



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

**MAPEAMENTO LITOGEO MECÂNICO DAS CAVAS CENTRAL E SUDESTE DA MINA
SERRA LESTE**

Marabá-PA

2018

MARCONE FRANCO JÚNIOR

**MAPEAMENTO LITOGEO MECÂNICO DAS CAVAS CENTRAL E SUDESTE DA MINA
SERRA LESTE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia da
Universidade Federal do Sul e Sudeste do
Pará - UNIFESSPA, em cumprimento às
exigências para a obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. José de Arimatéia Costa
de Almeida

Marabá-PA

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

MARCONE FRANCO JÚNIOR

**MAPEAMENTO LITOGEO MECÂNICO DAS CAVAS CENTRAL E SUDESTE DA MINA
SERRA LESTE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia da
Universidade Federal do Sul e Sudeste do
Pará - UNIFESSPA, em cumprimento às
exigências para a obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito _____

Banca examinadora:

Prof. Dr^o José de Arimatéia de Almeida – Orientador
Doutor em Petrologia e Geoquímica
FAGEO – UNIFESSPA

Prof. MSc. Aderson Lima – Membro
Mestre em Metalogênese
FAGEO - UNIFESSPA

Prof. MSc. Francisco Ribeiro da Costa – Membro
Mestre em Geologia Estrutural
FAGEO – UNIFESSPA

Aos meus pais Marccone Franco e Luciana Aniceto;

Às minhas irmãs Milena e Celiane;

Aos amigos.

AGRADECIMENTOS

Ao decorrer desta tese e ao longo da graduação tive ajuda de amigos e instituições que sempre me ajudaram e apoiaram, os quais quero agradecer agora e sempre:

- À Deus;
- À minha primeira família, em especial a Luciana Aniceto, Marcone Franco e Milena Franco;
- À minha segunda família, em especial Sant-Clay Diniz, Thiago Costa, Érica Lima, Jandessa de Jesus, Hugo Rodrigues, Ana Letícia, Breno Dutra, Débora Nascimento, Higor Lopes, Jorge Luíz, Joyce Tavares, Júlio César, Kelly Cruz, Letícia Telles, Márcio Henrique, Olailson Xavier, Ozineide Carvalho, Paula Ramiro, Raiane Sousa e Rômulo Oliveira;
- Aos amigos da topografia Adriano, Jacksom e João Paulo e toda a equipe de Planejamento de Curto Prazo;
- Aos amigos da 2013;
- Aos amigos Maria José Serra e Renato Cantão pelas conversas e incentivo;
- Ao meu orientador José de Arimatéia;
- Aos docentes da Graduação em Geologia, em especial Aderson Lima, Alice Cunha, Ana Valéria, Antônio Emídio, Francisco Ribeiro da Costa, Gilmara Feio, Leonardo Brasil e Raimundo Nonato;
- Ao laboratório de Laminação da Unifesspa, e a geóloga Flávia Afonso;
- Às equipes CGLM (Camila, Géssica e Luíz) e OMS (Ozineide e Suellen) de campo II;
- A todos os profissionais que fazem parte da Unifesspa;
- Ao seu Zé;
- À Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará e ao Instituto de Geociências e Engenharias;
- À Vale pela cessão dos dados utilizados no trabalho, bem como pelo suporte oferecido nas fases de mapeamento;
- Ao projeto de pesquisa CNPq Universal (Proc. 470386/2013-4) intitulado “Geologia, petrografia, geoquímica e geocronologia dos granitoides e gnaisses da região da vila Cruzeiro do Sul, Domínio Bacajá: Implicações para a evolução crustal da Província Transamazonas”;

“Se você quiser fazer Deus rir, conte a Ele os seus planos”

Woody Allen

RESUMO

A Província Carajás representa a porção crustal mais antiga e com o maior volume de rochas arqueanas expostas do Cráton Amazônico, e está localizada na sua borda sul-oriental, no sudeste do estado do Pará. Os seus depósitos têm teores de Fe maiores que 64% e reservas de 17,3 bilhões de toneladas. Dentro desse contexto se destaca a mina de Serra Leste, importante depósito localizado na área do município de Curionópolis. Apesar da grande importância econômica deste depósito, estudos relacionados ao mapeamento geológico-geotécnico em escala de detalhe são escassos na área do projeto, dificultando o planejamento de curto prazo na exploração mineral. O principal objetivo desta pesquisa está relacionado a suprir a ausência de mapa litológico das cavas da Mina de Serra Leste em uma escala que atenda o seu modelo de blocos e sua produção. Os dados de Classificação Litológica Visual e Interpretada obtidos durante a pesquisa revelaram a presença de 5 litotipos na área, são eles: Canga Química, Canga Estrutural, Máfica Decomposta, Hematita Compacta e Hematita Friável. O levantamento geomecânico permitiu determinar o valor de importantes parâmetros de Fator de Rocha para se alcançar um alto desempenho para a atividade de desmonte de Serra Leste.

ABSTRACT

The Carajas Province represents the oldest crustal portion with the largest volume of exposed Archaean rocks of the Amazonian Craton, and it is located on its southeastern border, in the southeast of the state of Pará. Its deposits contain Fe content higher than 64% and reserves of 17.3 billion tons. In this context, stands out the Serra Leste Mine, it is an important deposit located in the area of Curionópolis shire. Although, the deposit great economic importance, the studies related to geological-geotechnical mapping in detail scale in the project area are scarce, making it difficult planning short-term mineral exploration. This research main goal is related to supply the absence of a lithological map of the pit of the Serra Leste Mine on a scale that is applicable on its block model and production. The data of Visual and Interpreted Lithographic Classification obtained during the research, revealed the presence of 5 lithotypes in the area, they are: Chemical Canga, Structural Canga, Decomposed Mafic, Compact Hematite and Friable Hematite. The geomechanical survey allowed setting the value of important Rock Factor parameters to reaching out a high performance for the Serra Leste disassemble activity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	3
Figura 2 - Exemplo de modelo de blocos para uma mina de ouro em lavra subterrânea. Fonte: https://avesoro.com/wp-content/uploads/2013/11/NDB_BLOCK-MODEL_4.png	5
Figura 3 - Fluxograma de procedimentos para a realização do mapeamento geológico.	6
Figura 4 - Fluxograma das etapas de realização da amostragem de pó de perfuratriz.	7
Figura 5 - (A) Perfuratriz utilizada na composição dos furos; (B) Produto do furo da perfuratriz; (C) Exposição do material; (D) Realização da retirada do material.	7
Figura 6 - Fluxograma com as etapas realizadas durante a preparação física.....	8
Figura 7 - Localização da Província Carajás no Cráton Amazônico; b) Compartimentação tectônica da Província Carajás proposta por Dall’Agnol et al. (2013); c) localização da Bacia de Carajás.....	12
Figura 8 - Mapa litológico das Cavas Central e Sudeste da Mina de Serra Leste.	16
Figura 9 - (A) Amostra representativa da canga química; (B) Amostra representativa da canga estrutural; (C) Amostra representativa da máfica decomposta; (D) Contato concordante entre máfica decomposta e hematita compacta.....	18
Figura 10 - (A) Amostra representativa de HC; (B) Ocorrência de HC evidenciando sua forte estruturação; (C) Planos de fraturas de HC da cava sudeste plotados no diagrama de Schmidt; (D) Planos de fraturas de HC da cava central plotados no diagrama de Schmidt; (E) Ocorrência de HF com presença de foliação; (F) HF pulverulenta; (G) Polos dos planos de foliação da HF na cava sudeste; (H) Polos dos planos de foliação da cava central.	19
Figura 11 - (A) Localização da praça de furos na cava central; (B) Perfuratriz utilizada para a execução dos furos; (C) Coleta das amostras.....	20
Figura 12 - Diagrama de FeGL vs G1 proposto para melhor visualização dos resultados das análises granulométricas.	22
Figura 13 - (A) Talude irregular causado pela HC, notar as marcas da escavadeira nos corpos de HF adjacentes; (B) Avanço de lavra da cava central planejado para o 2º trimestre; (C) Avanço de lavra da cava sudeste planejado para o 2º trimestre.....	23
Figura 14 - Bancadas que receberam o levantamento geomecânico na Cava Central.....	24
Figura 15 - Bancadas que receberam o levantamento geomecânico na Cava Sudeste.	25

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Analitos e seus respectivos métodos de determinação.....	9
Quadro 2 - Chave de Classificação Interpretada da Mina de Serra Leste.....	10
Quadro 3 : Resultado das análises granulométricas das 30 amostras da cava central.....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação geomecânica para obtenção do fator da rocha (CUNNINGHAM, 1983).....	10
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO	2
1.2 JUSTIFICATIVA	4
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
1.4.1 Mapeamento Litológico	5
1.4.2 Amostragem de Pó de Perfuratriz.....	6
1.4.3 Preparação Física e Análise Química.....	8
1.4.4 Classificação Litológica	9
1.4.5 Caracterização Geomecânica.....	10
2 GEOLOGIA REGIONAL	11
3 RESULTADOS	16
3.1 CLASSIFICAÇÃO LITOLÓGICA VISUAL (CLI)	17
3.2 CLASSIFICAÇÃO LITOLÓGICA INTERPRETADA (CLI).....	20
3.3 FATOR DA ROCHA (RMD + JF)	23
4 CONCLUSÕES	26
REFERÊNCIAS	27

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o minério de ferro desempenha importante papel na economia brasileira. A maior parte dos depósitos de ferro hematíticos de classe mundial de alto teor (60-67% Fe) é produto de enriquecimento supergênico das formações ferríferas bandadas (FFB) do Pré-Cambriano (BEUKES et al. 2002), sendo o Brasil possuidor de duas das maiores províncias do mundo – Quadrilátero Ferrífero (MG) e Carajás (PA). A Província Carajás (PC) representa a porção crustal mais antiga e com o maior volume de rochas arqueanas expostas do Cráton Amazônico, e está localizada na sua borda sul-oriental, no sudeste do estado do Pará. Os seus depósitos alcançam teores maiores que 64% de Fe e reservas de 17,3 bilhões de toneladas (GUEDES et al. 2002). Dentro desse contexto se destaca a mina de Serra Leste, importante depósito localizado na área do município de Curionópolis.

Em 1971 e 1972 foram realizados os trabalhos pioneiros de pesquisa e de sondagem na área de Carajás, realizados pela CVRD-CODIM, inclusive nos depósitos de Serra Leste. Na década de 90, foram realizadas três importantes campanhas com o objetivo de melhorar a estimativa da reserva, além de estabelecer um modelo geológico e estrutural para o depósito. Em 2007, através de contrato firmado entre a Gerência de Área de Exploração Mineral de Ferrosos – GAEMF/DIPF/VALE e a empresa Geoservice Engenharia Geológica Ltda., realizou-se o mapeamento na escala de 1:10.000 dos depósitos de Serra Leste, priorizando a caracterização e individualização das formações ferríferas, especialmente aquelas de interesse para aproveitamento econômico.

Poucos são os trabalhos de cunho geológico realizados na mina desde o início de sua exploração, entre os anos de 2013 e 2014. Um problema recorrente desse fato é a ausência de um mapa geológico das cavas em atual atividade. Recentemente, a FAGEO/Unifesspa firmou convênio com a Companhia Vale através do Programa Estágio da Vale com o intuito de oferecer aos discentes do curso de geologia a oportunidade de vivenciar a rotina do geólogo e desenvolver habilidades inerentes a profissão. Deste modo, os dados utilizados neste trabalho foram obtidos durante o estágio do presente autor na Companhia Vale no Projeto Serra Leste. Ressalta-se que os dados de campo e análise granuloquímicas, bem como imagens foram autorizadas pela Companhia Vale. O presente trabalho tem como objetivo

central realizar a confecção deste mapa em escala que atenda as necessidades atuais do depósito Serra Leste.

1.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de Serra Leste está localizada (Fig. 1) no município de Curionópolis – PA, Brasil, há cerca de 150 km das minas em operação de minério de Ferro da Vale, localizadas próximo a cidade de Parauapebas - PA, ambos na Província Mineral Carajás – PA, Brasil.

O acesso é feito a partir do km 16 da Rodovia PA-275, no trevo de acesso à Serra Leste, compreendendo um trecho de 34 km em estrada não pavimentada de condições precárias na estação chuvosa. A sede municipal, Curionópolis, está distante cerca de 36 km de Parauapebas, 129 km de Marabá e a 627 km de Belém, capital do estado do Pará.

Atualmente, 2 cavas estão sendo lavradas no Projeto Serra Leste, denominadas de Cava Central e Cava Sudeste (Fig. 1). A Cava Sudeste localiza-se nas proximidades do setor administrativo da mina, já a Cava Central fica localizada há aproximadamente 1km à sudoeste do setor administrativo.

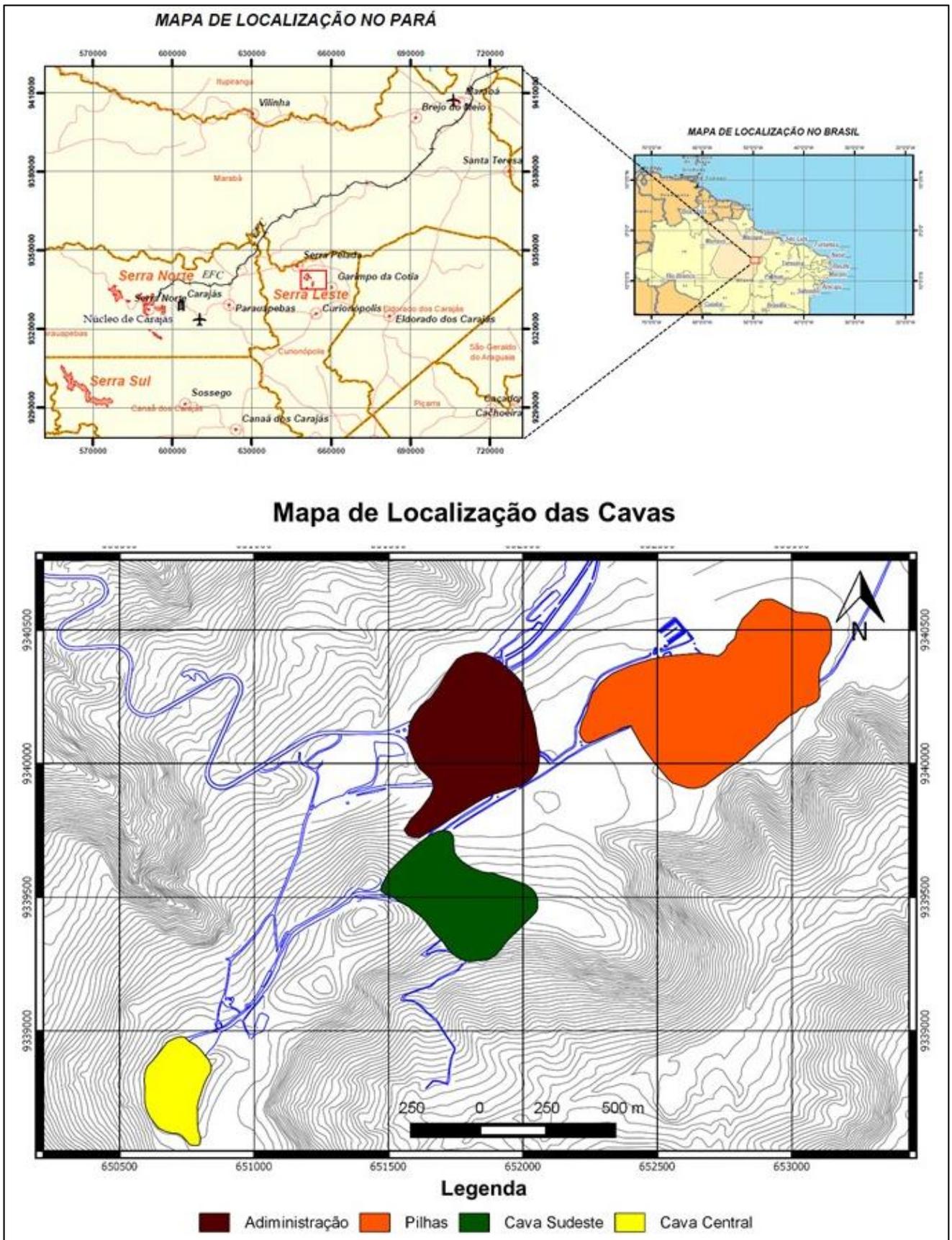


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

1.2 JUSTIFICATIVA

A Província Carajás é a maior província mineralógica do planeta, abrigando a maior jazida de minério de ferro explorada do mundo, respondendo por 27% da produção nacional de minério de ferro, sendo a segunda área produtora mais importante do país, ficando atrás apenas do Quadrilátero Ferrífero no estado de Minas Gerais. Serra Leste é um dos projetos de ferro da Companhia Vale de destaque na Província Carajás, no qual estima-se uma reserva inicial de aproximadamente 200 milhões de toneladas. Apesar da grande importância econômica deste depósito, estudos relacionados ao mapeamento geológico-geotécnico em escala de detalhe são escassos na área do projeto, dificultando o planejamento de curto prazo na exploração mineral. Além disso, a abertura das bancadas da Cava Central é recente, restringindo o conhecimento geológico dos litotipos aflorantes em subsuperfície. Deste modo, análise química por meio de pó de perfuratriz é necessário para entender a disposição das rochas em profundidade.

O Programa Estágio da Vale, oferecido ao autor deste trabalho pela Companhia Vale na região de Serra Leste, permitiu a ampla visualização da problemática ocasionada pela ausência de mapas de detalhes da Mina, no aprimoramento dos conhecimentos adquiridos durante a graduação em geologia, no aprendizado de técnicas de mapeamento litogeomecânicos e manipulação de bancos de dados aplicada para a área de mineração, fornecendo novas ferramentas voltadas para o planejamento de curto prazo.

1.3 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é o mapeamento litológico da superfície das cavas. Como objetivos específicos, temos:

- (a) Confeccionar o mapa litológico em escala que atenda às necessidades de produção da operação da Mina de Serra Leste;
- (b) Realizar amostragem de pó de perfuratriz para análise granuloquímica da Cava Central;
- (c) Interpretar os resultados obtidos de acordo com a chave de classificação litológica do Projeto;
- (d) Realizar levantamentos geotécnicos voltados para desmonte.

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse tópico são descritos e detalhados todos os procedimentos adotados para a realização deste trabalho.

1.4.1 Mapeamento Litológico

O mapa geológico é um importante produto para o funcionamento de uma mina e visa o aprimoramento do modelo de blocos, o qual consiste na Modelagem geológica muito utilizada pelo planejamento de Mina. A figura 2, mostra um exemplo de modelo de blocos para o projeto de ouro de Ndablama, Liberia, oeste da Africa. Nas operações de Serra Leste, os blocos possuem dimensões de 12,5mx12,5mx10m totalizando um volume de 1562.5 m³. O fluxograma a seguir (Fig.3) descreve as seqüência de tarefas que os envolvidos necessitam para elaborar o mapa geológico nos parâmetros que atendam as demandas do Planejamento de Lavra das Minas de Serra Leste.

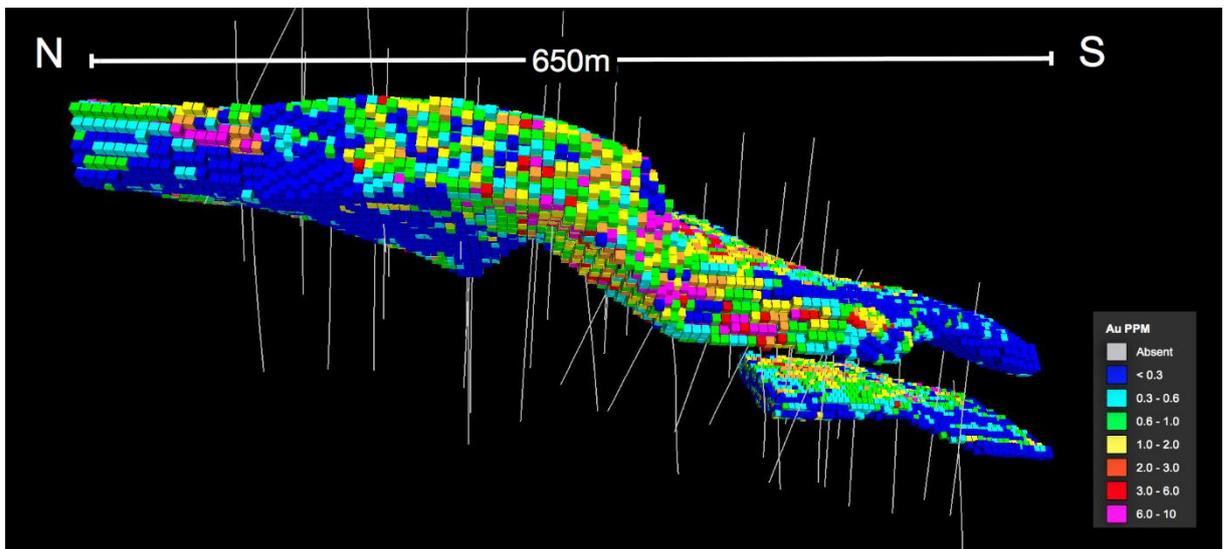


Figura 2 - Exemplo de modelo de blocos para uma mina de ouro em lavra subterrânea. Fonte: https://avesoro.com/wp-content/uploads/2013/11/NDB_BLOCK-MODEL_4.png

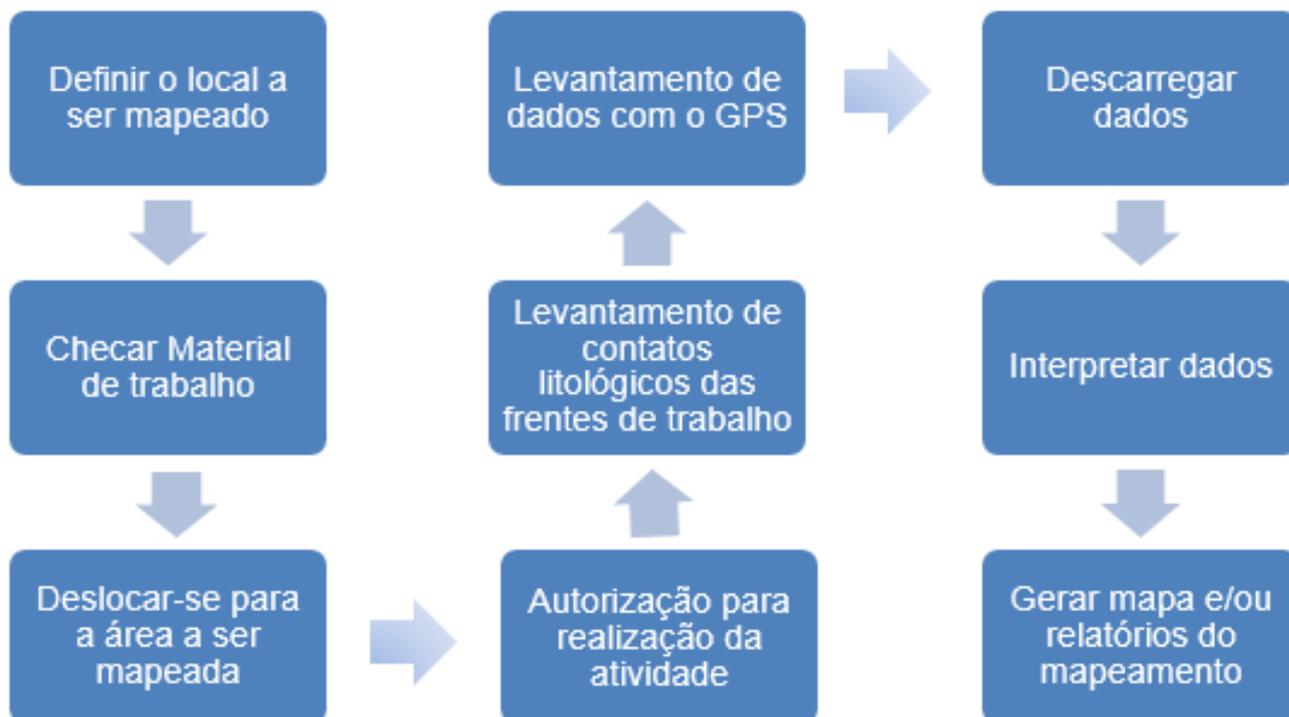


Figura 3- Fluxograma de procedimentos para a realização do mapeamento geológico.

Durante a etapa de levantamento de contatos litológicos, deve-se sempre respeitar as dimensões dos blocos do modelo geológico da Mina, ou seja, corpos com dimensões inferiores ao comprimento dos blocos (12,5 m) não são representados no mapeamento.

1.4.2 Amostragem de Pó de Perfuratriz

Neste trabalho foram realizadas 30 análises químicas provenientes da Cava Central, visando entender a continuidade dos corpos litológicos. É a principal ferramenta para se realizar a classificação de rochas em fundo de cavas e realização de controle de qualidade de uma mina. O processo consiste em amostragem de solos e/ou rochas em profundidades de aproximadamente 10m, utilizando para isso uma perfuratriz com diâmetro da haste de 6,5 cm (Fig.). A coleta a partir da perfuratriz gera um acúmulo de material no formato de um cone (Fig. 3A), onde faz-se um corte transversal no mesmo expondo o material a ser amostrado (Fig. 3B e C), realizando a coleta sempre de baixo para cima em todo o corte (Fig. 3D), buscando a melhor representatividade do cone. A figura 4 sintetiza o passo a passo desta tarefa.

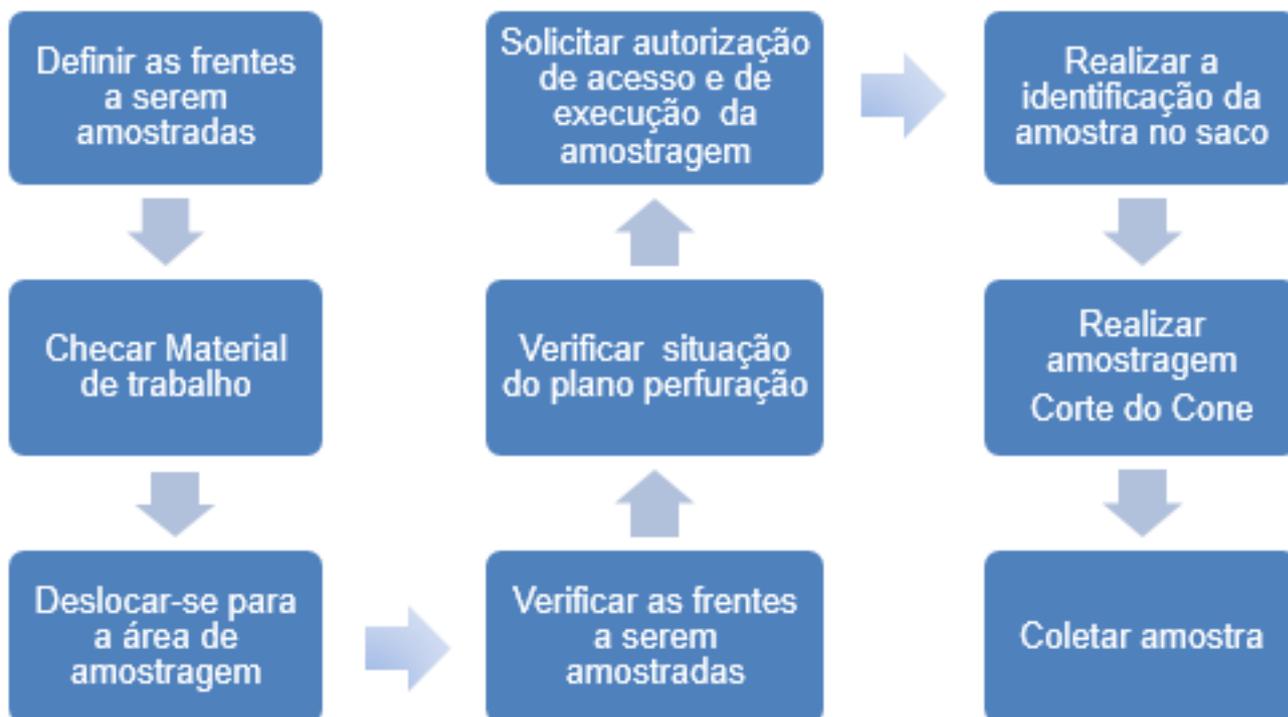


Figura 4 - Fluxograma das etapas de realização da amostragem de pó de perfuratriz.

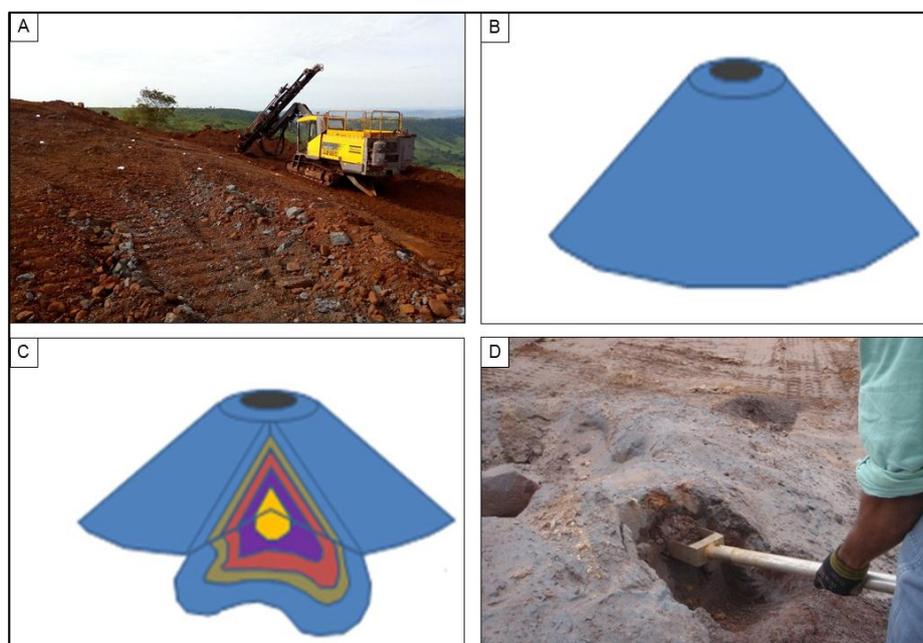


Figura 5 - (A) Perfuratriz utilizada na composição dos furos; (B) Produto do furo da perfuratriz; (C) Exposição do material; (D) Realização da retirada do material.

1.4.3 Preparação Física e Análise Química

Todas as preparações físicas foram realizadas no laboratório da Mina N4 do Complexo Carajás seguindo as etapas mostradas na figura fluxograma (Fig. 6) a seguir:

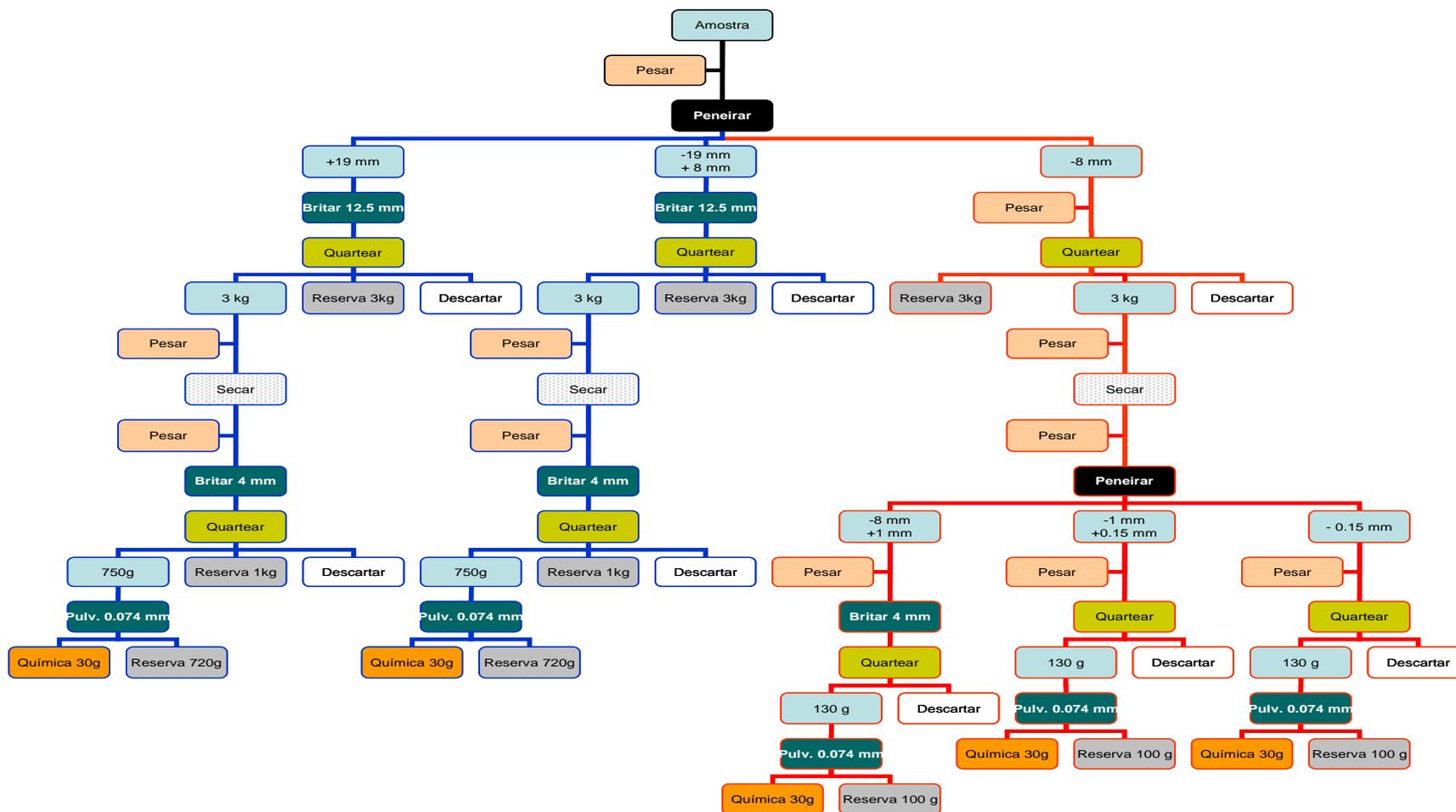


Figura 6 - Fluxograma com as etapas realizadas durante a preparação física.

As 30 análises químicas foram realizadas pelo laboratório da Mina de N4. A metodologia utilizada para a determinação dos analitos (elementos e/ou óxidos), bem como seus respectivos limites de detecção (inferior) e quantificação são apresentados no quadro 1, abaixo:

Analito	Método Analítico	Limite Detecção Inferior (%)	Limite de Quantificação Inferior (%)
SiO ₂	Fluorescência de RX pastilha fundida	0.03	0.11
Al ₂ O ₃	Fluorescência de RX pastilha fundida	0.03	0.09
P	Fluorescência de RX pastilha fundida	0.002	0.007
Mn	Fluorescência de RX pastilha fundida	0.003	0.011
CaO	Fluorescência de RX pastilha fundida	0.004	0.014
MgO	Fluorescência de RX pastilha fundida	0.014	0.046
TiO ₂	Fluorescência de RX pastilha fundida	0.01	-
Fe Total	Dicromatometria	0.12	0.46
PPC	Gravimetria	0.02	0.07

Quadro 1 - Analitos e seus respectivos métodos de determinação.

1.4.4 Classificação Litológica

Existem dois tipos de classificação estabelecidos pela empresa Vale no projeto Serra Leste: 1) Classificação Litológica Visual (CLV) – esta classificação consiste em facilitar os trabalhos de lavra, onde os diferentes tipos de rochas são classificados de acordo com sua coloração, presença de fraturas e aspectos texturais; 2) Classificação Litológica Interpretada (CLI) – essa classificação é feita quando não é possível a determinação do litotipo a partir da classificação Litológica visual, e envolve análises laboratoriais abrangendo métodos físicos e químicos para definição do tipo de rocha (análise granuloquímica).

Em Serra Leste, a Classificação Litológica Interpretada, é definida com base em critérios químicos (Ferro Global - FeGL) e granulométricos (G1 – intervalo entre 63mm e 19mm) conforme o quadro 2. Para FeGL < 55% o material é denominado de Canga Química, e para 55% < FeGL ≤ 59% considera-se Canga Estrutural. Para FeGL ≥ 60%, utiliza-se a porcentagem do material retido em peneira G1 para diferenciar o tipo de Hematita, se compacta (HC) ou friável (HF). No caso de Hematita compacta, a quantidade de grãos retida na peneira G1 deve superar 50%, e na Hematita Friável inferior a 50%.

Litotipo	Condição 1	Condição 2
Coberturas		
CQ - Canga Química	FeGL < 55%	
CE - Canga Estrutural	FeGL >= 55%	
Hematitas		
HC - Hematita Compacta	FeGL >= 60%	G1 > 50%
HF - Hematita Friável	FeGL >= 60%	G1 < 50%

Quadro 2 - Chave de Classificação Interpretada da Mina de Serra Leste.

1.4.5 Caracterização Geomecânica

Desmonte de rochas ou também conhecido como desmonte de bancadas é a atividade mais comum de explosão de rocha e é uma etapa fundamental no ciclo de produção de uma mina. Para a sua otimização é necessário o levantamento de algumas características do maciço rochoso no qual acontecerá o desmonte, onde o conjunto dessas características é chamado de Fator da Rocha (A), o qual é usado para ajustar o tamanho médio dos fragmentos e é obtido por:

$$A = 0,06 \times (RMD + JF + RDI + HF)$$

Quanto mais elevado for o valor do Fator da Rocha, maior será o fragmento gerado pelo desmonte. Para determinação desse fator são usados os dados obtidos na classificação da Tabela 1. As variáveis RDI e HF, que necessitam de ensaios físicos, não foram realizadas nesse levantamento, pois são valores já conhecidos pelos responsáveis do desmonte.

Símb.	Descrição	Classificação	Índice
RMD	Maciço rochoso	Friável	10
		Fraturado	JF
		Maciço	50
JF	Maciço fraturado	JPS + JPA	
JPS	Espaçamento das descontinuidades (m)	< 0,10 m	10
		0,10 a MS	20
		MS a DP	50
MS	Oversize da britagem primária (m)		
DP	Parâmetros da malha de perfuração (m)		
JPA	Direção e mergulho com relação à face livre	Horizontal	10
		Mergulhando para fora da face livre	20
		Direção perpendicular à face livre	30
		Mergulhando para dentro da face	40
RDI	Influência da densidade (densidade da rocha intacta, g/cm ³)	RDI = 25d - 50	
HF	se E < 50 GPa	HF = E/3	
	se E > 50 GPa	HF = UCS/5	
E	Módulo de Young (GPa)		

Tabela 1 - Classificação geomecânica para obtenção do fator da rocha (CUNNINGHAM, 1983).

2 GEOLOGIA REGIONAL

A Província Carajás (PC) representa a porção crustal mais antiga e com o maior volume de rochas arqueanas expostas do Cráton Amazônico, e está localizada na sua borda sul-oriental, no sudeste do estado do Pará. Ela foi individualizada em dois domínios tectônicos, o Domínio Carajás (DC), localizado ao norte e o Domínio Rio Maria (DRM), ao sul da província (SOUZA et al., 1996; SANTOS, 2003; VASQUEZ et al., 2008).

De acordo com Souza et al. (1996), o limite entre os Domínios é incerto, mas estaria localizado a norte do *greenstone belt* de Sapucaia, pertencente ao Supergrupo Andorinhas.

Dall’Agnol et al. (1997, 2006) acreditam que a região entre Xinguara e a porção sul da Bacia de Carajás corresponde a um domínio de transição, pois seria uma extensão do DRM, intensamente afetada pelos eventos magmáticos e tectônicos registrados na bacia Carajás, sendo adotada a designação de “Subdomínio de Transição” (DALL’AGNOL et al., 2006) para a região entre Xinguara e Serra Sul de Carajás, posteriormente, Dall’Agnol et al. (2013) caracterizaram esse subdomínio em dois domínios geológicos e tectonicamente distintos, denominados de Domínio Sapucaia (DS) e Domínio Canaã dos Carajás (DCC) - Figura 7.

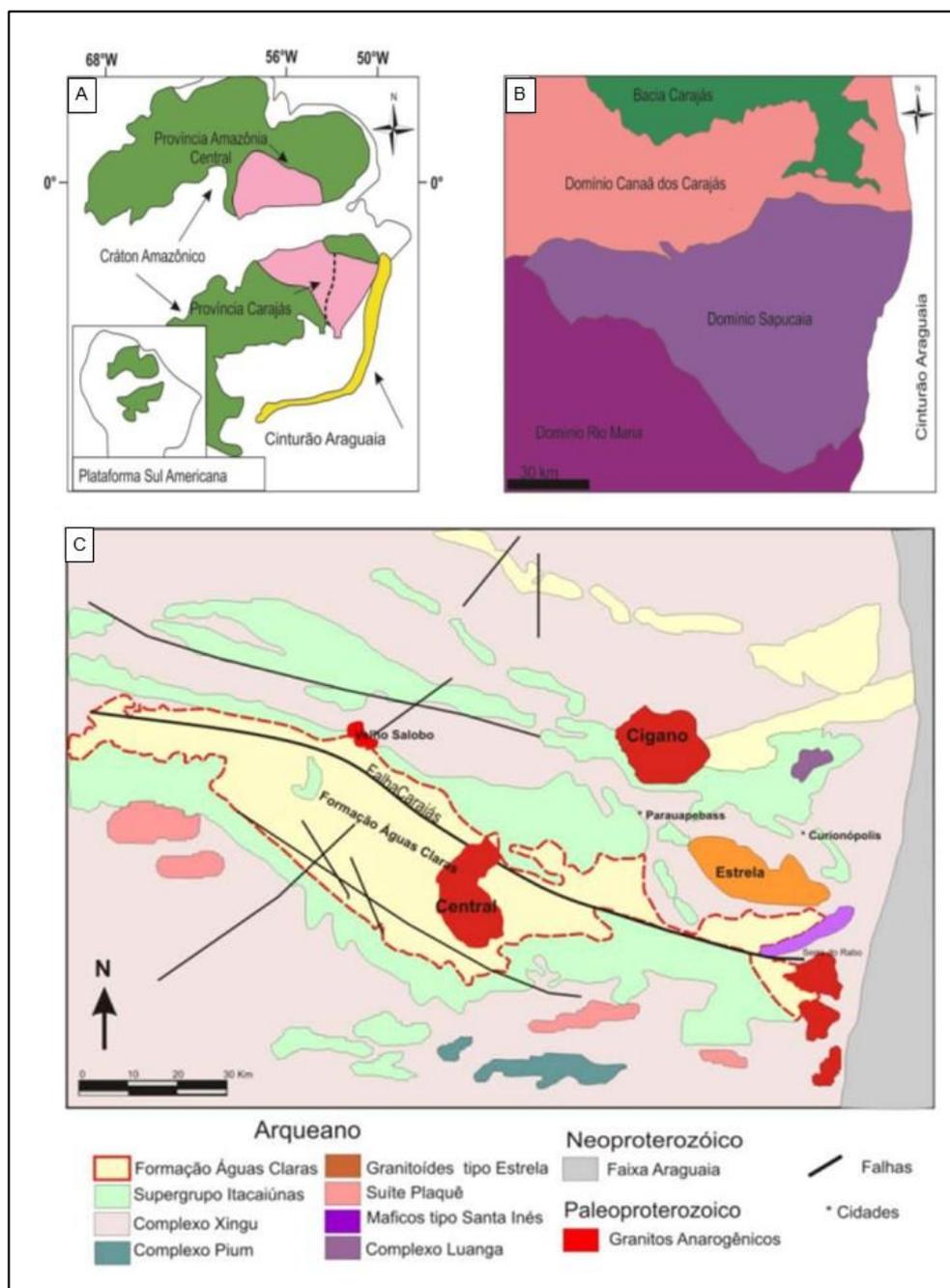


Figura 7 - Localização da Província Carajás no Cráton Amazônico; b) Compartimentação tectônica da Província Carajás proposta por Dall’Agnol et al. (2013); c) localização da Bacia de Carajás.

O Domínio Rio Maria (VASQUEZ et al., 2008) corresponde a um núcleo mesoarqueano (3,0-2,86 Ga) bem preservado, composto por *greenstones belts* contendo metakomatiitos, metabasaltos, metagabros, e rochas metaígneas félsicas à intermediárias com intercalações de metagrauvacas (Supergrupo Andorinhas; DOCEGEO, 1988; HUHNS et al., 1988; SOUZA et al., 2001). Os *greenstones belts* são seccionados por uma variedade de granitoides arqueanos originados no intervalo entre 2,98 a 2,86 Ga (DALL’AGNOL et al., 2006, ALMEIDA et al., 2010, 2011, 2013).

Almeida (2010), distinguiu 4 grupos de granitóides arqueanos composicionalmente distintos no Domínio Rio Maria: 1) Associações TTGs originadas em três episódios magmáticos (2,96, 2,93 e 2,86 Ga), representadas pelo Tonalito Arco Verde, Trondhjemito Mogno, Complexo Caracol, Tonalito Marizinha e Trondhjemito Água Fria, sendo que este último marca o evento TTG mais jovem do Domínio Rio Maria (LEITE *et al.*, 2004; ALMEIDA *et al.*, 2011); 2) Suíte Sanukitóide Rio Maria com idade de 2,87 Ga (OLIVEIRA *et al.*, 2009); 3) Leucogranitos Potássicos compostos pelos plútons Xinguara e Mata Surrão (~2,86 Ga; LEITE *et al.*, 2004, ALMEIDA *et al.*, 2013) e 4) Leucomonzogranitos-granodioritos com alto Ba e Sr (~2,87 Ga; ALMEIDA *et al.*, 2010, 2013).

O Domínio Sapucaia (2,95 à 2,73 Ga; OLIVEIRA *et al.*, 2010; DALL'AGNOL *et al.*, 2013; GABRIEL & OLIVEIRA, 2014; SANTOS *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2014; SANTOS & OLIVEIRA, 2016) apresenta estratigrafia similar ao Domínio Rio Maria, no entanto foram fortemente afetadas por eventos tectônicos neoarqueanos.

O Domínio Canaã dos Carajás apresenta uma evolução geológica mais complexa, onde vários episódios magmáticos são registrados (FEIO *et al.*, 2013): 1) ~ 3.0 Ga – formação do Tonalito BACABA (MORETO *et al.*, 2011); 2) 2.96 – 2.93 Ga - colocação do Granito Canaã dos Carajás e do Thondhjemito Rio Verde; 3) 2.87 – 2.83 Ga – cristalização do Complexo Tonalítico Campina Verde, Trondhjemito Rio Verde, e dos Granitos Cruzadão, Bom Jesus e Serra Dourada; 4) ~ 2.75 – origem dos granitóides sódicos da Suíte Pedra Branca e de rochas com afinidade charnokíticas ligadas ao Complexo Pium.

A Bacia de Carajás tem sua expressão regional controlada por feixes de estruturas EW que formam leques imbricados de cavalgamentos oblíquos dúcteis, em domínios dos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento (ARAÚJO & MAIA 1991). Seu embasamento inclui rochas arqueanas como: corpos estratiformes básico-ultrabásico representado por granulitos máficos a félsicos e gnaisses tonalíticos e granodioríticos, migmatizados e anfibolitos dos complexos Pium e Xingu (ARAÚJO & MAIA 1991, RODRIGUES *et al.* 1992).

Ainda não existe um modelo evolutivo e paleogeográfico bem definido para a Bacia de Carajás. Entretanto, Pinheiro (1997) defende uma evolução com base em movimento transpressivo sinistral, que teria desenvolvido uma trama milonítica na direção E-W, e afetou o embasamento (Complexo Pium, Complexo Xingú e Suíte

Plaquê). Subsequentemente, ocorreriam movimentos transpressivos sinistrais, desenvolvendo zonas de cisalhamento, dobras e metamorfismo no embasamento. E posteriormente, movimentos extensionais, propiciado a formação da Bacia Carajás, na qual foram depositadas as sequências vulcanosedimentares e os sedimentos da Formação Águas Claras. Novos movimentos transpressivos destrais desenvolveram um conjunto de falhas transcorrente E-W e NW-SE, e normais, que formam os Sistemas Transcorrente Carajás e onde está inserida a Falha Carajás. Em outro episódio, sob regime de transpressão sinistral, houve a inversão e deformação das sequências vulcanosedimentares desta bacia. Finalmente, ocorreram intrusões de diques e plútons graníticos proterozóicos, sob movimentos extensionais (transtensivos), dando a estruturação tectônica atual da Bacia Carajás.

As unidades stratigráficas da Bacia de Carajás incluem as rochas supracrustais do Supergrupo Itacaiúnas, Formação Águas Claras e Formação Gorotire.

O Supergrupo Itacaiúnas é formado por rochas metavulcano-sedimentares dos grupos Igarapé Salobo, Igarapé Pojuca, Grão Pará, Igarapé Bahia e Buritirama (DOCEGEO 1988). O Grupo Igarapé Salobo é composto de paragneisses da Formação Gnaiss Cascade, com intercalações de anfibolitos e metapelitos na base, xistos ferruginosos mineralizados em cobre na porção intermediária (Formação Três Alfa), e quartzitos, gnaisses andesíticos, metarcóseos e xistos da Formação Cinzento, no topo. Estudos recentes restringem esse grupo às rochas vulcano-sedimentares da Serra do Salobo (VASQUEZ et al. 2008). O Grupo Igarapé Pojuca é composto de anfibolitos metarenitos, metasiltitos, formações ferríferas, metacherts, que são cortados por diques de metagabros e metadiabásios. O Grupo Grão-Pará (HIRATA et al. 1982) é representado pelos metabasaltos e riolitos da Formação Parauapebas, e jaspelitos da Formação Carajás. O Grupo Igarapé Bahia corresponde às rochas vulcanosedimentares de baixo grau metamórfico das Formações Grotta do Vizinho e Sumidouro. O Grupo Buritirama inclui quartzitos micáceos e mica-xistos. Em testemunhos de sondagem ocorrem mica-xistos carbonatados, rochas calciossilicatadas, leitos de mármore e horizontes do protominério de Mn (DOCEGEO 1988).

A Formação Águas Claras, representa uma unidade sedimentar siliciclástica arqueana discordante ao Supergrupo Itacaiúnas (ARAÚJO et al. 1988), composta de

arenitos, pelitos e siltitos de ambientes litorâneos a fluviais (NOGUEIRA et al. 1995) que afloram especialmente na porção central do Sistema Transcorrente de Carajás (PINHEIRO 1997). Atualmente é subdividida em dois membros: 1) Inferior: pelitos, siltitos e arenitos; 2) Superior: arenitos.

A Formação Gorotire é constituída de arcóseos grossos a conglomeráticos com seixos de quartzo, K-feldspato, formação ferrífera, e rochas básicas. Também ocorrem paraconglomerados polimíticos marrom avermelhados, litificados, com seixos e matacões (vulcânicas, graníticas, gnaisses, xistos, anfibolitos, pegmatitos, fragmentos de minério de Mn). É considerada uma seqüência clástica imatura não deformada (PINHEIRO 1997, LIMA & PINHEIRO 1998) que ocorre exclusivamente na terminação leste da Falha Carajás.

As rochas sedimentares da Bacia de Carajás são intrudidas por granitos arqueanos dos complexos Luanga, Estrela, Serra do Rabo e Old Salobo, e granitos anorogênicos proterozóicos da Suíte Carajás. Outras intrusões neoarqueanas incluem o Complexo máficoultramáfico Luanga, diques e sills máficos, e granitos como o Estrela e Old Salobo. Granitos anorogênicos de composição sieno a monzogranítica (DALL'AGNOL et al. 1994) cortam as unidades mais antigas e compõem a suite Granítica Carajás. O Complexo Intrusivo Luanga é representado por rochas básicas e ultrabásicas acamadadas (MEDEIROS FILHO & MEIRELES 1985). O Complexo Granítico Estrela (BARROS 1997, BARROS et al. 2001, BARROS et al. 2004), formado predominantemente por monzogranitos, sienogranitos, granodioritos e tonalitos subordinados (BARROS 1997). O Granito Serra do Rabo é composto predominantemente por granitos e sienogranitos, e compõem dois stocks sintectônicos, na terminação leste da Falha Carajás. O Granito Old Salobo é sódico, metaluminoso. A Suíte Granítica Carajás é composta pelos granitos Serra dos Carajás, Cigano e Pojuca (DOCEGEO 1988).

3 RESULTADOS

Esse capítulo apresenta o produto da interpretação e tratamento dos dados litogeomecânicos obtidos nas cavas central e sudeste da Mina de Serra Leste. A figura 8 traz o mapa litológico da área de estudo, principal produto da presente pesquisa.

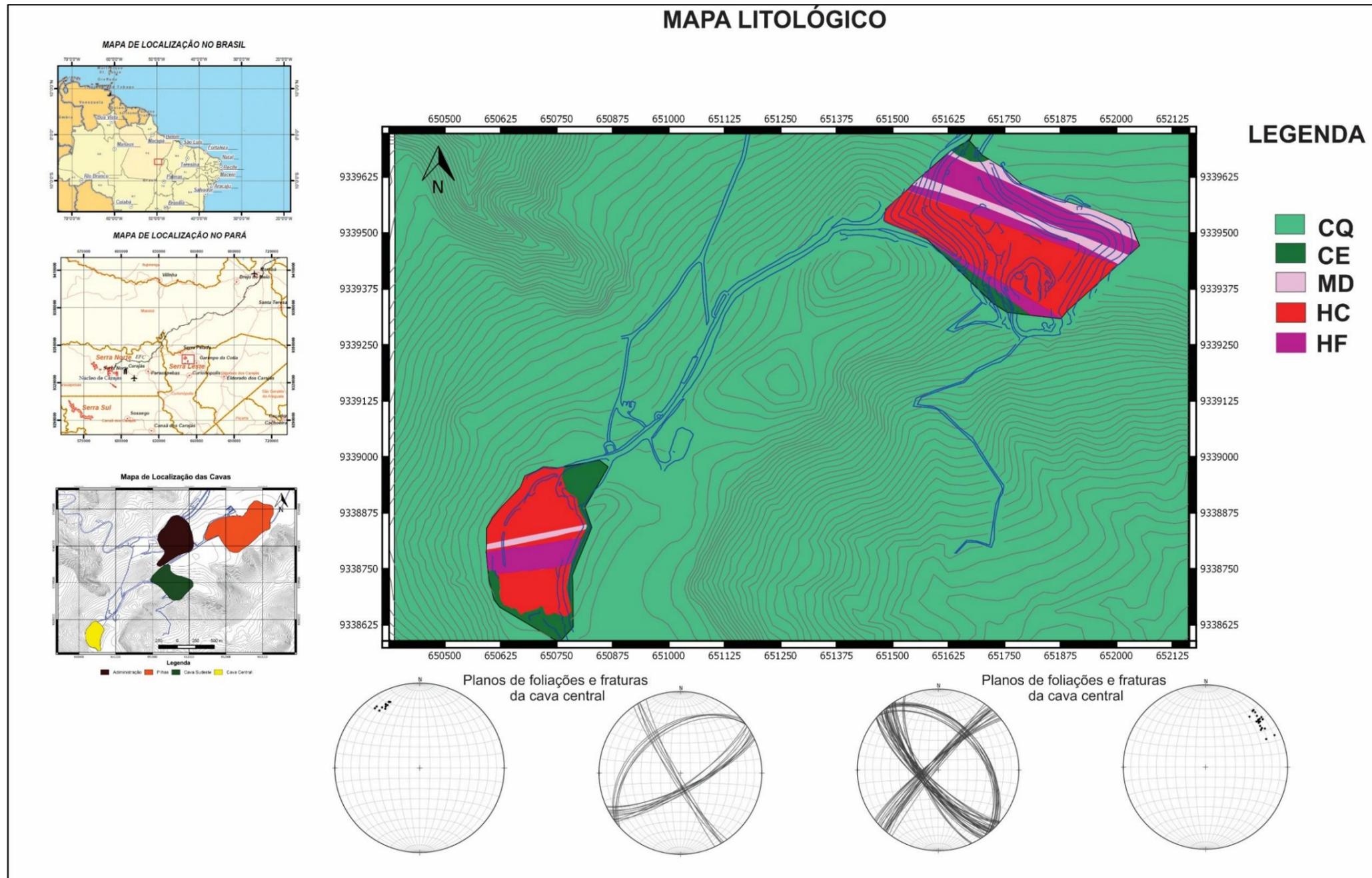


Figura 8 - Mapa litológico das Cavas Central e Sudeste da Mina de Serra Leste; CQ = Canga Química; CE = Canga Estrutural; MD = Máfica Decomposta; HC = Hematita Compacta; HF = Hematita Friável.

3.1 CLASSIFICAÇÃO LITOLÓGICA VISUAL (CLI)

Através do mapeamento realizado nas cavas central e sudeste foram identificados 5 litotipos que ocorrem na área:

Canga Química (CQ): É encontrada como cobertura em toda a região. Possui cor marrom amarelado, aspecto levemente poroso e friável. Figura 9a

Canga Estrutural (CE): É encontrada comumente entre a cobertura de canga química e os corpos de hematita. É diferenciada da canga química pela presença de goethita (Fig. 9b), fator que lhe atribui interesse econômico para a Mina.

Máfica Decomposta MD: Rocha de coloração marrom avermelhada intensamente alterada por intemperismo (Fig. 9c), fator que dificulta a identificação de sua mineralogia. Volumes significantes de rocha básica estão encaixados nas rochas ferríferas, destacando-se os corpos concordantes (*sills* – Figura 9d).

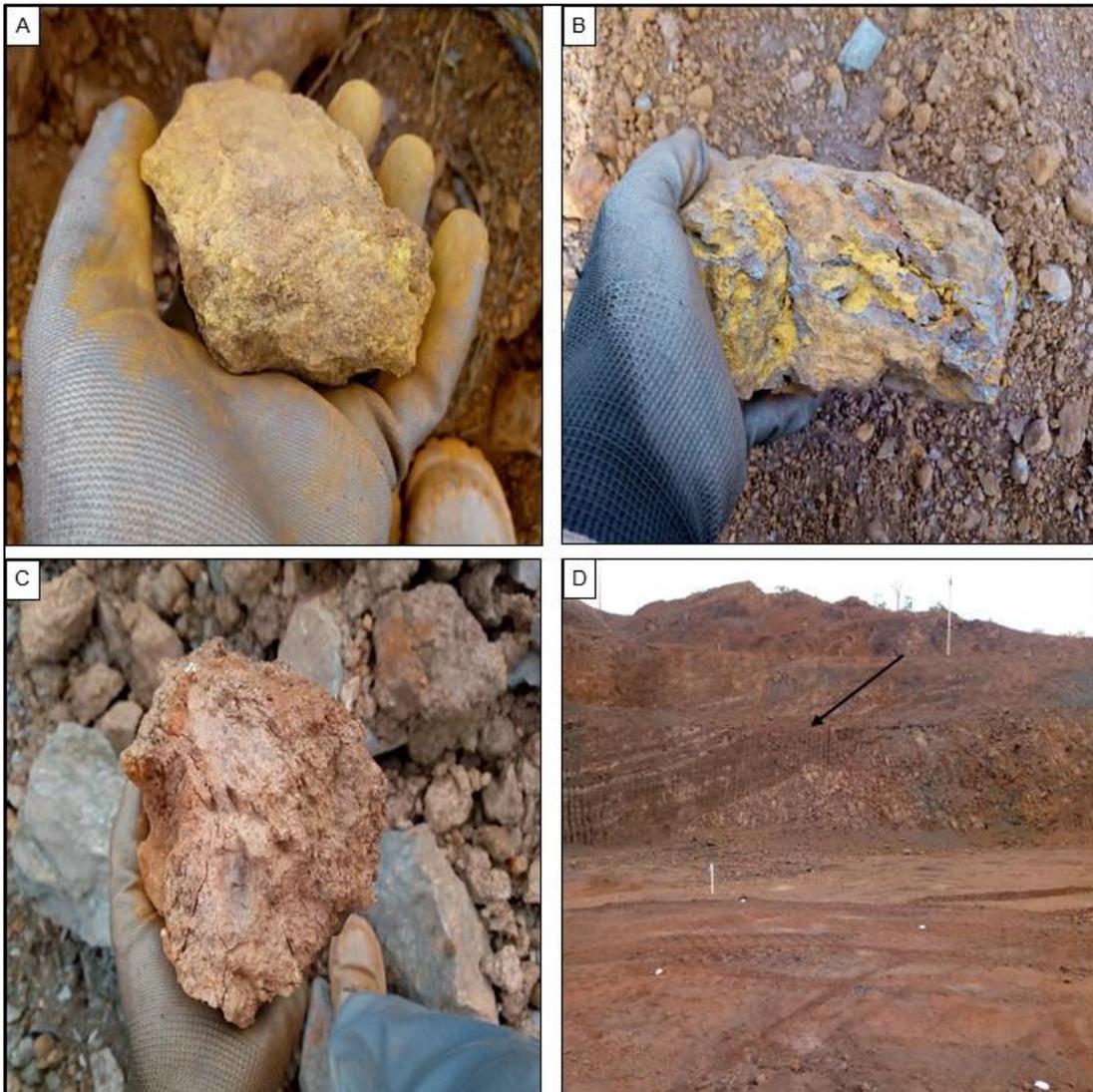


Figura 9 - (A) Amostra representativa da canga química; (B) Amostra representativa da canga estrutural; (C) Amostra representativa da máfica decomposta; (D) Contato concordante entre máfica decomposta e hematita compacta.

Hematita Compacta (HC): É o litotipo com maior ocorrência na área da superfície das duas cavas. Apresenta coloração cinza e textura afanítica (Fig. 10a). Os corpos de HC são intensamente fraturados (Fig. 10b), sendo o principal fator visual para a sua classificação. Em cada cava foram identificadas 3 famílias de fraturas, sendo representadas nas figuras 10c e 10d.

Hematita Friável (HF): Essa variedade friável de hematita é constituída por lâminas milimétricas e centimétricas de hematita com hábitos placóides, estruturada e levemente compactada, o que confere a esse tipo litológico um leve endurecimento (Fig. 10e). Em alguns afloramentos, a hematita friável pode se tornar mais porosa e

intensamente desagregável, o que lhe confere o aspecto pulverulento (Fig. 10f). Esse litotipo apresenta planos de foliações representados nas figuras 10g e 10h.

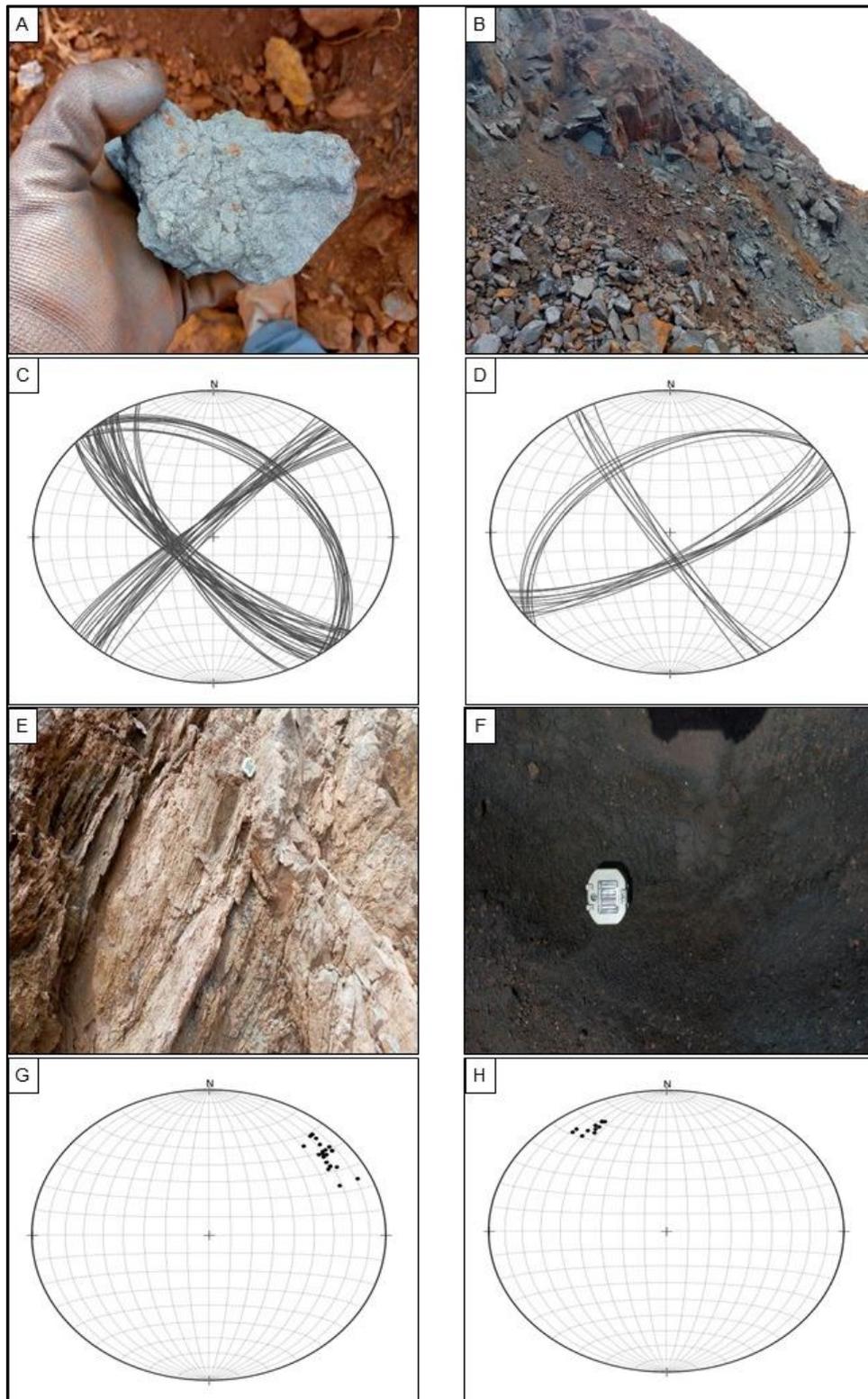


Figura 10 - (A) Amostra representativa de HC; (B) Ocorrência de HC evidenciando sua forte estruturação; (C) Planos de fraturas de HC da cava sudeste plotados no diagrama de Schmidt; (D) Planos de fraturas de HC da cava central plotados no diagrama de Schmidt; (E) Ocorrência de HF com

presença de foliação; (F) HF pulverulenta; (G) Polos dos planos de foliação da cava sudeste; (H) Polos dos planos de foliação da cava central.

3.2 CLASSIFICAÇÃO LITOLÓGICA INTERPRETADA (CLI)

O baixo número de bancadas (apenas 3) na cava central dificultou o seu mapeamento, sendo necessário a realização de furos na área para a comprovação da continuidade dos corpos litológicos expostos nas bancadas. Uma área de aproximadamente 480m² (Fig. 11a) foi isolada para a realização dos furos (Fig. 11b) e amostragem do pó de perfuratriz (Fig. 11c).

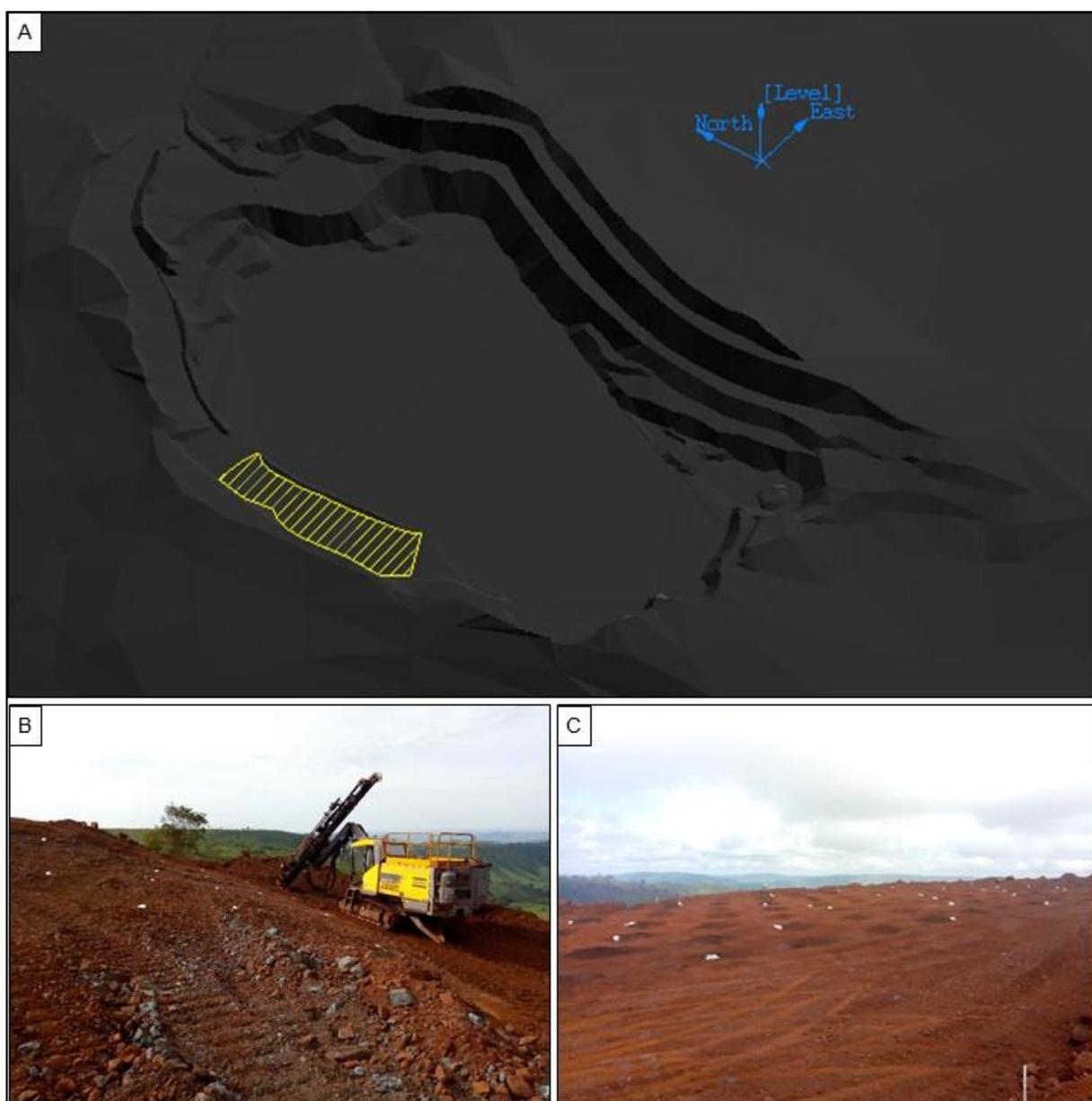


Figura 11 - (A) Localização da praça de furos na cava central; (B) Perfuratriz utilizada para a execução dos furos; (C) Coleta das amostras.

Os resultados das análises granuloquímicas estão dispostos no quadro 3. A figura 12 mostra o diagrama de FeGL vs G1 onde 26 análises indicaram o litotipo Hematita Friável. Hematita Compacta e Canga Estrutural tiveram dois resultados cada. A média de FeGL da área foi de 63,97% e 31,49% de G1. Hematita Friável apresentou média de FeGL e G1 de 64,37% e 28,06% respectivamente.

CERTIFICADO DE ANÁLISE - SERRA LESTE					
Data de levantamento	Número Amostra	RESULTADOS QUÍMICOS		Localização	
		FeGL	G1	Cava	Banco
24/01/2018	2093	64.28%	27.390%	Central	660
24/01/2018	2094	64.33%	31.062%	Central	660
24/01/2018	2095	56.57%	36.067%	Central	660
24/01/2018	2096	65.15%	41.529%	Central	660
24/01/2018	2097	65.82%	21.787%	Central	660
24/01/2018	2098	66.70%	23.610%	Central	660
24/01/2018	2099	63.26%	28.192%	Central	660
24/01/2018	2100	61.21%	20.088%	Central	660
24/01/2018	2101	57.11%	29.134%	Central	660
24/01/2018	2102	62.15%	33.498%	Central	660
24/01/2018	2103	66.39%	27.412%	Central	660
24/01/2018	2104	62.98%	25.673%	Central	660
24/01/2018	2105	62.91%	23.186%	Central	660
24/01/2018	2106	67.27%	81.002%	Central	660
24/01/2018	2107	61.92%	34.337%	Central	660
24/01/2018	2108	63.65%	25.966%	Central	660
24/01/2018	2109	66.65%	27.035%	Central	660
24/01/2018	2110	64.47%	68.755%	Central	660
24/01/2018	2111	67.34%	32.944%	Central	660
24/01/2018	2112	66.22%	38.586%	Central	660
24/01/2018	2113	66.04%	22.765%	Central	660
24/01/2018	2114	65.24%	35.287%	Central	660
24/01/2018	2115	65.03%	30.163%	Central	660
24/01/2018	2116	63.24%	23.244%	Central	660
24/01/2018	2117	62.41%	24.466%	Central	660
24/01/2018	2118	62.64%	28.702%	Central	660
24/01/2018	2119	63.85%	23.177%	Central	660
24/01/2018	2120	63.98%	21.861%	Central	660
24/01/2018	2121	63.03%	23.450%	Central	660
24/01/2018	2122	67.35%	34.213%	Central	660

Quadro 3: Resultado das análises granuloquímicas das 30 amostras da cava central.

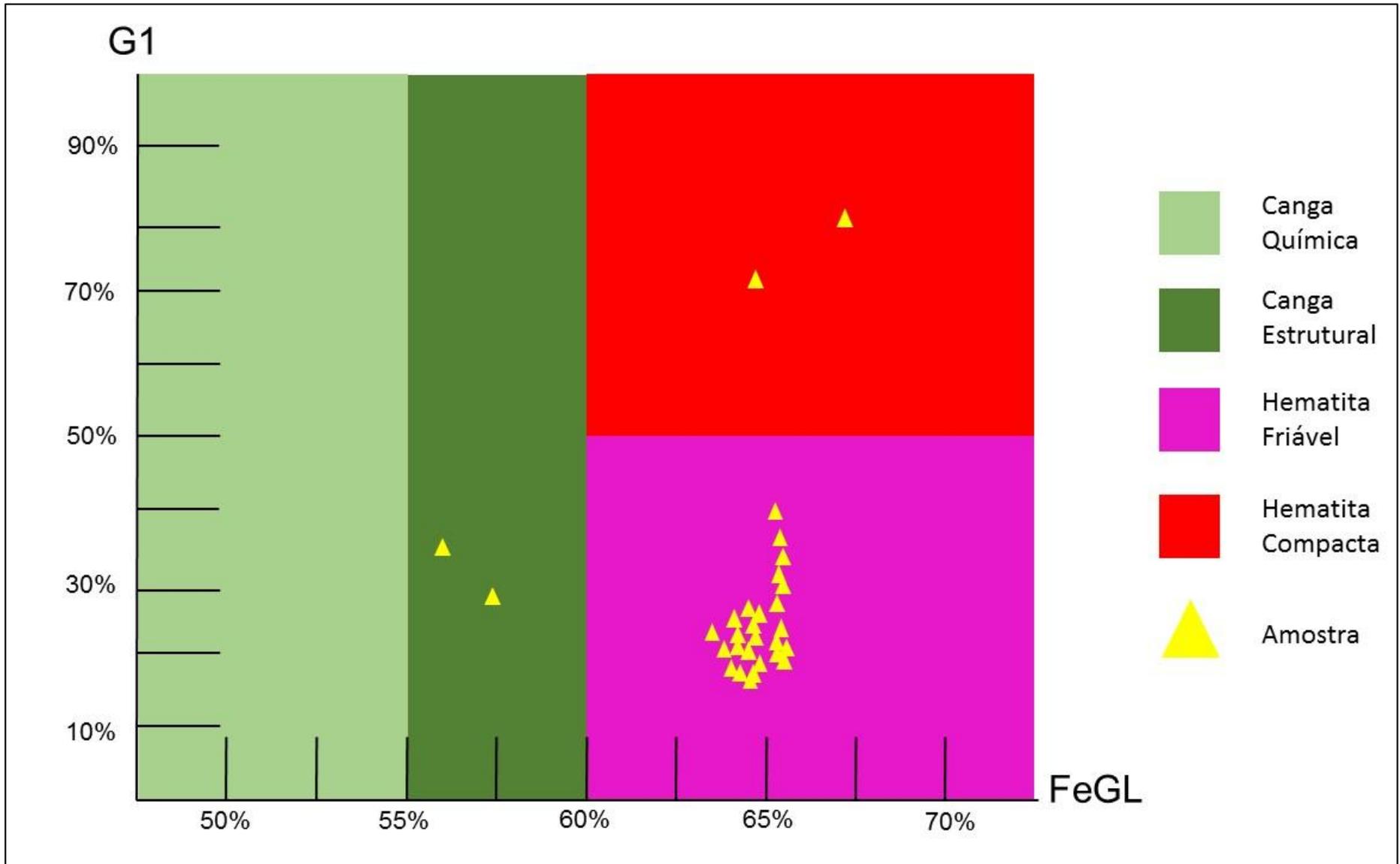


Figura 12 - Diagrama de FeGL vs G1 proposto para melhor visualização dos resultados das análises granuloquímicas.

3.3 FATOR DA ROCHA (RMD + JF)

Os corpos de hematita friável e máfica decomposta são facilmente lavrados, pois não apresentam resistência aos equipamentos que fazem a retirada do material das cavas. A HC, por sua vez, apresenta grande resistência e muitas vezes dificulta o avanço da lavra (Fig. 13a). A retirada desse litotipo só é possível após o seu desmonte, fator que o torna principal alvo desse levantamento.

As áreas que receberam o levantamento geomecânico foram selecionadas com base no plano de avanço de lavra do 2º trimestre de 2018 das cavas central (Fig. 13b) e sudeste (Fig. 13c). As figuras 14 e 15 mostram a descrição e caracterização dessas áreas.

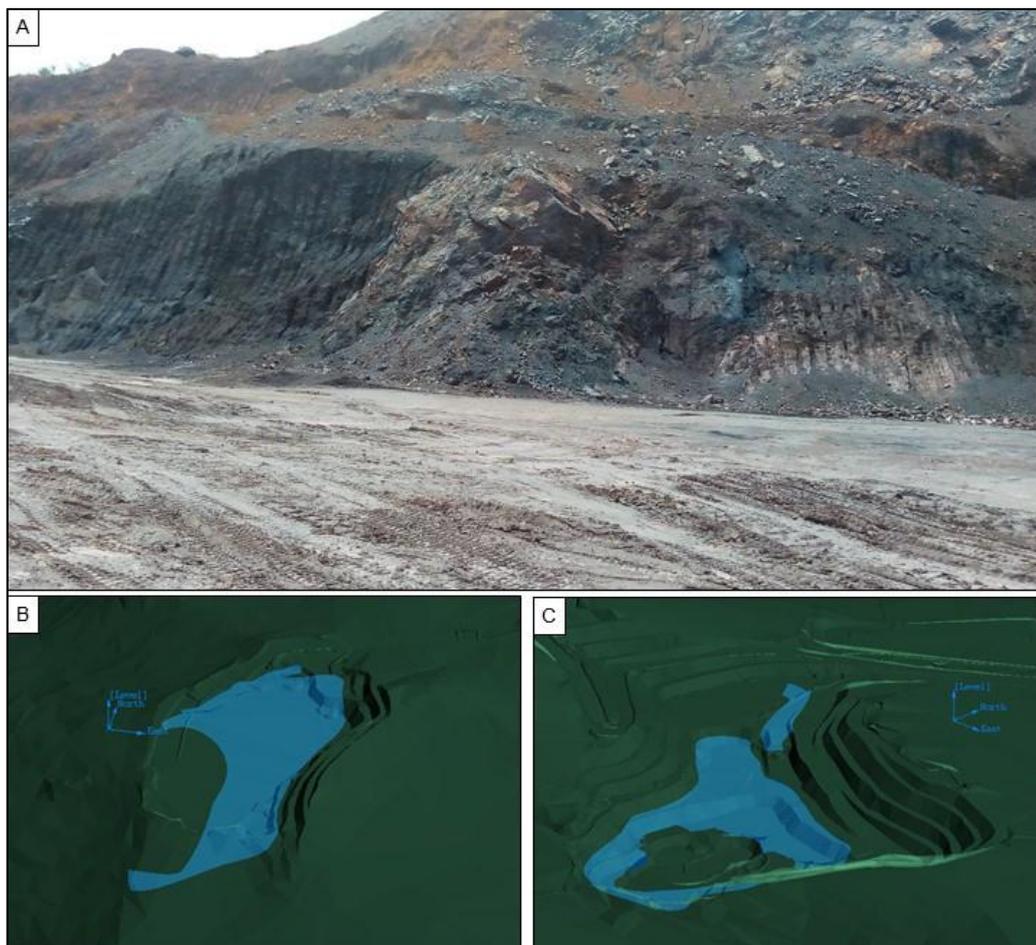


Figura 13 - (A) Talude irregular causado pela HC, notar as marcas da escavadeira nos corpos de HF adjacentes; (B) Avanço de lavra da cava central planejado para o 2º trimestre; (C) Avanço de lavra da cava sudeste planejado para o 2º trimestre.

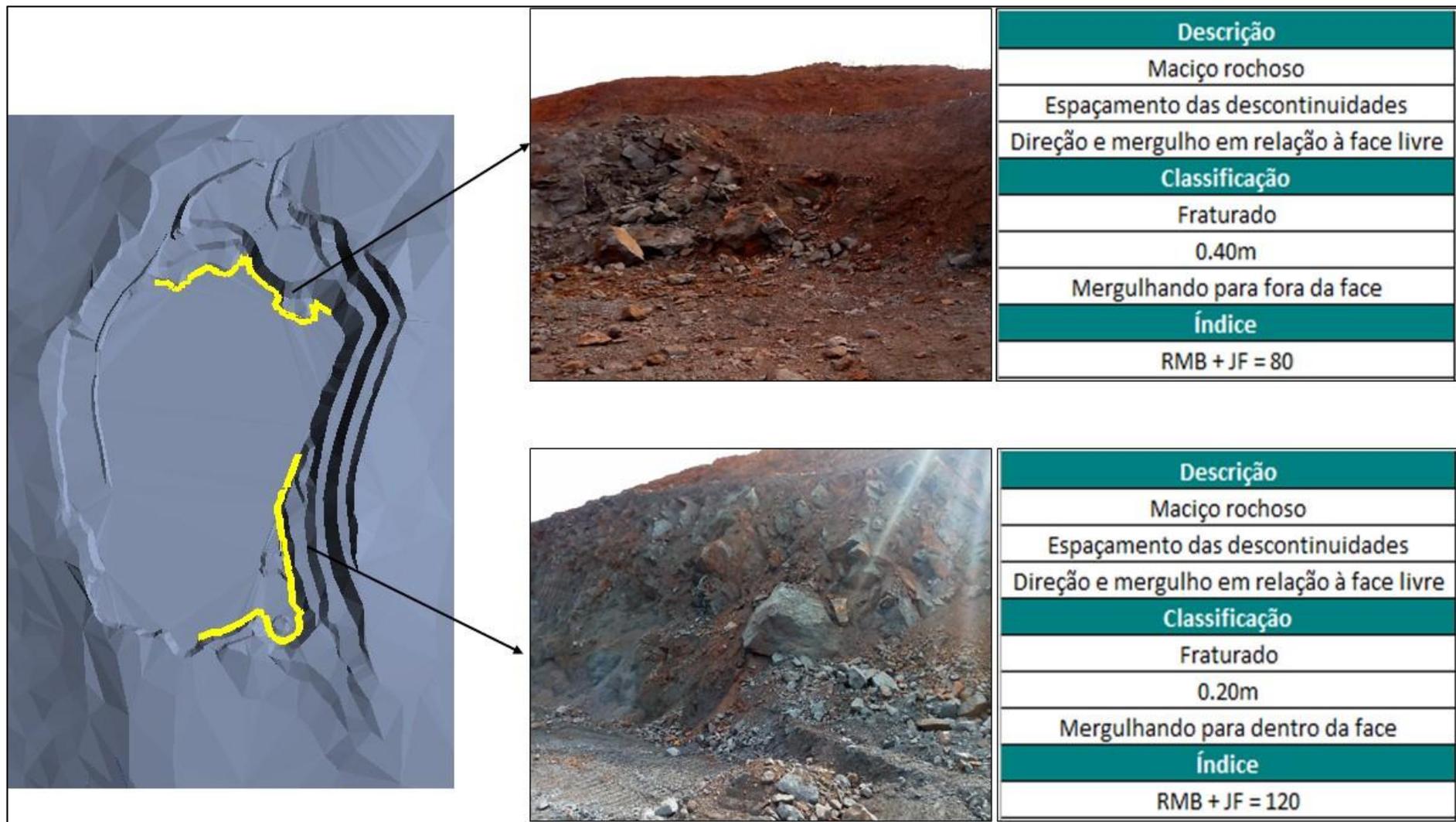


Figura 14 - Bancadas que receberam o levantamento geomecânico na Cava Central.

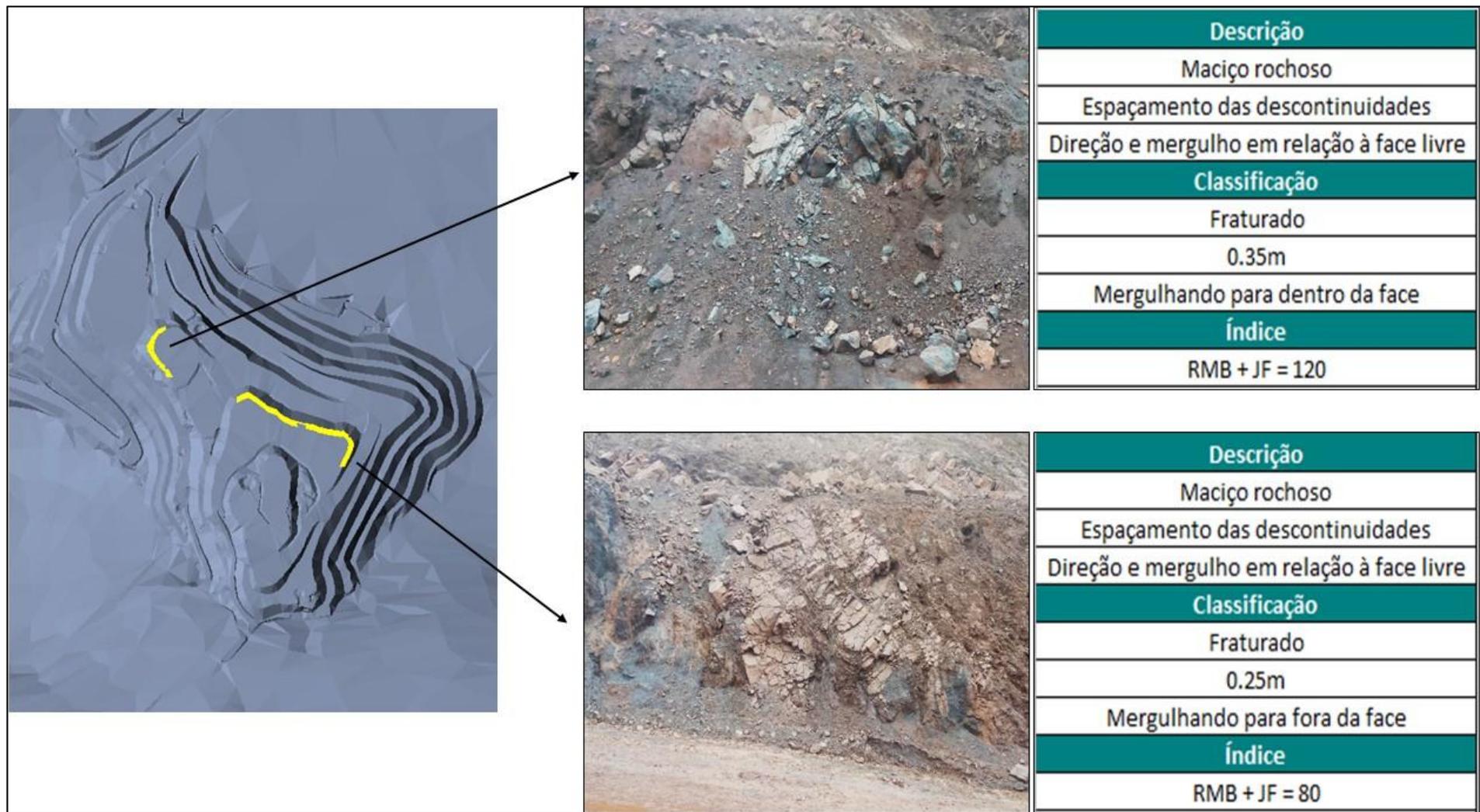


Figura 15 - Bancadas que receberam o levantamento geomecânico na Cava Sudeste.

4. CONCLUSÕES

A partir dos estudos realizados nas cavas da Mina Serra Leste, pode-se resumir os seguintes itens:

- a) Os dados de Classificação Litológica Visual indicaram a presença de 5 litotipos na área, sendo 2 coberturas (Canga Química e Canga Estrutural), 2 hematitas (Hematita Compacta e Hematita Friável) e 1 encaixante (Máfica Decomposta);
- b) Os dados de Classificação Interpretada indicaram a ocorrência de 3 litotipos na área amostrada, são eles: Canga Estrutural, Hematita Compacta e Hematita Friável.
- c) Fatores estruturais como a presença de fraturas ou foliações serviram como diagnósticos dos litotipos de hematita;
- d) Os valores de RMD + JF variam entre 80 e 120 para ambas as cavas;
- e) O mapa litológico de superfície gerado servirá para a atualização do modelo de blocos de Serra Leste;
- f) Sugere-se o uso da Canga Estrutural para o processo de blendagem (processo muito utilizado na mineração que consiste na mistura de materiais para se alcançar um resultado desejado), tendo em vista a sua localização próxima aos corpos de hematita e teores relativamente altos de Fe;
- g) Recomenda-se um estudo a respeito da influência do Sistema Transcorrente Cinzento nas cavas, o que permitirá um modelamento geológico mais refinado para a produção de Serra Leste;
- h) Recomenda-se a continuação e intensificação do trabalho de análise de pó de perfuratriz na Cava Central para suprir a ausência de bancadas com material exposto.

REFERÊNCIAS

- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Dias S.B., Althoff F.J. 2010. Origin of the Archean leucogranodiorite-granite Suites: Evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatism in the Archean. *Lithos*, p: 235-257.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A.S. 2011. Zircon geochronology and origin of the TTG Suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of the Carajás province; Brazil. *Precambrian Research*, p:201-221.
- Almeida, J.A.C., Dall'Agnol R., Leite A.A.S. 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite Suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, p:103-126.
- Araújo, O. J. B. et al. 1988. A mega estruturação Arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: Congresso Latinoamericano de Geologia. 1. Belém. Anais. Belém: p. 324-338.
- Araújo O.J.B., Maia R.G.N. 1991. Folha Serra dos Carajás; Folha SB-22-Z-A. Relatório Final. CPRM; Rio de Janeiro; 136p.
- Barros, C.E.M. 1997. *Pétrologie et structure du Complexe Granitique Estrela (2.5GA) et de son encaissant métavolcano-sédimentaire (Province Métallifère de Carajás, Brésil)*. Tese de Doutorado, Université Henri Poincaré, Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG-UPR9046), 316p.
- Barros, C. E. M.; Macambira, M. J. B., Barbey, P. 2001. Idade de zircão do Complexo Granítico Estrela: relações entre magmatismo, deformação e metamorfismo na Província Mineral de Carajás. In: Simpósio De Geologia Da Amazonia, 7, Belém. SBG-NO. CD-ROM.
- Barros, C.E.M, Macambira, M.J.B., Barbey, P., Scheller T. 2004. Dados isotópicos Pb-Pb em zircão (evaporação) e Sm-Nd do Complexo granítico Estrela, Província Mineral de Carajás, Brasil: implicações petrológicas e tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências* 34(4):531-538.
- Beukes, N.J., Gutzmer, J., Mukhopadhyay, J. 2002. The geology and genesis of high-grade hematite iron ore deposits. *Iron Ore Conference*. Perth, Australia, p. 23-29.
- Costa L.P. 2007. Caracterização das seqüências metavulcanossedimentares da porção leste da Província Mineral Carajás, Pará. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, 113p.

- Dall'Agnol, R., Lafon, J. M., Macambira, M. J. B. 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian Province, Amazonian craton: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology*, v. 50, p. 113-138.
- Dall'Agnol R., Pichavant M., Champenois M. 1997. Iron-Titanium Oxide Mineral of the Jamon Granite; Eastern Amazonian Region; Brazil: Implications for the Oxygen Fugacity in Proterozoic, A-type Granites. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, p:325-347.
- Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Almeida J.A.C., Althoff F.J., Leite A.A.S., Oliveira D.C., Barros C.E.M. 2006. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás metallogenic province, eastern Amazonian craton. In: Dall'Agnol R., Rosa-Costa L.T., Klein E.L. (eds.). *Symposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton. Abstracts Volume and Field Trips Guide*. Belém, PRONEX-UFPA/SBG-NO, 150p.
- Dall'Agnol R., Oliveira D.C., Guimarães F.V., Gabriel E.O., Feio G.R.L., Lamarão C.N., Althoff F.J., Santos P.A., Teixeira M.F.B., Silva A.C., Rodrigues D.S., Santos M.J.P., Silva C.R.P, Santos R.D., Santos P.J.L. 2013. Geologia do Subdomínio de Transição do Domínio Carajás – Implicações para a evolução arqueana da Província Carajás - Pará. In: SBG, 13° Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém, Anais, CD-ROM.
- DOCEGEO 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: SBG, 35° Congresso Brasileiro de Geologia, Província Mineral de Carajás- Litoestratigrafia e principais depósitos.
- Faraco M.T.L., Carvalho J.M.A, Klein E.L. 1996. Carta metalogenética da Província de Carajás/SE do Pará – Folha Araguaia. Escala 1:1.000.000. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos. CPRM, Brasília.
- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos J.O.S., Althoff F.J. 2013. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: Implication for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*, p:157-185.
- Gabriel E.O., Oliveira D.C., Santos M.S. 2014. Sanukitoides mesoarqueanos de Água Azul do Norte, Sul do Domínio Carajás: Novos dados e perspectivas. In: SBG, 47° Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, Anais, CD-ROM.
- Guedes, S.C., Rosière, C.A., Barley, M., Lobato, L.M. 2002. The importance of carbonate alteration associated with the Carajás high-grade hematite deposits, Brazil. *Iron Ore Conference*. Perth, Australia, p. 63-66.
- Hirata, W.K., Rigon, J.C., Kadokaru, K. Cordeiro, A.A.C., Meireles, E.M. 1982. Geologia da Província Mineral de Carajás. In: SBG, Simp. Geol. Amazônia, 1. Belém, Anais, p. 100-108.
- Huhn S.R.B., Santos A.B.S., Amaral A.F., Ledsham E.J., Gouveia J.L., Martins L.B.P., Montalvão R.M.G., Costa V.G. 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria - Sul do Pará. In: SBG, 35° Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, Anais, p:1438-1453.

- Leite A.A.S., Dall'Agnol, R., Macambira M.J.B., Althoff F.J. 2004. Geologia e geocronologia dos granitoides arqueanos da região de Xinguara-PA e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, p:447-458.
- Lima, F. D. & Pinheiro, R. V.L. 1998. Geometria e cinemática da terminação leste da Falha Carajás. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 40. 1998, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: Minas Gerais, p. 406.
- Machado N., Lindenmayer Z., Krogh, T.E., Lindenmayer D. 1991. U/Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás Área, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, p: 329-354.
- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Amaral W.S., Santos T.J.S., Juliani C., Souza Filho C.R. 2011. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide-Cu-Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U-Pb geochronology and metallogenetic implications. *Mineralium Deposita*, p: 789-811.
- Nogueira, A. C. 1995. Análise faciológica e aspectos estruturais da Formação Águas Claras, Região Central da Serra dos Carajás-Pará. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 167 p.
- Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, p: 146-160.
- Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Scaillet B. 2010. Petrological constraints on crystallization conditions of Mesoarchean Sanukitoid Rocks, southeastern Amazonian Craton, Brazil. *Journal of Petrology*, p: 2121–2148.
- Pinheiro, R. V. L. 1997. Reactivation history of the Carajás and Cinzento Strike Slip Systems, Amazon, Brazil. Ph. D. Dissertation - University of Durham, UK, 408p.
- Rodrigues, E. M. S., Lafon, J.M., Scheller, T. 1992. Geocronologia Pb-Pb em rochas totais da Província Mineral de Carajás: primeiros resultados. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo. Boletim de Resumos Expandidos. São Paulo, SBG. v. 2, p. 183-184.
- Rosière, C.A., Baars, F.J., Seoane, J.C.S., Lobato, L.M., Lopes, L., Souza, S.R.C. 2005. Structure and iron mineralization in the Carajás Province. In: Proceedings Iron Ore 2005, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Publication Series No 8/2005, Perth, Australia, p: 143-150.
- Santos J.S.O., Hartmann L.A., Faria M.S., Riker S.R., Souza M.M., Almeida M.E., Mcnaughton N.J. 2003. A compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: Avanços ocorridos no período 2000-2003. In: SBG, 9º Simpósio de geologia da Amazônia. Belém. Resumos Expandidos, CD-ROM.
- Santos P.A. 2013. Geologia, petrografia e geoquímica da associação Tonalítico-Trondhjemítico-Granodiorítica (TTG) do extremo leste do Subdomínio de Transição, Província Carajás - Pará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 128p.

- Santos R.D., Galarza M.A., Oliveira D.C. 2016. Geologia, geoquímica e geocronologia do Diopsídio-Norito Plum, Província Carajás. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Terra p: 355-382.
- Silva A.C., Dall'agnol R., Guimarães F.V., Oliveira D.C. 2014. Geologia, petrografia e geoquímica de Associações Tonalíticas e Trondhjemíticas Arqueanas de Vila Jussara, Província Carajás, Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais, p :13-46.
- Souza, S.R.B., Macambira, M.J.B., Scheller, T. 1996. Novos dados geocronológicos para os granitos deformados do Rio Itacaúnas (Serra dos Carajás, PA); implicações estratigráficas: In: SBG, V Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, p. 380–382.
- Souza Z.S., Potrel H., Lafon J.M., Althoff F.J., Pimentel M.M., Dall'Agnol R., Oliveira C.G. 2001. Nd, Pb and Sr isotopes of the Identidade Belt, an Archaean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajas province, Brazil): Implications for the Archaean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. Precambrian Research, p:293-315.
- Vasquez L.V., Rosa-Costa L.R., Silva C.G., Ricci P.F., Barbosa J.O., Klein E.L., Lopes E.S., Macambira E.B., Chaves C.L., Carvalho J.M., Oliveira J.G., Anjos G.C., Silva H.R. 2008. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará, 328 p.
- Zucchetti, M., Lobato, L.M. 2004. Alteração hidrotermal a ferro das rochas máficas associadas aos depósitos de ferro N4 e N5, Província Mineral de Carajás, PA. In: ADIMB, Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, Ouro Preto, CD-ROM