

# DIVISÃO DE GEOQUÍMICA

## INSTRUÇÃO TÉCNICA DIGEOQ 01

### Procedimento de amostragem e análises geoquímicas

## 1 – INTRODUÇÃO

Este guia visa fornecer orientações ao usuário que deseja realizar análises geoquímicas e mineralométricas como ferramenta para auxiliar no entendimento de processos geológicos. Nele são apresentados procedimentos de coleta e encaminhamento de amostras, linhas gerais para a seleção das metodologias a serem utilizadas, bem como formulários para solicitação de análises. A CPRM não dispõe de equipamentos/laboratórios para análises de muitos métodos tratados aqui, assim, dependemos da contratação de laboratórios externos. Isto implica que a lista de análises disponíveis pode variar ao longo do tempo. A DIGEOQ é responsável pela gestão e apoio destas análises. Para a realização das análises, cada projeto deve fazer a sua programação em conjunto com a DIGEOQ, que poderá auxiliar na seleção da metodologia mais indicada para a solução do problema geológico, assim como informará as metodologias disponíveis. Este guia será o veículo oficial da empresa no estabelecimento de processos e protocolos da área de geoquímica substituindo os demais anteriores a partir da sua data de publicação.

## 2 – GEOQUÍMICA: DEFINIÇÃO E APLICAÇÕES BÁSICAS

A Geoquímica estuda a distribuição de elementos e de seus isótopos nos vários setores orgânicos e inorgânicos da Terra, em superfície ou em profundidade, com o objetivo de definir: (1) a origem dos elementos que estão presentes nas rochas, nos sedimentos, solos, água (do oceano, lagos e rios) e vegetação; (2) a idade do ambiente genético dos sistemas fósseis; e (3) os processos responsáveis pela distribuição dos elementos químicos, quantificando seus efeitos (Silva et al., 2007):

- **Exploração ou Prospecção geoquímica:** por meio da aplicação prática dos princípios teóricos da geoquímica, tem como objetivo específico encontrar anomalias de elementos que possam definir ocorrências e estas levarem a descobertas de jazidas minerais (Levinson 1974; Silva et al., 2007). Baseia-se no conceito de que depósitos minerais possuem concentrações anômalas de elementos na crosta da Terra, contrastando fortemente com a suas encaixantes com teores normais.
- **Mapeamento geoquímico:** também por meio dos princípios da geoquímica, tem como objetivo detectar variações sutis de *backgrounds* correspondentes às variações litológicas e/ou definição de ocorrências minerais.

## 3 – NÍVEIS DE LEVANTAMENTOS GEOQUÍMICOS

Existem dois níveis principais de levantamentos geoquímicos: Regional ou Detalhe (Levinson 1974, Pereira 2012, Rose et al. 1979):

- **Levantamento Geoquímico Regional:** Investiga grandes áreas, de dezenas a milhares de quilômetros quadrados, compatível com escalas geológicas iguais ou menores que 1:25.000. Utiliza materiais nos quais a informação contida na amostra coletada refere-se a uma área. Materiais coletados em drenagens, como por exemplo, água, sedimentos ativos de corrente e concentrado de bateia são os materiais mais comumente usados nesses levantamentos. Os levantamentos regionais podem ter como objetivo a prospecção geoquímica (localizar trechos anômalos, referentes à mineralizações) ou o mapeamento geoquímico (detectar variações de *backgrounds* decorrentes das variações litológicas de uma determinada região ou área).
- **Levantamento Geoquímico de Detalhe (follow-up):** Investiga áreas relativamente pequenas, compatível com escalas geológicas maiores que 1:25.000. Utiliza materiais com capacidade para informações pontuais, como por exemplo, solo, rocha, vegetação e etc. O levantamento geoquímico de detalhe tem como objetivo detalhar as áreas anômalas, detectadas durante o

## 4 – MATERIAIS AMOSTRADOS

Este item visa orientar a coleta de amostras para análises litogeoquímicas direcionadas para a definição da tipologia, associações petrotectônicas, ambientes geodinâmicos e petrogênese, em auxílio à caracterização de unidades litoestratigráficas nos trabalhos de mapeamento geológico.

Nos projetos executados pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), cujos objetivos e escalas de trabalho foram descritas acima, realiza-se a amostragem de materiais geológicos conceituados a seguir:

- **Sedimento ativo de corrente:** Material coletado no leito ativo das drenagens, composto principalmente das frações areia + silte + argila. O termo *sedimento de fundo* é utilizado para abranger, os sedimentos em águas com baixa mobilidade, como lagos, lagoas, estuários e os sedimentos marinhos, costeiros ou de profundidade.
- **Concentrado de bateia:** Material coletado normalmente nas aluviões, ou seja, no leito das drenagens. Visa-se a coleta de material cascalhoso assentado em locais mais favoráveis à deposição dos minerais pesados. É possível ainda ser concentrado por meio de bateia, para obtenção da fração de minerais pesados, materiais inconsolidados como solos e saprólitos, ou até mesmo, rochas britadas em laboratório.
- **Água:** Material historicamente coletado no Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), em levantamentos de baixa densidade e com finalidades ambientais. As amostras geoquímicas de água podem provir de drenagens, lagos, lagoas, poços e fontes. Contudo, a água também pode ser utilizada para fins prospectivos. Por exemplo, a dosagem de íon fluoreto. Ta procedimento é interessante não só para o rastreamento de mineralizações de fluorita, como também para a prospecção de outros sistemas metalogenéticos em granitoides, pois o flúor comparece na associação geoquímica dos principais jazimentos ligados a greisens e pórliros (Chiod Filho 1997).
- **Solo:** Material residual ou transportado, produto da ação do intemperismo sobre as rochas. Os solos urbanos merecem um destaque especial pelas suas características peculiares de formação, pois a sua constituição e desenvolvimento têm uma forte componente antropogênica.
- **Rocha:** Material representante de um determinado litotipo, coletado em afloramento, testemunho de sondagem ou em cascalheiras de drenagens. Deve ser coletado sem alteração química ou intempérica, quando para fins petrológicos. Pode ser coletado com alteração hidrotermal ou mesmo intempérica, quando tiver finalidades metalogenéticas.
- **Floodplain Sediment (sedimento de planície aluvionar):** Material coletado nos terraços de drenagens de ordem elevada (área de drenagem com mais de 1.000 km<sup>2</sup>), coletadas normalmente de forma composta em três pontos da planície de inundação de uma drenagem. Em geral são amostras de grande tamanho para posterior homogeneização.
- **Overbank:** Material coletado nos terraços de drenagens de baixa ordem (área de drenagem com menos de 1.000 km<sup>2</sup>), assim como, as amostras de *Floodplain Sediment*, as amostras de *Overbank* também são coletadas de forma composta em três pontos de uma drenagem e geralmente são amostras de grande tamanho para posterior homogeneização

## 5 – PLANEJAMENTO E COLETA DE AMOSTRAS

### 5.1 – Planejamento da amostragem

As amostras devem ser representativas do afloramento e das mineralizações que se tem interesse, respeitando-se as variações locais que devem ser registradas na descrição macroscópica das amostras.

Devem possuir o tamanho aproximado de 10 a 12 cm de comprimento, de 6 a 6 cm de largura e 4 a 6 cm de espessura (Figura 7).

O geoquímico ou técnico capacitado em trabalho de campo deve ter em mente que o planejamento e a coleta adequada são fundamentais para o sucesso de uma campanha geoquímica exploratória ou para os estudos

litogeoquímicos. O planejamento de amostragem é atribuição exclusiva do geoquímico responsável pelo projeto.

O planejamento da amostragem geoquímica de superfície em escala regional deve levar em consideração levantamentos geoquímicos pretéritos, anomalias aerogeofísicas (magnéticas e gamaespectrométricas), diversidade litológica, e a distribuição e modo de ocorrência dos recursos minerais existentes na área de estudo. Para levantamentos geoquímicos/mineralométricos em escala regional as estações de amostragem devem ser distribuídas uniformemente na área do projeto obedecendo a densidade amostral (Tabela 1) e em cada estação, obrigatoriamente, deve ser coletada uma amostra de sedimento de corrente (SC) e uma amostra de concentrado de bateia (CB). Tal procedimento tem como objetivo garantir a representatividade de toda a área/região de interesse para o levantamento. Em projetos geoquímicos de prospecção, o número de amostras de concentrados de bateia pode ser inferior àquele de sedimentos, tendo distribuição estratégica para cobrir toda a área ou objeto geológico estudado. Tal situação deve ser discutida e ser legitimada pela DIGEOQ antes da execução da amostragem geoquímica.

A densidade amostral para sedimento, bateia e água também irá respeitar a densidade de drenagem da região onde será efetuado o levantamento geoquímico. Como, por exemplo, a menor densidade de drenagens em áreas de coberturas quaternárias ou em terrenos cársticos irá acondicionar uma menor quantidade de coleta de amostras.

O planejamento de amostragem geoquímica deve considerar que as amostras precisam obrigatoriamente ser coletadas em um mesmo período climático e, durante a janela climática ideal, ou seja, o período seco.

Para efeito de controle e uniformização das informações, a classificação de ordem de drenagem a ser adotada será a de Strahler (Christofletti, 1980): 1a ordem - menor drenagem; 2a ordem - drenagem oriunda do encontro de duas de 1a ordem; 3a ordem - encontro de duas de 2a ordem; e assim por diante.

**Tabela 1** - Densidade de amostragem (SC/CB) por escala de trabalho.

Escala	Mínimo	Máximo	Densidade (área da bacia)
<b>1:25.000</b>	37	75	2,5-5 km <sup>2</sup>
<b>1:50.000</b>	75	150	5-10km <sup>2</sup>
<b>1:100.000</b>	150	300	10-20km <sup>2</sup>
<b>1:250.000</b>	300	450	40-60km <sup>2</sup>
<b>1:500.000</b>	450	600	120-160 km <sup>2</sup>

Para maior confiabilidade da análise de variância do meio amostral, recomenda-se que pelo menos 5% das estações de amostragem (ou no mínimo cinquenta delas) sejam amostradas em duplicata. As amostras duplicatas devem ter sua distribuição planejadas de forma homogênea em toda a área pesquisada, representando desta forma os diversos ambientes geoquímicos existentes.

## 5.2 – Procedimento de Coleta de amostras

Embora aparentemente simples, o procedimento de coleta, embalagem e rotulagem do material geológico durante as campanhas de campo é uma das etapas mais importantes para a obtenção de bons resultados analíticos, já que amostragens imprecisas e/ou episódios de contaminação podem, por exemplo, acarretar em desperdício de tempo e de recursos financeiros. Seleção, procedimento de coleta e encaminhamento adequados aumentam bastante a possibilidade de sucesso e a qualidade das análises, além de auxiliar os responsáveis pelos trabalhos laboratoriais na identificação de imprecisões nos resultados. Para tal, os procedimentos indicados durante as coletas de amostras serão apresentados a seguir.

### 5.2.1 – Sedimento ativo de corrente

Preferencialmente, coletam-se amostras compostas, de 5 (cinco) a 10 (dez) porções, para compor cada amostra. Este procedimento é indicado devido a heterogeneidade natural existente nos sedimentos.

O material deve ser coletado em um trecho retilíneo do curso d'água no canal ativo da drenagem, e deve ser composto principalmente das frações areia + silte + argila. Deve-se evitar locais com maiores concentrações de folhas (matéria orgânica) ou material de colapso das margens (normalmente mais fino).

A coleta deve ser superficial, utilizando-se para isso de utensílios plásticos ou as mãos. Antes de iniciar a amostragem retirar adornos/anéis que possam servir como contaminantes. Devem ser coletados no mínimo dois quilos (2 kg) de amostra. Em caso de sedimentos de corrente muito arenosos, este volume deve ser aumentado

(aproximadamente 4 kg) para que se garanta massa suficiente para análise. As amostras duplicatas de campo (também denominadas amostras gêmeas) devem ser coletadas no mesmo trecho de amostragem e em locais próximos da coleta amostra original, permitindo a utilização de estudos de variância do meio amostral.

A Coleta de Amostra de Sedimentos Ativo de Corrente é descrito de forma minuciosa no **PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – 001/DIGEOQ/2021**, anexo a esta Instrução Técnica.

### 5.2.2 – Concentrado de bateia

Preferencialmente, coleta-se em um único local, aprofundando-se o buraco de coleta no leito do rio (coleta simples). Todavia, pode ser executada também de forma composta, ou seja, coletando-se o material cascalhoso assentado em mais de um local favorável à deposição de minerais pesados. O volume de material coletado deve ser de 10 a 30 litros nos projetos de levantamento geoquímico regional.

No caso de pesquisa mineral para metais nobres (p. ex. Au) ou mineral cuja concentração seja muito baixa (p. ex. diamante), a quantidade do material a coletar deverá ser maior, podendo chegar a 200 litros. O ideal é sempre utilizar o balde de obra de 10-12 litros para controlar o volume amostrado. Peneirar o material amostrado utilizando a peneira de 5mm ou o jogo de peneiras (4mm, 2mm, 1mm e 0,5mm). Após o peneiramento, verificar o material que ficou retido na peneira (*oversize*) utilizando-se uma lupa de bolso e, em seguida, descartar o material (em caso de identificação de minerais de interesse econômico ou de guias prospectivos, coletar a porção central do *oversize* utilizando uma colher). Batear a fração menor que 0,5 mm até ficar uma pequena quantidade de “areia” recobrimdo o esmeril na bateia, de aproximadamente 250 g. Fazer a verificação da mineralogia do “fundo da bateia” utilizando-se lupa de bolso. Acondicionar o material coletado em saco plástico previamente identificado, retirando o excesso de água. Pesar a amostra. Caso seja necessário, coletar o *oversize*, este deve ser armazenado de forma independente, usando um outro saco de amostra. Neste caso, a estação deverá possuir duas amostras de concentrado de bateia, sendo identificadas pelas letras A e B.

Em drenagem seca, amostrar a porção mais cascalhosa do suposto canal ativo. Peneirar o material a seco utilizando a peneira de 5mm ou a peneira mais grossa (4mm) do jogo de peneiras. Para os concentrados de bateia de materiais inconsolidados, como solos e saprólitos, por possuírem grande quantidade de finos, é recomendável que sejam deslamados após peneiramento e antes de dar início ao processo de bateamento. É importante que todas as amostras sejam bateadas em campo devido à dificuldade de transportar grandes volumes de amostras e de processá-las em laboratório. Em caso de trabalhos realizados em regiões com grande número de drenagens secas, é necessário montar uma logística para batear as amostras pelo menos uma vez por semana em um rio ou um açude.

A Coleta de Amostra de Concentrado de Minerais Pesados é descrita de forma minuciosa no **PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – 002/DIGEOQ/2021**, anexo a esta Instrução Técnica.

### 5.2.3 – Solo

Pode ser coletado de forma simples ou composta. Deve ser feita a limpeza do local a ser amostrado, retirando toda a vegetação existente ou a interface oxidada no corte de solo exposto. Retirar o material com o trado ou executar a raspagem do corte de solo exposto e colocar diretamente no saco plástico que irá acondicionar a amostra.

Assim como os sedimentos de corrente, devem ser coletados no mínimo dois quilos (2kg) de amostra, e no caso de solos muito arenosos, este volume deve ser aumentado até que se garanta massa suficiente para análise. Anotar na caderneta a profundidade inicial e final do material amostrado, assim como aspectos texturais e coloração do solo amostrado. Não retirar fragmentos de rocha que possam estar presentes na amostra de solo. Em campanhas exploratórias, tradicionalmente coleta-se o Horizonte B do solo. Entretanto, com a diversidade de projetos que o Serviço Geológico do Brasil possui, é possível que outros horizontes sejam selecionados. Dessa forma é essencial identificar, durante a coleta, qual o horizonte amostrado. É importante antes de iniciar a etapa de campo de coleta de amostra de solo, verificar as especificidades descritas no termo de referência de cada projeto.

A coleta de amostra de solo é descrita de forma minuciosa no **PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – 003/DIGEOQ/2021**, anexo a esta Instrução Técnica.

### 5.2.4 – Água

A coleta de água, para fins prospectivos ou ambientais, deve ser realizada no mesmo local da coleta do sedimento de corrente. Em cada ponto, coleta-se duas amostras em tubos separados para análise dos cátions e dos ânions. Deve-se sempre “ambientalizar” (lavar com a água do rio) as seringas e os tubos antes de iniciar a filtragem

da água.

Deve-se coletar primeiro a amostra para análise de ânions. O coletor deve ficar de frente para o fluxo da corrente evitando contaminar a amostra, e encher a seringa sem o filtro. Anexar o filtro na ponta da seringa e filtrar a água para o tubo de centrífuga. Se a água estiver poluída, principalmente com esgoto doméstico ou com muito material em suspensão, o filtro pode entupir. Nesse caso deve-se fazer a substituição dos filtros repetindo esta ação até que se obtenha o volume de 50 ml. Deve-se ter o cuidado de realizar esse procedimento afastado do rosto porque quando o filtro entope, pode ocorrer de espirrar água suja na boca e nos olhos do coletor. Não acidificar a amostra.

Para a coleta da amostra de água que será analisada para cátions deve-se repetir o procedimento de filtragem até se atingir o volume de 50 ml e adicionar 20 gotas de HNO<sub>3</sub> para manter o pH < 2, e em seguida fechar o tubo.

Escrever nas tampas e no corpo dos tubos o número da amostra e passar fitas coloridas (por exemplo, amarela e vermelha) nas tampas para diferenciar os tubos para ânions e cátions. Colocar as amostras em bandeja dentro de caixas de isopor diferentes com as bolsas de gel térmico. Todas as seringas e filtros utilizados na amostragem devem ser descartados. As amostras devem permanecer, obrigatoriamente, refrigeradas até o momento da análise.

## 5.2.5 – Rocha e/ou Minérios

A amostragem geoquímica de rocha para estudos petrológicos deve ser separada por litotipos e subtipos distintos em afloramentos heterogêneos. Diante de afloramentos complexos, o geólogo deverá evitar heterogeneidades locais como a presença de mobilizados graníticos, intrusões locais, bandas de diferentes composições, diques, veios, enclaves (xenólitos e autólitos), camadas com diferentes composições, seixos e matriz de conglomerados, etc., há não ser que o objetivo específico seja a análise individual destes materiais. Cada porção amostrada deve representar um litotipo distinto. No afloramento, deve-se selecionar com auxílio da lupa binocular as amostras livres de venulações, fraturas preenchidas ou amígdalas/vesículas, até atingir o peso pretendido.

Já a amostragem para caracterização geoquímica de minérios ou de rochas com alta potencialidade econômica, prioriza-se sempre a coleta de porções onde se identifica em campo a ação de processos mineralizantes, como por exemplo: sericitização, turmalinização, oxidação, sulfetação, potassificação, etc.

### 5.2.5.1 – Volume de amostra para análise química

O volume de rocha e/ou minério para análise química pode variar muito, dependendo do material a ser amostrado, objetivo da análise e, até mesmo, a disponibilidade de amostra para coleta (muito comum quando se trabalha com amostras de testemunhos ou afloramentos com exposição muito reduzida). A granulometria e textura da rocha e do tipo de análise que se pretende fazer condicionam o volume de amostra (tabela 2, coluna Peso da Amostra) necessário para se obter o êxito esperado. Os quantitativos indicados para coleta em campo para rochas de diferentes granulações encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2** - Peso da amostra necessário para classificação química completa de rochas.

Tamanho do cristal/grão	Granulação/ granulometria	Peso da Amostra	Exemplos
>30mm	pegmatítica/porfirítica	>10 Kg	Pegmatito e granitoide porfirítico
10-30mm	muito grossa	10 Kg	Granito, charnoquito e gabro
5-10mm	grossa	2 Kg	Granito, diorito, gabro e sienito,
1-5mm	média	1 Kg	Granito pórfiro, diabásio, tinguaito, arenito e conglomerado
<1 mm	fina	1 Kg	Riolito, andesito, basalto, fonolito, arenito, pelito e carbonato

Claramente, a tabela acima mostra que, para rochas de granulação/granulometria grossa, são necessárias amostras maiores. Para a coleta de amostras de rochas com granulação/granulometria fina a média, e que aflorem de forma relativamente homogênea, uma amostragem simples pode ser suficiente. Contudo, para rochas com granulação/granulometria mais grossa e com distribuição errática de seus minerais, faz-se necessária a amostragem em canal, ou de vários fragmentos, para se ter uma amostragem representativa.

### 5.2.5.2 – Estado de conservação e contaminação de amostra para análise química

O estado de conservação das rochas nos afloramentos também deve ser utilizado como critério de seleção de amostras. O clima de países tropicais, como o Brasil, dificulta a obtenção de amostras em condições ideais, porém, as coletas de rochas frescas sempre devem ter prioridade sobre as intemperizadas, especialmente no caso de estudos petrológicos. Já amostras de minérios podem ser coletadas mesmo quando intemperizadas, sendo fundamental a descrição detalhada na caderneta de campo destes parâmetros.

O afloramento é o melhor local para quebra/redução do tamanho dos fragmentos das amostras coletadas. Os fragmentos não devem ultrapassar oito centímetros de diâmetro (aproximadamente o tamanho de um punho fechado) e, se maiores, devem ser reduzidos em locais livres de contaminação.

Quando a amostra coletada tiver tamanho maior, do que o indicado acima, a mesma, pode passar por processos de diminuição nos laboratórios ou litotecas do Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM. Como por exemplo, serrar as amostras para retirar as capas de alterações e as heterogeneidades não desejadas (ex. venulações, fraturas preenchidas ou amígdalas/vesículas, etc.).

Entretanto o uso de serras, martelos ou prensas em laboratório pode ocasionar eventuais contaminações, já que o ambiente não é *in situ*, portanto o procedimento deve ser realizado com muita cautela. Mesmo no campo deve-se tomar cuidado para não permitir o contato da amostra com materiais contaminantes presentes nos arredores do afloramento, como os que ocorrem em margens de drenagens ou encostas com deslizamento de solos.

Após coleta e fragmentação (campo ou laboratório), a amostra deve ser imediatamente guardada em um saco plástico resistente, devidamente etiquetado, até a preparação para análises. É recomendável utilizar sacos de pano para armazenamento das amostras já devidamente identificadas e guardadas em sacos plásticos. Cuidados na identificação do material, como a utilização de mais de uma etiqueta (evitar a colagem de fitas diretamente na amostra, assim como qualquer outro tipo de material na superfície da amostra, tal qual tinta, etc), são recomendados também para evitar casos de perda ou troca de amostras.

## 6 – SELEÇÃO DO MÉTODO

Ao realizar uma campanha de reconhecimento geoquímico regional, uma campanha prospectiva para determinada *commodity* ou a amostragem de rochas e/ou minérios, é preciso definir previamente quais os problemas geológicos a serem solucionados e saber exatamente como atingir os objetivos estabelecidos no Termo de Referência do Projeto. A sequência ideal, anterior às solicitações de análises feitas para a DIGEOQ, engloba uma boa coleta de amostra, assim como, boas descrições de campo e, quando necessário, descrições petrográficas também. A partir deste entendimento, podem ser selecionados os métodos químicos a serem aplicados nas amostras. Uma mesma amostra pode ser analisada por diversos métodos e a escolha depende dos resultados esperados e objetivos da análise.

### 6.1 – Análises químicas

Como as análises são bastante dispendiosas e, portanto, restritas a um número limitado de envio para laboratório, é importante uma avaliação criteriosa do método de análise química mais adequado para cada situação, evitando assim a obtenção de resultados inadequados. Para o caso de estudos petrológicos, a Tabela 3 resume os principais litotipos de rochas e os métodos de análises químicas existentes. Já a Tabela 4 resume os principais tipos de minérios e os métodos de análises químicas existentes. Ambas as tabelas são baseadas na disponibilidade atual e na capacidade analítica dos laboratórios contratados.

Os equipamentos de Fluorescência de Raios X portáteis (FRXp), existentes na CPRM, podem ser utilizados para auxiliar na seleção das amostras a serem enviadas para análise laboratorial e também na escolha dos métodos analíticos. Como por exemplo:

- a) Processos hidrotermais como silicificação, carbonatação, sulfetação, etc, podem ser facilmente detectados nas análises com a FRXp, e isso pode ser utilizado para selecionar as amostras de acordo com o objetivo do projeto.
- b) As amostras de minérios podem ser pré-selecionadas, se baseando nos teores dos metais das análises com a FRXp.
- c) Além disso, a faixa de teores dos elementos (principalmente metais) identificados nas análises prévias com a FRXp pode embasar a escolha do método analítico, pois existem métodos com diferentes faixas e limites de

detecção.



**Tabela 3 – Análises químicas indicadas para os diversos grupos de rocha**

Tipo de Rocha	Fusão por tetraborato de lítio e leitura por XRF e da perda ao fogo (a 1.000°C)	Fusão por metaborato de lítio e leitura por ICP-OES/ICP-MS	Abertura por 4 ácidos e leitura por ICP-OES/ICP-MS	Digestão por água régia e leitura por ICP-OES/ICP-MS	Determinação do Flúor (F), utilizando eletrodo de íon seletivo	Determinação do boro (B) por fusão, dissolução com solução ácida e leitura por ICP-MS	Determinação do cloro (Cl) em pastilhas de pó prensado e leitura por XRF	Fire Assay. Determinação de Au	Fire Assay. Determinação de Au, Pt e Pd	Análise de 53 elementos traços por digestão da amostra em água régia e leitura por ICP-OES/ICP-MS
<b>Rocha Máfica</b>	X	X	V e Sc contribui para estudo detalhado de diferenciação	X				X		
<b>Rocha Ultramáfica</b>	X	X	X	X				X	X	
<b>Rocha Ácida/Intermediária</b>	X	X	Estudo de granitos parentais/fertilidade e de pegmatitos LCT	X	X	X	X			para estudos de pegmatitos/hidrotermal-metassomático
<b>Rocha Carbonática</b>	X	X	X	X						
<b>Sedimentar/vulcanossedimentar</b>	X	X	X	X						
<b>Metassedimento</b>	X	X	X	X						
<b>Formação Ferrífera</b>	X	X	V para estudo de influência vulcânica	X				X		

**Tabela 4 – Análises químicas indicadas para os diversos minérios.**

Tipo de Rocha/Minério	Fusão por tetraborato de lítio e leitura por XRF e da perda ao fogo (a 1.000°C)	Fusão por metaborato de lítio e leitura por ICP-OES/ICP-MS	Fusão por metaborato de lítio e leitura por ICP-OES/ICP-MS para elementos terras raras (ETR) e metais raros, com altos limites de detecção superior	Abertura por 4 ácidos e leitura por ICP-OES/ICP-MS	Digestão por água régia e leitura por ICP-OES/ICP-MS	Abertura por 4 ácidos e leitura por ICP-OES/ICP-MS para metais base	Determinação do Flúor (F), utilizando eletrodo de íon seletivo (ISE)	Determinação do boro (B) por fusão, dissolução com solução ácida e leitura por ICP-MS	Determinação do cloro (Cl) em pastilhas de pó prensado e leitura por XRF	Fusão por tetraborato de lítio e leitura por XRF e da perda ao fogo (a 1.000°C) para Minério de Ni Laterítico	Fusão por tetraborato de lítio e leitura por XRF e da perda ao fogo (a 1.000°C) para Bauxita	Método de Bayer	Abertura por fusão com peróxido de sódio e leitura por ICP-OES/ICP-MS	Fire Assay. Determinação de Au	Fire Assay. Determinação de Au, Pt e Pd
Minério de Au	X	X		X	X									X	
Minério de Fe/Mn	X	X		X	X										
Minério de Metais Base (Cu, Zn, Pb)	X	X		X	X	X									
Minério IOCG (e outros polimetálicos)	X	X		X	X										
Minério de Fe-Ti-V	X	X		X	X										
Minério de Cr-Ni-EGP	X			X											X
Minério de Sn-Ta-Nb	X	X	X				X	X	X						
Minério de ETR	X	X	X				X								
Minério de U	X	X													
Minério de W	X	X	X												
Minério de Ba	X	X		X	X										
Minério de Li															
Nódulos polimetálicos e crostas cobaltíferas	X	X		X	X	X									
Gossan/Laterítico	X	X		X	X	X			X	X					
Minério de Ni(Co) Laterítico															
Minério de Al (bauxita)											X	X			
Grafita															
Carvão															
Carbonato (Cal e Cimento)															
Fosfato	X	X	X												
Minério de K (evaporíticos e em depósitos de vermiculita/flógopita)	X	X													



## 6.2 – Análises químicas de rochas, minérios e sedimentos de corrente e solo

### 6.2.1 – Análises químicas combinando diversos métodos analíticos para caracterização completa de rocha

- Análise de 13 (treze) óxidos maiores através de fusão por tetraborato de lítio e leitura por Fluorescência de Raios-X e da perda ao fogo (a 1.000°C) incluindo os elementos e limites de detecção: SiO<sub>2</sub> (0,1 % - 99 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,1 % - 100 %), BaO (0,02 %-65 %), CaO (0,01 % - 60 %), Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,01 % - 10 %), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,01 % - 100 %), MgO (0,1 % - 50 %), MnO (0,01 % - 39 %), Na<sub>2</sub>O (0,1 % - 10 %), K<sub>2</sub>O (0,01 % - 15 %), TiO<sub>2</sub> (0,01 % - 30 %), SrO (0,01 % - 1,2 %), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,01 % - 45 %) e LOI (0,01 % - 100 %).
- Análise de 31 (trinta e um) elementos traços incluindo os elementos terras raras através de fusão por metaborato de lítio e leitura por ICP-OES/ICP-MS incluindo os elementos e limites de detecção: Ba (5 ppm - 10.000 ppm), Ce (0,5 ppm - 10.000 ppm), Cr (10 ppm-10.000 ppm), Cs (0,05 ppm - 1.000 ppm), Dy (0,05 ppm - 1.000 ppm), Er (0,05 ppm - 1.000 ppm), Eu (0,05 ppm - 1000 ppm), Ga (0,1 ppm - 1.000 ppm), Gd (0,05 ppm - 1.000 ppm), Ge (5 ppm - 1000 ppm), Hf (0,2 ppm - 500 ppm), Ho (0,05 ppm - 1000 ppm), La (0,5 ppm - 10.000 ppm), Lu (0,05 ppm - 1000 ppm), Nb (0,05 ppm - 1.000 ppm), Nd (0,1 ppm - 10.000 ppm), Pr (0,05 ppm - 1.000 ppm), Rb (0,2 ppm - 10.000 ppm), Sm (0,1 ppm- 1000 ppm), Sn (1 ppm - 1.000 ppm), Sr (0,5 ppm - 10.000 ppm), Ta (0,1 ppm - 2.500 ppm), Tb (0,05ppm - 1.000ppm), Th (0,1ppm - 1.000 ppm), Tm (0,05ppm - 1.000 ppm), U (0,05 ppm - 10.000 ppm), V (5 ppm - 10.000 ppm), W (1 ppm - 10.000 ppm), Y (0,5 ppm - 10.000 ppm), Yb (0,1 ppm - 1.000 ppm) e Zr (2 ppm - 10.000 ppm).
- Análise de 10 (dez) elementos traços com foco em metais base através de abertura por 4 ácidos e leitura por ICP-OES/ICP-MS/ incluindo os elementos e limites de detecção: Ag (0,5 ppm - 10 ppm), Cd (0,5 ppm - 1.000 ppm), Co (1 ppm - 10.000 ppm), Cu (1 ppm - 10.000 ppm), Li (10 ppm - 10.000 ppm), Mo (1 ppm - 10.000 ppm), Ni (1 ppm - 10000 ppm), Pb (2 ppm - 10.000 ppm), Sc (1 ppm - 10.000 ppm) e Zn (2 ppm - 10.000 ppm).
- Análise de 9 (nove) elementos traços voláteis com afinidade geoquímica com o ouro (Au) através da digestão por água régia e leitura por ICP-OES/ICP-MS incluindo os elementos e limites de detecção: As (1 ppm - 250 ppm), Bi (0,02 ppm - 250 ppm), Hg (0,01 ppm - 25 ppm), In (0,02 ppm - 250 ppm), Re (0,1 ppm - 250 ppm), Sb (0,05 ppm - 250 ppm), Se (1 ppm - 250 ppm), Te (0,01 ppm - 250 ppm) e Tl (0,2 ppm - 250 ppm).

### 6.2.2 – Análises químicas para caracterização de óxidos maiores em rocha

- Análises químicas de rocha para 13 (treze) óxidos maiores através de fusão por tetraborato de lítio e leitura por Fluorescência de Raios-X e da perda ao fogo (a 1.000°C) incluindo os elementos e limites de detecção: SiO<sub>2</sub> (0,1 % - 99 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,1 % - 100 %), BaO (0,02 % - 65 %), CaO (0,01 % - 60 %), Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,01 % - 10 %), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,01 % - 100 %), MgO (0,1 % - 50 %), MnO (0,01 % - 39 %), Na<sub>2</sub>O (0,1 % - 10 %), K<sub>2</sub>O (0,01 % - 15 %), TiO<sub>2</sub> (0,01 % - 30 %), SrO (0,01 % - 1,2 %), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,01 % - 45 %) e LOI (0,01 % - 100 %).

### 6.2.3 – Análises químicas para caracterização de elementos terras raras e metais raros em rocha

- Análises químicas para 31 (trinta e um) elementos traços incluindo elementos terras raras através de fusão por metaborato de lítio e leitura por ICP-OES/ICP-MS incluindo os elementos e limites de detecção: Ba (5 ppm - 10.000 ppm), Ce (0,5 ppm - 10.000 ppm), Cr (10 ppm - 10.000 ppm), Cs (0,05 ppm - 1.000 ppm), Dy (0,05 ppm - 1.000 ppm), Er (0,05 ppm - 1.000 ppm), Eu (0,05 ppm - 1000 ppm), Ga (0,1 ppm - 1.000 ppm), Gd (0,05 ppm - 1.000 ppm), Ge (5 ppm - 1000 ppm), Hf (0,2 ppm - 500 ppm), Ho (0,05 ppm - 1000 ppm), La (0,5 ppm - 10.000 ppm), Lu (0,05 ppm - 1000 ppm), Nb (0,05 ppm - 1.000 ppm), Nd (0,1 ppm - 10.000 ppm), Pr (0,05 ppm - 1.000 ppm), Rb (0,2 ppm - 10.000 ppm), Sm (0,1 ppm - 1000 ppm), Sn (1 ppm - 1.000 ppm), Sr (0,5 ppm - 10.000 ppm), Ta (0,1 ppm - 2.500 ppm), Tb (0,05 ppm - 1.000 ppm), Th (0,1 ppm - 1.000 ppm), Tm (0,05 ppm - 1.000 ppm), U (0,05 ppm - 1.0000 ppm), V (5 ppm - 10.000 ppm), W (1 ppm - 10.000 ppm), Y (0,5 ppm - 10.000 ppm), Yb (0,1 ppm - 1.000 ppm)

e Zr (2 ppm – 10.000 ppm).

#### 6.2.4 – Análises químicas para caracterização de elementos terras raras e metais raros com altos limites de detecção em rocha

- Análises químicas para 24 (vinte e quatro) elementos terras raras (ETR) e metais raros, com altos limites de detecção superior através de Fusão por metaborato de lítio e leitura por ICP-OES/ICP-MS incluindo os elementos e limites de detecção: Ce (3 ppm – 50.000 ppm), Dy (0,3 ppm – 1.000 ppm), Er (0,3 ppm – 1.000 ppm), Eu (0,2 ppm – 1000 ppm), Gd (0,3 – 1.000 ppm), Hf (1 ppm – 1.000 ppm), Ho (0,05 ppm – 1.000 ppm), La (3 ppm – 50.000 ppm), Lu (0,05 ppm – 1.000 ppm), Nb (1 ppm – 5.000 ppm), Nd (1 ppm – 50.000 ppm), Pr (0,2 ppm – 5.000 ppm), Rb (1 ppm – 50.000 ppm), Sm (0,2 ppm- 5.000 ppm), Sn (5 ppm – 5.000 ppm), Ta (0,5 ppm – 5.000 ppm), Tb (0,05 ppm – 5.000 ppm), Th (0,3 ppm – 5.000 ppm), Tm (0,05 ppm – 5.000 ppm), U (0,3 ppm – 5.0000 ppm), W (5 ppm - 50.000 ppm), Y (3 ppm – 50.000 ppm), Yb (0,1 ppm – 5.000 ppm) e Zr (10 ppm - 50.000 ppm).

#### 6.2.5 – Análises químicas para caracterização dos metais base em rocha

- Análises químicas para 10 (dez) elementos traços com foco em metais base através de abertura por 4 ácidos e leitura por ICP-OES/ICP-MS. incluindo os elementos e limites de detecção: Ag (0,5 ppm - 10 ppm), Cd (0,5 ppm – 1.000 ppm), Co (1 ppm – 10.000 ppm), Cu (1 ppm – 10.000 ppm), Li (10 ppm – 10.000 ppm), Mo (1 ppm – 10.000 ppm), Ni (1 ppm – 10000 ppm), Pb (2 ppm – 10.000 ppm), Sc (1 ppm – 10.000 ppm) e Zn (2 ppm – 10.000 ppm).

#### 6.2.6 – Análises químicas para caracterização dos elementos traços voláteis com afinidade geoquímica com o ouro (Au) em rocha

- Análises químicas para 9 (nove) elementos traços voláteis com afinidade geoquímica com o ouro (Au) através da digestão por água régia e leitura por ICP-OES/ICP-MS incluindo os elementos e limites de detecção: As (1 ppm - 250 ppm), Bi (0,02 ppm – 250 ppm), Hg (0,01 ppm – 25 ppm), In (0,02 ppm - 250 ppm), Re (0,1 ppm – 250 ppm), Sb (0,05 ppm - 250 ppm), Se (1 - 250 ppm), Te (0,01 ppm - 250 ppm) e Tl (0,2 ppm - 250 ppm).

#### 6.2.7 – Análises químicas para caracterização dos diversos tipos de carbono (C) em rocha

- Análises químicas para Carbono Total por combustão leitura por infravermelho em LECO com limites de detecção para Ctotal entre 0,01% - 15%;
- Análises químicas para Carbono Orgânico convertido em CO<sub>2</sub> por aquecimento 400°C e leitura por infravermelho em LECO com limites de detecção para Corgânico entre 0,01% - 50%;
- Análises químicas para Carbono Carbonático por decomposição da amostra através de digestão ácida e leitura por infravermelho em LECO com limites de detecção para Ccarbonático entre 0,2% - 50%;
- Análises químicas para Carbono Grafítico (ou elementar) por decomposição da amostra através de digestão ácida e calcinação em Mufla. O Carbono Grafítico é quantificado por combustão e leitura por infravermelho em LECO com limites de detecção para Cgrafítico entre 0,2% - 50%;
- Análises químicas combinando diversos métodos analíticos para caracterização completa carbono em rocha;
- Carbono Orgânico convertido em CO<sub>2</sub> por aquecimento 400°C e leitura por infravermelho em LECO com limites de detecção para Corgânico entre 0,01% - 50%;
- Carbono Carbonático por decomposição da amostra através de digestão ácida e leitura por infravermelho em LECO com limites de detecção para Ccarbonático entre 0,2% - 50%;
- Carbono Grafítico (ou elementar) por decomposição da amostra através de digestão ácida e calcinação em Mufla. O Carbono Grafítico é quantificado por combustão e leitura por infravermelho em LECO com limites de detecção para Cgrafítico entre 0,2% - 50%.

### 6.2.8 – Análises químicas para caracterização de enxofre (S) em rocha

- Análises químicas para Enxofre Total por combustão leitura por infravermelho em LECO com limites de detecção para Stotal entre 0,01 % - 35 %.

### 6.2.9 – Análises químicas para determinação de FeO (ferro ferroso) em rocha

- Análises químicas para FeO (ferro ferroso) através de digestão ácida e titulação com limites de detecção para FeO entre 0,14 % - 80 %

### 6.2.10 – Análises químicas para determinação de Flúor (F) em rocha

- Análises químicas para Flúor por decomposição das amostras através de fusão em mufla (KNO<sub>3</sub> e NaOH), dissolução com solução ácida (HNO<sub>3</sub>) e adição de solução tampão ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>H<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>) e determinação do Flúor, pelo método potenciométrico, utilizando eletrodo de íon seletivo (ISE) com limites de detecção para Flúor entre 30 ppm – 15.000 ppm.

### 6.2.11 – Análises químicas para determinação de Cloro (Cl) em rocha

- Análises químicas para cloro em pastilhas de pó prensado e leitura por Fluorescência de Raios-X com limites de detecção para Cloro (Cl) entre 20 ppm – 1.500 ppm.

### 6.2.12 – Análises químicas para determinação de Boro (B) em rocha

- Análises químicas para boro (B) por decomposição de 5g de amostra através de fusão com hidróxido de sódio (NaOH) e dissolução com solução ácida e leitura por ICP-MS com limites de detecção para Boro (B) entre 5 ppm – 10.000 ppm.

### 6.2.13 – Análises químicas de minério de Pb-Zn

- Análises de minério de Pb-Zn por Fusão de Peróxido de Sódio (Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e leitura ICP-OES com limites de detecção: Al (0,01 % - 50 %), As (0,01 % - 10 %), Ca (0,05 % - 50 %), Co (0,002 % - 30 %), Cr (0,01 % - 30 %), Cu (0,002 % - 30 %), Fe (0,05 % - 70 %), K (0,1 % - 30 %), Mg (0,01 % - 30 %), Mn (0,01 % - 50 %), Ni (0,002 % - 30 %), Pb (0,014 % - 30 %), S (0,01 % - 60 %), Si (0,1 % - 50 %), Ti (0,01 % - 30 %) e Zn (0,002 % - 30 %).

### 6.2.14 – Análises químicas para caracterização de óxidos maiores de minérios/rochas sulfetadas

- Análises químicas de minérios ricos em sulfetos através de fusão por borato de lítio e oxidação forte (LiBO<sub>2</sub>+ Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, LiNO<sub>3</sub> e LiBr) e leitura por Fluorescência de Raios-X e da perda ao fogo (a 1.000°C) incluindo os elementos e limites de detecção: SiO<sub>2</sub> (0,1 % - 95 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,1 % - 50 %), BaO (0,02 % - 65 %), CaO (0,01 % - 40 %), Co (0,01 % - 1 %), Cr (0,01 % - 10 %), Cu (0,01 % - 20 %), Fe (0,01 % - 75 %), MgO (0,1 % - 35 %), MnO (0,1 % - 5 %), Ni (0,008 % - 20 %), K<sub>2</sub>O (0,01 % - 6,3 %), TiO<sub>2</sub> (0,01 % - 10 %), Sr (0,01 % - 5 %), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,01 % - 10 %), Pb (0,01 % - 20 %), S (0,05 % - 20 %), Zn (0,01 % - 20 %) e LOI (0,01 % - 100 %).

### 6.2.15 – Análises químicas para caracterização de minério de Ni laterítico

- Análise de minério de Ni laterítico por fusão de tetraborato de lítio e leitura por Fluorescência de Raios-X e da perda ao fogo (a 1.000°C) incluindo os elementos e limites de detecção: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,1 % - 100 %), Ca (0,01 % - 40 %), Co (0,005 % - 1 %), Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,01 % - 10 %), Cu (0,01 % - 1 %), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,01 % - 100 %), K<sub>2</sub>O (0,01 % - 6,3 %), MgO (0,1 % - 50 %), MnO (0,01 % - 30 %), Na<sub>2</sub>O (0,01 % - 5,3 %), Ni (0,01 % - 7,8 %), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,01 % - 23 %), Pb (0,01 % - 1,8 %), SiO<sub>2</sub> (0,1 % - 99 %), TiO<sub>2</sub> (0,01 % - 30 %) e Zn (0,01 % - 1,6 %).

### 6.2.16 – Análises químicas para caracterização de Bauxita

- Análises de Bauxita por fusão de tetraborato de lítio e leitura por Fluorescência de Raios-X e da perda ao fogo (a 1.000°C) incluindo os elementos e limites de detecção: SiO<sub>2</sub> (0,1 % - 99%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,1 % - 100 %), BaO (0,02 % - 10 %), CaO (0,01 % - 40 %), Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,01 % - 10 %), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,01 % - 100 %), MgO (0,1 % - 40 %), MnO (0,01 % - 31 %), Na<sub>2</sub>O (0,1 % - 5,3 %), K<sub>2</sub>O (0,01 % - 6,3 %), TiO<sub>2</sub> (0,01 % - 30 %), SrO (0,01 % - 1,2 %), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,01 % - 23 %), SO<sub>3</sub> (0,01 % - 1,9 %), V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,01 % - 12,5 %), Zn (0,01 % - 1,6 %), ZrO<sub>2</sub> (0,01 % - 70 %) e LOI (0,01 % - 100 %).

### 6.2.17 – Análises químicas de Bauxita (Método de Bayer)

- Análises de Bauxita (Método de Bayer) por decomposição da amostra através de fusão cáustica (NaOH) e filtração. Determinação de Sílica Reativa através da decomposição do material insolúvel em digestão ácida (HCl) e leitura em Absorção Atômica ou ICP-OES. Determinação de Alumina Aproveitável por titulação de neutralização da solução cáustica, que consiste em complexação com gluconato de sódio e titulação com solução cáustica (NaOH) incluindo os elementos e limites de detecção: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1% - 70%) e SiO<sub>2</sub> (0,1% - 50%)

### 6.2.18 – Análises químicas para determinação de elementos traços em amostras de rocha de projetos de exploração regional de Lítio (Li)

- Abertura por fusão com peróxido de sódio e leitura por ICP-OES/ICP-MS incluindo os elementos e limites de detecção: Ag (5 ppm - 10 ppm), As (30 ppm - 25.000 ppm), B (8 ppm - 25.000 ppm), Ba (10 ppm - 10.000 ppm), Be (5 ppm - 2.500 ppm), Bi (0,5 ppm - 1.000 ppm), Ca (0,1 % - 25 %), Cd (10 ppm - 10.000 ppm), Ce (0,2 ppm - 10.000 ppm), Co (10 ppm - 10.000 ppm), Cs (0,2 ppm - 10.000 ppm), Cu (20 ppm - 10.000 ppm), Dy (0,05 ppm - 1.000 ppm), Er (0,05 ppm - 1.000 ppm), Eu (0,05 ppm - 1.000 ppm), Fe (0,05 % - 25 %), Ga (1 ppm - 1.000 ppm), Gd (0,05 ppm - 1.000 ppm), Ge (1 ppm - 1.000 ppm), Ho (0,05 ppm - 1.000 ppm), In (0,3 ppm - 1.000 ppm), K (0,1 % - 25 %), La (0,1 ppm - 1.000 ppm), Li (10 ppm - 25.000 ppm), Lu (0,05 ppm - 1.000 ppm), Mn (100 ppm - 25.000 ppm), Mo (3 ppm - 10.000 ppm), Nb (10 ppm - 10.000 ppm), Nd (0,1 ppm - 10.000 ppm), Ni (10 ppm - 10.000 ppm), Pb (20 ppm - 10.000 ppm), Pr (0,05 ppm - 1.000 ppm), Rb (3 ppm - 10.000 ppm), Sb (0,5 ppm - 10.000 ppm), Sm (0,1 ppm - 1.000 ppm), Sn (5 ppm - 10.000 ppm), Sr (20 ppm - 10.000 ppm), Ta (10 ppm - 10.000 ppm), Tb (0,05 ppm - 1.000 ppm), Th (0,1 ppm - 1.000 ppm), Ti (100 ppm - 25.000 ppm), Tl (0,5 ppm - 1.000 ppm), Tm (0,05 ppm - 1.000 ppm), U (0,2 ppm - 10.000 ppm), V (10 ppm - 10.000 ppm), W (100 ppm - 10.000 ppm), Y (0,05 ppm - 1.000 ppm), Yb (0,1 ppm - 1.000 ppm), Zn (50 ppm - 10.000 ppm)

### 6.2.19 – Análises químicas para determinação de elementos traços em quartzo

- Análises químicas através de decomposição das amostras por digestão multi-ácida (HCl, HNO<sub>3</sub>, HClO<sub>4</sub> e HF) e leitura ICP-OES/ICP-MS com limites de detecção: Ag (0,2 ppm - 10 ppm), Al (1 ppm - 10.000 ppm), As (1 ppm - 5.000 ppm), B (1 ppm - 5.000 ppm), Ba (1 ppm - 5.000 ppm), Be (0,1 ppm - 100 ppm), Bi (2 ppm - 5.000 ppm), Ca (2 ppm - 10.000 ppm), Cd (0,02 ppm - 10.000 ppm), Ce (0,05 ppm - 1.000 ppm), Co (3 ppm - 5.000 ppm), Cr (1 ppm - 5.000 ppm), Cs (5 ppm - 1.000 ppm), Cu (1 ppm - 5.000 ppm), Fe (2 ppm - 10.000 ppm), Ga (0,1 ppm - 500 ppm), Ge (0,1 ppm - 10.000 ppm), Hf (0,02 ppm - 500 ppm), In (0,05 ppm - 500 ppm), K (2 ppm - 10.000 ppm), La (0,1 ppm - 10.000 ppm), Li (2 ppm - 5.000 ppm), Lu (0,01 ppm - 1.000 ppm), Mg (2 ppm - 5.000 ppm), Mn (2 ppm - 10.000 ppm), Na (2 ppm - 10 ppm), Nb (0,1 ppm - 1.000 ppm), Ni (1 ppm - 5.000 ppm), P (1 ppm - 1.000 ppm), Pb (1 ppm - 5.000 ppm), Rb (0,2 ppm - 10.000 ppm), Re (0,1 ppm - 10.000 ppm), S (100 ppm - 50.000 ppm), Sb (0,05 ppm - 10.000 ppm), Sc (0,5 ppm - 10.000 ppm), SiO<sub>2</sub> (0,01 % - 0,1 %), Se (2 ppm - 1.000 ppm), Sn (0,3 ppm - 1.000 ppm), Sr (1 ppm - 5.000 ppm), Ta (0,05 ppm - 10.000 ppm), Tb (0,05 ppm - 10.000 ppm), Te (0,05 ppm - 500 ppm), Th (0,2 ppm - 10.000 ppm), Ti (1 ppm - 10.000 ppm), Tl (0,02 ppm - 10.000 ppm), U (0,1 ppm - 10.000 ppm), V (1 ppm - 5.000 ppm), W (0,1 ppm - 10.000 ppm), Y (0,1 ppm - 10.000 ppm), Yb (0,1 ppm - 1.000 ppm), Zn (1 ppm - 5.000 ppm), Zr (1 ppm - 5.000 ppm).

### 6.2.20 – Análises químicas para determinação de Au em rocha

- Análises químicas para Au por decomposição de 30g de amostra através de fusão (PbO, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O, AgNO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub>), copelação e digestão ácida (HNO<sub>3</sub> e HCl) e leitura de Au por Absorção Atômica (FAA) com limite de detecção 0,005 ppm – 10 ppm.

### 6.2.21 – Análises químicas para determinação de Au, Pt e Pd em rocha

- Análises químicas para Au, Pt e Pd. Decomposição de 50g de amostra através de fusão (PbO, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O, AgNO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub>), copelação e digestão ácida (HNO<sub>3</sub> e HCl) e leitura de Au, Pt e Pd por leitura ICP-MS com limites de detecção: Au (4 ppb – 10 ppm); Pt (0,005 ppm – 10 ppm); Pd (0,005 ppm – 10 ppm).

### 6.2.22 – Análises químicas combinando dois métodos analíticos para caracterização completa de sedimentos de corrente e solo

- Análise de Au por digestão parcial de 25 a 30g de amostra em água régia (1:1:1 HNO<sub>3</sub>:HCl:H<sub>2</sub>O) e leitura por ICP-MS incluindo os elementos e limites de detecção: Au (0,001 ppm – 1 ppm)
- Análise de 52 elementos traços por digestão parcial de 0,5g de amostra em água régia (1:1:1 HNO<sub>3</sub>:HCl:H<sub>2</sub>O) e leitura por ICP-OES/ICP-MS incluindo os elementos e limites de detecção: Ag (0,01 ppm – 10 ppm), Al (0,01 % - 15 %), As (1 ppm – 10.000 ppm), B (10 ppm – 10.000 ppm), Ba (5 ppm – 10.000 ppm), Be (0,1 ppm – 100 ppm), Bi (0,02 ppm – 10.000 ppm), Ca (0,01 % - 15 %), Cd (0,01 ppm – 1.000 ppm), Ce (0,05 ppm – 500 ppm), Co (0,1 ppm – 10.000 ppm), Cr (1 ppm – 10.000 ppm), Cs (0,05 ppm – 500 ppm), Cu (0,5 ppm – 10.000 ppm), Fe (0,01 % - 15 %), Ga (0,1 ppm – 10.000 ppm), Ge (0,1 ppm – 500 ppm), Hf (0,05 ppm – 500 ppm), Hg (0,01 ppm – 10.000 ppm), In (0,02 ppm – 250 ppm), K (0,01 % - 10 %), La (0,1 ppm – 10.000 ppm), Li (1 ppm – 10.000 ppm), Mg (0,01 % - 15 %), Mn (5 ppm – 10.000 ppm), Mo (0,05 ppm – 10.000 ppm), Na (0,01 % - 10 %), Nb (0,05 ppm – 500 ppm), Ni (0,5 ppm – 10.000 ppm), P (50 ppm – 10.000 ppm), Pb (0,2 ppm – 10.000 ppm), Pt (0,001 ppm – 25 ppm), Pd (0,002 ppm - 25ppm), Rb (0,2 ppm – 10.000 ppm), Re (0,1 ppm – 50 ppm), S (0,01 % - 5 %), Sb (0,05 ppm - 10.000 ppm), Sc (0,1 ppm - 10.000 ppm), Se (1 ppm – 1.000 ppm), Sn (0,3 ppm – 500 ppm), Sr (0,5 ppm – 10.000 ppm), Ta (0,05 ppm – 500 ppm), Te (0,05 ppm – 500 ppm), Th (0,1 ppm – 10.000 ppm), Ti (0,01 % - 10 %), Tl (0,02 ppm – 10.000 ppm), U (0,05 ppm – 10.000 ppm), V (1 ppm – 10.000 ppm), W (0,1 ppm – 10.000 ppm), Y (0,05 ppm – 500 ppm), Zn (1ppm – 100 ppm), Zr (0,5 ppm – 500 ppm).

### 6.2.23 – Análises químicas para caracterização completa de sedimentos de correte e solo

- Análise de 53 elementos traços por digestão parcial de 0,5g de amostra em água régia (1:1:1 HNO<sub>3</sub>:HCl:H<sub>2</sub>O) e leitura por ICP-OES/ICP-MS incluindo os elementos e limites de detecção: Ag (0,01 ppm – 10 ppm), Al (0,01 % - 15 %), As (1 ppm – 10.000 ppm), Au (0,1 ppm – 25 ppm), B (10 ppm – 10.000 ppm), Ba (5 ppm – 10.000 ppm), Be (0,1 ppm – 100 ppm), Bi (0,02 ppm – 10.000 ppm), Ca (0,01 % - 15 %), Cd (0,01 ppm – 1.000 ppm), Ce (0,05 ppm – 500 ppm), Co (0,1ppm – 10.000 ppm), Cr (1 ppm – 10.000 ppm), Cs (0,05 ppm – 500 ppm), Cu (0,5 ppm – 10.000 ppm), Fe (0,01 % - 15 %), Ga (0,1 ppm – 10.000 ppm), Ge (0,1 ppm – 500 ppm), Hf (0,05 ppm – 500 ppm), Hg (0,01 ppm – 10.000 ppm), In (0,02 ppm – 250 ppm), K (0,01 % - 10 %), La (0,1 ppm – 10.000 ppm), Li (1 ppm – 10.000 ppm), Mg (0,01 % - 15 %), Mn (5 ppm – 10.000 ppm), Mo (0,05 ppm – 10.000 ppm), Na (0,01 % - 10 %), Nb (0,05 ppm – 500 ppm), Ni (0,5 ppm – 10.000 ppm), P (50 ppm – 10.000 ppm), Pb (0.2 ppm – 10.000 ppm), Pt (0,001 ppm – 25 ppm), Pd (0,002 ppm - 25 ppm), Rb (0,2 ppm – 10.000 ppm), Re (0,1 ppm – 50 ppm), S (0,01 % - 5 %), Sb (0,05 ppm - 10.000 ppm), Sc (0,1 ppm - 10.000 ppm), Se (1 ppm – 1.000 ppm), Sn (0,3 ppm – 500 ppm), Sr (0,5 ppm – 10.000 ppm), Ta (0,05 ppm – 500 ppm), Te (0,05 ppm – 500 ppm), Th (0,1 ppm – 10.000 ppm), Ti (0,01 % - 10 %), Tl (0,02 ppm – 10.000 ppm), U (0,05 ppm – 10.000 ppm), V (1 ppm – 10.000 ppm), W (0,1 ppm – 10.000 ppm), Y (0,05 ppm – 500 ppm), Zn (1 ppm – 100 ppm), Zr (0,5 ppm – 500 ppm).

## 6.3 – Análises Mineralométricas

### 6.3.1 – Preparação e análises mineralométricas semiquantitativa de concentrados de minerais pesados com microfotografia do background

Esse tipo de análise é aquele que quantifica os minerais em faixas percentuais: >75%; 50-75%; 25-50%; 5-25%; 1-5% e <1%, e excepcionalmente, os elementos nativos (Au, Ag, Pt e diamante) de forma quantitativa, ou seja, contagem e dimensionamento visual do conteúdo de partículas do mineral na amostra. Esta análise deve ser solicitada nos levantamentos geoquímicos regionais e de prospecção. Pode ser utilizada para caracterização dos minerais pesados do regolito, como de solos residuais e saprólitos. Em casos específicos, pode-se, ainda, trabalhar com concentrados de bateia de rocha.

### 6.3.2 – Preparação e análises mineralométricas quantitativa para diamante e seus minerais satélites de concentrados de minerais pesados

É aquela que quantifica o diamante e seus minerais satélites de forma quantitativa, ou seja, contagem e dimensionamento visual do conteúdo de partículas do mineral na amostra. Nesta amostra ainda é adicionado a descrição das texturas kimberlíticas. Esta análise deve ser solicitada no caso específico de pesquisa para diamante ou como reanálise quando as amostras analisadas semi-quantitativamente apresentarem resultados interessantes para diamante.

### 6.3.3 – Análise mineralométrica e de bioclastos semiquantitativa de sedimentos de fundo marinho

É aquela que quantifica os minerais e bioclastos de sedimentos de fundo marinho em faixas percentuais: >75%; 50-75%; 25-50%; 5-25%; 1-5% e <1%. Quantifica, excepcionalmente, os elementos nativos (Au, Ag, Pt e diamante) de forma quantitativa, ou seja, contagem e dimensionamento visual do conteúdo de partículas do mineral na amostra. Esta análise deve ser solicitada nos levantamentos geoquímicos em estuários de rios, na plataforma rasa e em mar profundo.

### 6.3.4 – Montagem de grãos minerais em secções polidas

As secções polidas serão solicitadas a partir das análises mineralométricas semiquantitativas, das análises quantitativas para diamante e seus minerais satélites de amostras de concentrados de minerais pesados e das análises mineralométricas e de bioclastos semiquantitativas de amostras de sedimentos de fundo marinho. Idealmente, os grãos utilizados para a confecção das secções polidas devem ser os mesmos grãos que foram fotografados.

### 6.3.5 – Fotografia de minerais em grãos

As fotografias deverão ser tiradas utilizando-se câmera fotográfica digital de, no mínimo, 20 megapixels acoplada em lupa estereoscópica. A fotografia de grãos de minerais pesados ou bioclastos marinhos deve ser feita após a finalização de todas as análises do projeto. O geoquímico deve selecionar os minerais e/ou bioclastos marinhos de interesse nas amostras onde os mesmos encontram-se em maior abundância.

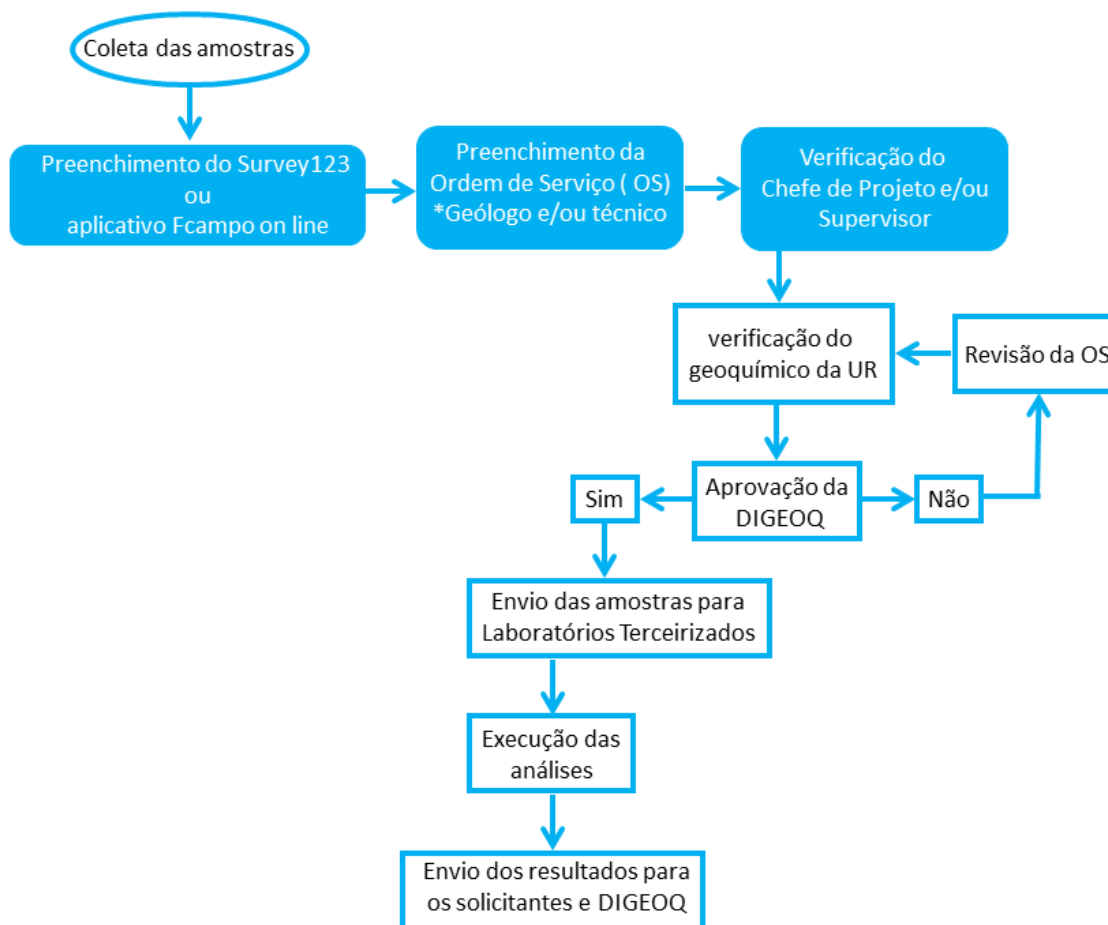
## 7 – SOLICITAÇÃO DE ANÁLISES

### 7.1 – Fluxo Operacional

Após o cadastramento das amostras nos aplicativos de entrada de dados geoquímicos do SGB-CPRM (aplicativo Fcampo on line ou outro aplicativo mobile a ser desenvolvido) é necessário preencher o Formulário de Ordem de Serviço - OS (Anexos I, II e III). A solicitação analítica de todas as amostras coletadas pelos projetos da Diretoria de Geologia e Recursos Minerais deve seguir o fluxo operacional da DIGEOQ, detalhadamente descrito na Figura 01. A Ordem de Serviço pode ser preenchida por qualquer integrante do projeto, contudo, cabe ao geoquímico da unidade regional fazer a verificação do preenchimento e enviar para a análise e aprovação



da DIGEOQ. Na impossibilidade deste fazê-lo, cabe ao gerente de geologia ou chefe de divisão solicitante enviar a Ordem de Serviço para a análise e aprovação da DIGEOQ.



**Figura 1** – Fluxo operacional para a realização das análises químicas no SGB-CPRM, contemplando preenchimento de aplicativos de entrada de dados geoquímicos.

Caso haja alguma inconsistência, o geoquímico deve saná-la juntamente com a equipe do projeto. Após todos os percalços resolvidos, o geoquímico da unidade regional e/ou gerente deve enviar à Ordem de Serviço (OS) para aprovação da DIGEOQ. Caso a DIGEOQ aprove a OS, esta será devolvida assinada, retirando as seguintes informações: Nome do Projeto, Centro de Custo do Projeto, coordenadas das amostras e número de campo das amostras. As amostras serão identificadas nas OS apenas pelo número de laboratório, motivo pelo qual as amostras deverão também ser identificadas apenas com o número de laboratório do SGB-CPRM. É possível confeccionar OS com amostras pertencentes a mais de um lote. O número ideal de amostras por OS depende do Batch (lote) analítico do laboratório contratado. A SGSGEOSOL, por exemplo, utiliza Batch (lote) analítico de 44 amostras. Neste caso, deve-se compor uma OS de lotes compostos por 44 ou 88 amostras. Todas as amostras de um Batch (lote) analítico devem possuir o índice de sílica similar, ou seja, as rochas devem ser agrupadas segundo a sua afinidade geoquímica. As OS devem ser confeccionadas exclusivamente por amostras da mesma natureza, ou seja, não se deve misturar amostras de rocha com amostras de solo, por exemplo.

A Divisão de Geoquímica veda que amostras que serão analisadas por laboratórios terceirizados sejam preparadas (secar, peneirar, britar e pulverizar) nos laboratórios da Rede LAMIN. Isto porque a manipulação prévia das amostras em nossos laboratórios não segue os rígidos controles de QA/QC que os laboratórios comerciais possuem implementados. Havendo necessidade de preparação interna, a DIGEOQ deve ser comunicada para avaliar e corroborar os procedimentos que serão executados.



As amostras serão, então, encaminhadas para análise, dentro do possível, em ordem de priorização, tanto a estabelecida pelo projeto (considerando a importância das amostras, por exemplo), quanto pelos Departamentos (relevância e prazo de término dos projetos, entre outros). A DIGEOQ se responsabiliza em garantir a avaliação e organização dos resultados recebidos e pela entrega dos dados organizados aos gerentes regionais e demais integrantes do projeto.

## **8 – REFERÊNCIAS**

CHIODI FILHO, C. Guias prospectivos para mineralizações em rochas granitoides. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1997. 64p.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.

LEVINSON, A. A. Introduction to Exploration Geochemistry. Illinois: Applied Publishing, 1974. 612 p. il

PEREIRA, R. M. Fundamentos de Prospecção Mineral. 2.ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 324 p.

SILVA, C. R. et al. Prospecção Geoquímica: depósitos minerais metálicos, não-metálicos, óleo e gás. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geoquímica - SBGq, 2007. 780 p.

ROSE, A.; HAWKES, H.; WEEB, J. S. Geochemistry in mineral exploration. 2.ed. London: Academic Press, 1979. 658 p.

## **AUTORES**

**Cassiano Costa Castro**  
**Bruno Oliveira Calado**  
**Caroline Couto Santos**  
**Daliane Eberhardt Bandeira**  
**Douglas Almeida Silveira**  
**Eduardo Duarte Marques**  
**Felipe Rocha Abreu**  
**Leandro Guimaraes da Silva**  
**Marcely Pereira Neves**  
**Michele Zorzetti Pitarello**  
**Viviane Carillo Ferrari**  
**Wilson Lopes de Oliveira Neto**

**Revisão final**  
**Silvana de Carvalho Melo**

## **Anexo I – Ordem de serviço para análise de minerais pesados**


 SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL CPRM		SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL-SGB Av. Brasil, nº1731 Cep: 30.140-002 - FUNCIONÁRIOS-BH CNPJ: 06.091.652/0016-70 Fone:+55 (31) 3878-0327	
<b>ORDEM DE SERVIÇO PARA ANÁLISE MINERALOMÉTRICA - ATA Nº 008/SUREG-BH/2020</b>			
<b>INFORMAÇÃO DO CLIENTE</b>			
* Nome do requerente das análises:		CAROLINE COUTO SANTOS	
Empresa:		CPRM-CIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS - SUREG SALVADOR	
Endereço:		Avenida Ulysses Guimarães, 2862 - Bairro Sussuarana/Centro Administrativo da Bahia	
CEP:	41213-000	- UF:	SALVADOR / BA
Fone / Fax:	71-3230 0025	E-mail:	caroline.santos@cprm.gov.br
<b>ENDEREÇO E DADOS PARA O ENVIO DA FATURA</b>			
Nome responsável:		SILVANA DE CARVALHO MELO	
Empresa:		CIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS - CPRM	
Endereço:		Avenida Sul, 2291	
CEP:	50.770-011	Cidade - UF:	Recife/PE
CPF / CNPJ:	00.091.652/0006-93	Fone / Fax:	(81) 3316-1420
		E-mail:	digeoqlab@cprm.gov.br
<b>* E-MAIL'S PARA RECEBIMENTO DOS RESULTADOS</b>			
01. DIGEQQ	digeoqlab@cprm.gov.br	05.	
02. GEREMI		06.	
03. GEOQUÍMICO		07.	
04. CHEFE DE PROJETO		08.	
<b>INSTRUÇÕES ESPECIAIS:</b>			
Os resultados no formato digital (excel e pdf) deverão ser enviados para todos os e-mail's informados acima. O e-mail comunicando a devolução das amostras deverá ser enviado além dos e-mails acima para o e-mail: redelitoltecas@cprm.gov.br Informar o endereço da Litoteca que as amostras deverão ser devolvidas.			

RESERVADO P/ USO DO LABORATÓRIO			
Chegada:	/	/	
Am. Arquivo		Preparada	
Conf. Orçamento		Peso:	
Filial:			
Liber. PCP:			
Nº do Certif.:			
Entrada:			
Coord. EXP:			
Result. Enviado:	/	/	

ACEITE DO CLIENTE	
Total de amostras:	0
* Projeto:	ARIM CF Central
* Centro de Custo:	4320.087
* Nº da Nota de Empenho	
* Nº Requisição R. A.	
* Nº Contrato:	
* Data:	
* Assinatura do DIGEQQ:	



Anexo II – Ordem de serviço para análise química

 <b>SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL</b> CPRM	<b>SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL-SGB</b> Av. Brasil, nº1731 Cep: 30.140-002 - FUNCIONÁRIOS-BH CNPJ: 00.061.652/0010-70 Fone: +55 (31) 3678-0327		
<b>ORDEN DE SERVIÇO PARA EXECUÇÃO CONTRATUAL - ATA 001/SUREG-BH/2021, PREGÃO ELETRÔNICO 005/SUREG-BH/21, PROCESSO 001583/20-77 - PREPARAÇÃO E ANÁLISES QUÍMICAS</b>			
<b>INFORMAÇÃO DA EMPRESA CONTRATADA</b>			
<b>SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA.</b> Rod. MG 10 – Km 24,5 – Bairro Angicos Cep: 33.200-000 - Vespasiano - MG CNPJ: 02.417.115/0001-01 – Insc. E. 062.113648.00-55 Fone: +55 (31) 3045-0201 - Fax: +55 (31) 3045-0223 E-MAIL: sgsgeosol@sgsgeosol.com.br			
<b>INFORMAÇÃO DO SOLICITANTE</b>			
* Nome do requerente das análises: <b>ANTONIO CHARLES DA S. OLIVEIRA</b> Empresa: <b>CPRM-CIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS - SUREG MANAUS</b> Endereço: <b>Avenida André Araújo, 2160 Bairro Aleixo</b> CEP: <b>69060-000</b> UF: <b>MANAUS / AM</b> Fone / Fax: <b>92-2126 0301</b> E-mail: <a href="mailto:charles.oliveira@cprm.gov.br">charles.oliveira@cprm.gov.br</a>			
<b>ENDEREÇO E DADOS PARA O ENVIO DA FATURA</b>			
Nome responsável: <b>SILVANA DE CARVALHO MELO</b> Empresa: <b>CIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS - CPRM</b> Endereço: <b>AFOGADOS</b> Cidade – UF: <b>RECIFE/PE</b> CEP: <b>50770-011</b> Fone / Fax: <b>(81)3316-1420/(21)2546-0475</b> CPF / CNPJ: <b>00.091.652/0006-53</b> E-mail: <a href="mailto:digeoqlab@cprm.gov.br">digeoqlab@cprm.gov.br</a>			
<b>* E-MAIL'S PARA RECEBIMENTO DOS RESULTADOS</b>			
01. DIGEQC	<a href="mailto:digeoqlab@cprm.gov.br">digeoqlab@cprm.gov.br</a>	05.	
02. GEREM/CHEFE DE DIVISÃO		06.	
03. GEOQUÍMICO		07.	
04. CHEFE DE PROJETO		08.	
<b>INSTRUÇÕES ESPECIAIS:</b>			
Os resultados no formato digital (excel e pdf) deverão ser enviados para todos os e-mail's informados acima. No boletim analítico deverá conter: número do lote, centro de custo, nome do requerente e sureg.			

RESERVADO P/ USO DO LABORATÓRIO			
Chegada:	/	/	
Am. Arquivo		Preparada	
Conf. Orçamento		Peso:	
Filial:			
Liber. PCP:			
Nº do Certif.			
Entrada:			
Coord EXP:			
Result. Enviado:	/	/	

RESUMO DA SOLICITAÇÃO	
Total de amostras:	0
* Projeto:	Geologia do Cráton Amazônico
* Centro de Custo:	4120.084
* Nº Requisição R.A.:	
* Nº Contrato:	082/PR/19
* Nº da Nota de Empenho	
* Data:	
* Assinatura do DIGEQC:	

