<0.01	0.10	3.80	47.00
MM-R-0025A	<1	<0.01	0.09	6.60	3.00
MM-R-0025B	<1	<0.01	0.11	5.10	3.00
MM-R-0025C	<1	<0.01	0.07	8.40	4.00
MM-R-0025D	<1	<0.01	0.10	6.90	4.00
MM-R-0026	<1	<0.01	0.14	9.50	15.00
MM-R-0028	<1	<0.01	0.09	6.70	4.00
MM-R-0029A	<1	<0.01	0.15	5.40	3.00
MM-R-0029B	<1	<0.01	0.10	7.30	3.00
MM-R-0029C	<1	<0.01	0.08	5.00	2.00
Limite de detecção	1	0.01	0.02	0.5	1

Amostra	Elementos Potencialmente Tóxicos (ppm)				
	As	Hg	Cd	Pb	Cr
MM-R-0030	1.87	0.10	0.07	1882.00	36.30
MM-R-0031	<1	<0.01	0.15	5.80	20.00
MM-R-0032A	<1	0.01	0.14	6.50	7.00
MM-R-0032B	<1	<0.01	0.13	4.80	8.00
MM-R-0032D	<1	<0.01	0.11	6.30	9.00
MM-R-0033B	<1	<0.01	0.14	7.60	23.00
MM-R-0034	<1	<0.01	0.14	6.10	8.00
MM-R-0035A	<1	<0.01	0.15	4.80	51.00
MM-R-0035B	<1	<0.01	0.14	7.80	48.00
MM-R-0035C	<1	<0.01	0.16	4.30	34.00
MM-R-0035D	<1	<0.01	0.09	3.30	71.00
MM-R-0036A	<1	<0.01	0.12	4.10	24.00
MM-R-0036C	<1	<0.01	0.16	5.30	35.00
MM-R-0036D	<1	<0.01	0.10	4.40	21.00
MM-R-0036E	<1	<0.01	0.13	6.10	24.00
MM-R-0037A	<1	<0.01	0.14	8.50	22.00
MM-R-0037C	<1	<0.01	0.18	7.50	30.00
MM-R-0038A	<1	<0.01	0.14	6.30	67.00
MM-R-0038C	<1	<0.01	0.14	7.60	71.00
MM-R-0039A	1.00	<0.01	0.09	9.20	36.00
MM-R-0039C	<1	<0.01	0.08	7.10	59.00
Limite de detecção	1	0.01	0.02	0.5	1