

Trabalho de Graduação
Curso de Graduação em Geologia

Caracterização petrográfica e litogeoquímica do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré,
Domínio Carajás, Brasil

Jeferson Silva das Virgens

Prof. Dr. Antonio Misson Godoy (Orientador)

MSc. Vanderlei de Farias (Co-orientador)

Rio Claro (SP)

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

Jeferson Silva das Virgens

Caracterização petrográfica e litogeoquímica do Corpo Metaultramáfico da Serra do
Jacaré, Domínio Carajás, Brasil

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho',
para obtenção do grau de Bacharel em
Geologia.

Rio Claro - SP
2023

V816c Virgens, Jeferson Silva das Virgens
Caracterização petrográfica e litogeoquímica do Corpo
Metaultramáfico da Serra do Jacaré, Domínio Carajás, Brasil /
Jeferson Silva das Virgens Virgens. -- Rio Claro, 2023
129 p. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e
Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Antonio Misson Godoy Godoy
Coorientador: Vanderlei de Farias Farias

1. Província Carajás. 2. Rochas metaultramáficas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Jeferson Silva das Virgens

Caracterização petrográfica e litogeoquímica do Corpo Metaultramáfico da
Serra do Jacaré, Domínio Carajás, Brasil

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Antonio Misson Godoy (orientador)

Prof. Dr. Washington Barbosa Leite Junior

Prof. Dr. Rodrigo Prudente de Melo

Rio Claro, 05 de dezembro de 2023.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar meus agradecimentos a Deus e ao Universo por sempre me abençoarem ao longo da vida. Vos agradeço pela minha vida, pelos conhecimentos e experiências enriquecedoras vividas, por terem colocado pessoas incríveis no meu caminho, por realizarem meus desejos e me ajudarem com os meus objetivos.

Eu gostaria de agradecer a mim mesmo agora, porque, apesar de recebermos ajuda, apoio e sermos influenciados a todo momento, cabe a nós darmos o primeiro passo para aceitar a ajuda, o apoio e nos deixarmos ser influenciados no sentido de seguir o caminho que desejamos para nós mesmos. Portanto, agradeço por acreditar em mim, nos meus objetivos e por sempre defender os meus princípios. Quero me agradecer por fazer todo o trabalho necessário para conseguir atingir esses objetivos.

Aos meus avós, agradeço pelo amor incondicional e por terem me ensinado os maiores valores da vida. Tenho certeza de que vocês ficariam orgulhosos. Muito obrigado Antônio Manuel das Virgens e Maria Belarmina Quaresma (*In memoriam*). Amo muito vocês!

Pai e mãe, como expressar minha gratidão? Foram muitos anos de amor, preocupação, carinho, nervosismo, paciência, incentivo e, enfim, muitos anos de todo tipo de sentimento (risos). Muito obrigado por tudo! Principalmente pela educação, acredito que seja um dos valores mais preciosos que fazem minha vida progredir a cada dia. Acredito que vocês deram o melhor de si para que eu chegasse até aqui, e há muitos outros lugares onde quero levar o que aprendi com vocês.

A vocês, Ednélia, Samuel, Maria, Héddem e Henzzo, com muito amor, carinho e um grande pedido de desculpas por ser um irmão chato (risos). Amo todos vocês e desejo um futuro muito promissor e repleto de realizações. Que Deus e o Universo estejam sempre ao lado de vocês, abençoando com tudo o que há de bom neste mundo.

Ôh ôh ôh ôh ôh, my brother...Brother, Daniel, agradeço imensamente pelo que você fez por mim, e sempre serei grato por isso. Você me deu esperança, mostrou que é possível ser quem eu quiser ser, chegar aonde eu quero chegar e conquistar o que desejo. Obrigado por me inspirar tanto! Você sempre me disse que qualquer pessoa normal teria que viver três vidas para experimentar o que você já viveu. Agora eu digo que eu precisaria de três vidas para retribuir tudo o que fez por mim. Não poderia deixar de agradecer a Paula, não pelas broncas, mas por ter me dito que eu não era um "Bixo" bom. Aquelas palavras me tiraram da zona de conforto na hora! Apesar de ainda dar os meus vacilos (risos). Paula, muito obrigado por tudo. Você é uma pessoa incrível e umas das, se não a mais inteligente que já conheci. Você

também me ajudou e influenciou muito. A ambos agradeço, mais recentemente, por me tornarem padrinho do Jovem Eduardo. Garoto de muita luz e, principalmente, energia (é claro!), que deixa todos que o conhecem impressionados com sua alegria e dança! Um grande exemplo de como se levar a vida!

A Dona Elza e Sr. Sérgio, pilares da Família Matteo, agradeço imensamente por todo o apoio, carinho e por me acolherem como um membro da família. Aprendi grandes valores da vida com vocês.

Prezada UNESP, gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos pela oportunidade de estudar na renomada Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Minha jornada acadêmica foi enriquecedora e impactante, proporcionando-me um ambiente propício para o desenvolvimento intelectual e profissional. Aqui, quero agradecer também a todos os colaboradores que fazem da universidade um lugar tão especial no mundo.

Ao Prof. Dr. Antonio Misson, meu orientador, expresso minha gratidão pela orientação, paciência, insights valiosos e apoio ao longo do curso. Gostaria de parabenizá-lo por tantos anos como professor da UNESP e por ter dedicado tanto tempo à Geologia. Fico feliz em ter assistido suas aulas. Sempre é muito, muito bom também parar em sua sala e bater aquele papo descontraído.

Expresso minha profunda gratidão ao Msc. Vanderlei, meu coorientador, pela contribuição altamente significativa, orientação eficaz e apoio fundamental ao longo de todo este trabalho. Tenho convicção de que seus feedbacks foram cruciais para elevar este projeto além dos limites da minha percepção. Agradeço por enriquecer minha vida com seu conhecimento e parabenizo-o pela pessoa inspiradora e sempre otimista que é.

À Luana Campos e Jomar Stabili Farias, expresso meus agradecimentos pelo apoio ao longo do trabalho, pelos feedbacks e pela assistência na elaboração dos gráficos e imagens.

À Anglo American, por meio do Gerente de Geociências, Geraldo Sarquis, que gentilmente forneceu as amostras para o meu TCC, manifesto meu reconhecimento pela colaboração e pela oportunidade de aplicar meus conhecimentos práticos em um contexto real.

Aos amigos da faculdade, compartilho meu apreço pelas memórias compartilhadas e pela amizade que enriqueceram minha experiência universitária. Alguns loucos conscientes: Ivo Oliveira, Admir Francisco (Chico), Caio Novais, Wesley de Sá, Lucas Inglez, Tiago Martins, Renato Ventura, Luca Maule, Matheus Melito, Enzo Piva, Gabriel Trunkl, Abner Soares.

Muito obrigado a todos!!

***“Se eu consegui enxergar além,
foi porque estive apoiado sobre
os ombros de gigantes”***

- Isaac Newton

“Siga, ou melhor, surfe as ondas formadas pela música.”

- Jeferson Silva das Virgens

RESUMO

A Província Mineral de Carajás (PMC), localizada no sudeste do estado do Pará, Brasil, é uma região de destaque devido à sua riqueza em depósitos minerais de alcance mundial, a qual inclui depósitos de minério de ferro (Fe), cobre (Cu), níquel (Ni) e manganês (Mn). A PMC abrange uma variedade de complexos de rochas ultramáficas, o que garante a Suíte Intrusiva Cateté (SIC) uma presença notável, especialmente na porção sudoeste da província. A SIC abriga depósitos lateríticos de classe mundial, como o Complexo Serra da Onça e do Puma, além do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré (CMSJ). Estes corpos ultramáficos são caracterizados como intrusões alongadas, com dimensões geralmente superiores a 10 km, compostos por rochas cumuláticas que exibem texturas adcumuláticas e mesocumuláticas. O CMSJ está localizado a 60 km ao norte da cidade de São Félix do Xingu e forma uma extensão de 18 km e largura de até 2,5 km. O CMSJ é uma intrusão acamadada de natureza ultramáfica associada a um evento magmático Neoarqueano ocorrido há 2,76 Ga. Este corpo apresenta mineralizações importantes de Ni e Co laterítico/saprolítico, totalizando 519 Mt, com teores médios de 1,13% de Ni e 0,13% de Co. A estrutura interna do CMSJ revela um conjunto de rochas ultramáficas que foram afetadas por processos de serpentinização e, em menor grau, talcificação. Apesar desses processos metamórficos de baixo grau, as texturas ígneas cumuláticas estão preservadas. O CMSJ foi dividido em duas zonas, Dunito I e Dunito II, e foi baseada nos valores de suscetibilidade magnética, características petrográficas e composição química. Os litotipos no CMSJ exibem valores de Mg# indicativos de rochas muito primitivas, apesar de evidências de contaminação crustal. A análise de U-Pb em cristais de zircão em corpos máfico-ultramáficos da PMC revela idades neoarqueanas entre 2,68 Ga e 2,78 Ga. Essas idades são consistentes com o evento de vulcanismo basáltico na região de Carajás, o que sugere uma conexão entre as rochas vulcânicas máficas e as intrusões ultramáficas. Além disso, as análises de U-Pb indicam duas faixas distintas de idades (2,76 Ga e 2,74 Ga), com predominância das idades mais antigas na porção leste da PMC. A interpretação do ambiente tectônico associado a esse evento magmático sugere uma influência substancial de contaminação crustal em rochas basálticas, indicando um contexto de rifteamento continental. Esses dados contribuem para uma compreensão mais abrangente da evolução geológica da Província Mineral de Carajás e seu potencial metalogenético.

Palavras-chave: Província Carajás, Corpo Metaultramáfico, Suíte Intrusiva Cateté, Petrografia, litogeoquímica.

ABSTRACT

The Carajás Mineral Province (CMP) in the southeast of Pará, Brazil, stands out for its global significance in mineral deposits, notably iron ore (Fe), copper (Cu), nickel (Ni), and manganese (Mn). The province encompasses diverse ultramafic rock complexes, with the Cateté Intrusive Suite (SIC) being prominent, especially in the southwest. The Cateté Intrusive Suite exhibits elongated mafic-ultramafic intrusions, hosting world-class lateritic deposits and potential for Platinum Group Elements (PGE), Ni-Cu sulfides, and chromite. The Metaultramafic Serra do Jacaré Complex within the SIC is a Neoarchean intrusion with significant lateritic/saprolitic Ni and Co mineralizations. Despite low-grade metamorphism, the igneous textures are preserved. Subdivision into Dunite I and Dunite II, based on magnetic susceptibility and petrographic differences, reveals primitive characteristics and evidence of crustal contamination. U-Pb analyses on zircon crystals indicate Neoarchean ages (2.68 Ga to 2.78 Ga), correlating with a regional basaltic volcanic event. Notably, two age groups (2.76 Ga and 2.74 Ga) are identified, with older ages prevalent in the east. The magmatic event, associated with continental rifting, is supported by lithogeochemical and isotopic data. Understanding the geological evolution of CMP and its mineralogical potential is enriched by these findings, providing valuable insights for further exploration and resource development in this economically significant region.

Keywords: Carajás Province, Metaultramafic Body, Cateté Intrusive Suite, Petrography, lithogeochemistry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização e vias de acesso para o Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré.....	16
Figura 2: A) Imagem mostrando a delimitação da forma do CMSJ por meio da linha tracejada em amarelo. B) Mapa radiométrico. C) Imagem panorâmica do CMSJ (olhando para leste). A estrela amarela representa a posição do furo FDJAC 01.....	17
Figura 3: A) Posição da Província Mineral de Carajás no Cráton Amazônico. O retângulo amarelo indica a posição da Fig. 3B. AM - Cráton Amazônico; B - Província Borborema; M - Província da Mantiqueira; SF - Cráton do São Francisco; T - Província do Tocantins. B) Geologia da Província Mineral de Carajás.....	22
Figura 4: Diagrama esquemático mostrando a distribuição e os respectivos valores de susceptibilidade magnética dos litotipos ao longo do furo estratigráfico de 511 metros no CMSJ.....	25
Figura 6: Diagrama Ol-Cpx-Opx (Streckeisen, 1976), para a classificação dos litotipos ultramáficos do CMSJ.....	27
Figura 5: Coluna estratigráfica do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré elaborada a partir do furo de sondagem FDJAC01.....	28
Figura 7: Exemplos dos dunitos do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré. Profundidades: 1361062/28,30 m; 1361067/121,25 m; 1361075/298,25; 1361095/501,70 m. Os valores de K em Sistema S.I. A imagem possui ajustes de contraste para melhor visualização das texturas.....	29
Figura 8: A, B, C e D) Pseudomorfos de olivina constituindo a textura granoblástica. E) Exemplo de pseudomorfo de olivina com textura mesh que ocorre nestes litotipos. F) Exemplo de pseudomorfo de olivina com textura hourglass. Srp = Serpentina, as linhas tracejadas de cor verde marcam o contorno aproximado dos pseudomorfos; Tlc = Talco; Mag = Magnetita. As fotomicrografias B, D, E e F estão com nicóis cruzados, a microfotografia e também está com compensador ativado.....	30
Figura 9: A e B) Pseudomorfo de olivina com as cordas estiradas segundo uma direção preferencial. C) Exemplo de pseudomorfo com magnetita acicular marcando “trilhas” orientadas no seu interior. D) Exemplo de um cristal de talco. Srp = Serpentina, a linha tracejada de cor vermelha marca a direção de orientação das cordas do pseudomorfo; Tlc = Talco; Mag = Magnetita. As fotomicrografias B e D estão com nicóis cruzados.....	31
Figura 10: A) Cristais de magnetita estirados constituindo um bandamento. B) Magnetita preenchendo os planos de clivagem dos cristais de talco. C) Cromita anhedral ocupando o espaço intersticial dos	

pseudomorfos. D) Cristal de cromita fraturado e com as bordas corroídas. Srp = Serpentina; Mag = Magnetita; Chr = Cromita. As fotomicrografias A, B, C e D foram tiradas sob luz refletida..... 32

Figura 11: A, B, C e D) Fotomicrografias mostrando cristais de flogopita com estrutura maciça e textura granular média de hábito micáceo. Flg = Flogopita; Srp = Serpentina; Vrm = Vermiculita. As fotomicrografias B, C e D estão com nicóis cruzados..... 33

Figura 12: Exemplos dos harzburgitos do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré. Profundidades: 1361080/356,50 m; 1361083/384,35 m. Os valores de K em Sistema S.I..... 34

Figura 13: A e B) Textura granoblástica, a qual evidencia a textura orto- e mesocumulática bem preservada. C) e D) Exemplos de oikocristais de ortopiroxênio englobando cristais de olivina (textura poiquilítica). E) Cristal de olivina com coroas de ortopiroxênio com cristais de serpentina preenchendo suas fraturas. F) Pseudomorfo de olivina. Srp = Serpentina; Ol = Olivina; Opx = Ortopiroxênio; Tlc = Talco. As fotomicrografias B, C, D, E e F estão com nicóis cruzados..... 35

Figura 14: A) Cristal de olivina com cristal intercrescido de tremolita no seu interior, litotipo bastante afetado pelos processos de serpentinização e talcificação. B) Cristais de ortopiroxênio constituindo coroas nos cristais de olivina. C) Oikocristal de ortopiroxênio englobando o cristal de olivina. O talco está preenchendo os planos de clivagem e suas fraturas, junto da flogopita. D) Cristais de granulação muito fina de magnetita, associado à serpentina, a qual ocupa as fraturas do cristal de olivina. Srp = serpentina; Ol = Olivina; Opx = Ortopiroxênio; Tlc = Talco; Flg = Flogopita; Mag = Magnetita. As fotomicrografias A, B e C estão com nicóis cruzados..... 37

Figura 15: Exemplos dos ortopiroxênitos do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré. Profundidades: 1361079/344,80 m; 1361085/393,52 m; 1361091/498,15 m. Os valores de K em Sistema S.I..... 38

Figura 16: A e B) Exemplo de textura granoblástica da amostra 1361079, em B, percebe-se que o litotipo foi afetado por processos de talcificação e serpentinização. C) Textura glomeroporfirítica da amostra 1361085. D) Exemplo de ortopiroxênio (hiperstênio) com talco preenchendo as suas bordas. E) Cristais subhedrais de ortopiroxênio em matriz carbonática no litotipo 1361091. F) Exemplo de textura porfirítica evidenciada por um fenocristal de ortopiroxênio em uma matriz de granulação fina. Opx = Ortopiroxênio; Tlc = Talco; Srp = Serpentina; Flg = Flogopita; Chr = Cromita; Cb = Carbonato. Todas as fotomicrografias estão com nicóis cruzados..... 39

Figura 17: A e B) Cristais subhedrais de cromita incluídos em cristais de ortopiroxênios presentes na amostra 1361079. C e D) Cristais euhedrais de cromita que ocorrem no litotipo 1361091. Opx = Ortopiroxênio; Chr = Cromita. A fotomicrografia A foi tirada sob luz transmitida, enquanto B, C e D,

foram tiradas sob luz refletida.....	40
Figura 18: Amostra do litotipo metamáfico 1361096 da base do furo. Profundidade: 1361096/504,00 m. O valor de K está em S.I.....	41
Figura 19: A e B) Exemplo da textura decussada a fibro-radiada evidenciado pelos cristais de tremolita e talco. C e D) Cristais com hábito prismático de tremolita sem orientação e com tamanhos diferentes. Tr = Tremolita; Tlc = Talco. As fotomicrografias B, C e D estão com nicóis cruzados.....	42
Figura 20: Amostra do litotipo metamáfico 1361097 da base do furo. Profundidade: 1361097/511,00 m. O valor de K está em S.I. A imagem possui tratamento de contraste para melhor visualização da textura milonítica.....	43
Figura 21: A) Textura milonítica marcada pela cominuição e rotação dos cristais. B) Cristais muito finos de hornblenda em torno de outros cristais. C e D) Porfiroclastos de tremolita fragmentados e rotacionados próximos a “massas” de plagioclásio. Os cristais de anédricos de magnetita estão marcando a foliação. Hbl = Hornblenda; Tr = Tremolita; Pl = Plagioclásio. A fotomicrografia C e D estão com nicóis cruzados.....	44
Figura 22: Diagrama MSH (MgO-SiO ₂ -H ₂ O) para sistema ultrabásico/magnesiano fundamental, para composições duníticas/harzburgíticas. Modificado de Trommsdorf & Evans, 1972. Br – Brucita; Tlc – Talco; Atg - Antigorita; Ath – Antofilita; Fo - Forsterita; En – Enstatita. Per -Peridotito; Qtz – Quartzo.	45
Figura 23: Perfis de variação dos elementos maiores, menores e traços ao longo do CMSJ.....	50
Figura 24: Diagramas de variação para os óxidos maiores, menores e traços versus SiO ₂ (% em peso) para os litotipos do CMSJ. Os elementos maiores foram corrigidos para base anidra.....	52
Figura 25: Diagrama de razão Mg+Fe/Ti vs. Si/Ti.....	55
Figura 26: Diagrama de razão molar Mg/Zr vs. Fe/Zr.Gráfico, Gráfico de dispersãoDescrição gerada automaticamente.....	56
Figura 27: A) Diagrama de impressão de LIP (LIP printing) que utiliza os indicadores de contaminação crustal (Th/Nb) e de granada residual (Ti/Yb) (Pearce et al., 2021). B) Diagrama de classificação de basaltos (Th/Yb vs. Nb/Yb) (Pearce, 2014).....	58
Figura 28: Diagrama de razão Nb/Th vs. Th/Yb.....	59
Figura 29: Perfil de distribuição dos elementos terras raras normalizados pelo manto primitivo (Sun &	

McDonough, 1989) que compara a concentração dos elementos nos litotipos com a composição média da crosta continental superior e inferior (Wedepohl, 1995).....61

Figura 30: Estrutura interna do CMSJ. A) Estágio I, que representa a estruturação inicial do corpo sem nenhuma inclinação. B) Estágio II, que mostra o CMSJ já basculado com inclinação para leste. C) Panorama geral do CMSJ com a interceptação do furo FDJAC 01..... 65

Figura 31: Comparação das diferentes composições de olivina cumulus para os corpos ultramáficos da PMC. Dados: Complexo Serra da Onça e do Puma (Rosa, 2014), Complexo Jovi (Anglo American, relatório não publicado), Cedere II (Anglo American, relatório não publicado), Complexo Lago Grande (Teixeira, 2013), Complexo Luanga (Mansur, 2017), Complexo Vermelho (Siepierski, 2016),... 66

Figura 32: Diagrama Th/Yb vs. Nb/Yb comparando os corpos ultramáficos do Carajás com o CMSJ.67

Figura 33: Diagrama Nb/Th vs. Th/Yb comparando os corpos ultramáficos do Carajás com o CMSJ. 68

Figura 34: Perfis de Elementos Terras Raras (ETRs), normalizados pelo manto primitivo (Sun & McDonough, 1989), são apresentados nos itens A), B), e C) para amostras de dunitos, harzburgitos e ortopiroxenitos, respectivamente. No contexto das informações relacionadas aos corpos ultramáficos da PMC, foi incluído os dados provenientes do Complexo Serra da Onça e do Puma (Rosa, 2014), Complexo Jovi (dados internos da Anglo American), Cedere II (dados internos da Anglo American), Complexo Lago Grande (Teixeira, 2013), Complexo Luanga (Mansur, 2017), Complexo Vermelho (Siepierski, 2016), além da composição média da crosta superior e inferior (Wedepohl, 1995)..... 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química dos litotipos constituintes do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré.....	53
---	----

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Objetivos.....	16
1.2. Localização e acesso à área de estudo.....	16
1.3. Materiais e Métodos.....	18
1.3.1. Trabalhos preparatórios.....	19
1.3.2. Revisão bibliográfica.....	19
1.3.3. Petrografia.....	20
1.3.4. Litogeoquímica.....	20
1.3.5. Análise comparativa.....	21
1.3.6. Apresentação e discussão dos resultados preliminares.....	21
2. GEOLOGIA REGIONAL.....	21
3. GEOLOGIA LOCAL.....	23
4. RESULTADOS.....	26
4.1. Amostras.....	26
4.2. Petrografia.....	27
4.2.1. Grupo das Rochas Metaultramáficas.....	27
4.2.1.1. Dunitos.....	28
4.2.1.2. Harzburgitos.....	34
4.2.1.3. Ortopiroxênitos.....	38
4.2.2. Grupo das Rochas Metamáficas/Rochas encaixantes.....	42
4.2.2.1. Talco-tremolita hornfels.....	42
4.2.2.2. Milonito de plagioclásio-tremolita anfíbolito.....	43
4.2.3. Alterações Secundárias.....	45
5. LITOGEOQUÍMICA.....	47
5.1. Elementos Maiores, Menores e Traços.....	47
5.2. Fracionamento Magmático.....	55
5.3. Contaminação crustal e fertilidade.....	58
6. DISCUSSÃO.....	62
6.1. Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré.....	62
6.2. Estruturação Interna.....	64
6.3. Comparação com os Corpos Ultramáficos do Carajás.....	67
6.3.1. Magma Parental (Mg# e teor de Forsterita).....	67
6.3.2. Contaminação Crustal.....	68
6.4. Potencial Metalogenético.....	71
7. CONCLUSÃO.....	72
8. REFERÊNCIAS.....	74
9. APÊNDICE.....	80

1. INTRODUÇÃO

Os corpos máfico-ultramáficos possuem especial atenção daqueles que os estudam do ponto de vista econômico, pelo fato de apresentarem potencial metalogenético para mineralizações sulfetadas de Ni-Cu e/ou de cromita. Adiciona-se ainda mineralizações de elementos do grupo da platina, que podem ocorrer associadas com qualquer uma das fases anteriores, além de óxidos de Fe, Ti e V nas suítes mais fracionadas. Existem inúmeros corpos máfico-ultramáficos espalhados pelo mundo que armazenam importantes mineralizações sulfetadas e/ou cumuláticas, é o caso do Complexo de Bushveld (África do Sul), Sudbury (Canadá), Stillwater (USA), Great Dyke (Zimbábue) e muitos outros.

O potencial mineral também se estende para os produtos de intemperismo destes corpos, os quais se fazem representar por expressivos depósitos lateríticos de Ni e/ou Ni-Co. Em especial no Brasil, citam-se os depósitos laterítico de Barro Alto, Niquelândia, Cana Brava e Morro do Engenho no Estado de Goiás; Morro sem Boné e Morro do Leme no Mato Grosso; Vermelho, Puma-Onça e Jacaré (objeto deste estudo) no Pará.

Alguns destes depósitos tendem inclusive a conter mineralizações sulfetadas e lateríticas associados ao mesmo corpo, a exemplo do depósito de Mirabela, no Estado da Bahia. Características que deixam em evidência a necessidade da compreensão dos aspectos petrogenéticos para avaliação do potencial da ocorrência dos mais diversos tipos de depósitos.

O objetivo desta pesquisa é aprimorar a caracterização dos aspectos petrogenéticos do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré (CMSJ), identificado como um depósito de classe mundial de Ni e Co laterítico/saprolítico, o qual contém aproximadamente 519 Mt, com teores médios de 1,13% de Ni e 0,13% de Co (Anglo American, 2010). Este corpo é responsável por formar uma elevação com topo irregular, com vertentes íngremes, com 18 km de extensão e largura de até 2,5 km. Por meio de descrições petrográficas de lâminas delgadas polidas de amostras selecionadas representativas do corpo e análises químicas, realizou-se uma caracterização petrográfica e também uma comparação com outros corpos ultramáficos da região, para melhor compreensão da extensão do magmatismo máfico-ultramáfico ocorrido há 2,76 Ga no sul de Carajás, bem como possíveis variações de natureza regional a local.

1.1. Objetivos

Esta pesquisa objetivou a caracterização petrográfica e litogeoquímica do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré, para elucidar a gênese do maciço e do favorável potencial metalogenético. Para alcançar tal proposta, foram abordados os seguintes aspectos do corpo:

- Trabalho de campo: Descrição do único furo diamantado realizado no Corpo Jacaré com 511 metros de comprimento. Foram realizadas leituras de susceptibilidade magnética, identificação visual das principais variações e a seleção das amostras mais representativas.
- Petrografia: Caracterização petrográfica das diferentes litologias constituintes do corpo, através da descrição mineralógica e textural para classificação das rochas.
- Litogeoquímica: Análise multi-elementar completa para caracterização litogeoquímica e petrogenética das diferentes litologias (para classificação e estudo de evolução).
- Análise comparativa: Comparação dos resultados obtidos com àqueles de outros corpos ultramáficos da Província Carajás para melhorar o entendimento do magmatismo máfico-ultramáfico de 2.76 Ga em Carajás, incluída na base de dados da Comissão do LIP em <http://www.largeigneousprovinces.org/>.

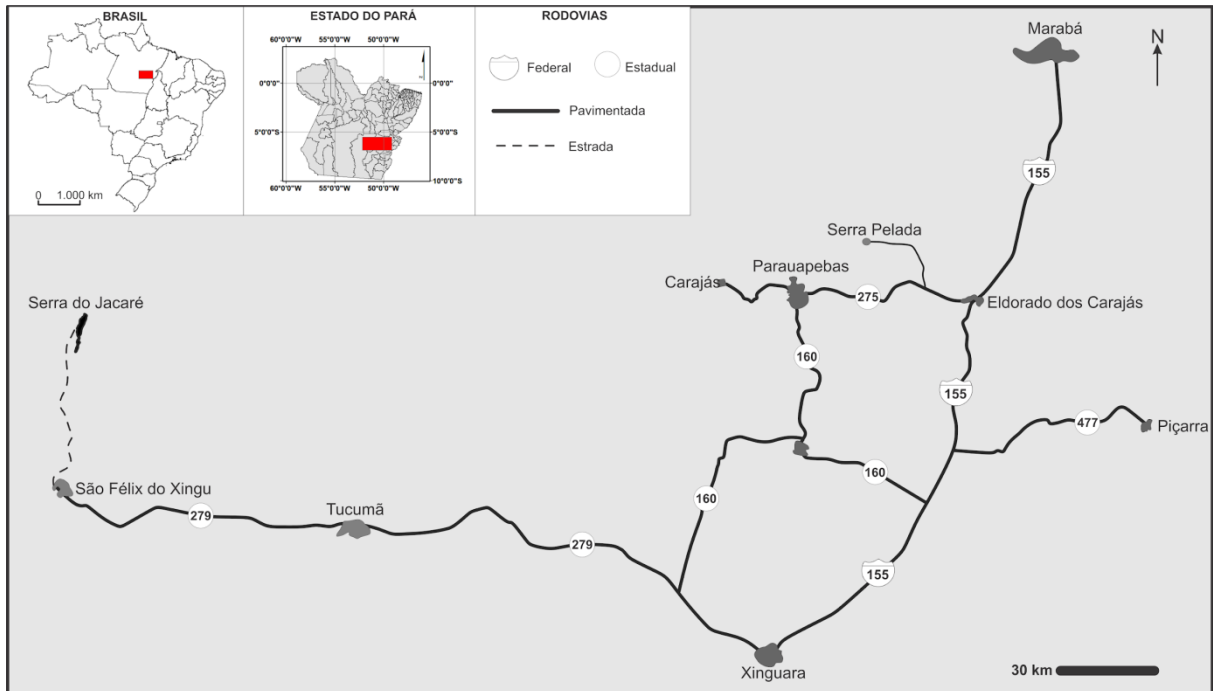
1.2. Localização e acesso à área de estudo

O Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré encontra-se localizado na porção sudeste do Estado do Pará (PA), na região do município de São Félix do Xingu (**FIG. 1**). As coordenadas em UTM (Universal Transversa de Mercator) da sede do Projeto Jacaré da Anglo American são: Zona 22M 39908/9319482.

A sede do município de São Félix do Xingu situa-se a 500 km de Marabá (**FIG. 1**). O trajeto de Marabá até Xingura possui 243 km e pode ser feito pela BR-155, passando por Eldorado dos Carajás e Sapucaia. Depois, segue-se pela PA-279, por 258 km, até São Félix do Xingu.

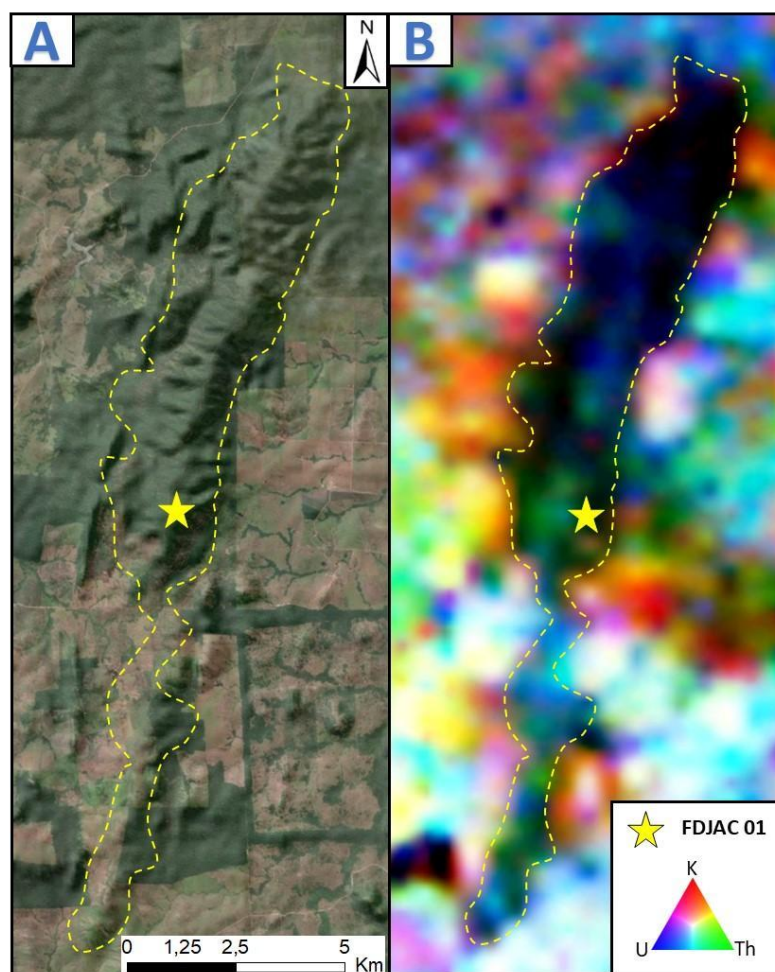
Para chegar à área de estudo, a partir de São Félix do Xingu, é necessário atravessar o Rio Fresco por meio de Balsa e, em seguida, percorrer cerca de 70 km em estrada de terra na direção NNE.

Figura 1: Mapa de localização e vias de acesso para o Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré.



O mosaico de figuras abaixo relaciona um mapa de terreno (*Google Earth* + Modelo Digital de Terreno), à esquerda (**FIG. 2A**), e um mapa ternário (radiométrico), à direita (**FIG. 2B**). A linha tracejada em amarelo delimita o CMSJ, inicialmente traçada no mapa ternário, o qual apresenta tons escuros sobre rochas ultramáficas, uma vez que estas apresentam baixas concentrações de K, Th e U que são os principais elementos que marcam o mapa radiométrico. Abaixo destas, uma fotografia que apresenta uma visão transversal N-S da Serra do Jacaré (**FIG. 2C**).

Figura 2: **A)** Imagem mostrando a delimitação da forma do CMSJ por meio da linha tracejada em amarelo. **B)** Mapa radiométrico. **C)** Imagem panorâmica do CMSJ (olhando para leste). A estrela amarela representa a posição do furo FDJAC 01.



Fonte: **A)** (Google Earth + Modelo Digital de Terreno). **B)** Projeto Carajás I (Radiométrico e Magnético), ano de levantamento: 1986, 2000 m de espaçamento, N-S (http://gd.cprm.gov.br/geof_download/1047.zip).



Fonte: Foto cedida por Thiago Assunção, 2022.

1.3. *Materiais e Métodos*

Para atingir os objetivos propostos, a pesquisa teve apoio do Instituto de Geociências e Ciências Exatas na Universidade Estadual Paulista ‘Júlio de Mesquita Filho’ (UNESP), e

compreendeu os seguintes métodos: i) Trabalhos preparatórios; ii) Revisão bibliográfica; iii) Petrografia; iv) Litogeoquímica; v) Análises comparativas com os demais corpos ultramáficos na PMC; e vi) Apresentação e discussão dos resultados preliminares em eventos de geologia econômica.

1.3.1. Trabalhos preparatórios

Os dados de campo coletados envolveram a descrição do furo de 511 metros com amostragem das principais variações estruturais e texturais observadas, onde foram selecionadas 18 amostras mais representativas destas variações. Ademais, análise sistemática de susceptibilidade magnética das amostras (1 análise a cada 5 metros ou variações abruptas na textura).

1.3.2. Revisão bibliográfica

A etapa de trabalhos preparatórios consistiu no levantamento e compilação de dados bibliográficos e geoquímicos publicados, em periódicos científicos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado, além de dados campo, com a finalidade de (i) reunir informações sobre as ocorrências de corpos máfico-ultramáficos no Domínio Carajás e no Brasil, especialmente sobre os aspectos da geologia, geoquímica e metalogênese, e (ii) dados sobre a região de estudo, gerando a revisão sobre a geologia do local estudado, apresentada no Capítulo 3.

Os principais trabalhos utilizados e seus respectivos corpos tratados que balizaram esta pesquisa são: a dissertação de mestrado de Wolney Dutra Rosa que discute sobre as sequências de rochas que ocorrem nas Serras do Puma e da Onça ([Rosa, 2014](#)), a dissertação de mestrado do Eduardo Teixeira Mansur que trata das rochas do Complexo Luanga ([Mansur, 2017](#)) e a dissertação do Antônio Sales Teixeira que discute o Complexo Acamadado Lago Grande ([Teixeira et al., 2013](#)); a tese de doutorado de Lincoln Siepierski sobre os corpos máfico-ultramáficos da região de Canaã dos Carajás ([Siepierski, 2016](#)); o artigo de Lincoln Siepierski e César Ferreira Filho sobre as rochas do Complexo Vermelho ([Siepierski & Ferreira Filho, 2020](#)); o estudo da Karen Santos e do César Ferreira Filho sobre o Complexo Ezio ([Karen Santos & Ferreira Filho, 2015](#)); e o trabalho de prospecção geológica e geoquímica nos corpos da Suíte Intrusiva Cateté (SIC) do Edésio Maria Buenano Macambira

(Macambira, 2001). Além destes trabalhos, também foram utilizados dados do grupo Anglo American não publicados a respeito dos corpos do Jovi, Santa Inês e do Cédere II.

1.3.3. Petrografia

Na etapa de estudo petrográfico foram avaliadas 18 lâminas delgadas-polidas de rochas presentes no furo estratigráfico FDJAC 01 de 511 m de profundidade. Nesta fase, realizou-se a descrição estrutural e textural macroscópica e microscópica, com quantificação dos minerais constituintes e das relações dos minerais entre si – a fim de caracterizar a sequência de cristalização, aspectos deformacionais e/ou de substituição e classificação das rochas conforme a *Subcommission of the Systematics Igneous Rocks* (IUCS) (Streckeisen, 1976). As lâminas foram confeccionadas no Laboratório de laminação do IGCE/UNESP e foram descritas no Laboratório de Mineralogia Óptica da mesma universidade, com o uso do microscópio petrográfico da marca Carl Zeiss-Jena.

1.3.4. Litogeoquímica

Quanto ao estudo litogeoquímico, as 18 amostras foram preparadas na ALS – Goiânia, o que incluiu britagem e pulverização de 1 kg de amostras para malha de 200 *mesh*, com secagem inicial em forno controlado a 60°C (ALS code: “PREP-ROS”). A parte analítica foi realizada na ALS em Vancouver, sendo:

- i) Elementos maiores, menores e terras raras por fusão $\text{LiBO}_2/\text{LiB}_4\text{O}_7$ com leitura ICP – MS e AES (códigos: “ME – ICP06; ME – MS81AA”);
- ii) Total Carbono e Enxofre por Leco e espectrometria de Infravermelho (Códigos: “ME – IRE08”);
- iii) Níquel por 4 ácidos e leitura ICP-AES (Código: “ME-OG62”);
- iv) Demais elementos calcófilos Cu – Pb – Zn – Te – Sb por água régia (1:3) e leitura ultra traço ICP – MS (Código: “AA-AuMESA”);
- v) Platinóides (Pd, Pt, Au) por 30 g Fire Assay e leitura ultra traço ICP – MS (código: “PGM – MS23L”).

Os métodos utilizados pela ALS consistem no pacote de rocha total compondo uma caracterização química completa da rocha (69 elementos: maiores, menores, terras raras e calcófilos) e pode ser vista em detalhe pelo site: www.alsglobal.com.

A análise e interpretação dos resultados foram feitas via Excel e com softwares de tratamentos de dados geoquímicos específicos (GCDkit e IoGAS).

1.3.5. Análise comparativa

Para realizar a análise comparativa na PMC, foram considerados os seguintes corpos ultramáficos: Complexo Serra da Onça e do Puma, Complexo Vermelho, Complexo Lago Grande, Complexo Luanga, Complexo Jovi e o Complexo Cedere II. A comparação levou em consideração os tipos petrográficos/faciológicos similares, como os dunitos, harzburgitos e ortopiroxênitos que também estão presentes nesses corpos.

1.3.6. Apresentação e discussão dos resultados preliminares

Os resultados parciais obtidos neste trabalho foram discutidos no Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral (SIMEXMIN 2022) com o grupo de geólogos Anglo American envolvidos nas atividades do CMSJ.

2. GEOLOGIA REGIONAL

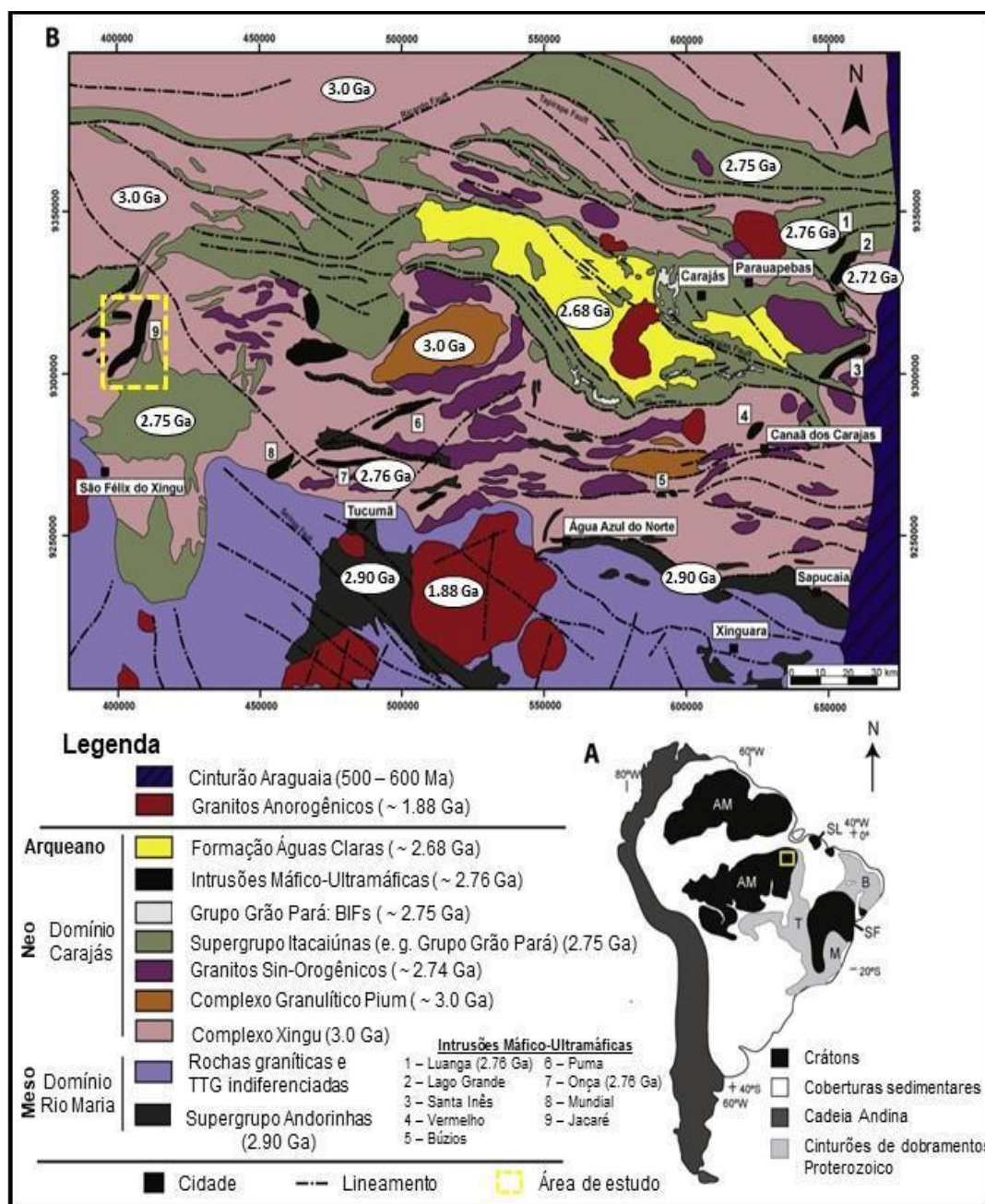
O Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré pertence à Suíte Intrusiva Cateté (SIC) (Macambira & Vale, 1997), localizada na porção sudoeste do Domínio Carajás, na porção sudeste do Cráton Amazônico (Hasui et al., 1984) (FIG. 3).

A PMC é considerada a principal província mineral do Brasil, a qual abriga vários depósitos de classe mundial de Fe, Cu, Au, Mn, Ni e outros metais e representa uma das maiores concentrações de minérios do planeta (Galarza & Macambira, 2002) (FIG. 3B). A PMC está localizada na parte sudeste do Cráton Amazônico, entre o Cinturão Araguaia ao leste e os terrenos Paleoproterozoicos do Supergrupo Uatumã, a oeste (Docegeo, 1988; Huhn et al., 1988). A província mineral está dividida em dois domínios tectônicos arqueanos, cujo limite parece ser transaccional: o Domínio Rio Maria meridional e o Domínio Carajás setentrional (Araújo & Maia, 1991; Vasquez et al., 2008) (FIG. 3B).

O Domínio Rio Maria é um terreno típico de granito-*greenstone* (Vasquez et al., 2008) e é representado por rochas do Supergrupo Andorinhas (Huhn et al., 1988). Este grupo compreende vários *greenstone belts* mesoarqueanos individuais (2904 ± 29 Ma; Macambira & Lancelot, 1996) e rochas metassedimentares (Huhn et al., 1986; Souza e Dall'Agnol, 1996; Souza et al., 2001). Já o embasamento do Domínio Carajás consiste principalmente em terrenos gnaisses-migmatitos-granulíticos do Complexo Xingu (Docegeo, 1988; Machado et al., 1991; Pidgeon et al., 2000). A evolução do Domínio Carajás, ainda é bastante discutida. Existem diferentes modelos que se propõem a explicar a evolução das sequências vulcano-sedimentares arqueanas, incluindo a grande sequência de metabasaltos do Grupo Grão Pará (2,75 Ga; Machado et al., 1991; Vasquez et al., 2008). Enquanto outras pesquisas propuseram um modelo de *rift* intraplaca (Gibbs et al., 1986; Villas & Santos, 2001), outras sugeriram ambientes relacionados à subducção (Dardenne et al., 1988; Teixeira & Egger, 1994). Estas sequências sedimentares são ainda cobertas por sequências metamórficas de baixo grau da Formação Águas Claras (Araújo et al., 1988; Docegeo, 1988; Nogueira et al., 1994, 2000).

São intrusivos tanto no Complexo Xingu quanto nas sequências vulcanossedimentares arqueanas, os corpos máfico-ultramáficos da SIC (Docegeo, 1988; Ferreira Filho et al., 2007). São corpos anorogênicos, de natureza máfica-ultramáfica, acamadados, com variados graus de deformação, em geral, com texturas ígneas bem preservadas. São constituídos, da base para o topo, por serpentinitos, piroxenitos e gabros, além de apresentarem potencial metalogenético para EGP, sulfetos de Ni-Cu e cromita (Macambira et al., 2002). As idades de zircão U-Pb obtidas para o Complexo Luanga (2763 ± 6 ; Machado et al., 1991) se sobrepõem a idades de vulcanismo bimodal no Grupo Grão Pará (2759 ± 2 Ma; Machado et al., 1991; 2760 ± 11 Ma; Trendall et al., 1998; 2748 ± 34 Ma; Tallarico et al., 2005), levando à interpretação de que as vulcânicas máficas e as intrusões máfica-ultramáficas podem ser resultados de um grande evento magmático contemporâneo na região de Carajás (Ferreira Filho et al., 2007; Machado et al., 1991). Idades obtidas por meio de U-Pb em cristais de zircão de sete intrusões máfico-ultramáficas sugerem dois grupos distintos de idades: 2,76 Ga e 2,74 Ga. Idades mais antigas estão localizadas na porção leste da PMC (Ferreira Filho et al., 2007).

Figura 3: A) Posição da Província Mineral de Carajás no Cráton Amazônico. O retângulo amarelo indica a posição da Fig. 3B. AM - Cráton Amazônico; B - Província Borborema; M - Província da Mantiqueira; SF - Cráton do São Francisco; T - Província do Tocantins. B) Geologia da Província Mineral de Carajás.



Fonte: Modificado de Siepierski & Ferreira Filho (2020).

3. GEOLOGIA LOCAL

Há uma grande defasagem entre os dados e informações produzidas para os corpos máfico-ultramáficos da PMC em comparação com o que foi publicado para o CMSJ. A falta de estudos e trabalhos atualizados sobre a estratigrafia e petrologia das rochas do CMSJ dificulta não apenas sua caracterização geral, mas também sua inclusão no contexto geológico

regional. Na tentativa de sintetizar a geologia local, foram utilizados estudos que abordam outros corpos ultramáficos da PMC em comparação com o CMSJ, com discussão de certas características, como a litoquímica, a petrologia e a geocronologia.

A SIC ([Macambira, 2001](#)) consiste num conjunto de intrusões máfico-ultramáficas alongadas, com dimensões geralmente superiores a 10 km, localizadas na porção sudoeste da PMC (**ver FIG. 3**). As rochas que compõem os corpos da SIC são formadas por cristais cúmulus, resultados do processo de fracionamento magmático, organizados em texturas adcumuláticas e mesocumuláticas reliquiais. A SIC é importante porque algumas das intrusões hospedam depósitos lateríticos de classe mundial (por exemplo, Onça-Puma, Jacaré) e também têm potencial para conter depósitos magmáticos de EGP, sulfetos de Ni-Cu e cromita.

As rochas arqueanas do Granito Plaquê, do Grupo São Félix e do Complexo Xingu são responsáveis por abrigar os corpos da SIC ([Macambira et al., 2001](#)). De acordo com os mesmos autores, as rochas do Granito Plaquê são representadas por granitos e monzogranitos, enquanto o Grupo São Félix é composto por rochas metassedimentares, metavulcânicas félsicas e máficas, com ultramáficas subordinadas. O Complexo Xingú é constituído por gnaisses e migmatitos de natureza granítica, granodiorítica e tonalítica, com enclaves de rochas anfibolíticas.

O CMSJ, que abriga uma mineralização de Ni laterítico/saprolítico de classe mundial, faz parte de um conjunto de intrusões acamadadas regionais que fazem parte de um grande evento magmático Neoarqueano (2,76 Ga). Apresenta uma forma alongada com aproximadamente 18 km de extensão na direção N-NE e uma largura média de 2,5 km ([Anglo American, 2010](#)). Está encaixado em rochas do Complexo Xingu (3,0 Ga; [Siepierski & Ferreira Filho, 2020](#)). É composto principalmente por dunitos serpentinizados com textura ígnea adcumulática bem preservada, que são atravessados por vários diques gabróicos paralelos ou oblíquos à direção de maior extensão do corpo.

Durante os trabalhos de prospecção geológica e geoquímica dos corpos da SIC, [Macambira \(2001\)](#) revelou que os dunitos serpentinizados do CMSJ exibem diferentes estágios de serpentinação, desde exemplares completamente serpentinizados até amostras com pseudomorfos de olivina e piroxênio. Os exemplares mais serpentinizados são compostos

por lizardita, que apresenta uma textura em malha, e em algumas fraturas são observados veios de crisotila. Em exemplos mais preservados, foram identificados cristais cúmulus de olivina, além de piroxênio com posicionamento cumulático e intercumulático. Os minerais opacos (magnetita, hematita e cromita) ocorrem como grãos disseminados de milímetros de tamanho, nas fraturas e nos contatos entre minerais.

De acordo com [Tomazoni \(2011\)](#), é possível observar faixas com textura mais bem preservada, onde os minerais primários dos dunitos consistem em olivina + cromita cúmulus, com raras ocorrências de ortopiroxênio intercúmulus. Embora a textura esteja preservada apenas em alguns pontos, a serpentinização é pervasiva e todos os minerais primários foram transformados.

Quanto à estrutura do CMSJ, ele apresenta uma forma alongada na direção N/S, dentro do domínio do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, mais especificamente no Sistema Transcorrente Araraquara ([CPRM, 1997](#); [Macambira, 2001](#)). O CMSJ é afetado por falhas e fraturas que seguem preferencialmente as direções N/S e NW/SE, com posicionamento subvertical em geral. Uma importante zona localizada na borda oriental do CMSJ, desenvolvida sobre o Granito Plaquê e o Grupo São Félix, tem cerca de 15 km de extensão, orientação submeridiana e posicionamento subvertical. Essa zona é preenchida por quartzo branco-leitoso. Diques de diabásio paralelos que cortam a sequência serpentinitica na direção N/S, também preenchem fraturas semelhantes e paralelas às que estão sendo preenchidas por quartzo.

Ao comparar os teores de Ni nas olivinas que constituem os corpos máfico-ultramáficos da PMC, [Mansur & Ferreira Filho \(2016\)](#), concluíram que os teores de Ni nas olivinas de todas as intrusões são compatíveis com os valores encontrados na maioria dos corpos máfico-ultramáficos pelo mundo, com exceção dos Complexo Luanga e o Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré. A análise composicional das olivinas presentes nos dunitos e harzburgitos do CMSJ indica uma origem a partir de magmas parentais altamente primitivos, conforme evidenciado pelos teores forsterita (89,8 a 92,7). Além disso, observou-se uma elevada concentração de Ni nas olivinas, de até 7000 ppm. Este valor contrasta significativamente com o teor de Ni esperado para komatiitos ou magmatismo ultramáfico intraplaca continental com conteúdo similar de forsterita, que geralmente varia entre 2500-3500 ppm de Ni ([Mansur et al., 2017](#); [Sobolev et al., 2005](#)). Estudos com grandes

conjuntos de dados sobre as composições de olivina sugerem que altos teores de Ni na olivina são derivados de *i*) fontes do manto piroxenítico originadas a partir de altas proporções de crosta oceânica reciclada (Sobolev et al., 2005 e 2007; Mansur, 2017) ou *ii*) do “upgrading” de Ni por meio da dissolução de sulfetos ricos em níquel previamente formados (Keer e Leitch, 2005; Yang et al., 2013; Mansur & Ferreira Filho, 2016).

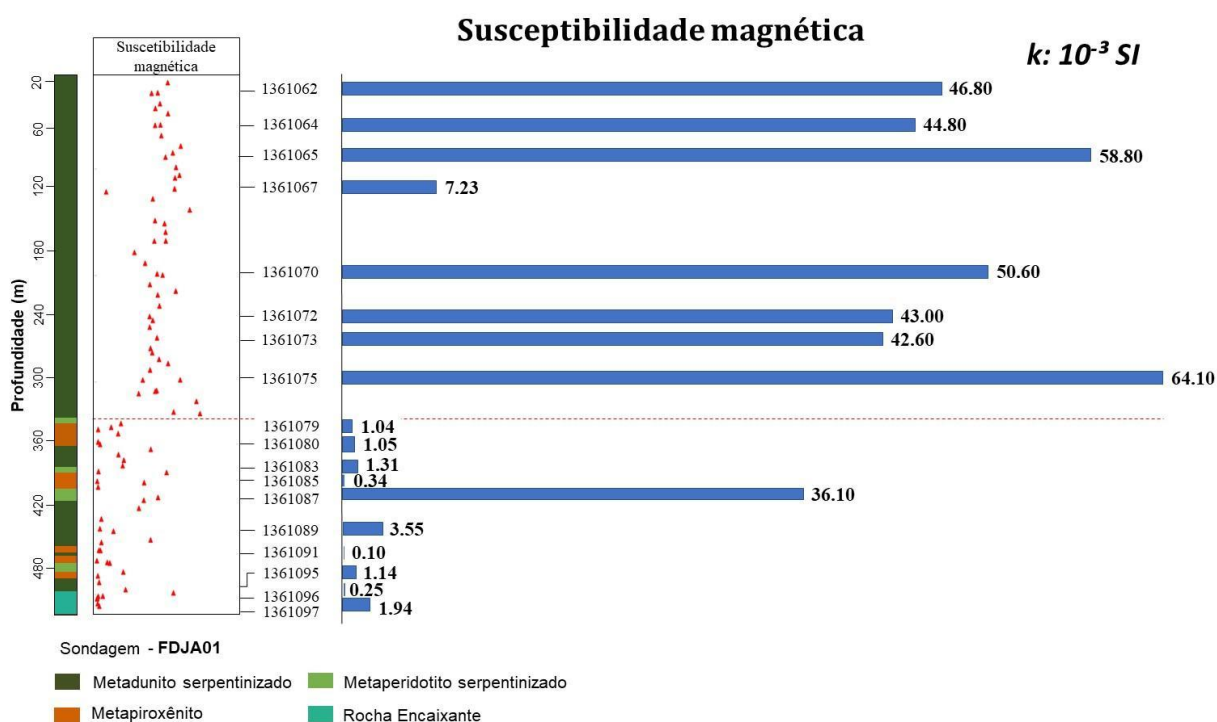
4. RESULTADOS

Neste capítulo será abordado a petrografia e a litogeoquímica das 18 amostras coletadas do furo de sondagem diamantado FDJAC 01 do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré.

4.1. Amostras

A descrição macroscópica e análise de susceptibilidade magnética preliminar permitiu a identificação de vários litotipos, o que levou à elaboração de um diagrama esquemático para melhor compreensão da distribuição das rochas e variações faciológicas no corpo. Na figura a seguir (FIG.4), as amostras estão posicionadas ao longo do furo de acordo com a litologia e a sua respectiva profundidade e seus valores de susceptibilidade magnética.

Figura 4: Diagrama esquemático mostrando a distribuição e os respectivos valores de susceptibilidade magnética dos litotipos ao longo do furo estratigráfico de 511 metros no CMSJ.



De acordo com o diagrama, observa-se uma mudança abrupta nos valores de susceptibilidade magnética a partir da amostra de número 1361079, um metapiroxênito, localizado a uma profundidade de 344,60 m. Antes dessa profundidade, o litotipo dominante é o metadunito, que é sucedido, sentido a base do furo, por uma intercalação deste litotipo com metaperidotito e metapiroxênito.

4.2. Petrografia

Os dados petrográficos obtidos durante a descrição dos litotipos (**ver APÊNDICE I**) permitiram a identificação de 5 litotipos, separados em dois grupos: Grupo das Rochas Metaultramáficas e o Grupo das Rochas Metamáficas/Rochas Encaixantes.

Para melhor apresentação do agrupamento das rochas analisadas, o quadro síntese do apêndice I foi construído, onde constam as respectivas características petrográficas, tanto macroscópicas quanto microscópicas, de cada litotipo.

Uma coluna estratigráfica do CMSJ pôde ser construída a partir da análise petrográfica das 18 amostras, a qual foi dividida em duas zonas, Zona I e Zona II, com base na variação dos litotipos. Porém, as informações da coluna estão limitadas à análise de um único furo estratigráfico (FDJAC 01) (**FIG. 5**). No lado direito da coluna foram representados os principais litotipos que compõem o CMSJ.

4.2.1. Grupo das Rochas Metaultramáficas

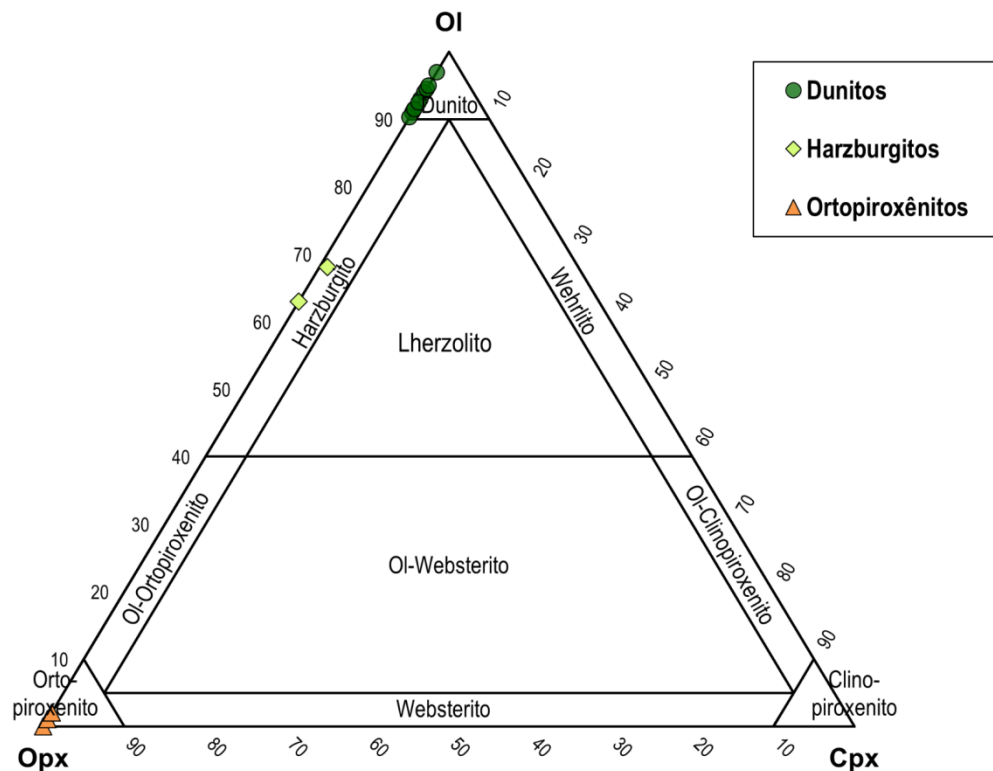
A característica proeminente dessas rochas é a sua origem a partir de cristais cúmulus e intercúmulus, organizados em texturas cumuláticas, que permanecem bem preservadas, juntamente com alguns minerais, apesar de terem passado por intensos processos de hidratação. Essas rochas são denominadas metaultramáficas. Para simplificar a nomenclatura, os litotipos serão referidos apenas pelo nome do protólito ígneo, sem os sufixos meta- e serpentizado.

Corresponde aos dunitos, harzburgitos e ortopiroxênitos (**FIG. 6**). As principais fases cúmulus são representadas por cristais de olivina e cromita, enquanto a fase intercúmulus (pós-cúmulus), quando presente, é constituída por ortopiroxênio e, em menor grau, por flogopita.

4.2.1.1. Dunitos

Corresponde às amostras 1361062, 1361064, 1361065, 1361067, 1361070, 1361072, 1361073, 1361075, 1361087, 1361089 e 1361095. Essa litologia constitui uma porção mais homogênea do furo, caracterizada pela ausência de variação litológica, sendo designada como Zona I, além de algumas porções identificadas como pertencentes à Zona II (**FIG. 5**).

Figura 6: Diagrama Ol-Cpx-Opx (Streckeisen, 1976), para a classificação dos litotipos ultramáficos do CMSJ.



Os litotipos possuem cor cinza-escuro a preto (**FIG. 7**) e granulação predominantemente equigranular média, com a susceptibilidade magnética variando de fraco a forte ($1,14$ a $64,1 \times 10^{-3}$ SI), comparado com o intervalo obtido para os litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI). Apresentam, ainda, uma série de vênulas milimétricas descontínuas de serpentina de cor esbranquiçada.

Figura 5: Coluna estratigráfica do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré elaborada a partir do furo de sondagem FDJAC01.

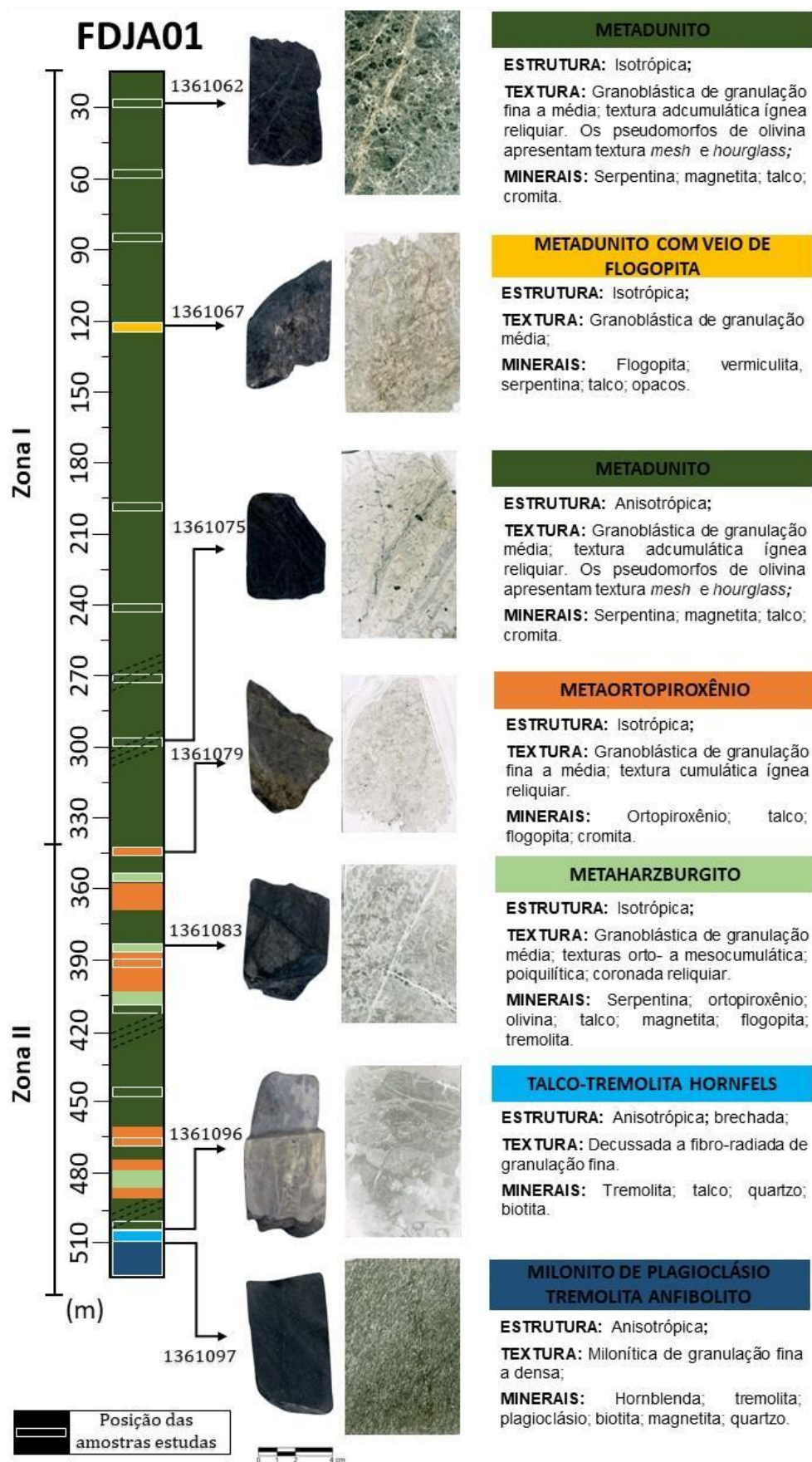
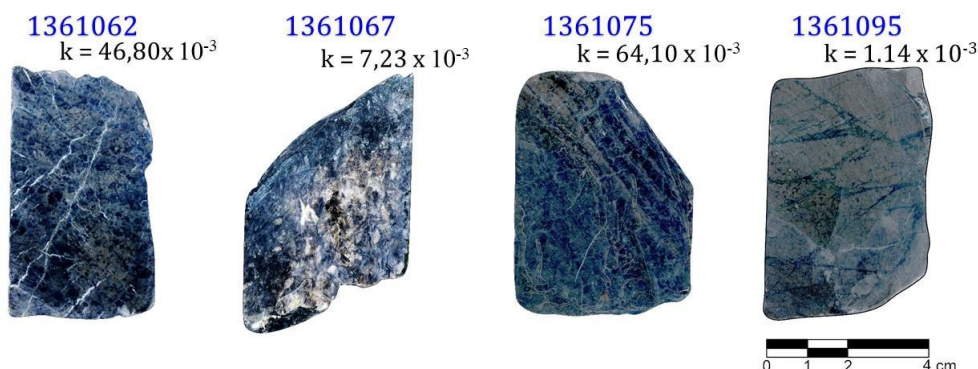


Figura 7: Exemplos dos dunitos do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré. **Profundidades:** 1361062/28,30 m; 1361067/121,25 m; 1361075/298,25; 1361095/501,70 m. Os valores de K em Sistema S.I. A imagem possui ajustes de contraste para melhor visualização das texturas.



A maioria das rochas possuem uma estrutura essencialmente isotrópica/maciça, enquanto os exemplares 1361073, 1361075, 1361087, 1361095, exibem uma anisotropia incipiente, assim como um ligeiro bandamento. A textura geral das rochas é granoblástica (**FIG. 8 A, B, C, D**). Os cristais de serpentina, mineral dominante neste litotipo, se organizam em texturas pseudomórficas *mesh* e *hourglass* sobre os cristais de olivina, o que preserva o seu formato. A serpentina também foi responsável por substituir alguns poucos cristais de ortopiroxênio intersticial. A mineralogia principal é constituída por serpentina (93%), subordinadamente por magnetita (5%), talco (1,6), cromita (<0,5%) e brucita (<0,5%), esta ocorre principalmente associada à serpentina no interior dos pseudomorfos.

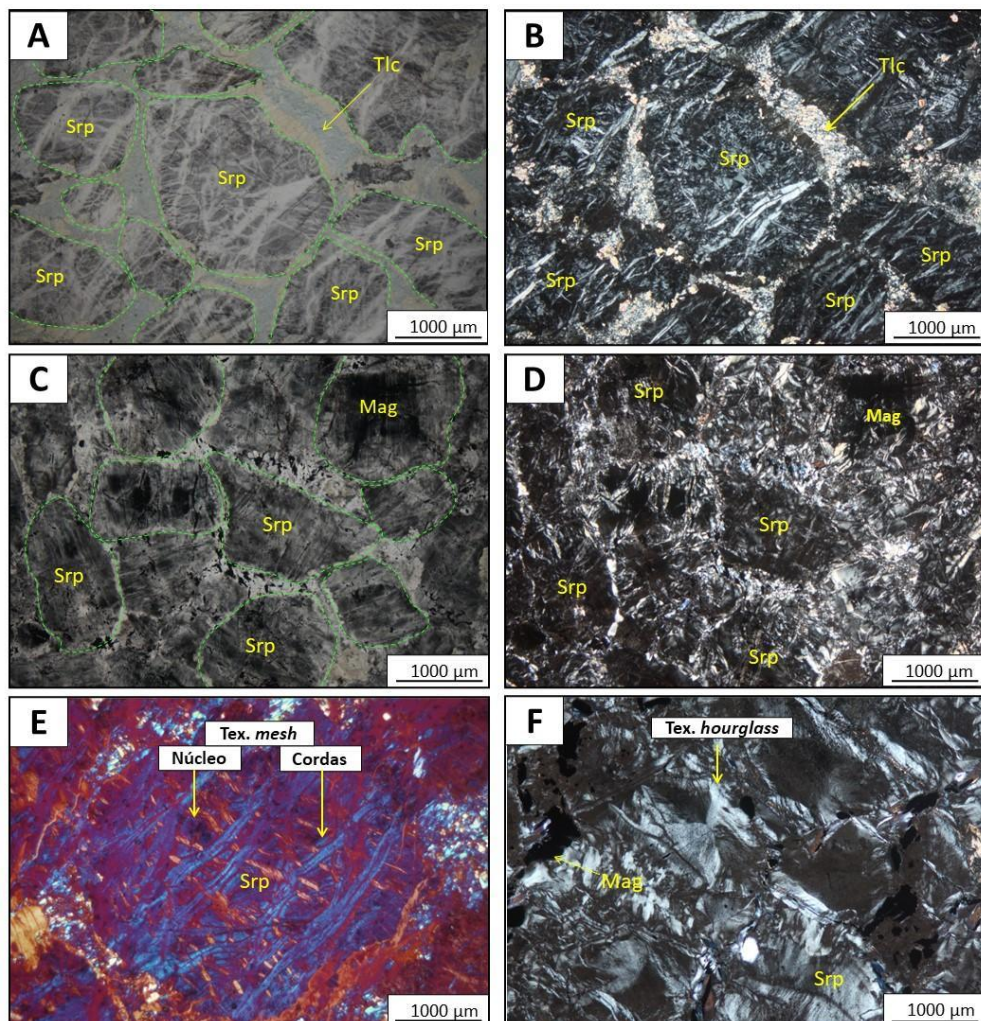
Os pseudomorfos apresentam formas irregulares a arredondados com dimensões médias ~ 4 mm (máximo de 8 mm) e textura *mesh* e *hourglass* (**FIG. 8 E, F**). O contato entre os pseudomorfos é indistinto, o que torna difícil a sua individualização, porém alguns contatos são demarcados por cristais de serpentina, talco, magnetita e, por vezes, por cromita. Uma característica marcante dos pseudomorfos é o aspecto “sujo”, de coloração “amarronzada”, produto do intemperismo (**FIG. 8 A, C**).

A serpentina de textura pseudomórfica *mesh* é o principal mineral de alteração observado, a qual substitui a olivina. Essa textura é caracterizada por apresentar cordas formadas por cristais de serpentina- α (elongação negativa) que se dispõem perpendicularmente aos núcleos, denominadas de *cross-fiber*, e exibem extinção ondulante, a qual relewa o hábito fibroso. Os núcleos de textura *mesh* são áreas com formas poliédricas que representam porções menos alteradas da olivina, no caso dos metadunitos do CMSJ, não há

núcleos de olivina preservados. Os núcleos são constituídos por cristais de serpentina, por vezes, associada à brucita, orientadas aleatoriamente e opticamente mostram tanto elongação positiva como negativa. Vale ressaltar, ainda, que o comportamento óptico da serpentina presente nos núcleos é quase isotrópico.

Uma característica marcante é a ocorrência de uma grande quantidade de cristais microgranulares de magnetita, de aspecto pulverulento, disseminados no interior da textura *mesh*, os quais são responsáveis por evidenciar tal textura a nicóis descruzados. Enquanto os cristais de magnetita que ocupam os espaços entre os pseudomorfos são cristais maiores e anédricos (FIG. 8 F).

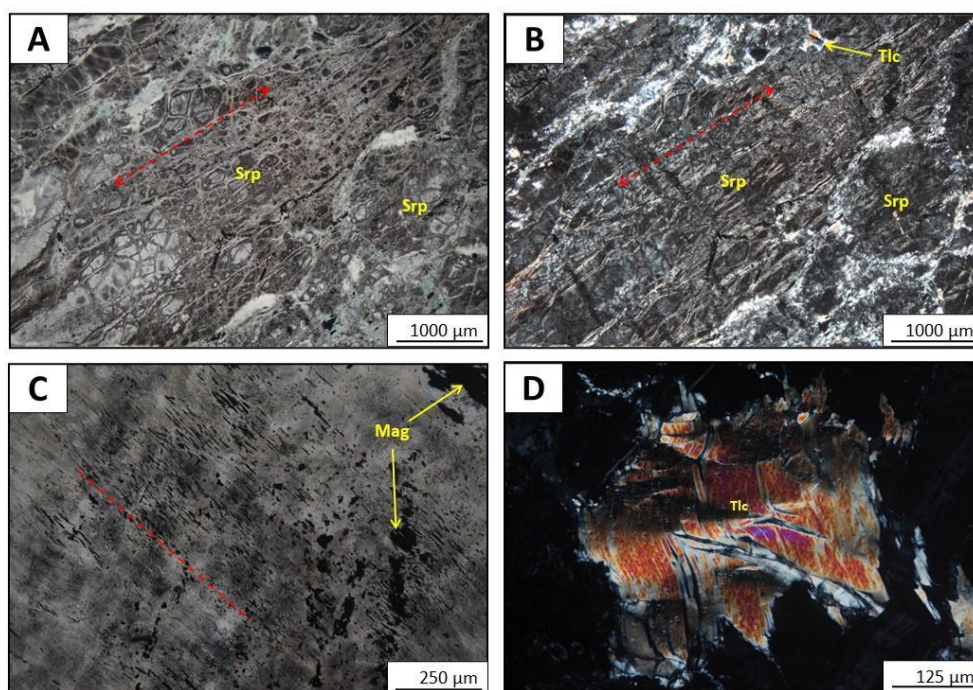
Figura 8: A, B, C e D) Pseudomorfos de olivina constituindo a textura granoblástica. E) Exemplo de pseudomorfo de olivina com textura *mesh* que ocorre nestes litotipos. F) Exemplo de pseudomorfo de olivina com textura *hourglass*. **Srp** = Serpentina, as linhas tracejadas de cor verde marcam o contorno aproximado dos pseudomorfos; **Tlc** = Talco; **Mag** = Magnetita. As fotomicrografias B, D, E e F estão com nicóis cruzados, a microfotografia e também está com compensador ativado.



Em alguns pseudomorfos, percebe-se um alongamento dos núcleos segundo a direção de maior elongação dos pseudomorfos, assim como as cordas estão estiradas segundo a mesma direção (**FIG. 9 A, B**).

Foi observado uma anisotropia no interior de alguns pseudomorfos. Os cristais de magnetita possuíam hábito acicular e estão orientados, de tal modo a constituir trilhas (**FIG. 9 C**).

Figura 9: **A e B)** Pseudomorfo de olivina com as cordas estiradas segundo uma direção preferencial. **C)** Exemplo de pseudomorfo com magnetita acicular marcando “trilhas” orientadas no seu interior. **D)** Exemplo de um cristal de talco. **Srp** = Serpentina, a linha tracejada de cor vermelha marca a direção de orientação das cordas do pseudomorfo; **Tlc** = Talco; **Mag** = Magnetita. As fotomicrografias **B e D** estão com nicóis cruzados.

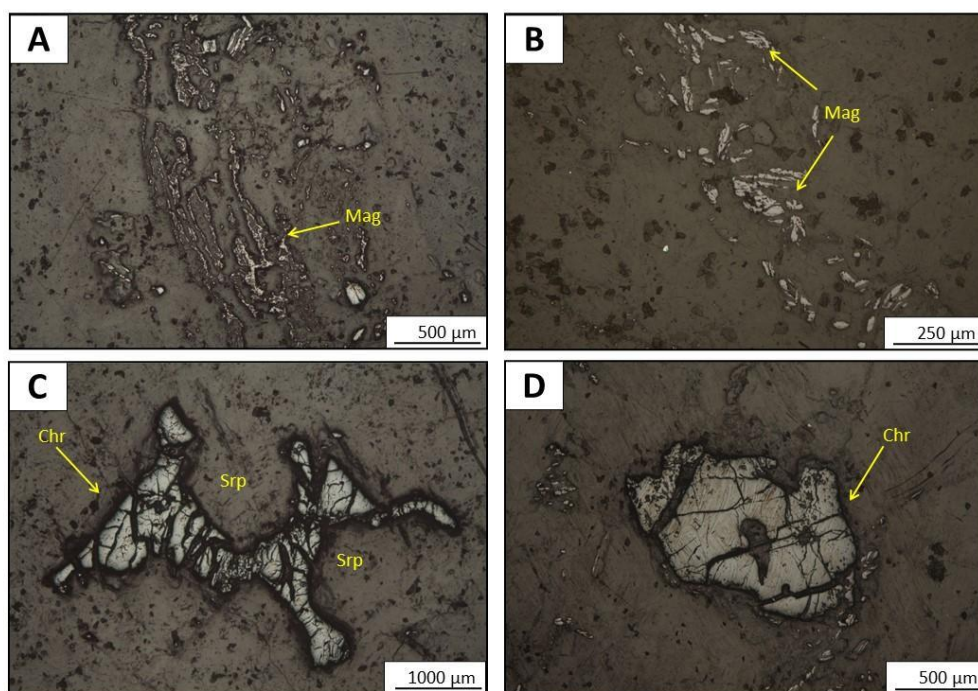


Os cristais de talco ocorrem no entorno dos pseudomorfos, com os interstícios ou nas fraturas dos mesmos, às vezes como um conjunto de pequenos cristais, de hábito micáceo, incolores com um discreto pleocroísmo em tons de verde-pálido, extinção tende a ser reta (às vezes, ondulante), elongação positiva e cor de interferência principalmente azul, também ocorrem cristais com altas cores de interferência e extinção mosqueada (**FIG. 9 D**). Uma característica interessante do talco é que alguns cristais aparecem com uma concentração de microfragmentos de cristais “marrom-alaranjados” no seu interior.

A magnetita ocorre como cristais de aspecto pulverulento associados aos cristais de serpentina, de modo que há uma maior concentração de magnetita no interior dos pseudomorfos. Ocorre também como cristais anédricos dispersos na rocha, por vezes, estirados constituindo um bandamento (**FIG. 10 A**) e, por último, preenchendo os planos de clivagem dos cristais de talco (**FIG. 10 B**).

Os cristais de cromita representam a fase cúmulus e possuem formas irregulares, anhedrais, com dimensão aproximada de 0,7 mm (**FIG. 10 C, D**). Localizam-se nos espaços intersticiais dos pseudomorfos e apresentam-se fraturados, com as bordas corroídas e bordejados por cristais de talco e serpentina.

Figura 10: **A)** Cristais de magnetita estirados constituindo um bandamento. **B)** Magnetita preenchendo os planos de clivagem dos cristais de talco. **C)** Cromita anedral ocupando o espaço intersticial dos pseudomorfos. **D)** Cristal de cromita fraturado e com as bordas corroídas. **Srp** = Serpentina; **Mag** = Magnetita; **Chr** = Cromita. As fotomicrografias **A, B, C** e **D** foram tiradas sob luz refletida.

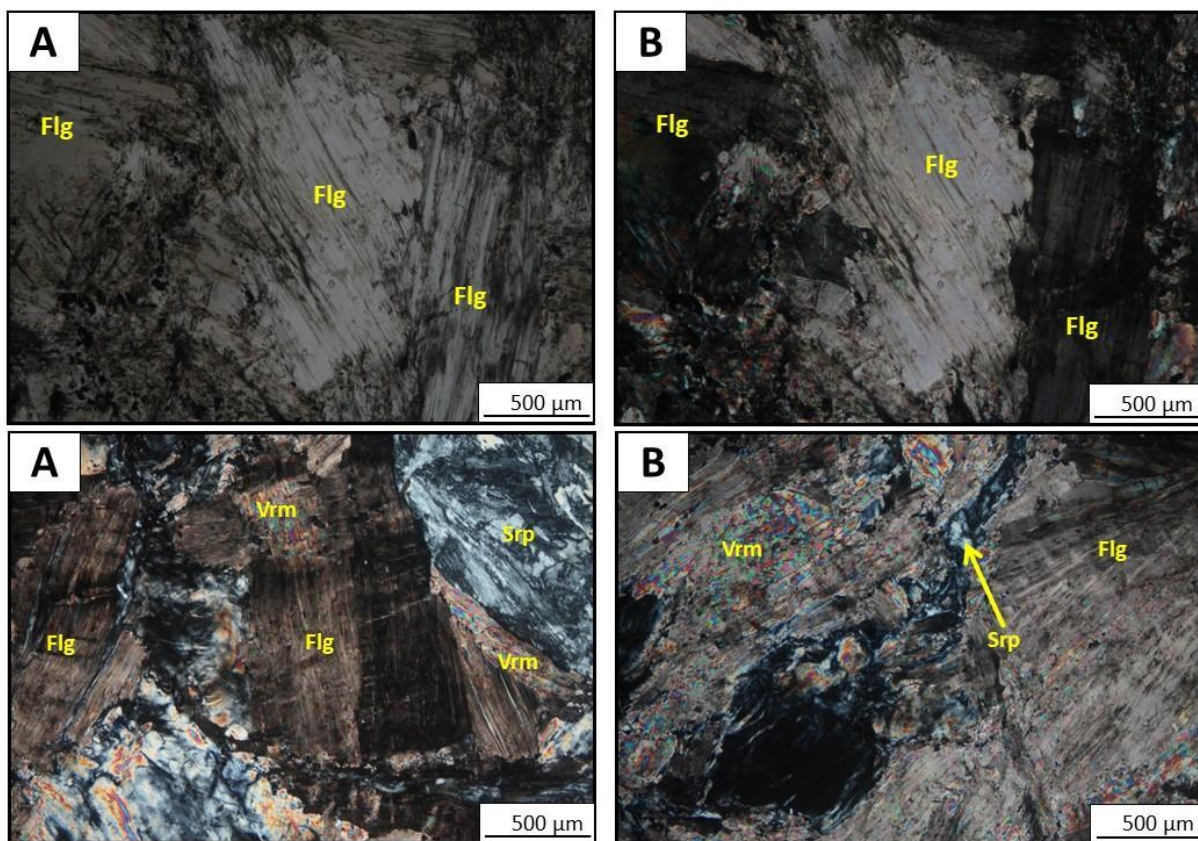


Grande parte dos exemplares apresentam microvênulas, as quais possuem características distintas. As microvênulas são compostas principalmente por serpentina (possivelmente crisotila) e são de tamanho variável, com dimensões médias de aproximadamente 0,2 x 3,5 mm. Algumas microvênulas exibem birrefringência amarelo-alaranjada, chegando à rosa (possivelmente talco), e parecem preencher as vênulas paralelamente à direção de maior comprimento, com hábito placóide. Nas paredes de algumas

microvênulas, há a presença de magnetita, também foi verificado o preenchimento total da microvênula por magnetita.

Na amostra 1361067 (**FIG. 7**), foi observada a presença de um veio de flogopita que corta o dunito. Este veio foi identificado pelo seu contato abrupto com a rocha, granulação média e estrutura maciça/isotrópica, composta por cristais de flogopita de hábito micáceo e coloração cinza. A fotomicrografia da amostra 1361067 apresenta os cristais de flogopita que constituem o veio, os cristais estão organizados de maneira granular, sem orientação (**FIG. 11 A, B**). Pode-se observar a presença de serpentina, a qual ocupa os espaços entre os cristais de flogopita. A vermiculita ocorre como alteração da flogopita (**FIG. 11 C e D**).

Figura 11: A, B, C e D) Fotomicrografias mostrando cristais de flogopita com estrutura maciça e textura granular média de hábito micáceo. **Flg** = Flogopita; **Srp** = Serpentina; **Vrm** = Vermiculita. As fotomicrografias **B, C e D** estão com nicóis cruzados.



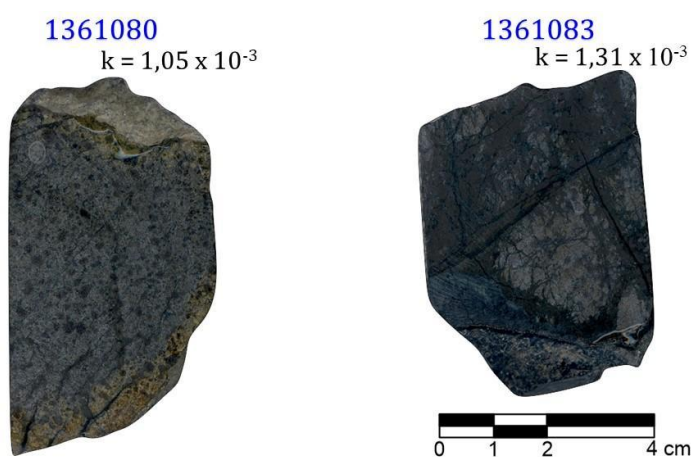
4.2.1.2. *Harzburgitos*

Corresponde às amostras 1361080 e 1361083, as quais ocorrem na Zona II do furo (**FIG. 5**). São constituídos principalmente por olivina (37,3%), ortopiroxênio (31%) e serpentina (22,3%), com presença subordinada de talco (5%), flogopita (2%), magnetita (2%)

e tremolita (1%). Em contraste com os dunitos, os harzburgitos apresentam cristais de olivina preservados.

Macroscopicamente, estes litotipos caracterizam-se por uma coloração cinza-esverdeada e preta, estrutura isotrópica/maciça e textura inequigranular com granulação variando entre fina a média (**FIG. 12**). Caracteriza-se, ainda, por apresentarem um fraco magnetismo ($1,05$ e $1,31 \times 10^{-3}$ SI), em comparação com outros litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI) e pela presença de vênulas.

Figura 12: Exemplos dos harzburgitos do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré. **Profundidades:** 1361080/356,50 m; 1361083/384,35 m. Os valores de K em Sistema S.I.

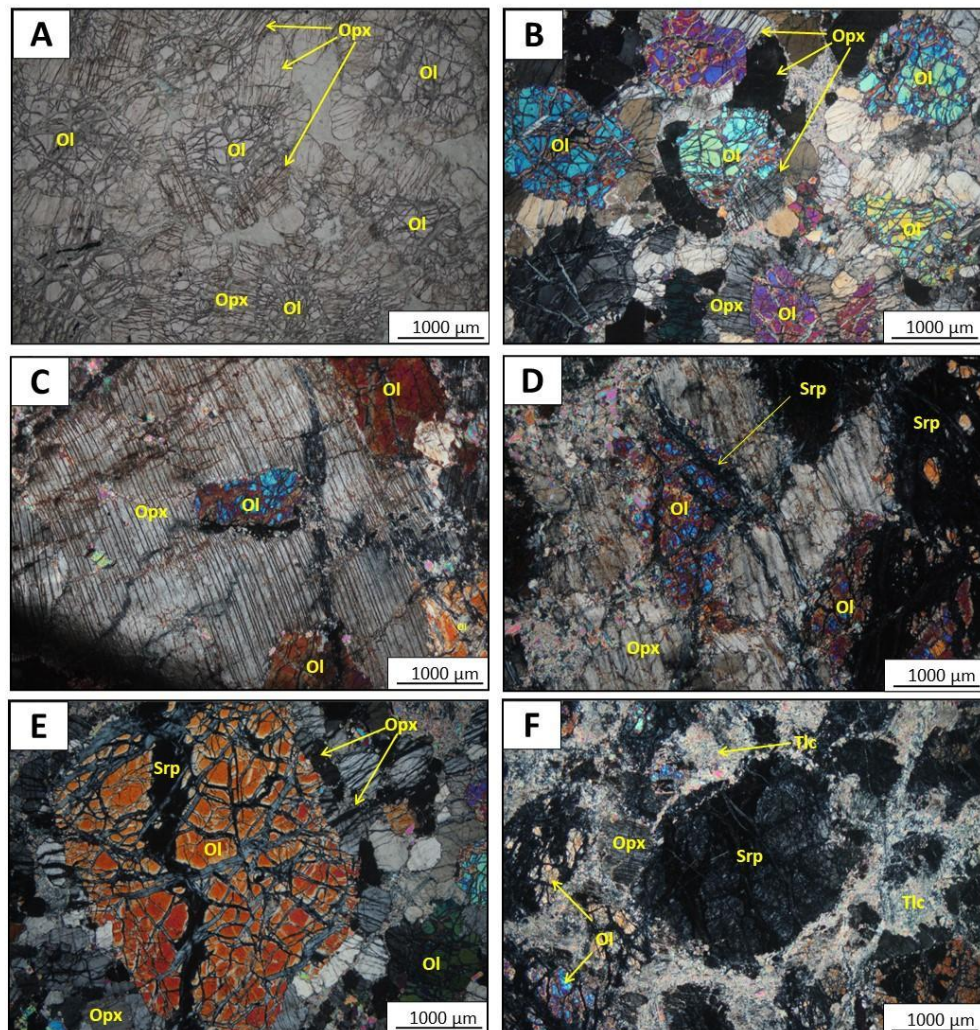


Em análise microscópica, apresentam-se com textura granoblástica de granulação fina à média ($< 1 - 4$ mm), a qual evidencia a preservação da textura ígnea orto- a mesocumulática (**FIG. 13 A, B**). Os cristais de olivina, os quais representam a fase cúmulus, ocorrem com coroas e até mesmo incluídos em *oikocrystals* de ortopiroxênio (fase intercúmulus), o que caracteriza a presença da textura coronada e oikocryst-poiquilítica (**FIG. 13 B, C, D**).

A amostra 1361080 encontra-se no estágio inicial da serpentinização dos cristais de olivina e ortopiroxênio, os quais ainda estão bem preservados na rocha (**FIG. 13 E**). Já no exemplar mais profundo, 1361083, estes cristais já estão em um estágio avançado de alteração, na qual já ocorrem alguns pseudomorfos de serpentina (**FIG. 13 F**). Outro processo observado nestes exemplares, é o de talcificação sobre os cristais de ortopiroxênio, o qual está mais evidente na amostra mais profunda.

Os cristais de olivina representam a fase cúmulus e ocorrem em diferentes estágios de serpentinização. Os cristais mais preservados possuem um formato granular a irregular e dimensão média de 1,4 mm. A substituição dos cristais de olivina está ocorrendo a partir de suas fraturas (**FIG. 13 E**), o que dá origem a textura pseudomórfica *mesh*. A serpentina está se desenvolvendo perpendicularmente às paredes das fraturas (*cross-fiber*), enquanto boa parte dos núcleos encontram-se preservados. A olivina também apresenta textura coronada (**FIG. 13 B**) e poiquilítica (**FIG. 13 C, D**), incluída em *oikocristais* de ortopiroxênios. Na amostra 1361083, há a presença de tremolita no interior de cristais de olivina serpentinizados. O seu contato é retilíneo à irregular com outros minerais (**FIG. 14 A**).

Figura 13: A e B) Textura granoblástica, a qual evidencia a textura orto- e mesocumulática bem preservada. C) e D) Exemplos de oikocristais de ortopiroxênio englobando cristais de olivina (textura poiquilítica). E) Cristal de olivina com coroas de ortopiroxênio com cristais de serpentina preenchendo suas fraturas. F) Pseudomorfo de olivina. **Srp** = Serpentina; **Ol** = Olivina; **Opx** = Ortopiroxênio; **Tlc** = Talco. As fotomicrografias B, C, D, E e F estão com nicóis cruzados.



Os cristais de ortopiroxênio são encontrados na fase intercúmulus e passam por estágios de alteração, como serpentinização e talcificação. Eles possuem uma forma que varia entre subhedral e anhedral, com uma dimensão média de 1,15 mm (**FIG. 14 B**). Alguns cristais de flogopita podem ser encontrados no interior e nas bordas desses cristais. O contato com outros cristais pode variar de retilíneo a irregular.

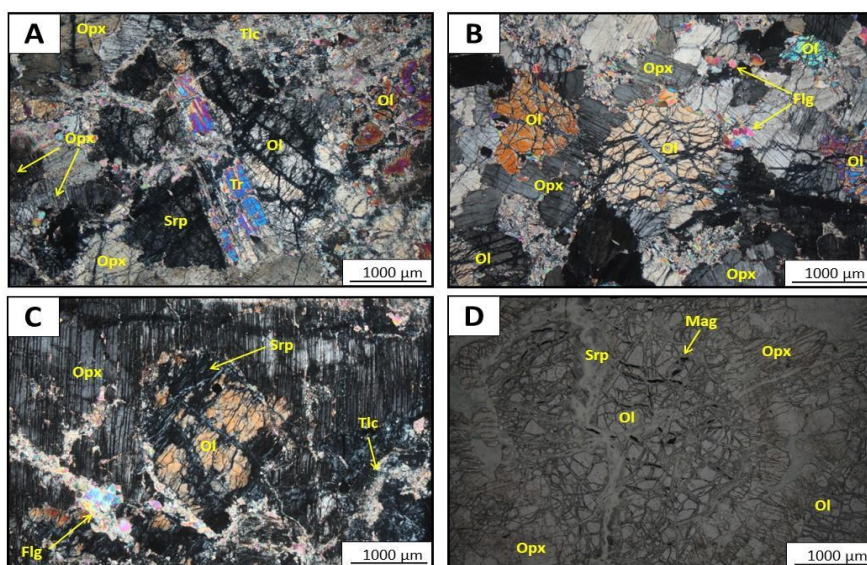
O talco ocorre como um produto de alteração dos cristais de ortopiroxênio, apresentando-se na forma de massas de cristais anhedrais a subhedrais, com dimensões inferiores a 0,1 mm (**FIG. 14 A, C**). Esses cristais de talco se desenvolvem nos planos de clivagem dos cristais de ortopiroxênio, de modo que preenche os interstícios entre eles e forma uma matriz densa. Sua identificação é possível apenas pela alta birrefringência devido a sua granulação muito fina.

A flogopita é encontrada como finos cristais subhedrais a anhedrais, com hábito lamelar e dimensão média de 0,5 mm. Esses cristais estão presentes nas bordas e no interior dos cristais de ortopiroxênio, e também ocorrem subordinadamente nas fraturas dos cristais de olivina (**FIG. 14 B, C**). O contato da flogopita com outros minerais é retilíneo.

A magnetita ocorre como grãos anhedrais de granulação muito fina e está associada principalmente à serpentina (**FIG. 14 D**). Esses grãos estão presentes nas fraturas dos cristais de olivina, juntamente com a serpentina, e exibem uma anisotropia evidente no interior desses cristais, formando trilhas paralelas e orientadas. Além disso, a magnetita também ocorre disseminada pela rocha em forma de grãos minúsculos.

Foram identificados cristais de tremolita no interior de oikocristais de olivina (**FIG. 14 A**). Esses cristais são subhedrais, de hábito prismático, com uma granulação média de 2 mm. Apresentam relevo baixo a moderado, são incolores, possuem birrefringência baixa a moderada (com cores de primeira ordem superior) e elongação positiva.

Figura 14: **A)** Cristal de olivina com cristal intercrescido de tremolita no seu interior, litotipo bastante afetado pelos processos de serpentinização e talcificação. **B)** Cristais de ortopiroxênio constituindo coroas nos cristais de olivina. **C)** Oikocristal de ortopiroxênio englobando o cristal de olivina. O talco está preenchendo os planos de clivagem e suas fraturas, junto da flogopita. **D)** Cristais de granulação muito fina de magnetita, associado à serpentina, a qual ocupa as fraturas do cristal de olivina. **Srp** = serpentina; **Ol** = Olivina; **Opx** = Ortopiroxênio; **Tlc** = Talco; **Flg** = Flogopita; **Mag** = Magnetita. As fotomicrografias **A**, **B** e **C** estão com nicóis cruzados.



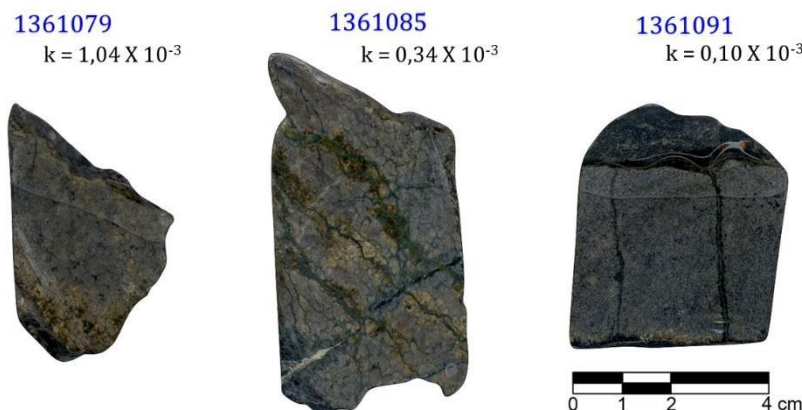
4.2.1.3. Ortopiroxênitos

Os ortopiroxênitos referem-se às amostras 1361079, 1361085 e 1361091, localizadas na Zona II do furo estratigráfico (**FIG. 5**). Essas amostras são predominantemente compostas por ortopiroxênio (93,8%), com presença subordinada de talco (4%), flogopita (2,3%), olivina (1%), cromita (<0,5%) e magnetita (<0,5%).

Macroscopicamente, este litotipo é identificado pela sua coloração que varia de cinza escuro a esverdeada, o qual apresenta uma estrutura isotrópica/maciça e uma textura granular com granulação que varia de fina a média (**FIG. 15**). Além disso, eles exibem um magnetismo fraco, com valores de $0,1$ a $1,04 \times 10^{-3}$ SI, em comparação com outros litotipos ultramáficos do CMSJ, que apresentam valores de $0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI. As amostras 1361085 e 1361091 são seccionadas por vênulas que estão promovendo alterações nas rochas.

Figura 15: Exemplos dos ortopiroxênitos do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré. **Profundidades:**

1361079/344,80 m; 1361085/393,52 m; 1361091/498,15 m. Os valores de K em Sistema S.I.

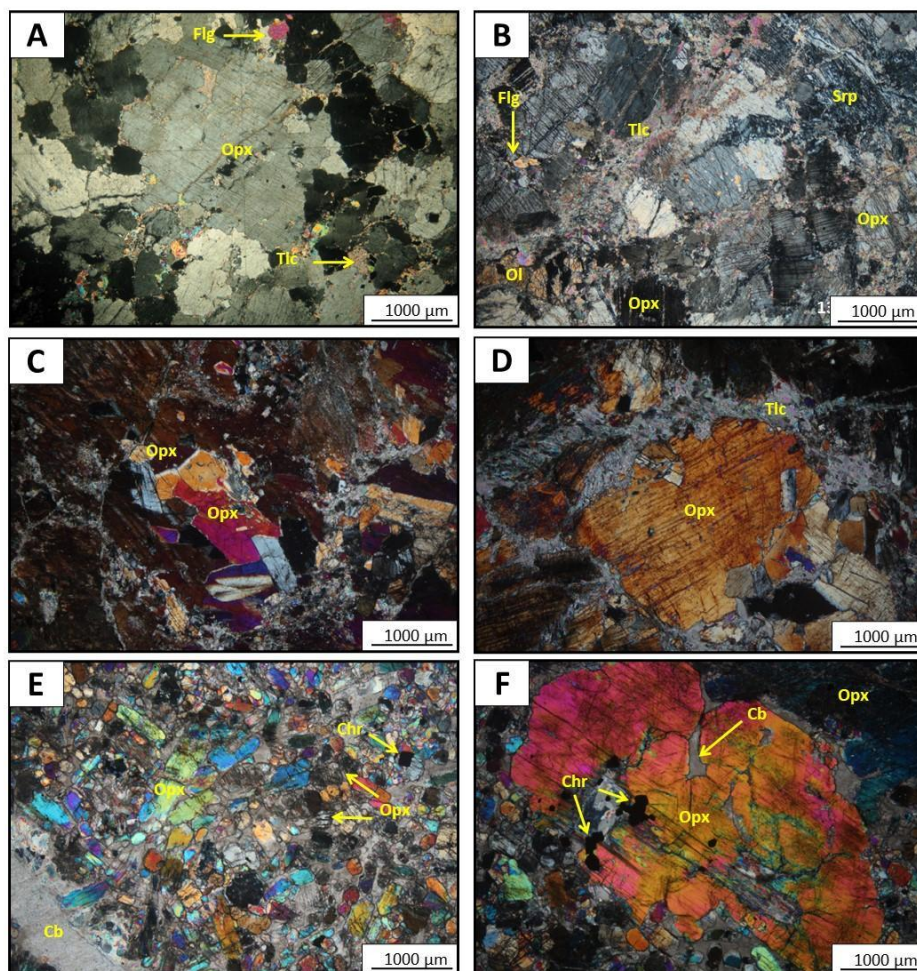


Na análise microscópica, os ortopiroxênitos revelam uma textura granoblástica (**FIG. 16 A, B**), inequigranular, com granulação fina a média variando de 0,3 a 5 mm, os quais mantêm as características das texturas ígneas glomeroporfirítica (**FIG. 16 C**) e granoporfirítica (**FIG. 16 F**).

As amostras 1361079, 1361085 e 1361091 consistem em cristais de ortopiroxênio com características distintas. Na amostra 1361079, os cristais de ortopiroxênio (enstatita) são subhedrais a anhedrais, com granulação fina a média (0,3 a 4 mm), os quais apresentam contatos retos a irregulares lobulados entre si (**FIG. 16 A**). Eles ocorrem preferencialmente em seções longitudinais. Além disso, os cristais possuem inclusões de talco, os quais são produto do processo de talcificação a partir dos planos de clivagem (**FIG. 15 B**), e de cromita. Cristais próximos a microvênulas estão iniciando o processo de serpentinização.

A amostra 1361085 consiste em cristais de ortopiroxênio com cor rosa pálido a salmão (hiperstênio) (**FIG. 16 C, D**). Esses cristais são subhedrais, prismáticos, em grãos de tamanho predominantemente médio (0,25 a 5 mm), altamente fraturados e alterados, com contatos interdigitados a retilíneos. A textura glomeroporfirítica é observada, com agregados prismáticos intercrescidos em um mesmo espaço circular. Esses cristais maiores apresentam inclusões de talco, flogopita, cromita, magnetita e outros minerais de granulação muito fina. Os cristais de ortopiroxênio em contato com as vênulas exibem alteração possivelmente para anfibólio, marcada por uma aparência “manchada” de coloração amarronzada e presença de grãos minúsculos de magnetita em seu interior.

Figura 16: **A e B)** Exemplo de textura granoblástica da amostra 1361079, em **B**, percebe-se que o litotipo foi afetado por processos de talcificação e serpentinização. **C)** Textura glomeroporfírica da amostra 1361085. **D)** Exemplo de ortopiroxênio (hiperstênio) com talco preenchendo as suas bordas. **E)** Cristais subhedrais de ortopiroxênio em matriz carbonática no litotipo 1361091. **F)** Exemplo de textura porfírica evidenciada por um fenocristal de ortopiroxênio em uma matriz de granulação fina. **Opx** = Ortopiroxênio; **Tlc** = Talco; **Srp** = Serpentina; **Flg** = Flogopita; **Chr** = Cromita; **Cb** = Carbonato. Todas as fotomicrografias estão com nicóis cruzados.



Na amostra 1361091, os cristais de ortopiroxênio são subhedrais a euhedrais, com dimensão média de 0,8 mm (**FIG. 15 E**). Alguns cristais apresentam uma textura porfírica (**FIG. 15 F**). Esses cristais de ortopiroxênio apresentam-se alterados. O contato desses cristais com outros cristais é retilíneo.

Os cristais de talco ocorrem como um mineral lamelar subhedral, como produto de alteração dos cristais de ortopiroxênios. Com granulação fina, inferior a 0,3 mm, os cristais de talco ocorrem tanto no entorno quanto no interior dos cristais de ortopiroxênio.

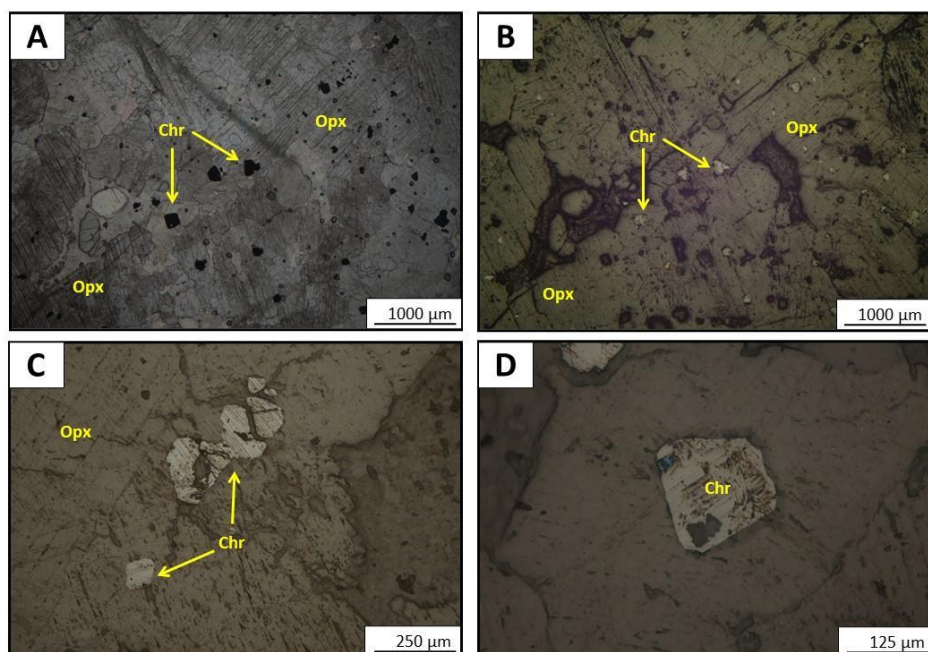
Os cristais de flogopita são encontrados no interior e no entorno dos cristais de ortopiroxênio, os quais constituem uma matriz junto a outros minerais. São micáceos, subhedrais a anhedrais, com dimensões variando de 0,1 a 0,5 mm. O contato com outros minerais é irregular a retilíneo. Esses cristais de flogopita exibem pleocroísmo incolor-castanho pálido, extinção reta e mosqueada em relação aos planos de clivagem, além de cores de interferência de quarta ordem.

Os cristais de olivina ocorrem de forma isolada nos ortopiroxênios. São anhedrais a subhedrais de granulação fina a média e encontram-se bastante fraturados e com início de serpentinização.

A cromita possui formas que variam de anhedrais até euhedrais nos ortopiroxênitos, com granulação fina a média e ocorrem tanto disseminados quanto inclusos nos cristais de ortopiroxênio (textura poiquilítica) (**FIG. 17 A, B, C, D**). Na amostra 1361085 a cromita encontra-se bastante fraturada e com as bordas corroídas.

A magnetita está associada à serpentina, dessa forma, ocorre como grãos muito finos de aspecto pulverulento, disseminados pelo litotipo e ocupando o interior dos cristais de ortopiroxênios.

Figura 17: **A e B)** Cristais subhedrais de cromita incluídos em cristais de ortopiroxênios presentes na amostra 1361079. **C e D)** Cristais euhedrais de cromita que ocorrem no litotipo 1361091. **Opx** = Ortopiroxênio; **Chr** = Cromita. A fotomicrografia A foi tirada sob luz transmitida, enquanto **B, C e D**, foram tiradas sob luz refletida.



4.2.2. Grupo das Rochas Metamáficas/Rochas encaixantes

Este grupo é composto pelos litotipos talco-tremolita hornfels e o milonito de tremolita anfibolito. Pela paragênese destas rochas, pode-se dizer que os protólitos destas rochas são basaltos.

As rochas deste grupo são caracterizadas por apresentar estruturas anisotrópicas, granulação fina a densa e texturas inequigranulares, decussada a fibro-radiada e milonítica.

4.2.2.1. Talco-tremolita hornfels

Este litotipo corresponde à amostra 1361096 que ocorre na zona inferior do furo (**FIG. 5**). Apresenta-se com fraco magnetismo ($0,25 \times 10^{-3}$ SI), comparado com intervalo amostral de rochas ultramáficas do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI) e cortada por uma série de veios de carbonato milimétricos a centimétricos (maior veio possui 1 cm de largura e 5 cm de comprimento), o que garante à rocha uma textura brechada (**FIG. 18**).

Figura 18: Amostra do litotipo metamáfico 1361096 da base do furo. **Profundidade:** 1361096/504,00 m. O valor de K está em S.I.



Esta amostra é caracterizada a nível microscópico pela textura decussada a fibro-radiada de granulação fina (**FIG. 19 A, B**), constituída, predominantemente, por tremolita (76,5%), talco (15%) e, subordinadamente, quartzo (4%) e biotita (1,5%).

A tremolita ocorre com formas subhedrais a anhedrais, com hábito prismático longo a agregados fibrosos com dimensões de 0,5 mm (máximo de 2 mm) (**FIG. 19 C, D**). Os cristais

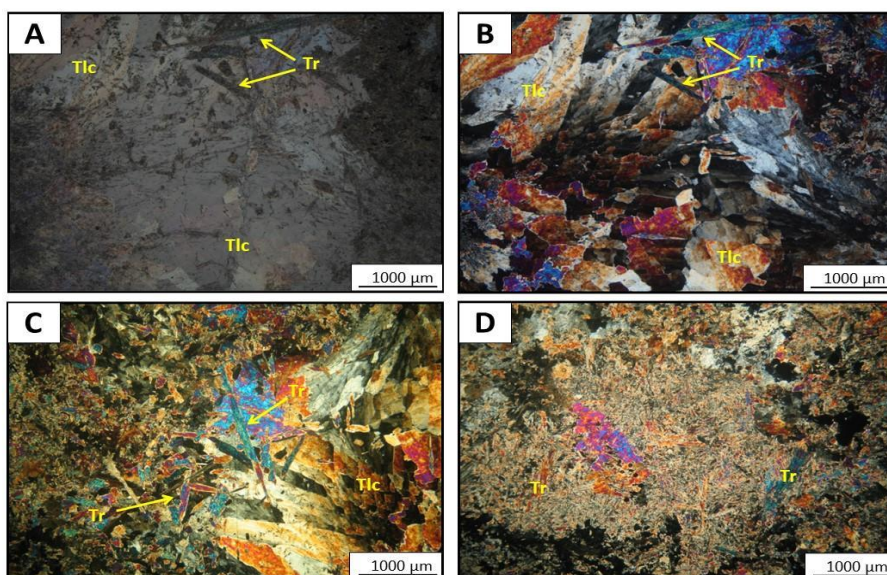
ocorrem sem orientação preferencial. O contato com outros cristais é serrilhado, retilíneos e irregulares.

O talco está presente na matriz da rocha, com hábito fibroso radiado, por vezes incluindo cristais de tremolita (**FIG. 19 B, C**). Possuem dimensão média de 1 mm.

Os cristais de quartzo estão intercrescidos nos espaços intersticiais entre os clastos constituídos por tremolita e talco, o qual constitui a porção clara da rocha. São anhedrais, com hábito fibroso radiado e possuem dimensão aproximada de 0,8 mm. Alguns cristais de quartzo também estão incluindo a tremolita.

Os cristais de biotita não estão bem desenvolvidos, ocorrem apenas como uma “massa” que está se aglutinando para formar cristais maiores. A migração desta “massa”, demarca uma foliação incipiente.

Figura 19: **A e B)** Exemplo da textura decussada a fibro-radiada evidenciado pelos cristais de tremolita e talco. **C e D)** Cristais com hábito prismático de tremolita sem orientação e com tamanhos diferentes. **Tr** = Tremolita; **Tlc** = Talco. As fotomicrografias **B, C e D** estão com nicóis cruzados.

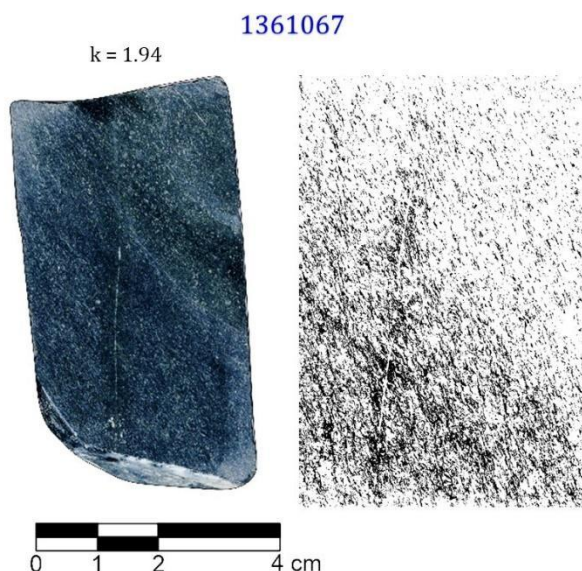


4.2.2.2. *Milonito de plagioclásio-tremolita anfibolito*

Corresponde à amostra 1361097 (**FIG. 20**), a qual está localizada na zona inferior do furo estratigráfico (**FIG. 5**). Apresenta granulação fina a muito fina, textura milonítica (**FIG. 21 A**) e fraco magnetismo ($1,94 \times 10^{-3}$ SI), quando comparado com os valores obtidos para o grupo amostral de litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI). Este litotipo é

constituído por hornblenda (45%), tremolita (32%), plagioclásio (15%), biotita (4%) e, como minerais acessórios, ocorrem a magnetita (3%) e o quartzo (1%).

Figura 20: Amostra do litotipo metamáfico 1361097 da base do furo. **Profundidade:** 1361097/511,00 m. O valor de K está em S.I. A imagem possui tratamento de contraste para melhor visualização da textura milonítica.



A hornblenda ocorre como cristais esverdeados, com pleocroísmo verde escuro a verde claro, por toda a rocha sempre no entorno de outros cristais. São caracterizados como anhedrais e possuem granulação muito fina ($< 0,1$ m) (**FIG. 21 B**).

A tremolita ocorre como porfiroclastos, os quais estão bastante fragmentados e rotacionados pela deformação, sua forma lembra o hábito prismático e possuem granulação fina (média de 0,2 mm) (**FIG. 21 C, D**). O contato com outros cristais é irregular.

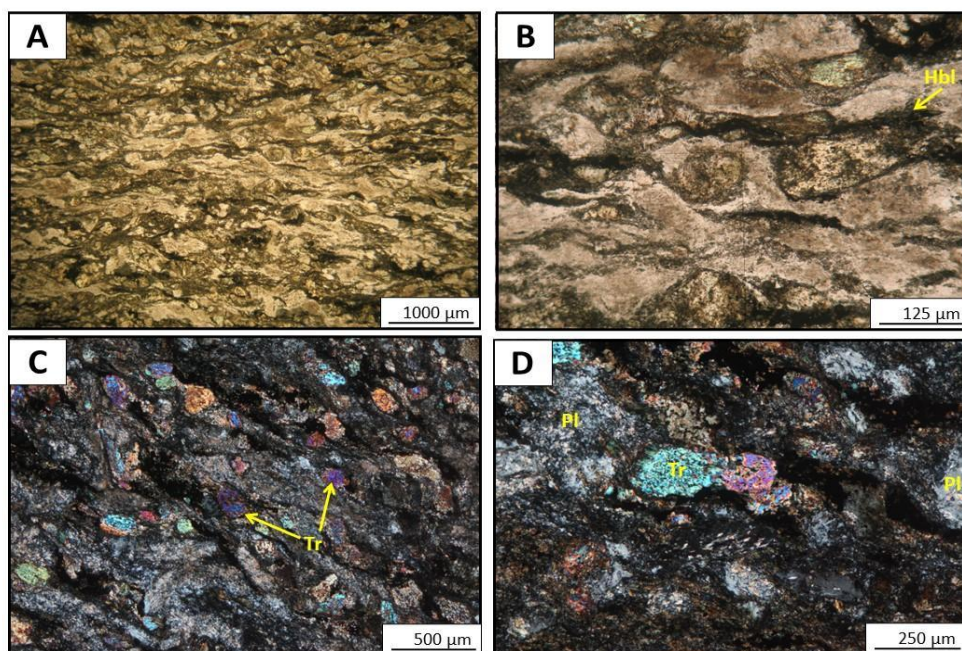
Os cristais de plagioclásio possuem formas anédricas, estão totalmente fragmentados e apresentam alterações, ocorrem quase que como uma “massa”. O contato com outros minerais é irregular.

Os cristais de biotita possuem hábito micáceo, os quais estão muito cominuídos e rotacionados, com granulação fina. Suas clivagens são ocupadas por minerais opacos.

A magnetita exibe formas anédricas e granulação fina, os quais ocorrem como pequenos agregados alongados em uma direção preferencial, o que evidencia uma foliação.

Nos espaços intersticiais da textura, foi observado a presença de quartzo recristalizado.

Figura 21: **A)** Textura milonítica marcada pela cominuição e rotação dos cristais. **B)** Cristais muito finos de hornblenda em torno de outros cristais. **C e D)** Porfiroclastos de tremolita fragmentados e rotacionados próximos a “massas” de plagioclásio. Os cristais de anédricos de magnetita estão marcando a foliação. **Hbl** = Hornblenda; **Tr** = Tremolita; **Pl** = Plagioclásio. A fotomicrografia **C e D** estão com nicóis cruzados.



4.2.3. Alterações Secundárias

A análise petrográfica revelou distintos graus de alteração por hidratação nos litotipos. Os dunitos, por exemplo, não exibem cristais de olivina preservados, enquanto os harzburgitos e os ortopiroxênitos mantêm parte de sua mineralogia preservada.

As principais reações químicas observadas foram os processos de serpentinização e talcificação com adicional geração de finos cristais de magnetita secundária. Estes processos são caracterizados por ocorrerem sob baixo grau metamórfico e pela geração dos minerais do grupo da serpentina (lizardita, crisotila, antigorita), como produto da entrada de H₂O no sistema, a qual reage com a olivina e o ortopiroxênio.

A serpentinização da olivina que compõe os dunitos do CMSJ levou a formação de serpentina, magnetita, talco e, por vezes, brucita, que está associada a serpentina em algumas porções dos núcleos da textura *mesh*. Dessa forma, o sistema MSH (MgO-SiO₂-H₂O) (**FIG. 22**), para dunitos e harzburgitos, explica bem a assembléia mineralógica presente na área de estudo.

$$5(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} + 6\text{H}^+ \rightarrow 2\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4\text{Mg}^{2+} + \text{Si}^{4+} + 6\text{OH}^- + \text{Fe}_2\text{O}_3$$

Olivina
Serpentina
Magnetita



46

5. LITOGEOQUÍMICA

No presente capítulo são apresentados e discutidos os resultados das análises químicas de rocha total realizadas nas 18 amostras do furo do CMSJ (**TAB. 1**). As análises, assim como o número de magnésio ($(\text{MgO} / [\text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3\text{t}]) * 100$), estão listadas e organizadas na tabela 1 de acordo com os litotipos descritos no capítulo de petrografia. Apesar da serpentinização alterar a mineralogia primária das amostras, a textura ígnea pretérita permanece preservada. Além disso, as composições de elementos maiores e menores continuam a carregar informações químicas importantes. Essas informações são controladas principalmente pelos minerais cúmulus e intercúmulus representativos de cada litotipo. Os valores dos elementos maiores plotados nos diagramas binários foram recalculados para base anidra.

5.1. Elementos Maiores, Menores e Traços

Em relação à quantidade de SiO_2 presente, as rochas analisadas foram classificadas como básicas e ultrabásicas, com teores de SiO_2 variando entre 34,5% e 41,6% para os dunitos, 44,3% a 49,7% para os harzburgitos, 51,3% a 53,7% para os ortopiroxênitos e 45,8% a 46% para o talco-tremolita hornfels e o milonito de plagioclásio-tremolita anfíbolito.

Os valores do número de magnésio (Mg# - calculado pela proporção molar) para os litotipos do CMSJ variam de 94,9% a 96,5% para os dunitos e harzburgitos, 94,5% a 95,7% para os ortopiroxênitos e 51,6% a 54,7% para o talco-tremolita hornfels e o milonito de plagioclásio-tremolita anfíbolito. Os valores de Mg# apontam para o caráter primitivo do CMSJ, com o grupo das rochas metamáficas exibindo valores médios de rochas básicas supersaturadas.

O perfil dos valores de susceptibilidade magnética do CMSJ destaca a variação litológica ao longo do mesmo (**FIG.23**). Conforme já definido no capítulo de petrografia, o CMSJ foi dividido em duas zonas, a Zona I, composta majoritariamente por dunitos, e a Zona II, composta por dunitos, harzburgitos e ortopiroxênitos. Nas análises geoquímicas e respectivos plots, sumariza-se aqui Dunito I e Dunito II, os dunitos referentes respectivamente a Zona I e Zona II. Nas camadas mais superficiais (até 344,60 m), onde o dunito I é a litologia predominante, os valores de susceptibilidade magnética variam principalmente de 42,60 a $64,10 \times 10^{-3}$ SI, com exceção da amostra 1361067, que corresponde a um dunito com veio de

flogopita. Ao comparar essa variação com a do dunito II, notamos que estes possuem valores mais baixos de magnetismo ($1,14$ a $36,10 \times 10^{-3}$ SI).

Perfis de variação dos elementos químicos oferecem evidências que corroboram com esta distinção entre dois tipos de dunitos. A análise de todos os perfis revela que os dunitos I demonstram uma homogeneidade mais acentuada, com variações mínimas, ao passo que os dunitos II se apresentam em um intervalo mais dinâmico. Nos perfis de SiO_2 , K_2O , Th e Rb, os dunitos I exibem valores menores e com pouca variabilidade, em contraste com os dunitos II, que apresentam valores mais elevados e com maior variabilidade (**FIG. 23**).

A presença de um veio de flogopita na amostra de dunito induz mudanças acentuadas nos perfis de variação. Notavelmente, no perfil de susceptibilidade magnética, essa amostra exibe um valor muito baixo em comparação com as outras amostras que compõem o dunito I. Além disso, são observados altos teores, o que indica um enriquecimento, nos elementos Al_2O_3 , K_2O e Rb, e baixos valores Fe_2O_3 , MgO, Co e Ni (**FIG. 23**).

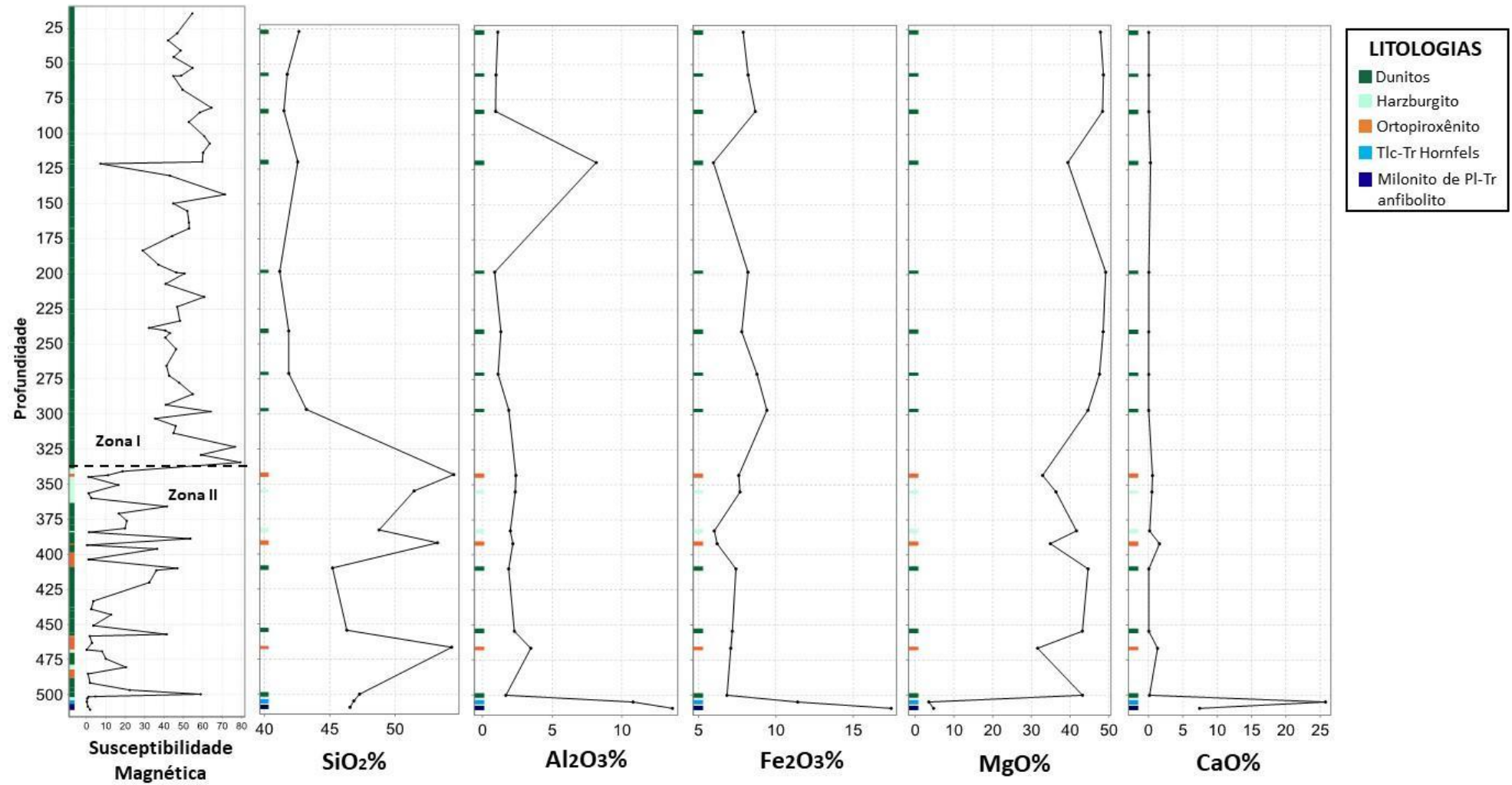
Os diagramas binários que representam as proporções dos elementos em relação ao SiO_2 possibilitam uma diferenciação clara dos litotipos presentes no CMSJ. Ao analisar especificamente os elementos maiores dos litotipos, são observadas tendências distintas nas variações desses elementos. Por exemplo, os diagramas de MgO e Fe_2O_3 indicam que os dunitos exibem os teores mais elevados desses elementos, enquanto a concentração diminui em direção aos ortopiroxênitos (**FIG. 24**). Por outro lado, os ortopiroxênitos apresentam maior enriquecimento em SiO_2 , Al_2O_3 , CaO, Na_2O e K_2O , os quais diminuem em direção aos dunitos.

Tabela 1: Composição química dos litotipos constituintes do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré.

GRUPO		Metaultramáficas												Metamáficas						
LITOTIPO		Dunitos												Harzburgitos		Ortopiroxênitos			Hornfels	Milonito
MÉT. ANÁLISE	AMOSTRAS	1361062	1361064	1361065	1361067	1361070	1361072	1361073	1361075	1361087	1361089	1361095	1361080	1361083	1361079	1361085	1361091	1361096	1361097	
	SUSCEP.	S.I.	46,8	44,8	58,4	7,23	50,6	43	42,6	64,1	36,1	3,55	1,14	1,05	1,31	1,04	0,34	0,1	0,25	1,94
ME-ICP06	SiO2	%	35,3	34,8	35,6	37,6	34,5	35,8	36,6	37,1	39	39,7	41,6	49,7	44,3	53,7	51,3	53,5	45,8	46
ME-ICP06	Al2O3	%	0,91	0,81	0,81	7,2	0,73	1,13	0,98	1,62	1,62	1,96	1,48	2,27	1,81	2,36	2,1	3,41	10,55	13,45
ME-ICP06	Fe2O3	%	6,53	6,84	7,44	5,27	6,87	6,67	7,68	8,09	6,4	6,16	6,02	7,42	5,47	7,49	5,98	6,98	11,15	17,25
ME-ICP06	MgO	%	39,6	40,5	41,5	34,8	41,2	41,5	41,6	38,3	38,5	37	38	35,1	37,8	32,4	33,6	31,1	3,4	4,65
ME-ICP06	CaO	%	0,03	0,04	0,04	0,26	0,04	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04	0,13	0,48	0,15	0,57	1,54	1,3	25,2	7,35
ME-ICP06	Na2O	%	<0.01	<0.01	<0.01	0,03	<0.01	0,01	0,01	<0.01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,05	0,03	0,32	0,13	0,62
ME-ICP06	K2O	%	0,14	0,05	0,04	2,33	0,06	0,06	0,13	0,11	0,35	0,56	0,38	1,08	0,94	1,06	1,36	1,02	0,14	7,07
ME-ICP06	TiO2	%	0,03	0,03	0,03	0,1	0,03	0,04	0,04	0,06	0,03	0,03	0,05	0,05	0,03	0,05	0,04	0,06	1,02	2
ME-ICP06	P2O5	%	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	<0.01	0,01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0,01	<0.01	0,01	<0.01	<0.01	0,11	0,22
ME-ICP06	MnO	%	0,08	0,09	0,1	0,08	0,1	0,1	0,09	0,08	0,09	0,08	0,12	0,12	0,1	0,13	0,11	0,12	0,27	0,21
ME-ICP06	Cr2O3	%	0,164	0,193	0,234	0,69	0,248	0,194	0,262	0,472	0,219	0,191	0,204	0,315	0,201	0,728	0,271	0,664	0,007	0,004
TOT-ICP06	Total	%	99,74	99,82	100,55	100,13	100,69	100,38	101,78	98,9	99,66	98,84	101,24	100,13	100,31	99,82	101,45	99,83	99,18	99,75
OA-GRA05	LOI	%	16,95	16,45	14,75	11,75	16,9	14,85	14,35	13,05	13,4	13,1	13,25	3,53	9,49	1,26	5,11	1,29	1,39	0,47
C-IR07	C	%	0,34	0,3	0,15	0,08	0,25	0,13	0,13	0,06	0,08	0,06	0,06	0,03	0,05	0,03	0,04	0,03	0,06	0,03
S-IR08	S	%	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,13	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
ME-MS81AA	Ba	ppm	18,6	3,1	3,3	72,1	3,6	3,9	3,9	5,9	22,7	50,3	31,1	75,2	33,6	64,1	51,4	518	12,2	3740
ME-MS81AA	Sc	ppm	7	7	7	7	7	7	8	11	8	8	9	14	9	17	7	15	27	48
ME-MS81AA	Cs	ppm	0,05	0,02	0,04	1,07	0,03	0,03	0,04	0,05	0,19	0,33	0,44	0,91	1,14	0,61	1,7	1,3	0,03	2,33
ME-MS81AA	Ga	ppm	1,2	1	1	8,2	1	1,3	1,3	2,8	2,4	2,9	4,2	3,7	3,7	5,5	5,3	6,7	13	24,4
ME-MS81AA	Hf	ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	2,7	5,1
ME-MS81AA	Nb	ppm	0,2	0,2	0,1	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,4	0,5	4,3	8,1
ME-MS81AA	Rb	ppm	4,2	1,7	1,4	116,5	2,8	2,1	2,6	5,1	16,8	28,2	21,7	57,1	64,2	56	94,8	63,5	9,7	335
ME-MS81AA	Sr	ppm	1,4	1,5	0,7	1,2	0,6	0,7	1	0,8	1,4	3	2,5	6,9	3,6	6,7	11,1	86,6	81,5	398
ME-MS81AA	Ta	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,3	0,6
ME-MS81AA	Th	ppm	0,34	0,29	0,22	0,1	0,14	0,24	0,32	0,29	1,38	2,98	1,33	2,7	2,78	1,84	1,83	2,85	2,94	5,33
ME-MS81AA	U	ppm	0,05	0,06	0,06	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,08	0,15	0,19	0,59	0,2	0,3	0,19	0,19	0,33	0,83	1,52
ME-MS81AA	V	ppm	6	22	22	71	25	33	25	41	28	18	25	37	19	30	22	48	266	517
ME-MS81AA	Zr	ppm	6	4	3	2	3	4	3	6	10	13	7	13	16	15	16	16	97	182

ME-MS81AA	Y	ppm	1,4	0,8	0,7	0,4	0,5	0,4	0,8	1,5	0,6	0,6	1,7	1,3	2	1,5	2,1	2,7	27	47
ME-MS81AA	La	ppm	1,6	0,5	0,2	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,9	0,6	0,9	0,8	0,7	1	0,6	4,5	10,3	19,5
ME-MS81AA	Ce	ppm	1,1	0,9	0,5	0,1	0,4	0,4	0,5	0,7	1,5	1,1	2,1	1,6	1,2	1,7	1,1	8	23	42
ME-MS81AA	Pr	ppm	0,33	0,11	0,07	0,08	0,04	0,06	0,05	0,08	0,15	0,11	0,23	0,2	0,14	0,22	0,12	0,8	3,11	5,28
ME-MS81AA	Nd	ppm	1,3	0,5	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,9	0,7	0,6	0,6	0,4	2,7	12,7	22,3
ME-MS81AA	Sm	ppm	0,21	0,14	0,04	0,06	<0.03	<0.03	0,08	0,09	0,08	0,1	0,2	0,1	0,17	0,17	0,11	0,62	3,38	6,61
ME-MS81AA	Eu	ppm	0,07	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0,03	0,05	0,06	0,04	0,07	0,04	0,03	0,03	0,03	0,13	1,5	1,71
ME-MS81AA	Gd	ppm	0,25	0,09	0,08	<0.05	0,05	<0.05	0,07	0,18	0,05	0,08	0,18	0,16	0,17	0,17	0,16	0,5	4,21	7,49
ME-MS81AA	Tb	ppm	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	<0.01	0,01	0,03	<0.01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,02	0,04	0,09	0,75	1,2
ME-MS81AA	Dy	ppm	0,2	0,14	0,09	<0.05	0,09	0,07	0,1	0,22	0,09	0,12	0,28	0,18	0,3	0,21	0,23	0,5	4,72	8,39
ME-MS81AA	Ho	ppm	0,05	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,06	0,02	0,02	0,06	0,04	0,07	0,03	0,07	0,09	0,97	1,78
ME-MS81AA	Er	ppm	0,13	0,08	0,05	0,04	0,04	0,05	0,07	0,18	0,09	0,08	0,23	0,16	0,22	0,15	0,21	0,3	2,79	4,95
ME-MS81AA	Tm	ppm	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,04	0,02	0,05	0,03	0,04	0,04	0,42	0,76
ME-MS81AA	Yb	ppm	0,15	0,09	0,07	0,1	0,07	0,1	0,14	0,22	0,1	0,08	0,27	0,16	0,41	0,28	0,35	0,32	2,59	4,78
ME-MS81AA	Lu	ppm	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05	0,03	0,07	0,05	0,05	0,05	0,41	0,73
Ni-OG62	Ni	ppm	2860	2640	2880	1630	2800	3010	2710	2610	3050	2820	2200	2220	2500	1330	740	1770	30	50
AA-AuMESA	Mo	ppm	0,12	0,098	0,07	0,039	0,087	0,05	0,041	0,042	0,042	0,016	0,026	0,141	0,051	0,224	0,091	0,201	0,741	0,755
AA-AuMESA	Cu	ppm	2,03	5,48	1,1	1,62	3,46	2,73	4,69	3,82	4,63	3,02	2,14	2,52	2,29	4,65	1,44	3,2	11,55	109,5
AA-AuMESA	Pb	ppm	0,55	2,81	0,35	0,528	1,91	0,618	1,44	2,34	4,42	1,735	3,25	1,105	1,275	1,175	0,969	2,14	2,7	3,68
AA-AuMESA	Zn	ppm	20,6	21,7	26,1	19,8	25,7	26,3	20,1	20,9	27	32,6	32,3	12	18,4	6,3	11,8	7,3	8	97,2
AA-AuMESA	Ag	ppb	4	13	3	4	10	6	9	9	10	5	7	6	3	11	4	14	6	29
AA-AuMESA	Co	ppm	95	113,5	113	39,4	102	93,8	85,3	96,9	89,9	88,4	80,2	47,5	53,1	9,06	11,25	20	2,59	33,6
AA-AuMESA	As	ppm	0,12	0,28	0,12	0,11	0,14	0,14	0,25	0,16	0,33	0,09	0,77	0,11	0,75	0,13	0,25	0,09	0,52	0,95
AA-AuMESA	Au	ppb	0,2	0,3	0,2	<0.1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,7	0,1	<0.1	0,2	<0.1	1,3	0,2	0,3
AA-AuMESA	Cd	ppm	0,018	0,017	0,004	0,013	0,015	0,005	0,004	0,004	0,007	0,004	0,005	0,008	0,003	0,016	0,004	0,016	0,019	0,083
AA-AuMESA	Sb	ppm	0,006	0,005	<0.002	<0.002	0,003	<0.002	<0.002	<0.002	0,002	<0.002	0,004	0,006	0,002	0,011	0,004	0,007	0,055	0,068
AA-AuMESA	Bi	ppm	0,0024	0,0054	0,0022	0,001	0,0139	0,0018	0,0082	0,0047	0,0076	0,0028	0,0288	0,0032	0,0027	0,0052	0,002	0,0051	0,0424	0,0593
AA-AuMESA	Tl	ppm	0,0246	0,0347	0,0254	0,1515	0,0392	0,0513	0,0274	0,0381	0,0783	0,079	0,676	0,0874	0,0955	0,0775	0,0988	0,1645	0,0154	0,617
AA-AuMESA	Se	ppm	0,013	0,017	0,008	0,002	0,011	0,012	0,008	0,013	0,025	0,01	0,228	0,005	0,007	0,014	0,003	0,018	0,006	0,03
AA-AuMESA	Te	ppm	0,001	0,004	0,002	<0.001	0,002	0,004	<0.001	0,002	0,004	<0.001	0,003	0,001	0,001	0,004	<0.001	0,005	0,001	0,001
AA-AuMESA	Li	ppm	0,8	0,8	0,5	12,8	0,9	0,6	0,9	1,1	2	3,9	6,6	7,6	7,9	6,7	23,8	13,8	2,4	69,8
PGM-MS23L	Pt	ppb	2,1	3,2	2,3	23,9	4	4,4	2,3	4,7	0,9	0,6	3,2	8,2	1,4	14,6	1,4	23,1	<0.1	<0.1
PGM-MS23L	Pd	ppb	2,3	2,9	1,4	0,2	2,1	11,2	0,7	2,6	2,5	1,2	2,1	2,7	1	3,4	<0.2	17,9	<0.2	<0.2
Mg#	%		96,0	95,9	95,7	96,3	96,0	96,1	95,5	94,9	96,0	96,0	96,2	94,9	96,5	94,5	95,7	94,6	54,7	51,6

Figura 23: Perfis de variação dos elementos maiores, menores e traços ao longo do CMSJ.



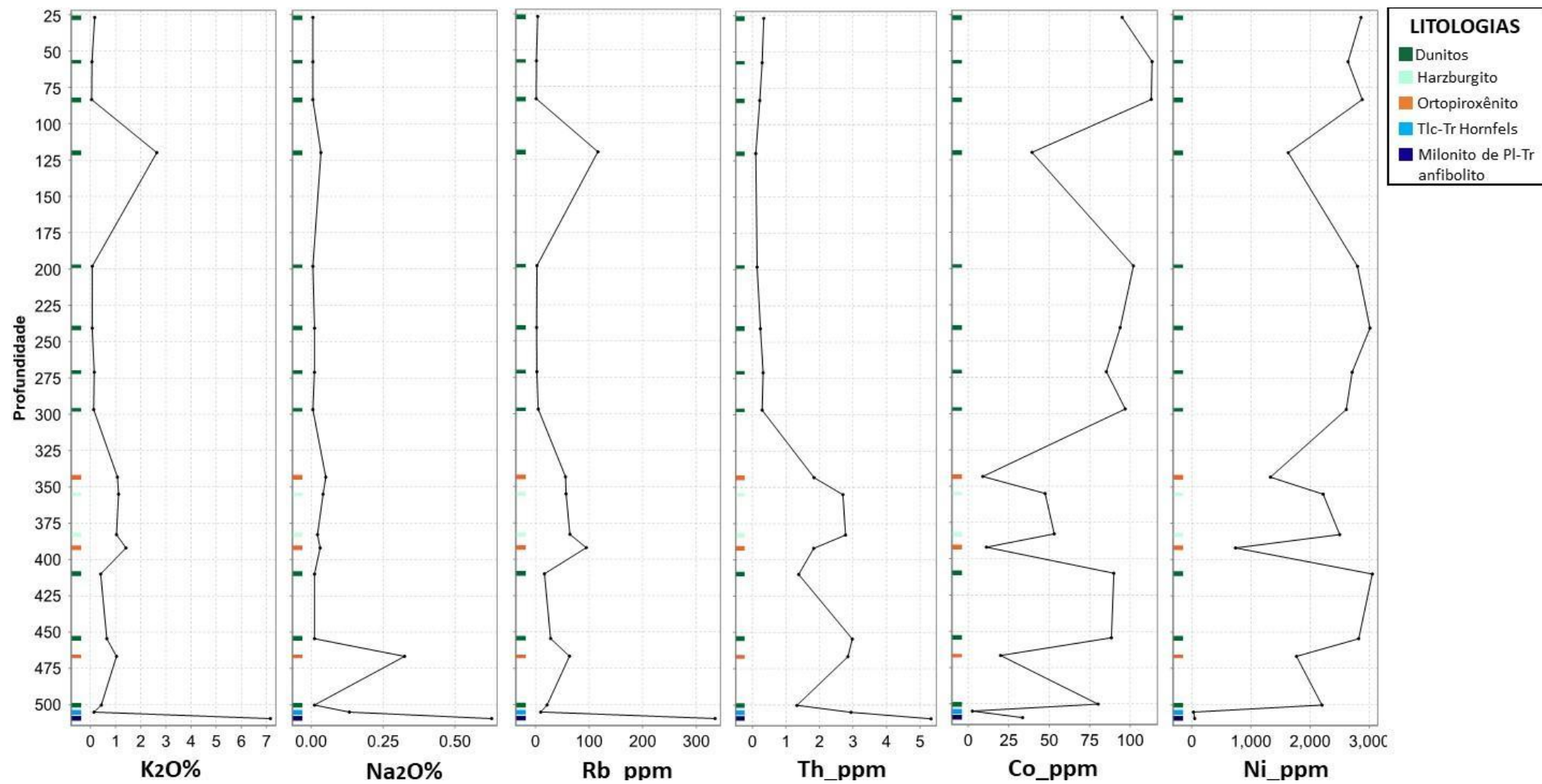


Figura 24: Diagramas de variação para os óxidos maiores, menores e traços versus SiO₂ (% em peso) para os litotipos do CMSJ. Os elementos maiores foram corrigidos para base anidra.

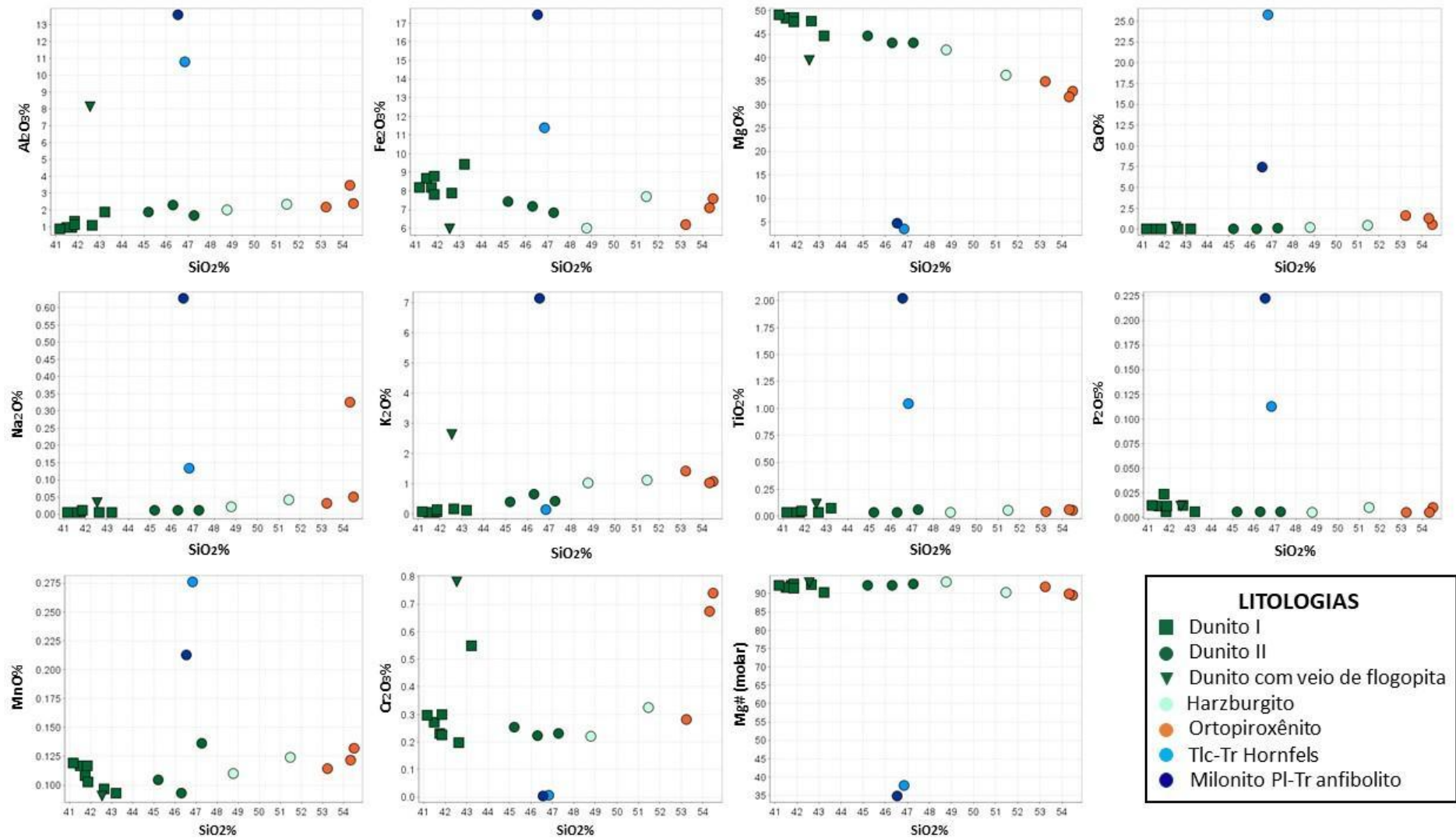
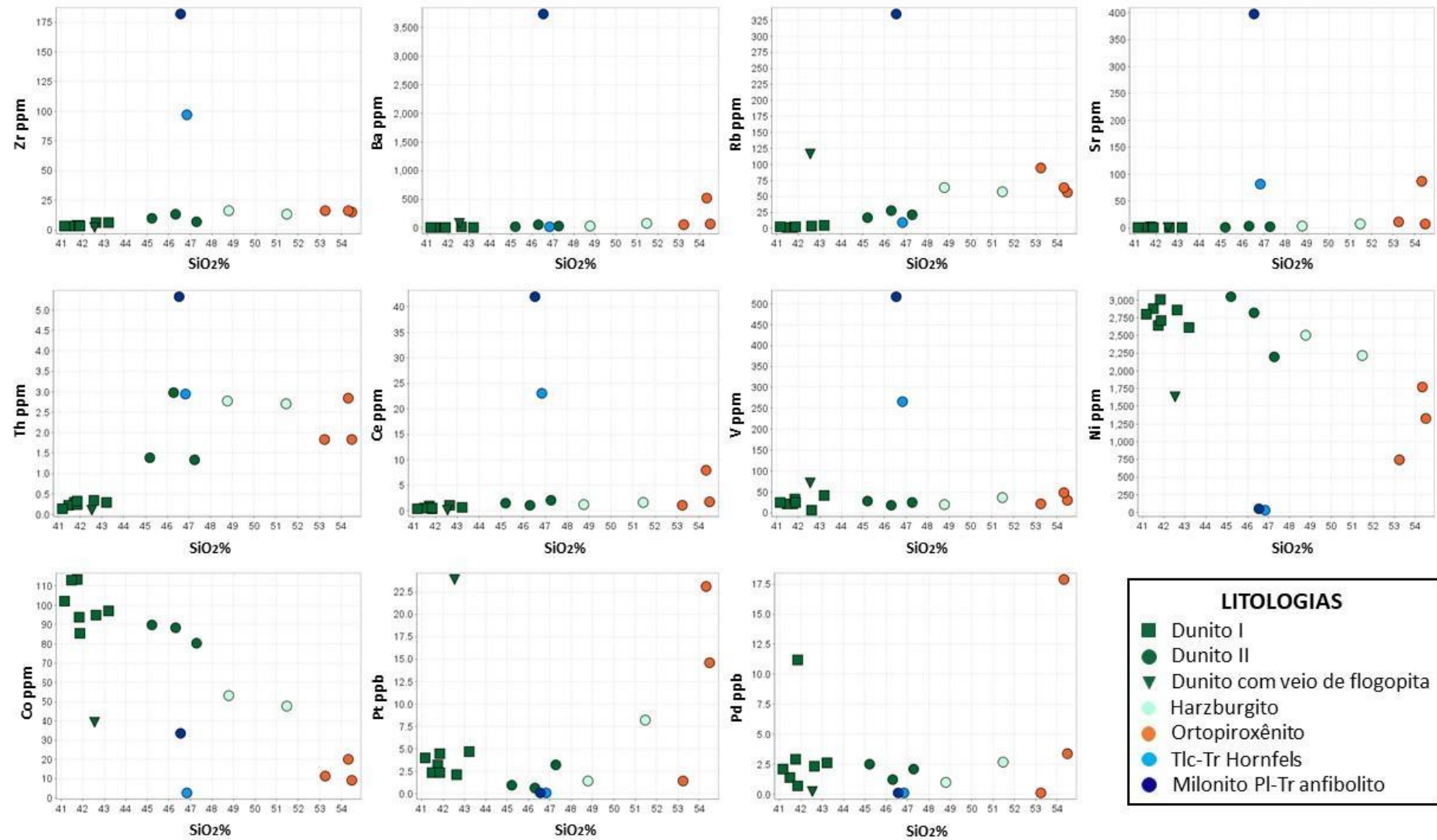


Figura 24 (continuação): Diagramas de variação para os óxidos maiores, menores e traços versus SiO₂ (% em peso) para os litotipos do CMSJ.



Os harzburgitos se destacam por suas composições posicionadas entre as dos dunitos e ortopiroxênitos. No que diz respeito aos elementos menores e traços, as tendências observadas não exibem variações significativas, dado que o intervalo de variação é substancialmente menor. Entretanto, é relevante destacar que os dunitos apresentam maior enriquecimento em Ni e Co, sendo que as concentrações desses elementos diminuem em direção aos ortopiroxênitos. Por outro lado, os ortopiroxênitos demonstram tendências distintas de redução nos teores em direção aos dunitos para os elementos MnO, Zr, Rb, Sr e Ce.

Os diagramas nos permitem ainda notar as disparidades químicas entre os dunitos I e II. Em todos os diagramas, os dunitos I apresentam uma segregação em relação aos dunitos II. Quando comparamos ambos, percebemos que os dunitos I exibem um enriquecimento significativo em MgO, Fe₂O₃ e Co, ao passo que apresentam empobrecimento notável em SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Zr, Rb e Th.

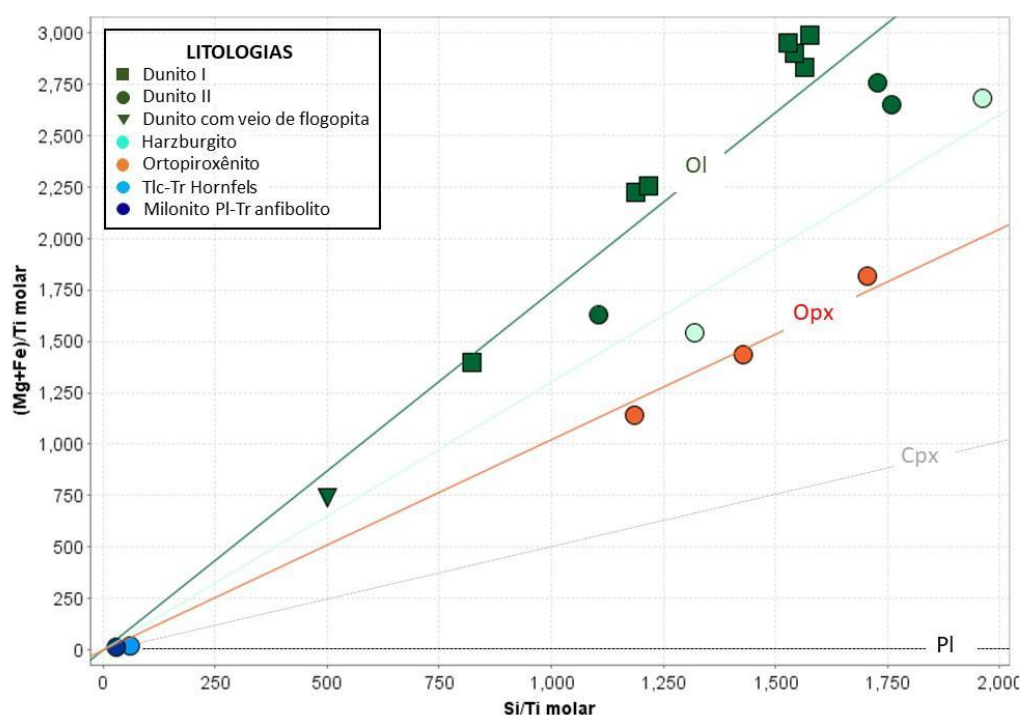
5.2. *Fracionamento Magmático*

O diagrama de razão de elementos de Pearce (PER - sigla em inglês) foi gerado no intuito de auxiliar na identificação dos processos que ocorrem durante a formação do CMSJ. Este diagrama é uma ferramenta importante para analisar os processos de fracionamento e acúmulo de fases silicáticas em diferenciação magmática. Eles são representados como gráficos Y/Z vs. X/Z, onde Y e X são elementos envolvidos no processo, e Z é um elemento conservado no processo magmático e tem pouca variabilidade (ex. Zr, Ti, Ce, P). As inclinações das linhas nos diagramas refletem a estequiometria do processo. Os dados são recalculados em uma base molar.

O elemento conservado escolhido foi o Ti, uma vez que é um elemento presente em quantidades insignificantes e relativamente imóvel durante a modificação do magma. O diagrama de razão define linhas de referência com base nas razões molares médias das amostras [(Mg+Fe)/Si] e são denominadas de acordo com a sua proximidade ao comportamento esperado para a formação de silicatos puros, tais como a olivina (com a proporção molar de 1 mol de Mg + 1 mol de Fe + 1 mol de SiO₂): (1+1)/1, que resulta em um padrão de linha 2:1 (inclinação $m = 2$); o ortopiroxênio (1:1) ($m = 1$); o clinopiroxênio (1:2) ($m = 0,5$); e o plagioclásio (0) ($m = 0$), que é isento de Mg+Fe. Sendo assim, as linhas de referência são rotuladas com os nomes abreviados dos minerais (**FIG. 25**).

Dessa forma, as linhas de referência fornecem informações sobre a média da proporção molar nas amostras. Ao examinarmos os dunitos, constatamos que as amostras estão predominantemente próximas da proporção molar 2:1, que caracteriza a linha de referência de rochas que fracionaram a partir de cumulos de olivina, logo a olivina é a única fase silicatada cúmulus presente nessas amostras vide o caráter primitivo do corpo. Notavelmente, essa linha, que é o valor médio das amostras, divide os dunitos principalmente em dois grupos, os mesmos classificados como I e II.

Figura 25: Diagrama de razão $Mg+Fe/Ti$ vs. Si/Ti .

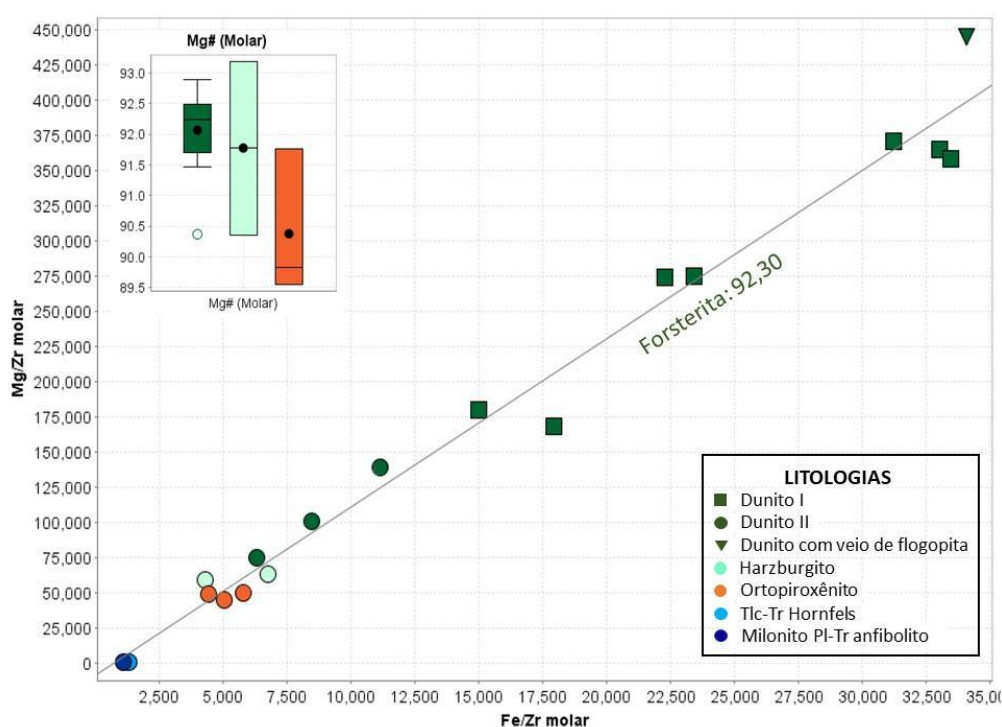


Os harzburgitos exibem uma tendência cuja inclinação se situa entre as linhas de referência correspondentes à olivina e ao ortopiroxênio, ou seja, possuem uma proporção molar próxima ao intermédio entre 2:1 e 1:1. Vale ressaltar que, umas das amostras encontra-se mais próxima da proporção 1:1. Dessa forma, a composição dos harzburgitos exhibe diferenças quanto a proporção da principal fase silicática cumulática predominante.

As amostras de ortopiroxênitos exibem uma grande proximidade e um alinhamento consistente ao longo da linha de referência do ortopiroxênio (inclinação $m = 1$). Assim, a proporção molar dessas amostras é 1:1, sendo o ortopiroxênio a fase silicática predominante nessas composições.

O diagrama de razão molar Mg/Zr vs. Fe/Zr, utiliza as proporções molares de Mg e Fe em relação ao Zr, para estimar o teor de forsterita em rochas cumuláticas ricas em olivina. A aplicabilidade desse diagrama está condicionada à presença exclusiva de uma única fase silicática com Mg e Fe, ou seja, olivina ou ortopiroxênio, a razão molar Mg/Zr vs. Fe/Zr define uma reta e o coeficiente angular dessa reta, aplicado a equação define a estimativa de forsterita para rochas do CMSJ. Os valores elevados de forsterita (Fo92,30) corroboram os altos valores de Mg# e a característica primitiva do mesmo (**FIG. 26**).

Figura 26: Diagrama de razão molar Mg/Zr vs. Fe/Zr.



Apesar dos litotipos demonstrarem um alinhamento consistente ao longo da linha, observamos pequenas variações em algumas amostras imediatamente abaixo ou acima dela. Em relação à distribuição das amostras ao longo da linha, embora a razão seja bastante próxima entre os litotipos, em torno de 11,5, notamos que os dunitos I apresentam uma proporção mais elevada de Mg e Fe em comparação com outros litotipos, seguidos pelos dunitos II, harzburgitos e ortopiroxênios, o que corrobora o aspecto mais primitivo para os dunitos I em relação aos dunitos II.

5.3. Contaminação crustal e fertilidade

Por meio dos diagramas binários de [Pearce \(2008\)](#), para lavas em ambientes oceânicos, adaptada por [Pearce et al. \(2021\)](#), para grandes províncias ígneas (LIP, sigla em inglês para *Large Igneous Provinces*), denominada “impressão de LIP” (ou “LIP printing”). Emprega-se elementos imóveis e incompatíveis para diferenciar províncias magmáticas, uma vez que cada província apresenta sua própria “impressão” geoquímica.

O referido diagrama utiliza indicadores geoquímicos de elementos imóveis, tais como a razão Th/Nb, que reflete a contribuição crustal, para monitorar a subducção-metassomatismo e assimilação crustal, e a razão Ti/Yb, um indicador de granada residual, para monitorar a profundidade e o grau de fusão. Essas razões são mutuamente ortogonais, pois a razão Th/Nb é pouco afetada pela presença de granada residual, ao passo que a razão Ti/Yb é minimamente influenciada por processos de subducção ou assimilação.

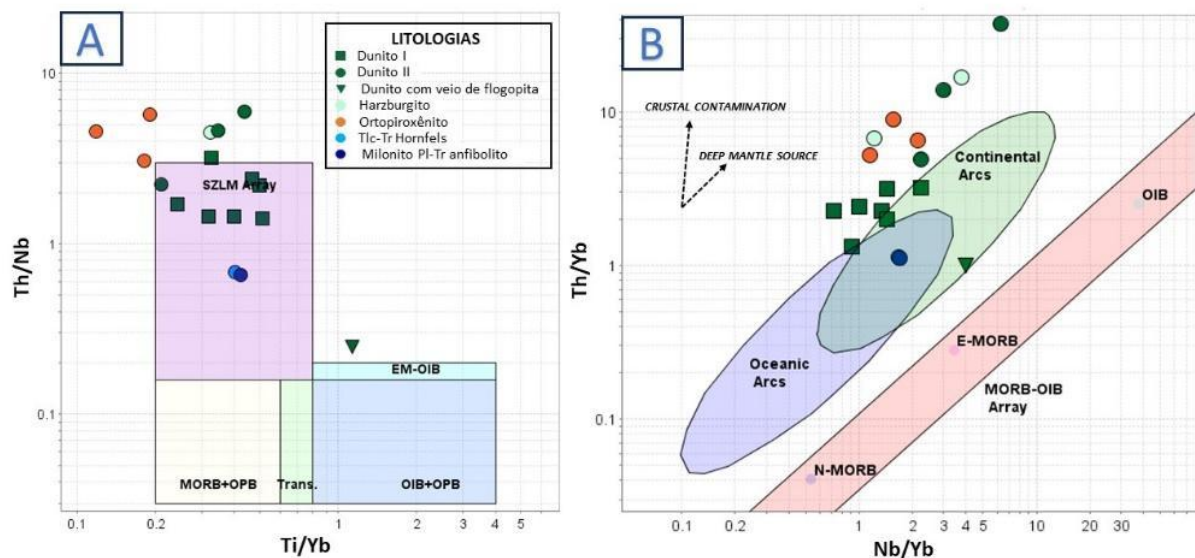
Foi construído um diagrama de impressão de LIP, o qual representa Th/Nb versus Ti/Yb, para magmas originados de plumas intraplacas. Este diagrama é caracterizado por duas matrizes distintas: uma representando o manto litosférico modificado por subducção (SZLM) e outra representando a matriz MORB-OIB-OPB (matriz de pluma), que engloba basaltos de cadeias meso-oceânicas (MORB), basaltos de ilhas oceânicas (OIB) e basaltos de planaltos oceânicos (OPB). Os conjuntos de basalto da LIP são classificados em três categorias neste diagrama: Tipo I, situados completamente dentro da matriz MORB-OIB-OPB, o que indica uma fonte de pluma significativa; Tipo II, localizados inteiramente dentro da matriz SZLM, neste caso, sugere-se uma fonte significativa do manto litosférico subcontinental; e Tipo III, que exibe uma variedade de tendências entre as duas matrizes, indicando interações pluma-litosfera significativas.

Ao analisarmos o diagrama com os litotipos do CMSJ (**FIG. 27A**), observamos que todos os litotipos são caracterizados por inclinações de Ti-Yb planas a positivas, ou seja, baixas razões Ti/Yb (<1) e que uma porção desses litotipos está localizada dentro e na tendência do conjunto SZLM (Tipo II). A amostra de dunito com flogopita é caracterizada pela alta razão Ti/Yb (>1), uma vez que possuem maiores valores de Ti, e uma anomalia negativa de Nb menos pronunciada, o que resulta em uma menor razão Th/Nb. Esta amostra está localizada fora de qualquer conjunto do diagrama, a qual exibe uma dispersão notável em comparação com os outros litotipos. Além disso, sua posição está mais próxima do arranjo oceânico MORB-OIB-OPB do que as outras amostras.

Ao examinar o gráfico adjacente (**FIG. 27B**), que emprega as razões Th/Yb vs. Nb/Yb para indicar a contribuição da crosta terrestre, podemos inferir a contaminação crustal no magma parental do CMSJ e a profundidade da fonte mantélica conforme diminuição ou enriquecimento em Yb vide fracionamento de granada. Entretanto, rochas formadas por altas taxas de fusão (ex. komatiitos, peridotitos) podem acarretar na fusão da granada residual e diminuir ou mesmo suprir anomalias negativas de Yb (Pearce et al., 2021) e, neste sentido, tem-se aqui uma análise mais cautelosa quanto a real profundidade de extração do magma.

Os litotipos exibem uma distribuição que forma uma tendência diagonal paralela e acima do conjunto de basaltos intermediários e do conjunto de Arco Continental, especialmente os litotipos da zona do dunito II, dunitos, harzburgitos e ortopiroxênitos. Em contraste, os dunitos I estão mais próximos entre si e demonstram uma menor variabilidade. Em relação ao conjunto de amostras, apenas o dunito com flogopita apresenta comportamento anômalo com valores de Th/Yb que o aproximam da composição média E-MORB.

Figura 27: **A)** Diagrama de impressão de LIP (LIP *printing*) que utiliza os indicadores de contaminação crustal (Th/Nb) e de granada residual (Ti/Yb) (Pearce et al., 2021). **B)** Diagrama de classificação de basaltos (Th/Yb vs. Nb/Yb) (Pearce, 2014).

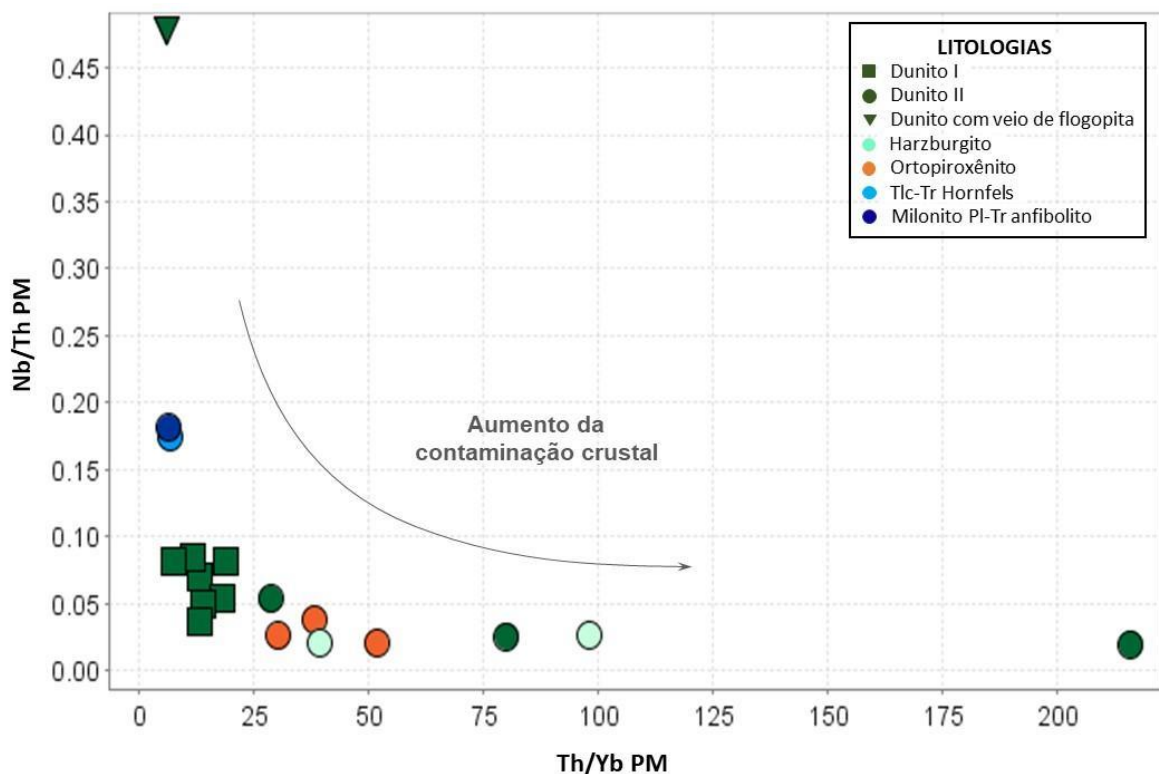


Em seguida, podemos utilizar o diagrama Nb/Th vs. Th/Yb (**FIG. 28**) para corroborar com o entendimento da contaminação crustal. Isso é alcançado pela relação entre as concentrações de Nb e Th, que quantifica a anomalia negativa de Nb com maior afinidade ao manto, enquanto o Th com maior afinidade a crosta continental, e pela relação entre as concentrações de Th e Yb, vide a maior ou menor concentração de granada residual. Ambas

as razões são normalizadas para as proporções do manto primitivo. Magmas mantélicos não contaminados geralmente apresentam razões Nb/Th de 1,5-2,5 e razões Th/Yb de 0,25-2. Por outro lado, rochas crustais "normais" têm razões Nb/Th de 0,1-0,25 e razões Th/Yb de 20-100. Portanto, a contaminação crustal reduz Nb/Th e aumenta Th/Yb, sendo sensível a pequenas contaminações, mesmo em quantidades mínimas. As razões Nb/Th e Th/Yb de uma amostra contaminada dependem não apenas do grau de contaminação, mas também das razões do magma primitivo e do contaminante. Embora a quantidade absoluta de contaminação não possa ser determinada diretamente, é possível estabelecer diferenças relativas na contaminação entre amostras individuais ou grupos.

O diagrama Nb/Th vs. Th/Yb (**FIG. 28**) ilustra a composição das diferentes rochas do CMSJ e os níveis relativos de contaminação crustal que afetaram essas rochas. O aumento da contaminação crustal dos magmas originais se reflete na redução das razões Nb/Th e no aumento das razões Th/Yb, conforme evidenciado pela tendência observada na curva do diagrama. Notavelmente, as razões Nb/Th de todos os litotipos do CMSJ estão mais próximas das razões típicas de rochas crustais "normais" (Nb/Th variando de 0,1 a 0,25 e razões Th/Yb variando de 20 a 100).

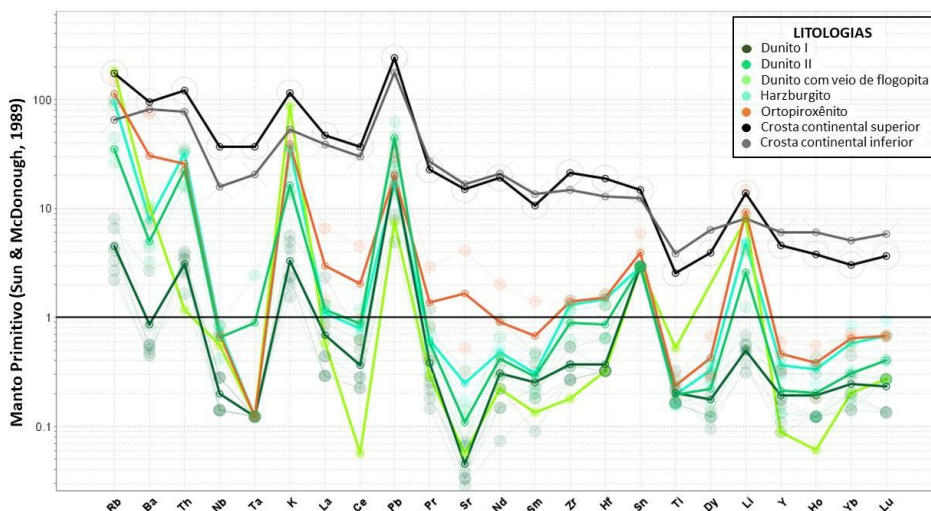
Figura 28: Diagrama de razão Nb/Th vs. Th/Yb.



Ao observar o diagrama e seguir a tendência de aumento da contaminação crustal, a amostra do dunito com flogopita está posicionada no extremo superior do diagrama, a qual representa a maior razão Nb/Th e a menor razão Th/Yb em comparação com outros litotipos. À medida que a razão Nb/Th diminui, ocorrem as amostras das rochas metamáficas. Entre essas rochas e os litotipos da zona dunito II, estão as amostras dos dunitos I, que têm valores mais altos de Nb/Th e menores razões de Th/Yb do que os dunitos II. Observa-se também que os dunitos do tipo I exibem maior proximidade no diagrama, semelhante ao diagrama anterior (ver **FIG. 27B**). Continuando a sequência, os litotipos dos dunitos II possuem os maiores valores de Th/Yb, distribuindo-se em um intervalo entre aproximadamente 25 a 225, no entanto, apresentam as menores razões de Nb/Th. Dentro desse grupo de litotipos, ainda é possível ordená-los com base nas razões de Th/Yb da seguinte forma, do menor para o maior: ortopiroxênitos, seguidos por harzburgitos e, por fim, dunitos.

O diagrama Nb/Th vs. Th/Yb, portanto, revela que o magma parental que deu origem ao CMSJ não possui uma composição homogênea e sim modificada a diferentes taxas devido à contaminação crustal. Ao analisarmos os perfis dos elementos terras raras normalizados em relação ao manto primitivo (McDonough & Sun, 1989), observa-se os dunitos I e o dunito com flogopita com os valores mais primitivos entre os demais litotipos, seguidos dos dunitos II e os harzburgitos, tendo o ortopiroxênito como o litotipo mais fracionado e com anomalias mais pronunciadas. Ressalta-se na amostra com flogopita acentuadas anomalias positivas de K-Rb e negativas de Ce com valores relativamente menores de Th-Y quando comparado com as demais rochas. Ao compararmos os diferentes litotipos com a composição média correspondentes da crosta continental superior e inferior (Wedepohl, 1995) (**FIG. 29**), observamos uma aproximação das curvas e nos picos positivos (Th, K, Pb, Li) e negativos (Nb, Ta, Ti) de concentração entre os litotipos com aquelas expressas pela crosta continental superior, com conseqüente maior enriquecimento relativo em elementos incompatíveis (Rb, Th, K, La).

Figura 29: Perfil de distribuição dos elementos terras raras normalizados pelo manto primitivo (Sun & McDonough, 1989) que compara a concentração dos elementos nos litotipos com a composição média da crosta continental superior e inferior (Wedepohl, 1995).



6. DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão discutidos os dados e resultados obtidos da análise petrográfica e litogeoquímica do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré (CMSJ) e a correlação deles com os de outros corpos ultramáficos em Carajás em termos de fonte magmática, caráter primitivo e/ou fracionamento e contaminação. Estes fatores relacionam-se diretamente com características e processos petrogenéticos, além de potenciais metalogenéticos, os quais também serão abordados no capítulo.

6.1. Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré

Por meio da análise petrográfica e geoquímica, as duas amostras finais do furo de sondagem, o talco-tremolita hornfels e o milonito de plagioclásio-tremolita anfíbolito, foram identificadas como sendo as rochas encaixantes do CMSJ. A textura densa a fina e a composição máfica dessas rochas indicam que seus protólitos são rochas básicas/basaltos. O litotipo talco-tremolita hornfels é produto do contato entre o CMSJ e o milonito de plagioclásio-tremolita anfíbolito, uma vez que apresenta uma estrutura brechada e textura decussada a fibro-radiado, as quais evidenciam o aspecto intrusivo e do metamorfismo de contato do corpo ultramáfico.

O milonito de plagioclásio-tremolita anfíbolito pertence ao Grupo São Félix, o qual ocorre nas porções noroeste e sudeste do CMSJ (Macambira, 1997) e é constituído por rochas

metavulcano-sedimentares. Na figura 2B, no mapa ternário, as metabásicas podem ser diferenciadas como uma faixa mais escura do lado direito do corpo com sentido NW-SE e comprimento aproximado de 4 km. Além do Grupo São Félix, o CMSJ também é intrudido pelas rochas do Granito Plaquê. Entretanto, é importante observar que esta unidade não foi interceptada pelo furo de sondagem descrito no âmbito deste estudo. Tanto o Grupo São Félix quanto o Granito Plaquê possuem idades arqueanas (Macambira, 2002; CPRM, 1997). Apesar de não haver estudos geocronológicos nas rochas do Grupo São Félix, admite-se a sua correlação crono-litoestrutural com as rochas do Grupo Grão Pará (CPRM, 1997). As idades obtidas para este grupo foram $2,759 \pm 2$ Ma, Machado et al., 1991; $2,760 \pm 11$ Ma, Trendall et al., 1998; 2748 ± 34 Ma, Tallarico et al., 2005). Dessa forma, o CMSJ seria mais jovem ($< 2,75$ Ga) que essas respectivas idades correlacionadas para o Grupo São Félix.

O CMSJ encontra-se integrado no contexto tectono-estrutural do domínio do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, especificamente no Sistema Transcorrente Araraquara. No interior deste sistema, o CMSJ exhibe uma configuração alongada em conformidade com a direção meridiana, alinhando-se estruturalmente de acordo com a direção regional (N-S), conforme Macambira, 2001; CPRM, 1997. O posicionamento estrutural do CMSJ é semelhante ao do corpo ultramáfico Igarapé-Carapanã (N-S) e ortogonal ao dos Complexos Serra do Onça e do Puma, no entanto, todos obedecem às principais direções estruturais do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas.

O CMSJ é composto por um conjunto de rochas ultramáficas, incluindo dunitos, harzburgitos e ortopiroxênitos. Estes litotipos foram afetados por processos de serpentinização e, em menor grau, pela talcificação devido à hidratação do sistema. No entanto, há diferentes graus de alteração entre eles, os mais afetados foram os dunitos, seguidos pelos harzburgitos e, então, pelos ortopiroxênitos. Os dunitos não apresentam cristais de olivina preservados. Todos os cristais de olivina foram substituídos por serpentina, a qual assumiu a forma dos cristais originais, preservando a textura ígnea adcumulática média dos dunitos. Portanto, apesar das transformações mineralógicas, a textura magmática está muito bem preservada no CMSJ.

Contudo, foi observado um certo grau de paralelismo entre as cordas da textura *mesh* de alguns pseudomorfos, o que pode indicar a passagem de fluido ou evidenciar que os antigos cristais de olivina foram afetados por algum tipo de esforço suficiente para gerar e

orientar suas fraturas, e que a partir dessas fraturas, ocorreu o subsequente desenvolvimento da serpentina.

Além do paralelismo observado, algumas amostras de dunitos mostram as maiores microvênulas alinhadas, paralelas, ao longo de uma direção específica, enquanto microvênulas menores ocorrem perpendicularmente a essa direção. Essa orientação diferenciada das microvênulas sugere a presença de influências tectônicas ou metamórficas específicas que moldaram a distribuição e a orientação dessas feições microestruturais.

[Macambira \(2002\)](#), descreve a presença de veios e vênulas no CMSJ e que estes estariam dispostos preferencialmente segundo os principais *trends* estruturais do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas.

O processo de serpentinização também resultou no desenvolvimento de cristais de magnetita, os quais exibem, por vezes, formas alongadas e migram para formar um bandamento sobre os pseudomorfos, criando uma anisotropia. Além disso, cristais aciculares orientados de magnetita são observados no interior dos pseudomorfos, como que constituindo trilhas.

6.2. Estruturação Interna

As rochas constituintes do CMSJ são caracterizadas pela sua origem acumulativa. Essa origem é evidenciada na trama textural, onde os minerais se aglomeram com contatos sinuosos a retos, formando uma textura de calçamento ([Wernick, 2014](#)). Quando o magma se estabiliza e a cristalização dos minerais tem início, a decantação promove a alteração da composição do magma, processo conhecido como fracionamento magmático. Como resultado desse processo, a CMSJ apresenta uma estratificação e repetição de camadas, organizados em texturas adcumuláticas e orto- a mesocumuláticas.

Dessa forma, os resultados deste estudo indicam que o CMSJ é uma intrusão estratificada, com repetição de camadas, cuja estruturação interna consiste em uma zona predominantemente homogênea e composta exclusivamente por dunitos, identificada como dunito I, que é sucedida por uma sequência que apresenta maior complexidade, incorporando dunitos, harzburgitos e ortopiroxênitos, definida como dunito II. Essa diferenciação não é apenas evidenciada pela variação litológica, que influencia as variações de susceptibilidade

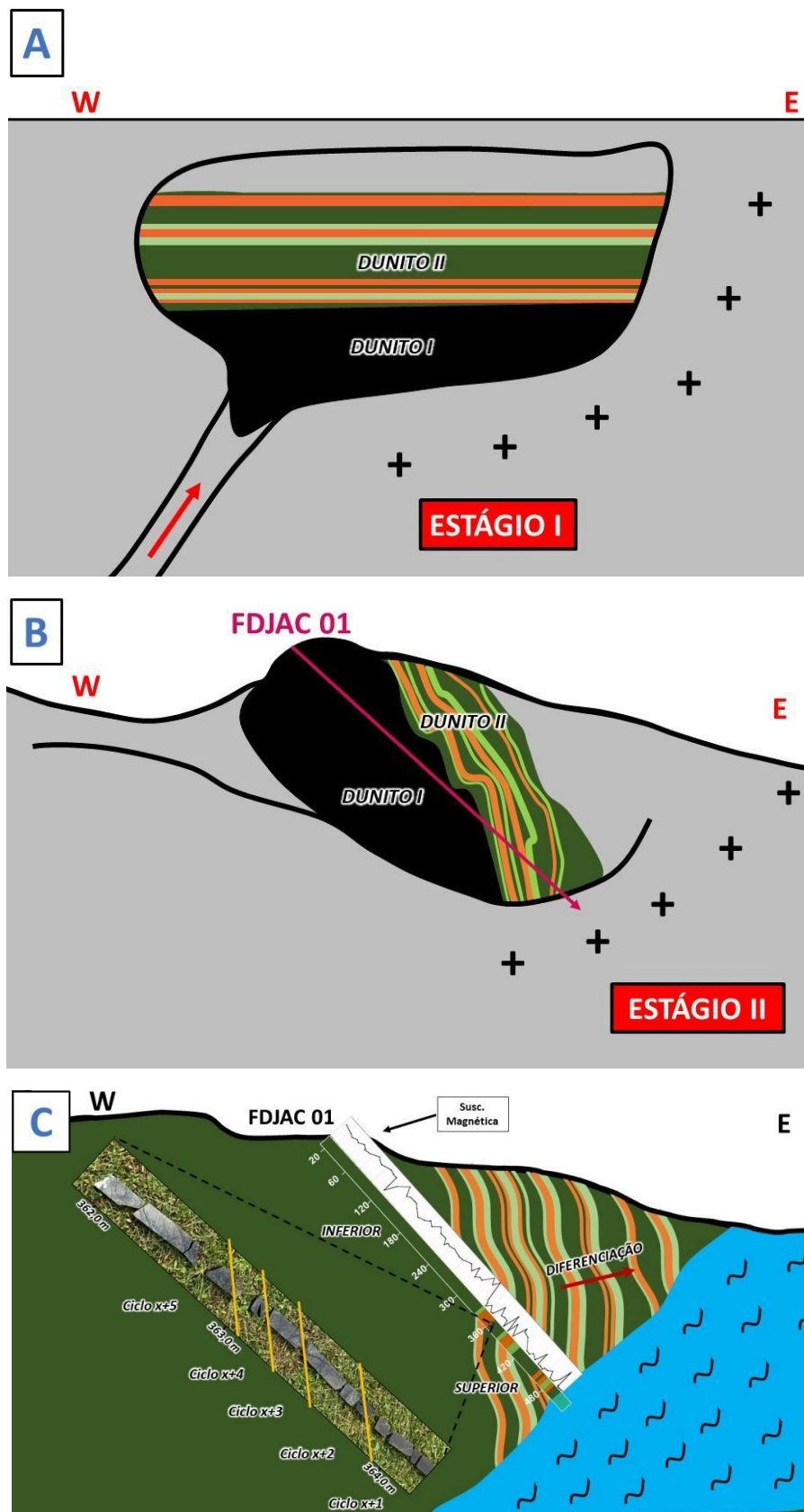
magnética e composição química, mas também é observada quando comparados os mesmos tipos litológicos (ex. dunitos), os quais apresentam assinaturas bem contrastantes.

A primeira distinção identificada entre os dunitos I e os dunitos II reside na presença de valores mais baixos de magnetismo nos últimos, variando de 1,14 a $36,10 \times 10^{-3}$ SI, devido à menor concentração de magnetita secundária. A segunda diferença foi observada na análise química, onde os dunitos I revelam características químicas mais primitivas em comparação com os dunitos II. Essas disparidades foram corroboradas em todos os diagramas, nos quais foi possível observar que os dunitos I são mais enriquecidos em elementos compatíveis e empobrecidos em elementos incompatíveis, ao contrário dos dunitos II. Dessa forma, podemos afirmar que existem diferenças que reforçam esse contraste em duas zonas dentro da estratigrafia do CMSJ, o que sugere que a origem desse corpo ultramáfico está associada a um processo de múltiplas intrusões magmáticas. Uma dessas zonas é mais primitiva, representada pelos dunitos I, enquanto a outra é mais diferenciada, composta pelos dunitos II, acompanhados por inúmeras variações entre ortopiroxênitos e harzburgitos (**FIG. 30 A**).

Em relação à disposição estrutural do CMSJ, é relevante observar que o furo de sondagem foi efetuado de maneira inclinada para leste até atingir a rocha encaixante (**FIG. 30 B e C**). Isso sugere que o CMSJ exibe uma inclinação para leste, pelo menos na área acessível por meio desse furo. Essa inclinação pode ser atribuída à influência da tectônica/basculamento do corpo ultramáfico, o que resultou na disposição em que o litotipo mais primitivo é encontrado acima no furo em comparação ao litotipo mais diferenciado. Sendo assim, o dunito I representa a zona inferior, enquanto o dunito II representaria a zona superior do CMSJ. Isso ocorre devido às características mais primitivas na base, zona inferior, e às características mais diferenciadas e fracionadas na zona superior.

Os cristais de flogopita estão presentes nos harzburgitos e ortopiroxênitos, os quais exibem formas subhedrais e um hábito lamelar. Esses cristais são observados tanto nas bordas quanto no interior dos cristais de ortopiroxênios e, em menor quantidade, nos de olivina, com um contato retilíneo. A distribuição da flogopita sugere uma origem magmática e pode ser associada a uma fonte mantélica mais enriquecida ou fértil, ou mesmo aos processos de contaminação provenientes de fontes crustais. O enriquecimento em K e Na, característico de mantos férteis ou metassomatizados, pode ser responsável pela formação de cristais intersticiais de flogopita nas rochas da zona superior, indicando maior dinamismo e diferenciação nesta região.

Figura 30: Estrutura interna do CMSJ. **A)** Estágio I, que representa a estruturação inicial do corpo sem nenhuma inclinação. **B)** Estágio II, que mostra o CMSJ já basculado com inclinação para leste. **C)** Panorama geral do CMSJ com a interceptação do furo FDJAC 01.

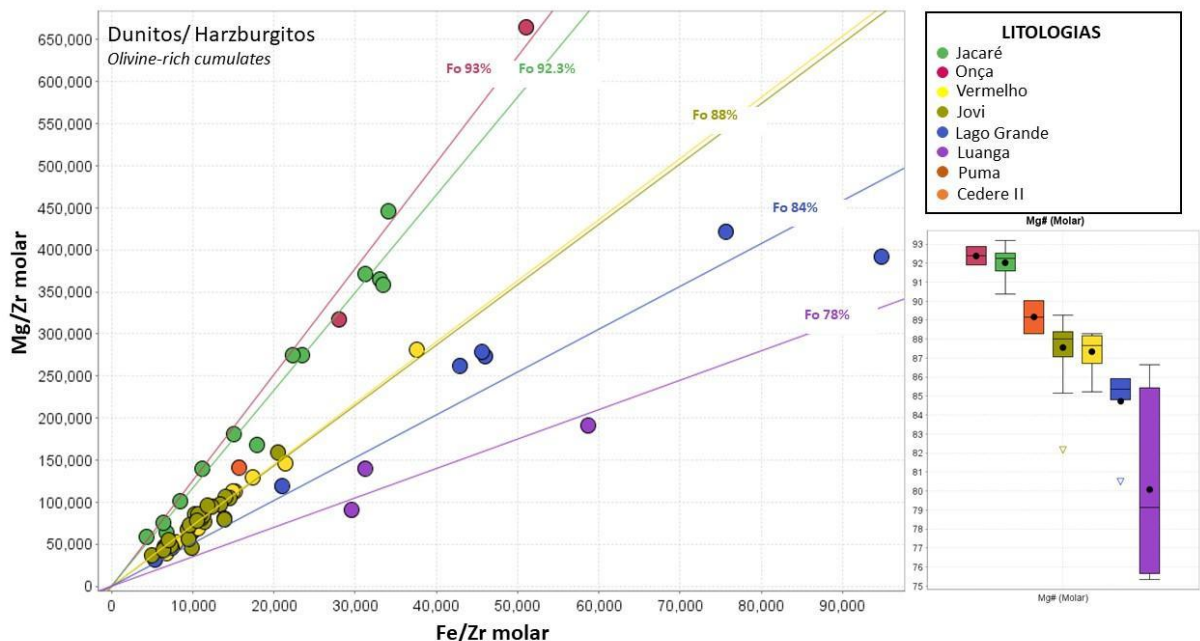


6.3. Comparação com os Corpos Ultramáficos do Carajás

6.3.1. Magma Parental (Mg# e teor de Forsterita)

A composição do magma parental do CMSJ, conforme evidenciado pelo índice de magnésio (Mg#: 94,5% e 96,5%), indica características bem primitivas para o mesmo. Estes valores corroboram os valores médios de forsterita estimadas para os litotipos do CMSJ (Fo ~ 92), calculados principalmente para as rochas ricas em cumulos de olivina (dunito e harzburgito). Esses altos teores de forsterita se assemelham com os valores obtidos para o Complexo da Onça e Puma (Fo93 e Fo89; Rosa, 2014), porém contrastante com os corpos mais a leste que mostram em ordem decrescente às composições de forsterita, como o Complexo Jovi (Fo88; Anglo American, relatório não publicado), Complexo Vermelho (Fo88; Siepierski, 2016), Complexo Lago Grande (Fo84; Teixeira, 2013) e, por fim, o Complexo Luanga (Fo78; Mansur, 2017) (FIG. 31).

Figura 31: Comparação das diferentes composições de olivina cumulus para os corpos ultramáficos da PMC. Dados: Complexo Serra da Onça e do Puma (Rosa, 2014), Complexo Jovi (Anglo American, relatório não publicado), Cedere II (Anglo American, relatório não publicado), Complexo Lago Grande (Teixeira, 2013), Complexo Luanga (Mansur, 2017), Complexo Vermelho (Siepierski, 2016),



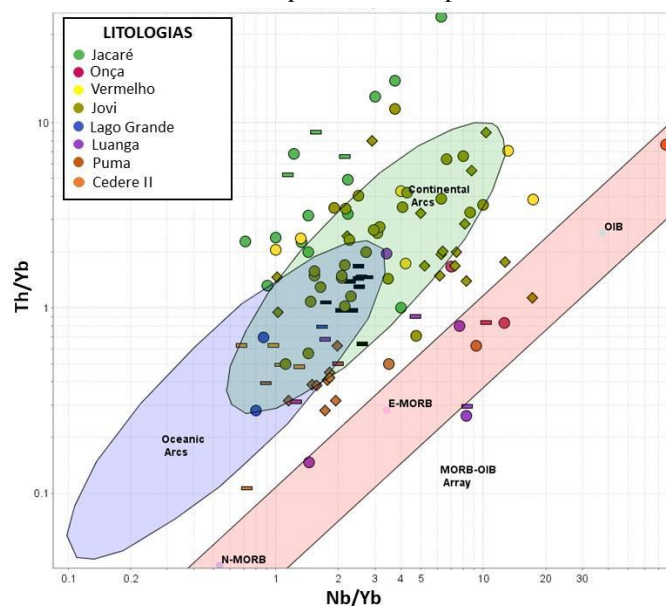
A composição muito primitiva do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré se destaca entre os corpos ultramáficos do Carajás, apresentando semelhança ao Complexo Serra da Onça, conforme descrito por Rosa (2014). As distribuições desses corpos no Carajás,

conforme evidenciado no mapa da PMC no capítulo 2 (ver **FIG. 3**), ocorrem desde o extremo oeste até o extremo leste da província. Essa diferença litogeoquímica e do caráter primitivo parece corroborar as diferenças de idades obtidas para os corpos ultramáficos no Carajás. Conforme [Ferreira Filho et al. \(2007\)](#), há ao menos dois grupos distintos de idades: 2,76 Ga e 2,74 Ga, dessa forma, os corpos mais antigos estão localizados a leste e, os mais recentes a oeste do Carajás. Nesse contexto, pode-se assumir que as idades mais recentes se associaram com magmas mais primitivos e, os mais antigos, a magmas mais diferenciados. Com análise das idades e da química, poder-se-ia inferir um movimento aparente da pluma de NE (Luanga) para SW (CMSJ) com eventos ultramáficos mais primitivos se estendendo para o oeste de Carajás.

6.3.2. Contaminação Crustal

No que diz respeito à contaminação crustal, somente os corpos CMSJ (tanto na zona superior quanto na zona inferior), Jovi e Vermelho exibem elevados índices de contaminação crustal, marcado por razões de Th/Yb que vão de 1 a quase 13. Dentre esses corpos, destaca-se que a zona superior de Jacaré é particularmente mais contaminada. Vale ressaltar que as amostras dos Complexos Luangua, Puma e Onça se distribuem ao longo de uma tendência que indica uma menor contaminação crustal, com algumas rochas se aproximando do campo E-MORB (FIG. 32).

Figura 32: Diagrama Th/Yb vs. Nb/Yb comparando os corpos ultramáficos do Carajás com o CMSJ.

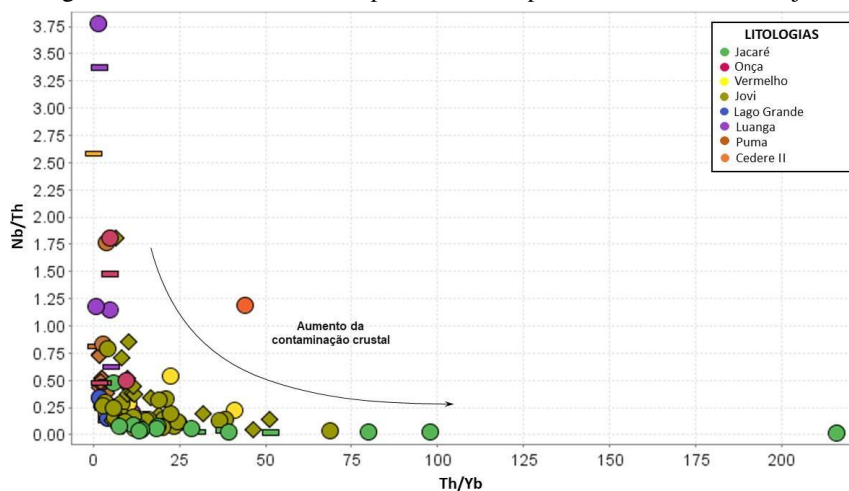


O Complexo Luanga é identificado por exibir uma contaminação crustal inferior em comparação com o CMSJ, o qual está situado na extremidade oeste. Uma vez que a sua

composição se aproxima da composição média E-MORB, que representa o conjunto de basaltos oceânicos, corrobora com o modelo de *rifting* continental para o ambiente tectônico do Carajás.

O Diagrama Nb/Th vs. Th/Tb (**FIG. 33**) reforça a constatação de que os corpos CMSJ, Jovi e Vermelho exibem um maior grau de contaminação, enquanto, em contraste, o Complexo Lunga e, em certa medida, o Complexo da Onça são menos contaminados.

Figura 33: Diagrama Nb/Th vs. Th/Yb comparando os corpos ultramáficos do Carajás com o CMSJ.



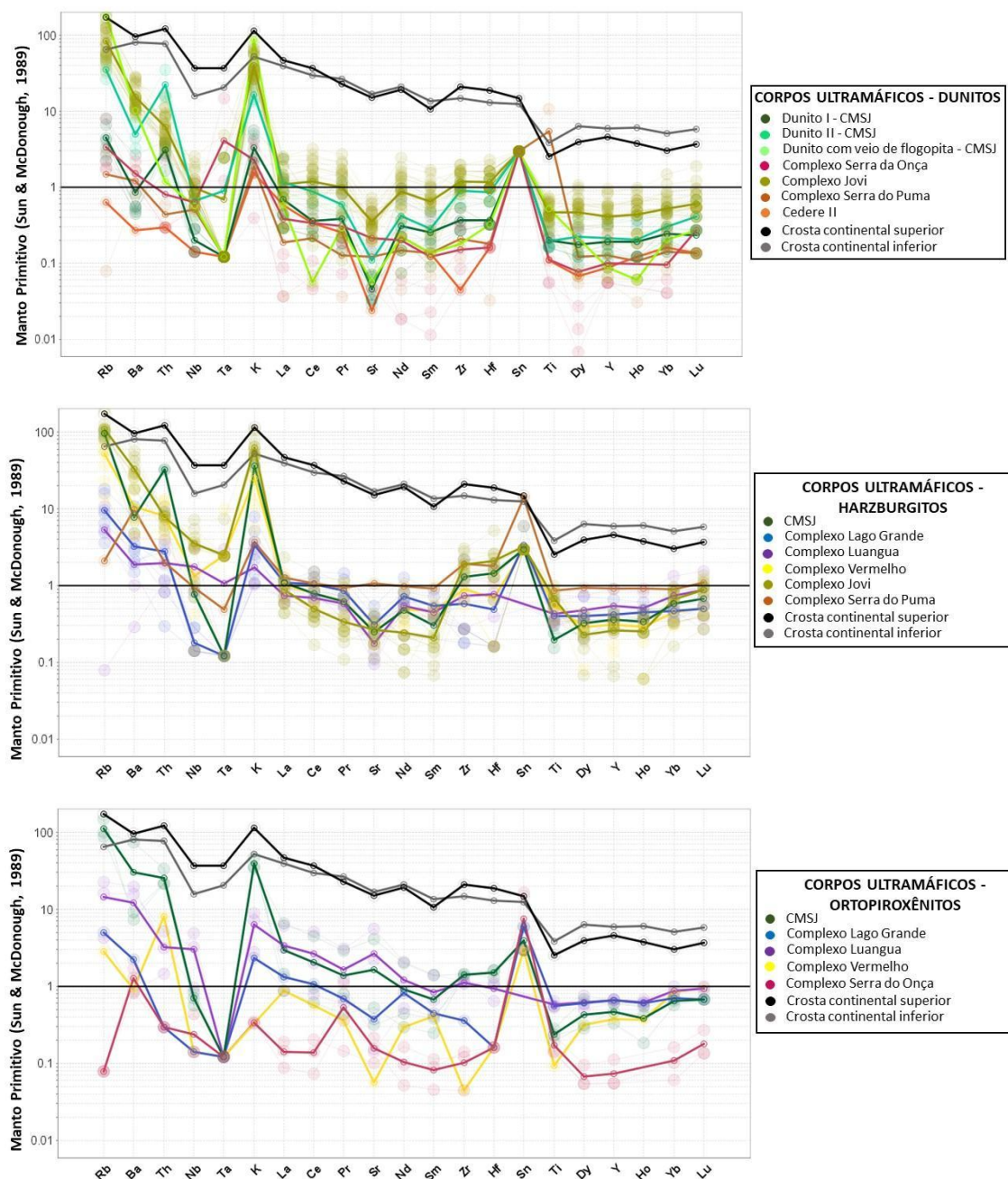
Ao analisarmos as taxas de contaminação crustal e as respectivas anomalias negativas e positivas para os mesmos litotipos em diferentes corpos ultramáficos, observamos algumas similaridades e diferenças entre eles. Os dunitos, em particular, os do CMSJ e do Complexo Jovi são os que apresentam maior contaminação (**FIG. 34**). Estes corpos apresentam um leve enriquecimento em elementos terras raras leves e fortes em Rb. Além disso, são registrados picos positivos de Th, K, Sn e picos negativos de Nb e Sr. Portanto, a CMSJ e o Complexo Jovi são mais contaminados que os outros corpos. Destaca-se que a contaminação, dentro do CMSJ, é mais acentuada nos dunitos II em comparação com os dunitos I e outros corpos.

No que diz respeito aos harzburgitos, observa-se que o CMSJ, Jovi e Vermelho são os mais contaminados. Esses corpos são distintos por apresentarem enriquecimentos notáveis em Rb e picos positivos nas concentrações de K e Sn, além de apresentarem picos negativos de Nb. Vale ressaltar que apenas os harzburgitos do CMSJ exibem picos positivos de Th.

Os ortopiroxênitos do CMSJ demonstram semelhanças com os do Complexo Luanga, ambos enriquecidos em elementos de terras raras leves. No entanto, os ortopiroxênitos do

Complexo Lunga exibem maiores valores de Nb em comparação com o CMSJ, sendo que este último apresenta valores mais elevados de K.

Figura 34: Perfis de Elementos Terras Raras (ETRs), normalizados pelo manto primitivo (Sun & McDonough, 1989), são apresentados nos itens A), B), e C) para amostras de dunitos, harzburgitos e ortopiroxenitos, respectivamente. No contexto das informações relacionadas aos corpos ultramáficos da PMC, foi incluído os dados provenientes do Complexo Serra da Onça e do Puma (Rosa, 2014), Complexo Jovi (dados internos da Anglo American), Cedere II (dados internos da Anglo American), Complexo Lago Grande (Teixeira, 2013), Complexo Luanga (Mansur, 2017), Complexo Vermelho (Siepierski, 2016), além da composição média da crosta superior e inferior (Wedepohl, 1995).



6.4. *Potencial Metalogenético*

A abundância de intrusões máfico-ultramáficas na região de Carajás desempenha um papel fundamental na concentração global de grandes depósitos de níquel, cobre e elementos do grupo da platina (PGEs). Estas intrusões são resultantes de um significativo evento de magmatismo máfico-ultramáfico. De acordo com [Rosa \(2014\)](#), a Província Mineral de Carajás (PMC) foi submetida a uma exploração moderada em busca de depósitos de Ni-Cu-PGE. Isso implica que a ausência de mineralização primária de Ni-Cu-PGE na área não pode mais ser atribuída exclusivamente à falta de exploração. Torna-se necessário considerar os resultados prévios de pesquisas sobre complexos máfico-ultramáficos e as metodologias empregadas na exploração. Dessa forma, é necessário avaliar a perspectiva da PMC em relação aos depósitos de Ni-Cu-PGE. As atividades exploratórias anteriores focalizaram-se em levantamentos regionais e na análise minuciosa de intrusões acamadas expostas.

O CMSJ já é reconhecido como um depósito de classe mundial de níquel e cobalto laterítico/saprolítico, com um volume de 519 milhões de toneladas e médias de 1,13% de níquel e 0,13% de cobalto ([Anglo American, 2010](#)). É importante ressaltar que tanto o níquel quanto o cobalto estão presentes na estrutura da olivina. [Mansur & Ferreira Filho \(2016\)](#) realizaram uma comparação dos teores de níquel em vários corpos ultramáficos em Carajás, incluindo o CMSJ, com outros corpos ultramáficos mineralizados globalmente. Eles observaram que tanto o Complexo Luangua quanto o CMSJ apresentam teores anormalmente elevados de níquel. Para explicar essas características no Complexo Luangua, [Mansur & Ferreira Filho \(2016\)](#) adotaram o modelo proposto por [Kerr e Leitch \(2005\)](#). Segundo esse modelo, as características observadas são interpretadas como resultado da "canibalização" de sulfetos de Ni-PGE previamente formados. Este modelo também foi aplicado para explicar a origem de olivinas extremamente ricas em Ni associadas a depósitos de minério de Ni-PGE na intrusão de Kevitsa, na Finlândia ([Mansur & Ferreira Filho, 2016](#); [Yang et al., 2013](#)). Nesse contexto, o modelo implica que novas contribuições de magma fresco, rico em Ni, dissolveram parcialmente sulfetos formados anteriormente.

A aplicabilidade deste modelo para o CMSJ está ligada à possibilidade de camadas ricas em elementos do grupo da platina (PGE), embora ainda não tenham sido observadas. É importante notar que essas camadas podem existir de maneiras não convencionais, como visto no Complexo Luangua ([Mansur, 2017](#)), onde a mineralização de PGE não está ligada a sulfetos

ou cromititos, características típicas de depósitos de PGE associados a silicatos. Além disso, essas camadas não apresentam as anomalias geoquímicas comuns em depósitos de PGE, como as de Cu e Cr. Mineralizações de PGE relacionadas a silicatos também foram observadas no Complexo Serra da Onça (Mansur, 2017; Macambira e Ferreira Filho, 2005; Ferreira Filho et al., 2007), onde sua identificação não ocorreu por características específicas durante análises de perfuração, indicando que podem ter sido ignoradas em explorações anteriores focadas em depósitos tradicionais de PGE, o quais estão relacionados a sulfetos ou cromititos.

O CMSJ exibe características sugestivas de um potencial favorável para abrigar depósitos magmáticos de Ni-Cu-PGE. A primeira delas é que o CMSJ constitui uma intrusão ultramáfica em uma região cratônica do Neoarqueano. Em segundo lugar, o magma parental do CMSJ é notavelmente muito primitivo. Além disso, o magmatismo que deu origem aos depósitos na Serra Leste mostra correlação com o magmatismo na porção ocidental de Carajás. Por fim, a elevada concentração de níquel, comparável à encontrada no Complexo Luanga, sugere fortemente que processos semelhantes possam ter ocorrido no CMSJ.

7. CONCLUSÃO

As principais conclusões deste estudo são:

1. O CMSJ é constituído por um conjunto de rochas metaultramáficas, incluindo metadunitos, metaharzburgitos e metaortopiroxênitos, nos quais as texturas de origem ígnea estão bem preservadas.
2. Os litotipos foram sujeitos a processos de serpentinização e, em menor grau, de talcificação. A serpentinização ocorreu em condições metamórficas de baixo grau (fácies xisto verde). Os dunitos não apresentam olivinas preservadas; todas as olivinas foram substituídas por pseudomorfos de serpentina, desenvolvendo texturas *mesh* e *hourglass*. Os harzburgitos apresentam olivinas preservadas, mantendo as texturas orto- a mesocumuláticas primárias. Os ortopiroxênitos permanecem também bem preservados, com texturas cumulática, glomeroporfirítica e poiquilítica/oikocryst.
3. A estrutura interna do CMSJ é separada em zona inferior e superior, sendo a primeira representada pelos dunitos I e a segunda pelos dunitos II com várias intercalações de

harzburgitos e ortopiroxênitos. A zona inferior está localizada no topo do furo e exibe características mais primitivas em comparação com a zona superior, que é mais diferenciada, fracionada e dinâmica. No modelo aqui apresentado para o CMSJ, sugere-se, ao menos na área de estudo, um corpo estratificado, porém basculado com inclinação para leste.

4. O magma parental do CMSJ é caracterizado como muito primitivo, uma vez que os litotipos apresentam elevado Mg# (94-96%), o qual condiz com o alto teor estimado de forsterita (Fo~92).
5. As amostras do CMSJ apresentam variados graus de contaminação crustal. Os perfis de elementos traço, normalizados pelo manto, mostram que os litotipos apresentam enriquecimentos em elementos terras raras leves e anomalias negativas de Nb e Ta e anomalias positivas de Rb, Th, K, Pb, Sn e Li, que sugerem uma contaminação pela crosta continental superior. A contaminação é presente em todos os litotipos, porém muito mais pronunciada nos litotipos da zona superior.
6. A comparação com outras fácies ricas em cumulos de olivina nos demais corpos ultramáficos do Carajás sugere que o CMSJ e os corpos Puma-Onça apresentam as assinaturas mais primitivas (Fo93 e Fo89), enquanto os corpos Lago Grande (Fo84) e Luanga (Fo78), as mais diferenciadas.
7. A análise exclusiva de rochas ricas em cumulos de olivina (dunitos e harzburgitos), quando aplicada aos corpos ultramáficos, indica características mais primitivas nos corpos localizados a oeste em comparação aos situados a leste da região de Carajás. Essas características corroboram as discrepâncias nas idades observadas entre os corpos, o que acrescenta um componente composicional distintivo que os diferencia, além das diferenças nas idades registradas (2,76 Ga; 2,74 Ga).
8. As idades mais novas apontadas para o CMSJ corroboram as evidências de campo, vide a ocorrência de metabasaltos do Grupo São Félix (2,75 Ga) como parte das hospedeiras do CMSJ.
9. O CMSJ revela uma maior contaminação crustal em comparação com os outros corpos ultramáficos localizados no Carajás. Ao examinar os mesmos litotipos (dunitos,

harzburgitos e ortopiroxênitos) em diferentes corpos ultramáficos, observa-se que os litotipos do CMSJ exibem os enriquecimentos mais pronunciados em elementos incompatíveis. Essa constatação sustenta a evidência de contaminação crustal no CMSJ, uma condição que é ainda mais acentuada nos litotipos da zona superior.

10. O magmatismo responsável pela formação do CMSJ exibe um notável potencial para depósitos de Ni-Cu-PGE, evidenciado pelo volume significativo de magma, posicionamento crustal, presença de falhas/estruturas profundas, taxa de fusão, proximidade do magma, o que resulta em altas taxas de fusão na fonte. As anomalias de Ni em olivina indicam a possibilidade de assimilação de sulfeto de Ni pelo magma ultramáfico, reforçando seu caráter intrusivo e dinâmico. Embora o corpo apresente uma estrutura *stratabound* mais típica de depósitos disseminados de Ni-Cu-PGE, não se exclui o potencial de corpos de sulfeto maciço em fácies mais diferenciadas nas proximidades do CMSJ, associados ao mesmo evento magmático.

8. REFERÊNCIAS

ANGLO AMERICAN. Relatório de Recursos Minerais, 2010.

ARAÚJO, O.J.B., MAIA, R.G.N., JOÃO, X.S.J., COSTA, J.B.S., 1988. A megaestruturação arqueana da Folha Serra dos Carajás. Congresso Latino-Americano de Geologia, Belém-Brasil, Anais, pp. 324-338.

ARAÚJO, O.J.B., MAIA, R.G.N. 1991. Programa Grande Carajás, Serra dos Carajás, Folha SB.22-Z-A, Estado do Pará. DNPM-CPRM. Brasília.

CARLON, CHRISTOPHER J. ET AL. The Discovery and Exploration of the Jacaré ('Alligator') Nickel Laterite-Saprolite Deposit, Pará State, Brazil. ASEG Extended Abstracts, v. 2006, n. 1, p. 1-3, 2006.

CPRM. 1997. São Félix do Xingu. Folha SB.22-Y-B. Estado do Pará. Belém, DNPM/CPRM. 344 p. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).

DARDENNE, M.A., FERREIRA FILHO, C.F., MEIRELLES, M.R., 1988. The role of shoshonitic and calc-alkaline suites in the tectonic evolution of the Carajás District, Brazil. Journal of South American Earth Sciences 1, 363–372.

FERREIRA FILHO, C.F., CANÇADO, F., CORREA, C., MACAMBIRA, E.M.B., SIEPIERSKI, L., AND BROD, T.C.J., 2007. Mineralizações estratiformes de EGP-Ni associadas a complexos acamadados em Carajás: os exemplos de Luanga e Serra da Onça, in Contribuições à Geologia da Amazônia, ed., Publitec Gráfica & Editora, volume 5: p. 01-14.

GALARZA, M. A.; MACAMBIRA, M. J. B. Geocronologia e evolução crustal da área do depósito de Cu-Au Gameleira, Província Mineral de Carajás (Pará), Brasil. Geologia USP. Série Científica, v. 2, p. 143-159, 2002.

GEOLOGIA, DOCEGEO-RIO DOCE. MINERAÇÃO. 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. SBG, Cong. Bras. Geol, v. 35, p. 11-54.

GIBBS, A.K., WIRTH, K.R., HIRATA, W.K., OLSZEWSKI JR., W.J., 1986. Age and composition of the Grão Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. Revista Brasileira de Geociências 16, 201-211.

GRAINGER, C.J., GROVES, D.I., TALLARICO, F.H.B., AND FLETCHER, I.R., 2008. Metallogenesis of the Carajás Mineral Province, Southern Amazon Craton, Brazil: Varying styles of Archean through Paleoproterozoic to Neoproterozoic base- and precious-metal mineralisation. *Ore Geology Reviews*, v. 33, p. 451-489.

HASUI, Y.; HARALYL, N. L. E.; SCHOBENHAUS, C. Elementos geofísicos e geológicos da Região Amazônica: subsídio para o modelo geotectônico. In: SYMPOSIUM AMAZÔNICO, 2, Manaus, 1984. Anais ... Manaus: DNPM-CNPq, 1984. P. 129 -141.

HUHN, S.R.B., SANTOS, A.B.S., AMARAL, A.F., LEDSHAM, E.J., GOUVEIA, J.L., MARTINS, ET AL. 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria-Sul do Pará: in Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Anais, Sociedade Brasileira de Geologia, 1438-1452.

HUHN, S.R.B., SANTOS, A.B.S., AMARAL, A.F., LEDSHAM, E.J., GOUVEIA, J.L., MARTINS, L.P.B., MONTALVÃO, R.M.G., COSTA, V.C., 1986. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria-Sul do Pará. 35º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, Brasil, Anais, Sociedade Brasileira de Geologia, pp. 1438-1452.

KERR, A., LEITCH, A.M., 2005. Self-destructive sulfide segregation systems and the formation of high-grade magmatic ore deposits. *Economic Geology* 100, 11–332.

LAFON, J.M., MACAMBIRA, M.J.B., PIDGEON, R.T., 2000. Zircon U-Pb SHRIMP dating of Neoproterozoic magmatism in the southwestern part of the Carajás Province (eastern Amazonian Craton, Brazil). 30th International Geological Congress, Abstract Volume, CD-ROM.

MACAMBIRA E.M.B. AND FERREIRA FILHO C.F., 2002. Fracionamento Magmático dos Corpos Máfico-Ultramáficos da Suíte Intrusiva Cateté – Sul do Pará. In: Klein E.L., Vasquez M.L. & Rosa Costa L.T. (eds.) *Contribuições à Geologia da Amazônia* v. 3. SBG-Núcleo Norte, pp. 105-114.

MACAMBIRA, M.J.B., LANCELOT, J.R., 1996. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, Southeastern Amazonian Craton, Brazil. *International Geology Review* 38, 1134-1142.

MACAMBIRA, M.J.B. Prospecção Geológica e Geoquímica nos Corpos Máfico-Ultramáficos da Suíte Intrusiva Cateté, Pará. 2001.

MACAMBIRA, M.J.B; VALE, ARMÍNIO GONÇALVES. São Félix do Xingu: folha SB. 22-YB. 1997.

MACHADO, N., LINDENMAYER, Z.G., KROGH, T.E., LINDENMAYER, D., 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research* 49, 329-354.

MANSUR, E. T. Caracterização e metalogênese do depósito de elementos do grupo da platina do Complexo Luanga, Província Mineral do Carajás. 2017.

NOGUEIRA, A.C.R., TRUCKENBROD, W., COSTA, J.B.S., PINHEIRO, R.V.L., 1994. Análise faciológica e estrutural da Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás. Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, Brasil, Resumos Expandidos, pp. 363–364.

NOGUEIRA, A.C.R., TRUCKENBROD, W., PINHEIRO, R.V.L., 2000. Storm and tide-dominated siliciclastic deposits of the Archean Águas Claras Formation, Serra dos Carajás, Brazil. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, Extended Abstracts, CD-ROM.

OLIVEIRA, S.M.B. Estágio atual do conhecimento acerca do minério laterítico de níquel no Brasil e no mundo. *Revista do Instituto Geológico*, v. 11, n. 2, p. 49-57, 1990.

OLSZEWSKI, W.J., WIRTH, K.R., GIBBS, A.K., GAUDETTE, H.E., 1989. The age, origin, and tectonics of the Grão Pará Group and associated rocks, Serra dos Carajás, Brazil: Archean continental volcanism and rifting. *Precambrian Research* 42, 229-254.

PIDGEON, R.T., MACAMBIRA, M.J.B., LAFON, J.M., 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology* 166, 159-171.

ROSA, WOLNEY DUTRA. Complexos acamadados da Serra da Onça e Serra do Puma: geologia e petrologia de duas intrusões máfico-ultramáficas com sequência de cristalização distinta na Província Arqueana de Carajás, Brasil. 2014.

SIEPIERSKI, L.; FERREIRA FILHO, C.F. Magmatic structure and petrology of the Vermelho Complex, Carajás Mineral Province, Brazil: Evidence for magmatic processes at the lower portion of a mafic-ultramafic intrusion. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 102, p. 102700, 2020.

SIEPIERSKI, L. Geologia, petrologia e potencial para mineralizações magmáticas dos corpos máfico-ultramáficos da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás. 2016.

SOBOLEV, A.V., HOFMANN, A.W., SOBOLEV, S.V., NIKOGOSIAN, I.K., 2005. An olivine-free mantle source of Hawaiian shield basalts. *Nature* 434, 590.

SOBOLEV, A.V., HOFFMAN, A., KUZMIN, D., YAXLEY, G., ARNDT, N., CHUNG, S.-L., DANYUSHEVSKY, L., ELLIOTT, T., FREY, F., GARCIA, M., GURENKO, A., KAMENETSKY, V., KERR, A., KRIVOLUTSKAYA, N., MATVIENKOV, V., NIKOGOSIAN, I., ROCHOLL, A., SIGURDSON, I., SUSHCHEVSKAYA, N., TEKLAY, M., 2007. The amount of recycled crust in sources of mantle-derived melts. *Science* 316, 412–417.

SOUZA, Z.S., DALL'AGNOL, R., 1996. Caracterização geoquímica e tectônica de rochas meta vulcânicas de "greenstone belts" arqueanos da região de Rio Maria, SE do Pará. *Boletim. IG-USP, special publication, online, vol.18, pp. 97-101. ISSN 0102-6275.*

SOUZA, Z.S., POTREL, A., LAFON, J.M., ALTHOFF, F.J., PIMENTEL, M.M., DALL'AGNOL, R., OLIVEIRA, C.G., 2001. Nd, Pb and Sr isotopes in the Identidade Belt, an Archean greenstone belt of Rio Maria region (Carajás Province, Brazil): implications for the geodynamic evolution of the Amazonian Craton. *Precambrian Research* 109, 293-315.

STRECKEISEN, A. 1976. To each plutonic rocks its propre name. *Earth Science Reviews*, v. 12, p. 1-33.

TALLARICO, F. H., FIGUEIREDO, B. R., GROVES, D. I., KOSITCIN, N., MCNAUGHTON, N. J., FLETCHER, I. R., & REGO, J. L. (2005). Geology and SHRIMP U-Pb geochronology of the Igarapé Bahia deposit, Carajás copper-gold belt, Brazil: An

Archean (2.57 Ga) example of iron-oxide Cu-Au-(U-REE) mineralization. *Economic Geology*, 100(1), 7-28.

TEIXEIRA, J.B.G., EGGLER, D.H., 1994. Petrology, Geochemistry, and Tectonic Setting of Archean Basaltic and Dioritic Rocks from the N4 Iron Deposit, Serra dos Carajás, Pará, Brazil. *Acta Geologica Leopoldensia* 17, 71-114.

TOMAZONI NETO, F. (2011). Controle na distribuição das lateritas e saprolitos de alto teor no depósito de níquel laterítico do Jacaré, Distrito de Carajás, Brasil.

TRENDALL, A.F., BASEI, M.A.S., DE LAETER, J.R., NELSON, D.R., 1998. SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás Formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences* 11, 265–277.

VASQUEZ, L. V. ET AL. Escala 1: 1.000. 000. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas e SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Organizadores. CPRM, Belém, 2008.

VILLAS, R.N., SANTOS, M.D., 2001. Gold deposits of the Carajás Mineral Province: deposit types and metallogenesis. *Mineralium Deposita* 36, 300–331.

YANG, SHENG-HONG ET AL. Origin of ultra-nickeliferous olivine in the Kevitsa Ni–Cu–PGE-mineralized intrusion, northern Finland. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 166, p. 81-95, 2013.

9. *APÊNDICE*

APÊNDICE I

DESCRIÇÕES PETROGRÁFICAS

	MACROSCOPIA						MICROSCOPIA				
Amostra	Textura	Estrutura	Cor	Granulação (mm)	Vênulas	Susceptibilidade Magnética (10 ⁻³ SI)	Textura metamórfica	Textura ígnea preservada	Estrutura	Granulação (mm)	Composição Modal (%)
1361062	Granular	Maciça	Cinza-escuro a preto	Fina à média	Sim	46,8	Granoblástica	Adcumulática	Isotrópica	< 1 - 8	Srp (91,0); Mag (7,0); Tlc (1,5); Chr (<0,5)
1361064	Granular	Maciça	Cinza-escuro a preto	Média	Sim	44,8	Granoblástica	Adcumulática	Isotrópica	1 - 5	Srp (90,3); Mag (7,0); Tlc (2,0); Chr (0,7)
1361065	Granular	Maciça	Cinza-escuro a preto	Média	Não	58,4	Granoblástica	Adcumulática	Isotrópica	1 - 6	Srp (93,0); Mag (4,5); Tlc (1,5); Chr (<0,5)
1361067	Granular	Maciça	Cinza	Média	Sim	7,23	Granoblástica	Adcumulática	Isotrópica	2	Flg (93,5); Vrm (3,0); Srp (2); Mag (<0,5); Tlc (1,0)
1361070	Granular	Maciça	Cinza-escuro a preto	Média	Sim	50,6	Granoblástica	Adcumulática	Isotrópica	1 - 4	Srp (91,5); Mag (6,5); Tlc (1,5); Chr (<0,5)
1361072	Granular	Maciça	Cinza-escuro a preto	Média	Sim	43	Granoblástica	Adcumulática	Isotrópica	0,4 - 6	Srp (91,5); Mag (6,5); Tlc (1,5); Chr (<0,5)
1361073	Granular	Maciça/Bandada	Cinza-escuro a preto	Média	Sim	42,6	Granoblástica	Adcumulática	Anisotrópica	1 - 6	Srp (94,0); Mag (4,5); Tlc (1,5); Chr (<0,5)
1361075	Granular	Maciça/Bandada	Cinza-escuro a preto	Média	Sim	64,1	Granoblástica	Adcumulática	Anisotrópica	2,4	Srp (94,5); Mag (3,5); Tlc (1,5); Chr (<0,5)
1361079	Granular	Maciça	Cinza-escuro a esverdeada	Fina à média	Não	1,04	Granoblástica	Cumulática	Isotrópica	0,3 - 4	Opx (94,5); Tlc (3,0); Flg (2,0); Chr (<0,5)
1361080	Granular	Maciça	Cinza esverdeado	Fina à média	Sim	1,05	Granoblástica	Orto- a mesocumulática	Isotrópica	1,2	Ol (56,5); Opx (35,0); Srp (3,0); Tlc (3,0); Flg (2,0); Mag (<0,5)
1361083	Granular	Maciça	Preto	Média	Sim	1,31	Granoblástica	Orto- a mesocumulática	Isotrópica	1 - 4	Srp (41,5); Ol (18,0); Opx (27,0); Tlc (7,0); Mag (3,5); Flg (2,0); Tr (1,0)
1361085	Granular	Maciça	Cinza-escuro a esverdeada	Média	Sim	0,34	Granoblástica	Glomeroporfiritica	Isotrópica	0,25 - 5	Opx (91,0); Tlc (5,0); Flg (2,0); Mag (<0,5); Chr (<0,5)
1361087	Granular	Maciça	Cinza-escuro a preto	Média	Sim	36,1	Granoblástica	Adcumulática	Anisotrópica	1 - 5	Srp (92,5); Mag (7,5); Tlc (1,5); Chr (0,5)
1361089	Granular	Maciça	Cinza-escuro a preto	Média	Sim	3,55	Granoblástica	Adcumulática	Isotrópica	1 - 4	Srp (97,0); Mag (1,5); Tlc (1,0); Chr (<0,5)
1361091	Granular	Maciça	Cinza-escuro a esverdeada	Fina	Sim	0,1	Granoblástica	Porfiritica com Opx poiquilitico	Isotrópica	0,8	Opx (96,0); Flg (3,0); Ol (1,0); Chr (<0,5)
1361095	Granular	Maciça	Cinza-escuro a preto	Média	Sim	1,14	Granoblástica	Adcumulática	Anisotrópica	2	Srp (95,0); Tlc (3,0); Mag (1,5); Chr (<0,5)
1361097	Afanítica	Brechada	Cinza-claro a branco	Densa	Sim	0,25	Decussada a fibro-radiada	-	Anisotrópica	2	Tr (73,5); Tlc (15,0); Qtz (4,0); Bt (1,5);
1361096	Afanítica	Milonítica	Cinza-escuro	Densa	Não	1,94	Milonítica	-	Anisotrópica	<1	Hbl (45,0); Tr (32,0); Pl (15,0); Bt (4,0); Mag (3,0); Qtz (1,0)

PROTÓLITOS:

- DUNITO
- HARZBURGITO
- ORTOPIROXÊNITO
- BASALTO
- BASALTO

AMOSTRAS DO CORPO METAULTRAMÁFICO DA SERRA DO JACARÉ

DUNITO

Dunito adcumulático com pseudomorfos de serpentina, a qual substituiu os cristais de olivina que constituía a fase cumulática. Os interstícios são ocupados por cristais irregulares a granulares de cromita e magnetita, ou por pseudomorfos de serpentina que substituíram o ortopiroxênio intersticial.

LUZ TRANSMITIDA

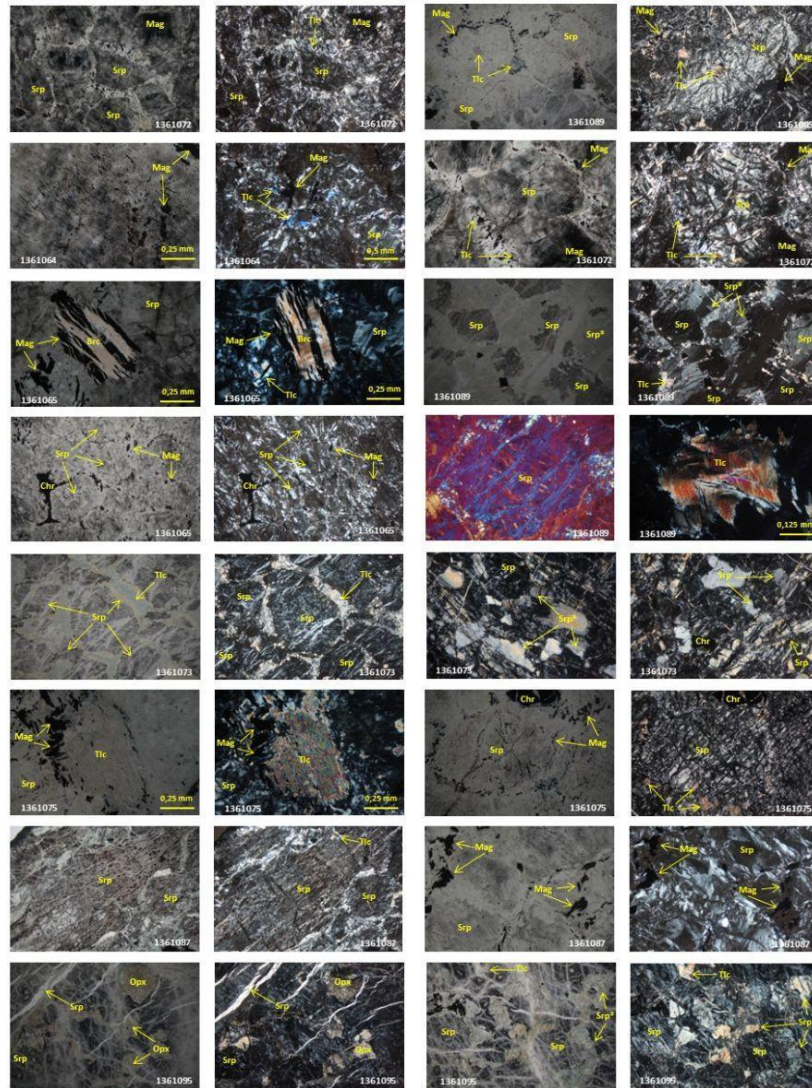
NICÓIS

DESCRUZADOS

CRUZADOS

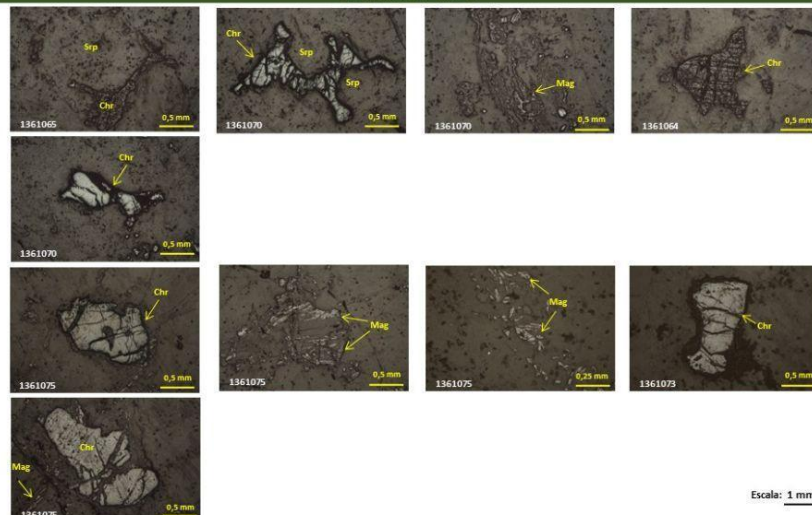
DESCRUZADOS

CRUZADOS



Srp* = Serpentina proveniente da alteração do Opx.

LUZ REFLETIDA



ISOTRÓPICO

ANISOTRÓPICO

ISOTRÓPICO

ANISOTRÓPICO

Escala: 1 mm

Caixa: 10

Profundidade da amostra: de 28,10 até 28,30 m

Descrição macroscópica: A rocha apresenta uma coloração cinza-escuro a preto e exibe uma estrutura isotrópica/maciça e textura granoblástica, inequigranular de granulação média. A rocha apresenta-se com forte magnetismo ($46,80 \times 10^{-3}$ SI), comparado com o intervalo de suscetibilidade magnética obtida para os litotipos ultramáficos do Corpo Metaultramáfico da Serra do Jacaré (CMSJ) ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI), e seccionada por um veio centimétrico de cor bege-escuro e por microvênulas preenchidas por material esbranquiçado (crisotila?).

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: Rocha com estrutura isotrópica e textura granoblástica, inequigranular polygonizada a arredondada, de granulação fina a média ($<1 - 8$ mm), com os contornos dos antigos cristais de olivina substituídos pela serpentina. A textura ígnea adcumulática está preservada por pseudomorfos de serpentina em olivina. A rocha é composta predominantemente por serpentina e, subordinadamente, por talco, magnetita e cromita.

Composição modal estimada:

Serpentina	91%
Magnetita	7,0%
Talco	1,5 %
Cromita	<0,5%

Descrições e relações dos minerais:

Serpentina (Srp): Os pseudomorfos são irregulares a arredondados com dimensão média de 3,4 mm (máximo de 8 mm). A serpentina de textura *mesh* é o principal mineral de alteração observado que substituiu a olivina e alguns poucos cristais de ortopiroxênio intersticial (intercúmulus). O contato entre os pseudomorfos é indistinto a irregular, sendo delimitado pela presença de outros minerais, como serpentina, talco, magnetita e, por vezes, cromita. Os pseudomorfos apresentam um aspecto “sujo”, devido a coloração acastanhada e pela alta concentração de magnetita microgranular em seu interior. Os núcleos das texturas *mesh* são

constituídos por serpentina (associada a brucita?), a qual ocorre com o comportamento óptico quase isotrópico. A serpentina que constitui as cordas apresenta extinção ondulante, característica que indica hábito fibroso, estas fibras são perpendiculares (*cross-fiber*) em relação ao comprimento das cordas. Se caracterizam como serpentina- α devido a elongação negativa das fibras. Alguns pseudomorfos apresentam um paralelismo das cordas, até um estiramento, mesmo entre pseudomorfos diferentes.

MAGNETITA (Mag): A magnetita possui granulação fina a muito fina e está principalmente associada à serpentina. Os cristais de magnetita estão ocupando o interior e os contornos dos pseudomorfos com um aspecto pulverulento se comparado com os cristais que ocorrem dispersos na rocha, os quais são anhedrais e se encontram preenchendo os espaços intersticiais e fraturas dos mesmos. A magnetita também é responsável por demarcar uma anisotropia no interior dos pseudomorfos, a qual constitui trilhas e ocorre com hábito acicular. Também se encontram nos planos de clivagem dos cristais de talco e preenchendo as paredes de algumas microvênulas.

TALCO (Tlc): Cristais de talco ocorrem com hábito lamelar e granulometria fina (média 0,2 mm). Podem ser observadas bordejando e ocupando os espaços intersticiais dos pseudomorfos. Os cristais apresentam um pleocroísmo discreto verde-claro e, a nicóis cruzados, uma cor de interferência azul. Alguns cristais apresentam cores de interferência maiores.

CROMITA (Chr): Os cristais de cromita possuem formas irregulares, anhedrais, com dimensão aproximada de 0,3 mm. Localizam-se nos espaços intersticiais dos pseudomorfos (fase cúmulus) e apresentam-se fraturados e bordejados por talco e serpentina.

MICROVÊNULAS: As microvênulas possuem dimensões variáveis (média de 0,2 x 3,5 mm) e são constituídas por serpentina (crisotila?). Algumas aparentam birrefringência amarelo-alaranjada, chegando à rosa (talco?), e parece preencher as microvênulas paralelamente a direção de maior comprimento, com hábito placóide. As paredes de algumas microvênulas são preenchidas por magnetita.

Classificação da rocha: Metadunito isotrópico, adcumulático de granulação fina a média.

Caixa: 18

Profundidade da amostra: de 58,65 até 58,85 m

Descrição macroscópica: Rocha compacta de coloração cinza-escuro a preto, com textura granular média (1 - 5 mm). A rocha apresenta-se com forte magnetismo ($44,80 \times 10^{-3}$ SI), se comparada com os valores de suscetibilidade magnética obtidos para o grupo amostral de litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI), e ocorrem poucas microvênulas preenchidas por material de cor esbranquiçado (crisotila?).

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: A rocha possui estrutura isotrópica e textura granoblástica equigranular. A textura pretérita adcumulática de grãos médios encontra-se preservada. A mineralogia principal é composta por serpentina e, como minerais acessórios, ocorrem talco, magnetita e cromita.

Composição modal estimada:

Serpentina 90,3%

Magnetita 7%

Talco 2%

Cromita 0,7%

Descrições e relações dos minerais:

SERPENTINA (Srp): Os cristais de serpentina se adaptaram ao formato dos antigos cristais de olivina. Os pseudomorfos são anhedrais, irregulares a arredondados, além de estarem bastante fraturados e apresentarem um aspecto “sujo”, consequência da geração de magnetita microgranular associados à serpentina. As fraturas dos pseudomorfos são preenchidas por serpentina- α , a qual possui hábito fibroso, granulação fina e se desenvolveram perpendicularmente às paredes (*cross-fiber*), o que caracteriza a textura *mesh*. Em alguns pseudomorfos ocorre a textura *hourglass*, típica de lizardita e crisotilo, porém ambas as texturas pseudomórficas já estão mal preservadas. As cores de interferência da serpentina

estão variando entre cinza claro e preto (quase isotrópica). O contato com outros cristais é indistinto.

MAGNETITA (Mag): Os cristais de magnetita são de granulação fina, anhedrais e estão associados aos cristais de serpentina. Ocorrem no interior e nos contornos dos pseudomorfos, além de preencherem algumas microvênulas. Pode ser encontrada nas clivagens dos cristais de talco e preenchendo as paredes de vênulas.

TALCO (Tlc): O talco ocorre como partículas finas subhedrais, com hábito lamelar, de granulação fina (0,1 até 0,4 mm) e ocupando o entorno dos pseudomorfos de olivina. Nos maiores cristais assinala-se a presença de magnetita preenchendo as suas clivagens. Os cristais de talco apresentam-se com um leve pleocroísmo discretamente esverdeado, relevo baixo a moderado e com cores de interferência anômalas de 0,020 (azul). Por vezes, sua extinção é ondulante. Também ocorrem cristais com alta birrefringência. O contato com outros minerais é retilíneo à irregular.

CROMITA (Chr): Os cristais de cromita representam a fase cúmulus e são caracterizados como anhedrais com dimensão média de 1,3 mm. Localizam-se nos espaços intersticiais dos pseudomorfos de olivina, estão fraturadas e com as bordas corroídas. São bordejadas por cristais de talco e serpentina.

MICROVÊNULAS: As vênulas têm as suas paredes preenchidas por magnetita e seu interior constituído por mineral incolor, relevo baixo a moderado, extinção ondulante, birrefringência baixa (cinza) e elongação positiva (serpentina- γ ?), outras são preenchidas totalmente por magnetita.

Classificação da rocha: Metadunito isotrópico, adcumulático de granulação média.

Caixa: 24

Profundidade da amostra: de 84,60 até 84,90 m

Descrição macroscópica: Rocha granular, de coloração cinza-escuro a preto, aproximadamente equigranular com granulação média (1 – 5 mm), estrutura isotrópica/maciça. A rocha se apresenta com forte magnetismo ($58,40 \times 10^{-3}$ SI), dentro do intervalo de valores obtidos para os litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI).

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: A rocha possui estrutura isotrópica e textura granoblástica, equigranular de granulação predominante média (1- 6 mm). A textura ígnea adcumulática média está preservada na rocha. A mineralogia principal da rocha é constituída por serpentina e, subordinadamente, por talco, cromita e magnetita, a brucita ocorre como traço.

Composição modal estimada:

Serpentina	93%
Magnetita	4,5%
Talco	1,5%
Cromita	<0,5
Brucita	<0,5%

Descrições e relações dos minerais:

SERPENTINA (Srp): A serpentina pseudomórfica substituiu os cristais de olivina, os quais constituíam a antiga fase cúmulus da rocha. Os pseudomorfos são irregulares a arredondados, com granulação média de 2 mm e estão bastante fraturados, além de apresentarem um aspecto “sujo” amarronzado. A nicóis descruzados é bem difícil distinguir os contornos dos pseudomorfos, só é possível pela presença nas bordas dos cristais de talco, magnetita e, às vezes, cromita. A serpentina é incolor, possui relevo baixo e birrefringência que varia de cinza a preto. Apresenta as texturas pseudomórficas *mesh* e *hourglass* (ampulheta), a partir do desenvolvimento de serpentina- α com extinção ondulante, hábito fibroso perpendicular às

fraturas dos pseudomorfos (*cross-fiber*), porém estão mal preservadas, tendendo a uma massa serpentínica. Grãos microgranulares de magnetita ocupam o interior e as fraturas dos pseudomorfos. O contato com outros minerais é indistinto.

MAGNETITA (Mag): Os cristais de magnetita possuem uma granulação fina a muito fina, são anhedrais e estão associados aos cristais de serpentina, onde ocorrem com um aspecto pulverulento, e ao talco, ocupando suas clivagens. Também ocorrem nos contornos e nas fraturas dos pseudomorfos e preenchendo as paredes de algumas vênulas.

TALCO (Tlc): Os cristais de talco ocorrem como partículas finas subhedrais, de hábito micáceo, nos espaços intersticiais deixados pelos pseudomorfos. Sua granulometria é, em sua maioria, fina (0,1 até 0,3 mm). Possuem relevo baixo a moderado, extinção reta, sinal de alongação positivo. Os cristais de talco possuem cores de interferência anômalas de 0,020 (azul). Também apresenta cristais com alta birrefringência. Nos maiores cristais assinala-se a presença de magnetita preenchendo as suas clivagens. O contato com outros minerais é retilíneo à irregular.

CROMITA (Chr): Os cristais de cromita compõem a fase cúmulus da rocha e são caracterizados como anhedrais, irregulares, com dimensão média de 1,5 mm. Localizam-se nos espaços intersticiais dos pseudomorfos, estão fortemente fraturadas e com as bordas corroídas. São bordejadas por cristais de talco e serpentina.

BRUCITA (Brc): Os cristais de brucita são incolores, sem pleocroísmo, relevo moderado, hábito micáceo e dimensão média de 1,9 mm. A nicóis cruzados possuem extinção mosqueada, sinal de alongação negativo e cor de interferência laranja (0,014). Cristais de magnetita estão preenchendo suas clivagens.

Classificação da rocha: Metadunito isotrópico, adcumulático de granulação média.

Caixa: 55

Profundidade da amostra: de 199,45 até 199,65 m

Descrição macroscópica: Rocha de estrutura isotrópica/maciça e textura granular equidimensional, com granulação média e coloração variando entre cinza-escuro a preto. A rocha apresenta-se com magnetismo forte ($50,60 \times 10^{-3}$ SI), quando comparado com o grupo amostral de litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI), e com várias microvênulas de comprimento milimétrico preenchidas por material de cor esbranquiçada (serpentina?).

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: A rocha apresenta uma estrutura isotrópica e textura granoblástica, equigranular média (1 - 4 mm). A textura ígnea adcumulática média encontra-se preservada. A mineralogia principal da rocha é composta por serpentina e, subordinadamente, por talco, magnetita e cromita.

Composição modal estimada:

Serpentina 91,5 %

Magnetita 6,5 %

Talco 1,5 %

Cromita <0,5%

Descrições e relações dos minerais:

SERPENTINA (Srp): A serpentina se desenvolve sobre os cristais de olivina, o que dá origem aos pseudomorfos, os quais se encontram mal preservados, constituindo quase que uma massa “serpentinítica”. Não há a preservação de olivina. O limite dos pseudomorfos só é visível pela presença de talco e magnetita nas bordas. A nicóis descruzados, apresentam um aspecto “sujo” de cor castanho pálido tendendo a marrom claro. A serpentina apresenta textura *mesh* alterada, as cordas são constituídas por serpentina- α , enquanto os núcleos já não estão mais preservados. É possível a visualização restrita de alguns pseudomorfos

apresentando a textura *hourglass*. Os cristais de magnetita associados à serpentina são microgranulares e ocorrem concentrados dentro dos pseudomorfos. O contato com outros cristais é irregular a indistinto.

A serpentina também ocorre como produto da alteração de cristais de ortopiroxênio. Estes ocupavam os espaços intersticiais dos pseudomorfos, com formas anhedrais e granulação média. O contato é irregular à indistinto.

MAGNETITA (Mag): Os cristais de magnetita são de granulação fina, anhedrais, e estão associados tanto aos cristais de serpentina, nos contornos e nas fraturas dos pseudomorfos, quanto aos cristais de talco, nestes estão preenchendo suas clivagens. Também ocorre preenchendo as paredes de vênulas.

TALCO (Tlc): O talco ocorre como pequenos cristais nas bordas dos pseudomorfos de olivina. São cristais subhedrais, com hábito micáceo de granulometria fina a muito fina (0,1-1 mm). Alguns cristais de magnetita ocorrem preenchendo as suas clivagens. Os cristais possuem um pleocroísmo discreto com cor verde pálido. A nicóis cruzados apresentam cores de interferência anômalo (azul). O contato é poligonal.

CROMITA (Chr): Os cristais de cromita apresentam textura cataclástica, fragmentados, com dimensão média de 1 mm. Ocupam os espaços entre os pseudomorfos (cúmulus). Alguns cristais apresentam as bordas corroídas. São bordejadas por cristais de talco e serpentina.

Classificação da rocha: Metadunito isotrópico, adcumulático de granulação média.

Caixa: 66

Profundidade da amostra: de 242,05 até 242,20 m

Descrição macroscópica: Rocha de estrutura isotrópica/maciça e textura granular de grãos equidimensionais médios e coloração cinza-escuro a preto. A rocha apresenta-se com magnetismo forte ($43,00 \times 10^{-3}$ SI), se comparado com os valores obtidos para grupo amostral de litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI), e com um única vênula preenchida por material de cor esbranquiçada (serpentina?).

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: a rocha apresenta uma textura geral granoblástica, a qual indica a substituição da textura ígnea adcumulática, e uma estrutura isotrópica/maciça, porém em alguns pseudomorfos foi observada uma anisotropia marcada por cristais acicular de magnetita constituindo trilhas no interior dos mesmos. A composição mineralógica principal da rocha é composta por serpentina, enquanto os minerais acessórios são talco, magnetita e cromita.

Composição modal estimada:

Serpentina	91,5 %
Magnetita	6,5 %
Talco	1,5 %
Cromita	<0,5%

Descrições e relações dos minerais:

Serpentina (Srp): Os pseudomorfos de olivina são caracterizados pelo formato irregular a tabular, por uma aparência “suja” de coloração marrom pálido a escuro, subhedrais de dimensões médias entre 0,4 até 6 mm e a serpentina que os compõem desenvolve-se com a textura *mesh*. A textura *mesh* apresenta núcleos constituídos por serpentina, não há a preservação de olivina. As cordas são constituídas por serpentina- α , a qual possui extinção ondulante, indicando hábito fibroso, estas são perpendiculares às paredes dos núcleos

(*cross-fiber*), as dimensões podem alcançar 0,15 x 2,5 mm. Em alguns pseudomorfos ocorre a textura pseudomórfica *hourglass*. A serpentina que está ocupando o interstício entre os pseudomorfos possui a forma de placas e fibras subhedrais com granulometria fina a muito fina e apresentam extinção ondulante. Os cristais de serpentina têm um comportamento óptico quase isotrópico nos núcleos e possuem uma elevada concentração de cristais microgranulares de magnetita com aspecto terroso, quando comparada aos cristais que estão no contato entre os pseudomorfos. O contato entre os pseudomorfos é indistinto, o que dificulta a individualização dos mesmos, porém podem ocorrer cristais de serpentina, talco e magnetita que contribuem para delimitá-lo.

A serpentina também ocorre substituindo alguns cristais de ortopiroxênio que ocupavam os interstícios.

MAGNETITA (Mag): Os cristais de magnetita são anhedrais e estão associados à serpentina, em pequenos grãos ao redor dos pseudomorfos. Também ocorrem preenchendo a clivagem dos cristais de talco.

TALCO (Tlc): Os cristais de talco ocorrem nos contatos dos pseudomorfos com hábito micáceo, subhedrais com dimensões bastante variável, porém, em quantidade, predominam cristais de tamanho muito fino (< 1 mm). Na lâmina, ocorrem cristais com relevo baixo a moderado, com pleocroísmo incolor a verde pálido, extinção paralela (alguns cristais revelam extinção ondulante), alongação positiva, cor de interferência anômala (azul). Também ocorrem cristais com cores de interferência alta e extinção mosqueada. Alguns cristais mostram pontos alinhados com a sua clivagem com cores de interferência amareladas. O contato com outros minerais é retilíneo à irregular.

CROMITA (Chr): Os cristais de cromita possuem formas anhedrais e estão bastante fraturados e medem de 0,2 até 0,7 mm e encontram-se ocupando os interstícios entre os pseudomorfos (fase cúmulus).

Classificação da rocha: Metadunito isotrópico, adcumulático de granulação média.

Caixa: 74

Profundidade da amostra: de 272,40 até 272,55 m

Descrição macroscópica: Rocha de coloração cinza escura a preto, equigranular com granulação variando dentro do intervalo médio (1 - 6 mm), estrutura isotrópica/maciça e textura granular. A rocha apresenta-se com forte magnetismo ($42,60 \times 10^{-3}$ SI), comparado com variação do grupo amostral de litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI), e com algumas vênulas preenchidas por material de cor esbranquiçada (serpentina?).

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: a rocha possui estrutura anisotrópica marcada por uma grande concentração magnetita microgranular que constituem bandas, as quais revelam um bandamento incipiente, além de constituírem também trilhas no interior dos pseudomorfos com hábito acicular. A textura geral da rocha é granoblástica. Pode-se observar também a textura adcumulática ígnea preservada. A mineralogia da rocha é composta principalmente por serpentina e, subordinadamente, por talco, magnetita e cromita.

Composição modal estimada:

Serpentina	94%
Magnetita	4,5%
Talco	1%
Cromita	<0,5%

Descrições e relações dos minerais:

SERPENTINA (Srp): Os cristais de olivina foram completamente alterados pela serpentinização, o qual deu origem a serpentina pseudomórfica. Os pseudomorfos são irregulares a tabulares com dimensões variando dentro do intervalo médio entre 1 a 6 mm, apresentam um aspecto “sujo” e os cristais de serpentina que os compõem organizam-se com textura *mesh* e, subordinadamente, *hourglass*. O contato entre os pseudomorfos são regiões onde ocorre a descaracterização da textura *mesh*, diminuição e/ou ausência dos cristais de

magnetita. Alguns pseudomorfos foram completamente substituídos por magnetita, outros apenas parcialmente, o que demarca um bandamento. Os núcleos da textura *mesh* são constituídos por serpentina e, por vezes, aparecem alongados. As cordas possuem dimensões médias de 0,2 x 0,5 mm, e são formadas por serpentina- α com orientação *cross-fiber*. Vale notar que, as cordas desta textura estão mais alongadas na mesma direção do bandamento dos cristais de magnetita. A serpentina nos núcleos têm comportamento óptico quase isotrópico e possuem uma elevada concentração de cristais de magnetita muito finos. A serpentina também é responsável por preencher vênulas com dimensões médias de 0,12 x 2 mm. A serpentina possui cores de interferência que varia desde 0,001 a 0,008. O contato entre os pseudomorfos é irregular à indistinto, porém nestes locais pode haver outros minerais que auxiliam na distinção.

A serpentina aparece substituindo os cristais de ortopiroxênio que ocorrem nos espaços intersticiais e formando coroas em torno de alguns pseudomorfos. São anhedrais e possuem dimensão média de 1 mm.

A brucita com hábito fibroso parece estar associada com a serpentina em alguns núcleos e cordas da textura *mesh*.

MAGNETITA (Mag): A magnetita é de granulação fina a muito fina e está associada à serpentina. A magnetita ocorre disseminada em grãos finos pela rocha, os quais se mobilizam e se aglutinam para formar bandas sobre os pseudomorfos ou mesmo com forma alongada. Também ocorre grãos associados ao talco.

TALCO (Tlc): O talco apresenta cristais com formas subhedrais e hábito micáceo com dimensões que variam de 0,1 até 2 mm. Ocorrem no entorno dos pseudomorfos e preenchendo os interstícios como uma matriz muito fina. É comum observar a concentração de cristais de talco. A nicóis descruzados são incolores a verde-pálidas e a nicóis cruzados possuem extinção reta, alongação positiva e cor de interferência anômala (azul). Contatos com outros minerais é poligonal à irregular. Alguns cristais de talco mostram pontos alinhados com a sua clivagem com cores de interferência amareladas (alteração). Nos cristais maiores assinala-se a presença de magnetita preenchendo as suas clivagens.

CROMITA (Chr): Os cristais de cromita possuem formas irregulares, anhedrais, com dimensão média de 0,7 mm. Localizam-se nos contatos entre os pseudomorfos e se encontram fraturadas, às vezes, com as bordas corroídas.

Classificação da rocha: Metadunito anisotrópico, adcumulático de granulação média.

Caixa: 81

Profundidade da amostra: de 298,05 até 298,25 m

Descrição macroscópica: Rocha de coloração cinza-escuro a preto, equigranular média. Em certa porção da amostra é possível observar um bandamento composicional marcado por magnetita. A rocha apresenta-se com forte magnetismo ($64,10 \times 10^{-3}$ SI), quando comparado com o grupo amostral de litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI), e vênulas centimétricas preenchidas por um material mais escuro.

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: A rocha possui uma estrutura anisotrópica marcada pelo desenvolvimento de um bandamento composicional evidenciado pela magnetita microgranular, o qual deixa os pseudomorfos com uma aparência mais escura próximo ao bandamento, além dos cristais aciculares orientados no interior de alguns pseudomorfos. A textura da rocha é pseudomórfica, porém ainda é possível perceber a textura ígnea adcumulática média, mesmo estando mal preservada. A rocha aparenta ser constituída por uma massa fina serpentínica, uma vez que os pseudomorfos já não possuem os seus limites definidos, ou seja, estão mal preservados. Algumas vênulas que cortam a rocha possuem comprimento variável e largura de até 0,2 mm e são preenchidas por serpentina e magnetita.

Composição modal estimada:

Serpentina 94,5%

Magnetita 3,5%

Talco 1,5%

Cromita <0,5%

Descrições e relações dos minerais:

SERPENTINA (Srp): Os cristais de olivina foram totalmente alterados para serpentina. Os pseudomorfos são irregulares e possuem tamanho médio de 2,4 mm, medidos pela presença de outros minerais no contato. Os cristais de serpentina que os constitui desenvolvem-se com

textura *mesh* e *hourglass*. Tanto os núcleos como as cordas são constituídos por serpentina, no entanto, a textura *mesh* é muito fragmentada, mal preservada. As cordas são caracterizadas como *cross-fiber* e estão alongadas segundo uma direção preferencial (aparenta ser serpentina – α). Alguns núcleos aparecem alongados, principalmente os que ocorrem próximos ao bandamento constituído pela magnetita. Em alguns pseudomorfos, a serpentina possui comportamento óptico quase que isotrópico. A serpentina também constitui alguns interstícios com hábito fibroso e granulometria fina. Cristais de magnetita ocorrem disseminados no interior e ocupando as fraturas dos pseudomorfos, também ocorrem alguns cristais de talco. O contato entre os pseudomorfos é indistinto.

A serpentina também é responsável pela substituição dos cristais de ortopiroxênio, a qual adquire a sua forma, ou seja, subhedral, hábito prismático, e com granulação média de 2 mm. Os cristais microgranulares de magnetita também ocorrem no interior desses cristais substituídos, com hábito acicular e constituindo trilhas. O contato com outros minerais é irregular à indistinto.

MAGNETITA (Mag): A magnetita ocorre como pequenos cristais anhedrais associados principalmente ao talco, ocupando os planos de clivagem. Também ocorre com aspecto pulverulento preenchendo as fraturas e ocupando o entorno dos pseudomorfos. Ocorre com formas estiradas ocupando as vênulas.

TALCO (Tlc): Os cristais de talco são subhedrais com granulação variando entre muito fina a média (< 0,1 até 1,4 mm). Possuem extinção paralela, pleocroísmo em tons de verde-pálido e cor de interferência anômala (azul), também ocorrem cristais com altas cores de interferência. Cristais de magnetita ocorrem preenchendo as suas clivagens. Em alguns cristais ocorre uma concentração de microfragmentos de cristais marrom-alaranjados (alteração? Óxido de ferro?). O contato com outros minerais é preferencialmente retilíneo.

CROMITA (Chr): Os cristais de cromita ocorrem com formas subhedrais a anhedrais com dimensão média 1 mm. Encontram-se fraturadas e com as bordas corroídas. São bordejados por serpentina e talco.

Classificação da rocha: Metadunito anisotrópico, adcumulático de granulação média.

Caixa: 111

Profundidade da amostra: de 411,25 até 411,50 m

Descrição macroscópica: Rocha de textura granular, de cor cinza-escuro a preto, equigranular com granulação média (1 - 5 mm), estrutura isotrópica/maciça. A rocha apresenta-se com magnetismo moderado ($36,10 \times 10^{-3}$ SI), quando comparado com os valores de suscetibilidade magnética para grupo amostral de litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI), e com uma série de vênulas centimétricas preenchidas por um material esbranquiçado (serpentina?).

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: A rocha apresenta-se com estrutura anisotrópica e textura granoblástica equigranular discretamente alongada, de granulação média. A mineralogia principal é formada por serpentina, talco, magnetita e cromita. A rocha é seccionada por uma série de vênulas de mesma direção.

Composição modal estimada:

Serpentina	92,5%
Magnetita	7,5%
Talco	1,5%
Cromita	0,5%

Descrições e relações dos minerais:

SERPENTINA (Srp): Os pseudomorfos apresentam-se com formas distintas, desde formas irregulares a arredondadas e tabulares alongados com dimensões médias de 2,5 x 4 mm (máximo de 6 mm) e os cristais de serpentina que os constitui se organizam como textura *mesh*. O contato entre os pseudomorfos é indistinto, ocorre uma descaracterização da textura *mesh*, porém podem ocorrer nestes locais cristais de serpentina, talco e magnetita. Os pseudomorfos apresentam um aspecto “sujo”, amarronzado. Os núcleos da textura *mesh* são constituídos por serpentina, a qual, em alguns pseudomorfos, chega a ser quase isotrópica. As

cordas são responsáveis por evidenciar uma anisotropia, pelo fato de estarem alongadas preferencialmente segundo a direção das microvênulas e, em média, possuem 0,3 mm de largura e o comprimento varia com a dimensão do pseudomorfo. A serpentina que constitui as cordas é *cross-fiber* e simula ser do tipo- α . Há uma grande quantidade de cristais de magnetita, de granulação muito fina, ocupando o interior das cordas e dos pseudomorfos, no geral.

MAGNETITA (Mag): Os cristais de magnetita são anhedrais e de granulação fina, os quais estão disseminados pela rocha. Os cristais de magnetita que estão associados a serpentina ocorrem com um aspecto “terroso”, grãos muito finos concentrados no interior dos pseudomorfos e ocupando preferencialmente o trajeto das cordas. Os que ocupam o entorno são maiores e anhedrais. A magnetita também é responsável por demarcar uma anisotropia no interior dos pseudomorfos, como que constituindo trilhas. Também são responsáveis por preencher microvênulas segundo a mesma direção (paralelas). Nas fraturas ocorrem como grãos bastante estirados e alinhados e como grãos finos alinhados, constituindo quase que um bandamento.

TALCO (Tlc): Os cristais de talco ocorrem como pequenos agregados de cristais em torno dos pseudomorfos. Os pequenos cristais são subhedrais a anhedrais com granulação fina (0,1 a 1 mm). A nicóis descruzados, alguns cristais apresentam um pleocroísmo verde-pálido. A nicóis cruzados, apresentam principalmente cor de interferência anômala (azul). Em alguns cristais maiores de talco é possível observar cristais de magnetita ocupando as suas clivagens. O seu contato é retilíneo à irregular.

CROMITA (Chr): Os cristais de cromita possuem formas subhedrais e anhedrais, com dimensões médias de 0,5 mm. Possuem bastante fraturas e encontra-se ocupando os espaços entre os pseudomorfos (fase cúmulus).

Classificação da rocha: Metadunito anisotrópico, adcumulático de granulação média.

Caixa: 122

Profundidade da amostra: de 445,80 até 456,00 m

Descrição macroscópica: Rocha equigranular com granulação média (1 - 4 mm), de cor cinza-escuro a preto, estrutura isotrópica/maciça. A rocha apresenta-se com fraco magnetismo ($3,55 \times 10^{-3}$ SI), dentro do grupo amostral de litotipos ultramáficos do CMSJ (0,10 a $64,10 \times 10^{-3}$ SI), e com algumas vênulas centimétricas preenchidas por um material esbranquiçado (serpentina?).

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: A rocha possui estrutura isotrópica e textura granoblástica, com textura ígnea adcumulática preservada. A mineralogia principal da rocha é constituída por serpentina e, subordinadamente, por talco, cromita e magnetita. As vênulas são preenchidas por serpentina (hábito fibroso, relevo e birrefringência baixa).

Composição modal estimada:

Serpentina	97 %
Talco	1 %
Magnetita	1,5 %
Cromita	<0,5%

Descrições e relações dos minerais:

SERPENTINA (Srp): Os pseudomorfos de olivina são caracterizados com formato irregular a tabular, com dimensão média de 2,2 mm. A serpentina que os constitui organiza-se com textura *mesh* e, subordinadamente, *hourglass*. O contato entre os pseudomorfos são regiões onde ocorre a descaracterização da textura *mesh*, diminuição ou ausência de magnetita. Os pseudomorfos apresentam um aspecto “sujo”. Os núcleos da textura *mesh* são constituídos por serpentina. As cordas estão preenchidas perpendicularmente por serpentina- α (*cross-fiber*). Esta apresenta-se alterada devido ao fato de haver um aumento das cordas em algumas amostras, no mesmo sentido das principais vênulas, isto é, há um paralelismo ainda em

desenvolvimento. Os cristais de serpentina nos núcleos possuem comportamento óptico quase isotrópico e uma elevada concentração de magnetita. Devido à alta alteração dos pseudomorfos, estes demonstram uma textura fantasma a nicóis descruzados. Ainda com os nicóis descruzados, a serpentina apresenta uma cor amarelo-pálido nos interstícios entre os pseudomorfos. O contato com outros minerais é irregular a indistinto.

A serpentina também ocorre como finos cristais fibrosos, anhedrais, com dimensões inferiores a 0,5 mm, a qual constitui uma massa densa de cristais nos interstícios. A nicóis descruzados, os cristais de serpentina apresentam uma coloração verde pálida-amarelada e relevo baixo. A nicóis cruzados, alguns cristais possuem extinção ondulante e cores de interferência entre cinza a amarelo. O contato com outros cristais é principalmente irregular.

A serpentina também preenche as vênulas que seccionam a rocha. Nessas vênulas, a serpentina parece ter extinção paralela e são do tipo - γ (crisotilo?), algumas chegam a ter 10 mm de comprimento e 0,15 mm de largura.

A serpentina também ocorre como produto de alteração dos cristais de ortopiroxênio, os quais representavam a fase intercúmulus da rocha. Os pseudomorfos de ortopiroxênio são caracterizados como subhedrais a anhedrais com tamanho médio de 2,1 mm. Além da serpentinização, também sofreram um intenso processo de talcificação. À nicóis descruzados, aparentam uma coloração amarelada, em virtude da alteração pela serpentina, e relevo e birrefringência baixa. Alguns cristais possuem também extinção ondulante. O contato com outros minerais é retilíneo à irregular.

TALCO (Tlc): O talco ocorre com uma forma subhedral a anhedral, hábito lamelar, com tamanho médio de 0,3 mm. Ocorrem tanto no interior dos pseudomorfos de ortopiroxênio quanto ocupando os espaços entre os pseudomorfos de olivina. São incolores, possuem relevo baixo, extinção ondulante mosqueada e apresentam uma estrutura de *kink band* em alguns exemplares. O contato com outros cristais é retilíneo à irregular.

MAGNETITA (Mag): A magnetita ocorre como grãos minúsculos, muito finos, disseminados pela rocha e estão principalmente associados à serpentina.

CROMITA (Chr): Os cristais de cromita são subhedrais a anhedrais com granulação média de 0,6 mm. Os cristais encontram-se bastante fraturados, com as bordas corroídas e ocorrem

ocupando os interstícios deixados pelos pseudomorfos junto aos cristais de cristais de serpentina e talco. Alguns cristais ocorrem no interior de cristais de ortopiroxênio (textura poiquilítica).

Classificação da rocha: Metadunito isotrópico, adcumulático de granulação média.

Caixa: 135

Profundidade da amostra: de 501,50 até 501,70 m

Descrição macroscópica: Rocha granular de coloração cinza-escuro a preto, com granulação média. A rocha apresenta-se com fraco magnetismo ($1,14 \times 10^{-3}$ SI), dentro do grupo amostral de litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI), e seccionada por várias vênulas centimétricas.

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: A rocha possui estrutura anisotrópica e textura granoblástica-“*stockwork*”, equigranular de granulação média. O termo “*stockwork*” foi utilizado para descrever a textura entrelaçada desenvolvida pelas vênulas sobre pseudomorfos. A mineralogia da rocha é composta principalmente por serpentina.

Composição modal estimada:

Serpentina	95%
Talco	3%
Magnetita	1,5%
Cromita	<0,5%

Descrições e relações dos minerais:

SERPENTINA (Srp): Os pseudomorfos são arredondados a irregulares com dimensões médias de 2 mm e os cristais de serpentina que os constitui, organizam-se como textura *mesh* e *hourglass*. O contato entre os pseudomorfos não é possível de ser visualizado sem o cruzamento dos nicóis, uma vez que ocorre a descaracterização da textura *mesh*, diminuição da concentração de magnetita e devido a grande quantidade de vênulas que seccionam a rocha. Outros minerais que ocorrem nos entornos dos pseudomorfos permitem a sua delimitação. Os pseudomorfos apresentam um aspecto “sujo” pela grande quantidade de magnetita microgranular associados a serpentina. A rocha se caracteriza quase como uma “massa serpentínica”. Os núcleos da textura *mesh* são constituídos apenas por serpentina. As

cordas possuem como dimensões médias de 0,02 mm de largura e comprimento de acordo com o tamanho do pseudomorfo, e são formadas por serpentina do tipo- α com orientação *cross-fiber*.

É possível ver em alguns pseudomorfos auréolas de cristais de serpentina que substituíram cristais de ortopiroxênio (hiperstênio) que estavam ocupando os espaços intersticiais.

TALCO (Tlc): O talco ocorre como produto de alteração do ortopiroxênio e como pequenos agregados de cristais micáceos nos espaços deixados pelos pseudomorfos.

CROMITA (Chr): Os cristais de cromita são anhedrais com tamanho médio de 0,4 mm. Localizam-se nos interstícios dos pseudomorfos e estão fraturadas. São bordejadas por cristais de serpentina.

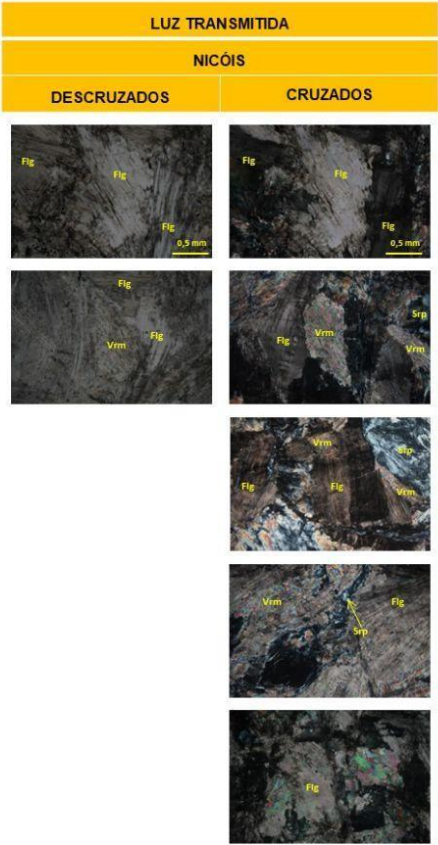
MAGNETITA (Mag): Os cristais de magnetita ocorrem sob a forma de grãos muito finos disseminados pela rocha, os quais estão associados com os pseudomorfos de serpentina.

MICROVÊNULAS: As vênulas possuem diversos tamanhos, desde 0,02 x 1 mm até 0,8 x 6 mm e são preenchidas por um material incolor, relevo baixo, extinção ondulante, birrefringência cinza (serpentina?).

Classificação da rocha: Metadunito anisotrópico, granoblástico-*stockwork* de granulação média.

AMOSTRAS DO CORPO METAULTRAMÁFICO DA SERRA DO JACARÉ

DUNITO COM VEIO DE FLOGOPITA	Metadunito isotrópico de granulação média seccionado por veio de flogopita. Alguns cristais de flogopita estão se alterando para vermiculita. Os espaços intersticiais são ocupados pela serpentina ou pela clorita.
------------------------------	--



ISOTRÓPICO

Escala: 1 mm

Caixa: 34

Profundidade da amostra: de 121,25 até 121,40 m

Descrição macroscópica: A rocha é marcada pela presença de um veio de flogopita cujo contato é abrupto com a rocha. A porção do veio é caracterizada por granulação média e estrutura maciça/isotrópica, constituída por cristais de hábito micáceo de cor cinza. A porção não seccionada pelo veio possui estrutura maciça/isotrópica e textura granular média. A rocha apresenta-se com suscetibilidade magnética fraca (7,23), dentro do grupo amostral de litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI).

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: A confecção da lâmina priorizou o material que ocorre preenchendo o veio. Neste caso, a rocha possui estrutura isotrópica (sem orientação) e textura granoblástica, equigranular serrilhada a retilínea de granulação média. A rocha é constituída predominantemente por flogopita.

Composição modal estimada:

Flogopita	93,5 %
Vermiculita	3%
Serpentina	2%
Talco	1%
Opacos	<0,5 %

Descrições e relações dos minerais:

FLOGOPITA: Os cristais de flogopita são subhedrais, possuem um hábito micáceo (escamoso), com pleocroísmo discreto de incolor a castanho pálido e com cores de interferência de terceira ordem. Possuem dimensão média de 2 mm. Ocorrem alguns cristais de minerais opacos (magnetita?) em seu interior. Alguns cristais de flogopita apresentam-se alterados para vermiculita. O contato com outros cristais é serrilhado à retilíneo.

SERPENTINA (Srp): A serpentina ocorre preenchendo as microvênulas que seccionam a rocha e ocupando os espaços intersticiais deixados pelos cristais de flogopita, além de estar associada ao talco. Seus cristais possuem um hábito fibroso e granulação fina.

TALCO (Tlc): Agregados fibrosos de granulação fina de talco ocorrem preenchendo espaços intersticiais, junto com a serpentina, deixados pelos cristais de flogopita. Os cristais são incolores, possuem relevo baixo e birrefringência cinza-azulado.

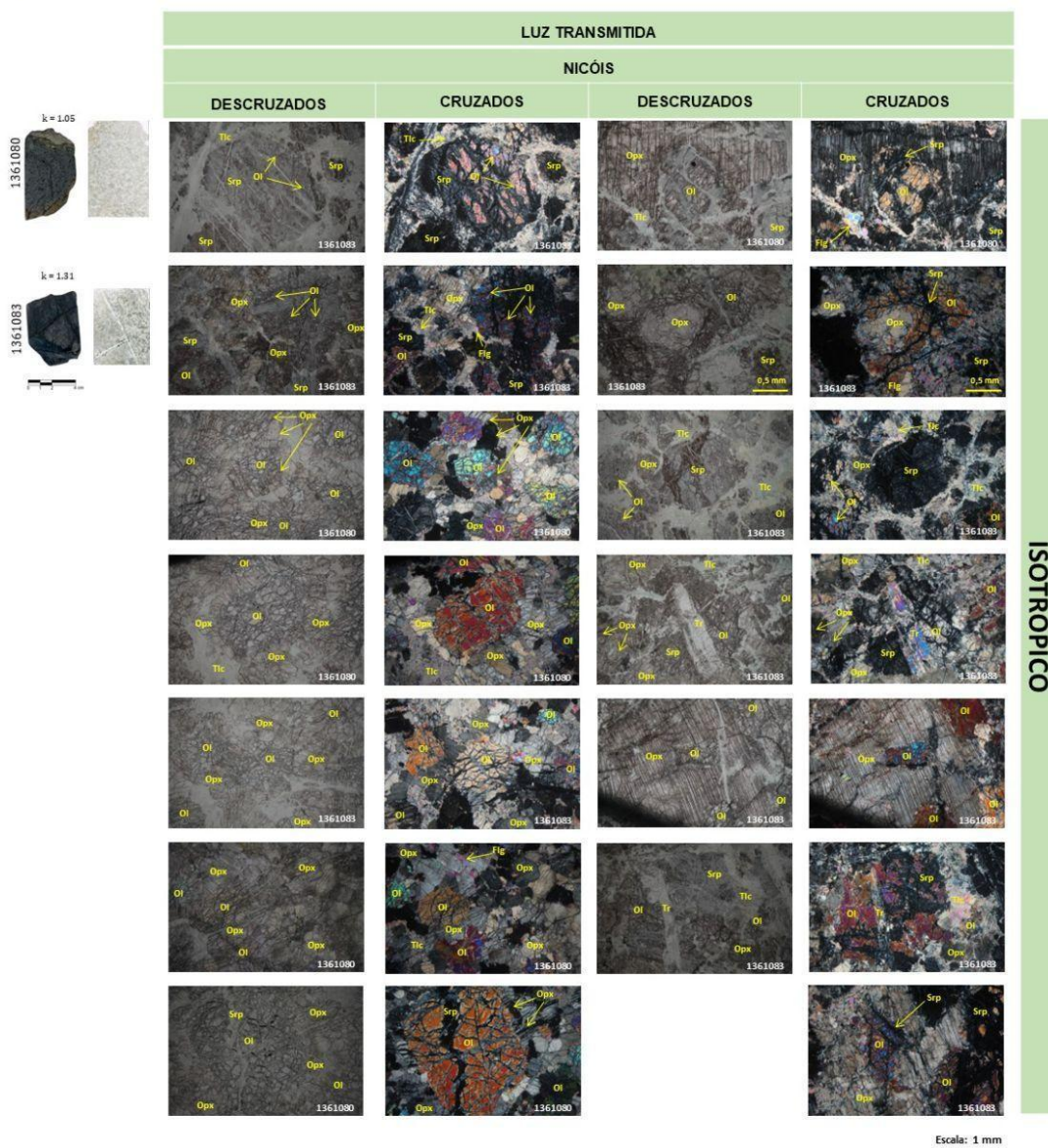
OPACOS: Grãos muito finos de opacos foram observados em luz refletida. Não sendo possível identificar suas propriedades.

Classificação da rocha: Metadunito isotrópico de granulação média seccionado por veio de flogopita

AMOSTRAS DO CORPO METAULTRAMÁFICO DA SERRA DO JACARÉ

HARZBURGITO

Harzburgito isotrópico, orto- a mesocumulático com granulação fina a média. A fase cumulus é representada pelos cristais de olivina e a intercumulus, por ortopiroxênio. Ocorrem alguns *oikocrists* de ortopiroxênio que englobam os cristais de olivina ou que formam coroaos entorno das mesmas (textura coronada).



Caixa: 96

Profundidade da amostra: de 356,25 até 356,50 m

Descrição macroscópica: Rocha de estrutura isotrópica/maciça e textura inequigranular com granulação variando entre fina à média, coloração cinza esverdeada. A rocha apresenta-se com fraco magnetismo ($1,05 \times 10^{-3}$ SI), quando comparado com o grupo amostral de litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI), e vênulas centimétricas preenchidas por um material escuro.

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: a rocha possui estrutura isotrópica (sem orientação) e textura granoblástica fina a média, a qual revela textura ígnea orto- a mesocumulática preservada. É possível observar a olivina com coroas e até mesmo incluída em *oikocristal* de ortopiroxênio, caracterizando textura poiquilítica. A mineralogia principal é formada por olivina, ortopiroxênio e, subordinadamente, por flogopita, talco e serpentina, a magnetita ocorre como traço. As vênulas são ocupadas por serpentina.

Composição modal estimada:

Olivina	56,5%
Ortopiroxênio	35%
Talco	3%
Serpentina	3%
Flogopita	2%
Magnetita	<0,5%

Descrições e relações dos minerais:

OLIVINA (Ol): Os cristais de olivina são tabulares a irregulares e possuem tamanho médio de 1,2 mm, relevo e birrefringência alta. A olivina está em processo de serpentinização a partir de suas fraturas, o que dá origem a textura *mesh* com núcleos bem preservados. Os cristais

próximos às vênulas estão em um estado mais avançado de alteração. A olivina também apresenta textura coronada e poiquilítica, incluída em *oikocristas* de piroxênios. Contato retilíneo a irregular com outros minerais.

ORTOPIROXÊNIO (Opx): Os cristais de ortopiroxênio (enstatita) são caracterizados como subhedrais a anhedrais, sendo aqueles predominantes. Possuem dimensão média de 1 mm. Os cristais de ortopiroxênio estão nos estágios iniciais dos processos de serpentinização e talcificação. Os ortopiroxênios constituem coroas nos cristais de olivina ou até mesmo englobando por completo os mesmos (textura poiquilítica). Alguns cristais de flogopita ocorrem no seu interior e nas bordas. O contato com outros cristais é retilíneo à irregular.

TALCO (Tlc): O talco apresenta-se na forma de massas de cristais anhedrais a subhedrais, sendo a dimensão dos cristais inferior a 0,1 mm. Alguns cristais se desenvolvem nos planos de clivagem dos cristais de ortopiroxênio. O talco pode ser produto de alteração.

SERPENTINA (Srp): A serpentina apresenta-se predominantemente incolor com baixa birrefringência, no entanto também é observada a espécie de cor verde-limão. As serpentinas magnesianas são incolores, à medida que aumenta o teor de Fe passam a leves cores de verdes e amarelo-esverdeado, com pleocroísmo pouco intenso. Ocorre como produto de alteração da olivina e dos piroxênios, com hábito fibroso e preenchendo microvênulas e fraturas perpendicularmente (*cross-fiber-serpentina* - α).

FLOGOPITA (Flg): A flogopita aparece como pequenos agregados de cristais subhedrais a anhedrais, de hábito lamelar e com dimensão média de 0,5 mm. Os cristais ocorrem nas bordas e no interior dos cristais de ortopiroxênio e, subordinadamente, nos de olivina. Alguns cristais ocorrem ocupando os interstícios junto ao talco. O contato é retilíneo.

MAGNETITA (Mag): Os cristais de magnetita são anhedrais, ocorrem com granulação muito fina e está associada a serpentina. Ocorre nas fraturas dos cristais de olivina junto a serpentina. Uma anisotropia é observada no interior dos cristais de olivina, marcada por cristais aciculares de magnetita que constituem trilhas, paralelas e orientadas.

Classificação da rocha: Metaharzburgito isotrópico, granoblástica de granulação fina a média.

Caixa: 104

Profundidade da amostra: de 384,15 até 384,35 m

Descrição macroscópica: Rocha inequigranular com granulação variando entre fina à média, cor preta, estrutura isotrópica/maciça. A rocha apresenta-se com fraco magnetismo ($1,31 \times 10^{-3}$ SI), se comparado com os valores dos litotipos ultramáficos pertencente ao CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI), e com uma série de vênulas centimétricas preenchidas por um material cinza-esbranquiçado (serpentina?).

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: a rocha possui uma estrutura isotrópica e textura orto- a mesocumulática preservada. A fase cúmulus é representada por cristais de olivina e a intercúmulus, por ortopiroxênio. A granulação dos minerais que a constitui é predominantemente média (1 até 4 mm). A mineralogia da rocha é composta por serpentina, ortopiroxênio, olivina, talco e, subordinadamente, por flogopita, tremolita, magnetita. Vale notar que, a rocha encontra-se seccionada por vênulas, as quais são preenchidas por serpentina. A rocha encontra-se bastante alterada por processos de talcificação e serpentinização.

Composição modal estimada:

Serpentina	41,5%
Ortopiroxênio	27%
Olivina	18%
Talco	7%
Magnetita	3,5%
Flogopita	2%
Tremolita	1%

Descrições e relações dos minerais:

SERPENTINA (Srp): Os cristais de hábito fibroso da serpentina ocorrem como produto de alteração da olivina e de cristais de ortopiroxênio. A serpentina ocorre constituindo microvênulas que seccionam a rocha. As serpentinas magnesianas são incolores. À medida que aumenta o teor de Fe passam a leves cores de verdes e amarelo-esverdeado, com pleocroísmo pouco intenso e birrefringência baixa. Preenchem as fraturas e planos de clivagens de alguns minerais, como olivina e ortopiroxênio, além de constituir uma massa densa entre os pseudomorfos.

ORTOPIROXÊNIO (Opx): Os cristais de ortopiroxênio (bronzita ou enstatita?) são subhedrais a anhedrais devido a intensa alteração. Possuem tamanho médio de 1,3 mm. Os cristais de ortopiroxênio estão muito fragmentados e sofrendo intensa talcificação e serpentinização. Há exemplos de alteração completa por serpentina. Alguns cristais apresentam textura poiquilítica ao englobar cristais de olivina, também ocorrem constituindo coroas em torno da mesma (textura coronada). Alguns cristais apresentam extinção ondulante. São incolores, possuem relevo moderado e birrefringência baixa. O contato é retilíneo à irregular.

OLIVINA (Ol): Os cristais de olivina estão parcialmente a totalmente serpentinizados. Os pseudomorfos de olivina são subhedrais a anhedrais com tamanho médio de 1,6 mm. Grande parte dos cristais estão sendo substituídos por serpentina, alguns exemplares já estão totalmente transformados, enquanto outros ainda preservam partes da olivina. A transformação está ocorrendo a partir das fraturas dos cristais, isto é, a serpentina está se desenvolvendo perpendicularmente às paredes das fraturas (*cross-fiber*), o que dá origem à chamada textura *mesh*. Os núcleos são constituídos por serpentina e olivina. As cordas são formadas por serpentina- α . É possível observar também a olivina dentro de oikocristais de ortopiroxênios ou mesmo com o desenvolvimento de coroas. Foi observado também a presença de tremolita no interior de cristais de olivina serpentinizada. A nicóis descruzados, as olivinas mais alteradas ocorrem com aspecto “sujo”. O contato com outros cristais é irregular.

TALCO (Tlc): O talco ocorre como produto de alteração dos cristais de ortopiroxênio, os quais ocupam os planos de clivagem e os interstícios entre os cristais, de forma a constituir a constituir uma matriz densa. Identificáveis apenas pela alta birrefringência devido a sua granulação muito fina.

MAGNETITA (Mag): A magnetita ocorre como grãos minúsculos, muito finos, disseminados pela rocha e estão principalmente associados à serpentina.

FLOGOPITA (Flg): A flogopita está presente como finos cristais subhedrais, lamelares, os quais ocupam os espaços intersticiais e o interior dos cristais maiores. Possuem relevo moderado, extinção mosqueada e birrefringência alta.

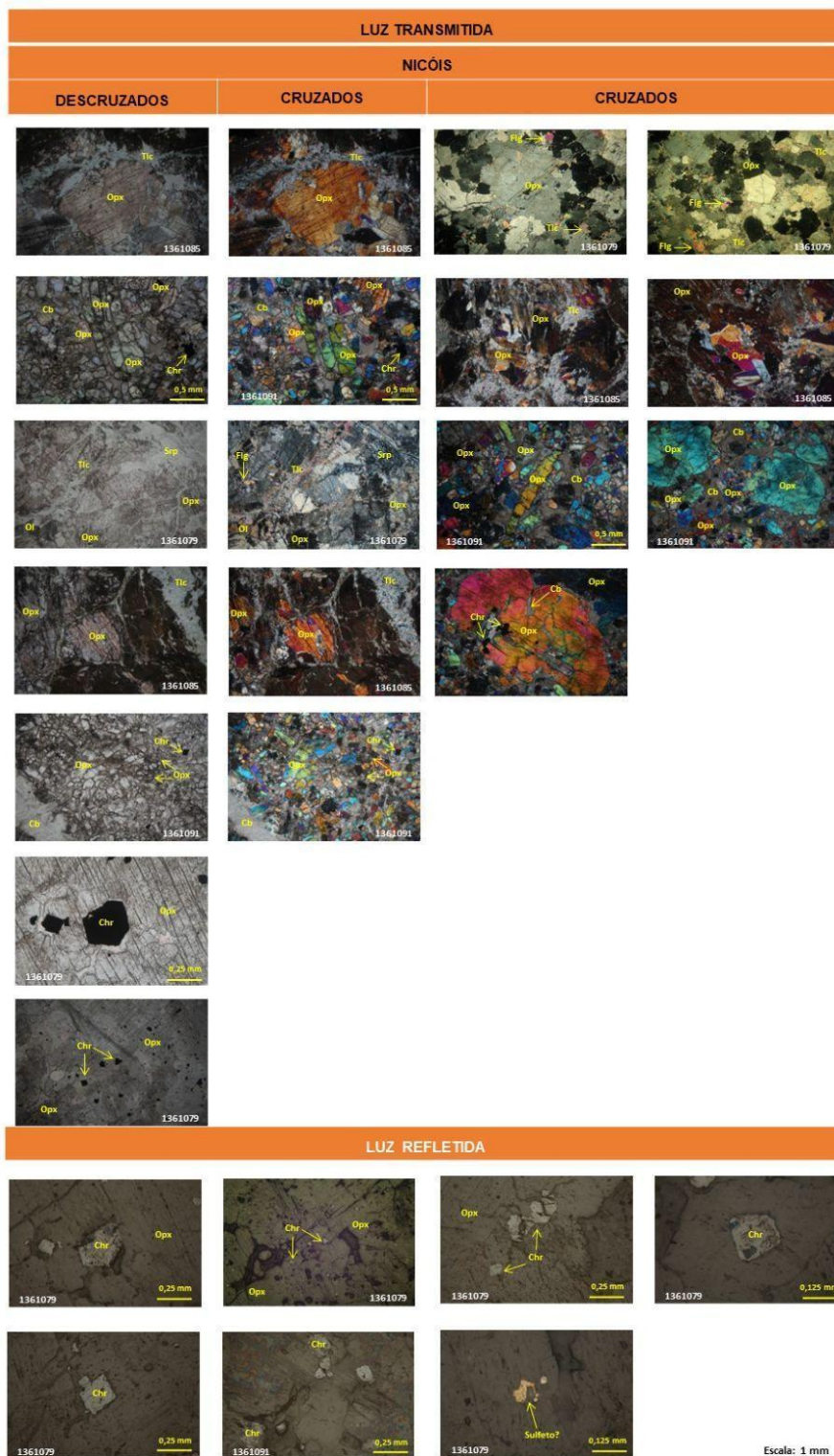
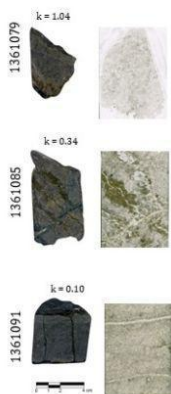
TREMOLITA (Tr): Foi identificado cristais de anfibólio (tremolita?), os mesmos ocorrem no interior de cristais de oikocristais de olivina. São subhedrais, hábito prismático e possuem granulação média (2 mm). Relevo baixo a moderado, incolor, birrefringência baixa a moderada (cores de primeira ordem superior) e elongação positiva.

Classificação da rocha: Metaharzburgito isotrópico, granoblástico de granulação média.

AMOSTRAS DO CORPO METAULTRAMÁFICO DA SERRA DO JACARÉ

ORTOPIROXENITO

Ortopiroxenito (Opx + Chr cumulus) isotrópico, granoblástico, granoporfírico (1361091) e glomeroporfírico (1361085) de granulação fina a média. O talco ocorre como produto de alteração dos cristais de ortopiroxênios. Os cristais subhedrais a euhedrais de cromita ocorrem incluída nos cristais de ortopiroxênio.



ISOTRÓPICO

Escala: 1 mm

Caixa: 94

Profundidade da amostra: de 344,60 até 344,80 m

Descrição macroscópica: A rocha apresenta uma estrutura isotrópica/maciça, cor cinza-escuro a esverdeada e exibe uma textura granoblástica, inequigranular de granulação fina a média. A rocha apresenta-se com fraco magnetismo ($1,04 \times 10^{-3}$ SI), dentro do intervalo amostral de litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI).

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: A rocha possui uma estrutura isotrópica/maciça e uma textura granoblástica, inequigranular lobulado a serrilhado, de granulação fina a média. A mineralogia principal da rocha é composta por ortopiroxênio, enquanto os minerais acessórios são representados por talco e cromita.

Composição modal estimada:

Ortopiroxênio: 94,5%

Talco: 3%

Flogopita: 2%

Cromita: <0,5%

Descrições e relações dos minerais:

ORTOPIROXÊNIO (Opx): Os cristais de ortopiroxênio (enstatita) apresentam hábito subhedral a anhedral, granulação fina a média (tamanhos variam de 0,3 a 4 mm), com contatos retos a irregulares lobulado entre si. Os cristais ocorrem preferencialmente em seção longitudinais. Possuem inclusões de cristais de talco e cromita. Os cristais de ortopiroxênio apresentam processos de talcificação a partir dos planos de clivagem. Os cristais próximo a uma microvênula estão iniciando o processo de serpentinização.

TALCO (Tlc): O talco ocorre como produto de alteração dos cristais de ortopiroxênio, se concentrando nas bordas dos cristais e preenchendo algumas fraturas, clivagens e espaços intersticiais.

FLOGOPITA (Flg): Os cristais de flogopita ocorrem no entorno e no interior dos cristais de ortopiroxênio. São micáceos, subhedrais a anhedrais, com dimensões que variam de 0,1 a 0,5 mm. O contato com outros minerais é irregular a retilíneo.

CROMITA (Chr): Os cristais de cromita possuem formas subhedrais a euhedrais, com granulação fina ($<0,4$ mm) e encontram-se disseminados e inclusos nos cristais de ortopiroxênio.

Classificação da rocha: Metaortopiroxênito isotrópico, granoblástico de granulação fina a média.

Caixa: 106

Profundidade da amostra: de 393,32 até 393,52 m

Descrição macroscópica: Rocha de estrutura isotrópica/maciça e textura granular de coloração cinza-escuro a esverdeada, com granulação média (1 - 5 mm). A rocha apresenta-se com fraco magnetismo ($0,34 \times 10^{-3}$ SI), dentro do intervalo amostral de rochas ultramáficas do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI), e com uma série de vênulas de comprimentos centimétricos, ao longo das quais é possível observar auréolas de alteração (mudança de cor dos cristais próximos).

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: A rocha possui estrutura isotrópica e textura granoblástica e glomeroporfirítica, inequigranular serrilhada de granulação fina a média. Os minerais que constituem a rocha encontram-se bastante fragmentados e alterados. Diversas vênulas seccionam a rocha e produzem halos de alteração em seu entorno. A mineralogia da rocha é composta principalmente por ortopiroxênio e, subordinadamente, por talco, flogopita, magnetita, cromita e olivina.

Composição modal estimada:

Ortopiroxênio	91%
Talco	5%
Flogopita	2%
Olivina	<1%
Cromita	<0,5%
Magnetita	<0,5%

Descrições e relações dos minerais:

ORTOPIROXÊNIO (Opx): Os cristais de ortopiroxênio representam a fase cúmulus da rocha e possuem uma cor rosa pálido, salmão (hiperstênio) e são subhedrais, prismáticos, em

grãos médios, variando de 0,25 até 5 mm, bastante fraturados e alterados, com contatos interdigitados a retilíneos. É possível perceber os agregados prismáticos intercrescidos em um mesmo espaço circular (textura glomeroporfírica) (substituição?). Grandes cristais possuem outros cristais menores inclusos, como o talco, flogopita, cromita, magnetita e diversos minerais de granulação muito fina. Cristais de ortopiroxênio, em contato com as vênulas, apresentam-se alterados (possivelmente para anfibólio), os quais demonstram uma coloração amarronzada, com grãos minúsculos de magnetita no seu interior.

TALCO (Tlc): Os cristais de talco são lamelares, subhedrais, de granulação fina (< 0,3 mm). Ocorrem no entorno e no interior de cristais de ortopiroxênio.

FLOGOPITA (Flg): Os cristais de flogopita são lamelares, subhedrais, de granulação fina. Ocorrem no interior e no entorno dos cristais de ortopiroxênio, os quais constituem uma matriz junto a outros minerais. Apresentam um discreto pleocroísmo incolor – marrom acastanhado.

OLIVINA (Ol): Localmente ocorrem cristais de olivina anhedrais, de granulação fina (0,7 mm), bastante fraturada e com início de serpentinização.

CROMITA (Chr): Os cristais de cromita possuem formas anhedrais a subhedrais com dimensão média de 0,5 mm. Os cristais estão fraturados e com as bordas corroídas. Os cristais subhedrais ocupam o interior de cristais de ortopiroxênio.

MAGNETITA (Mag): A magnetita ocorre em grãos muito finos nas bordas e no interior dos cristais de ortopiroxênio com um aspecto pulverulento.

Microvênulas: Algumas microvênulas possuem em média 0,2 mm de largura e comprimento centimétrico e são constituídas por minerais de granulação fina, com hábito lamelar-fibroso, incolor, relevo baixo e cores de interferência que varia de baixa até cores de segunda ordem (talco). Outra importante vênula que secciona a rocha possui 0,6 mm de largura e comprimento centimétrico, composta por um mineral de granulação muito fina, incolor, relevo baixo e birrefringência baixa (serpentina?). As primeiras vênulas descritas são quase que perpendiculares a esta última.

Classificação da rocha: Metaortopiroxênio isotrópico, glomeroporfírico de granulação média.

Caixa: 126

Profundidade da amostra: de 468,00 até 468,15 m

Descrição macroscópica: Rocha de estrutura isotrópica/maciça e textura subfanerítica de cor cinza-escuro a esverdeada, inequigranular de granulação fina. A rocha apresenta-se com fraco magnetismo ($0,10 \times 10^{-3}$ SI), comparado com os valores do grupo amostral de rochas ultramáficas do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI), e seccionada por algumas vênulas de comprimento centimétrico. Os cristais próximos às vênulas apresentam-se alterados.

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: a rocha possui estrutura isotrópica, textura granoporfírica, inequigranular poligonal, de granulação fina. Mineralogia principal da rocha é composta por ortopiroxênio e, subordinadamente, por olivina, flogopita e cromita. A matriz da rocha é constituída por carbonato(?), assim como as vênulas que seccionam a rocha. Os minerais que estão próximo às vênulas apresentam-se mais alterados.

Composição modal estimada:

Ortopiroxênio	96%
Olivina	1%
Flogopita	3%
Cromita	<0,5%

Descrições e relações dos minerais:

ORTOPIROXÊNIO (Opx): Os cristais de ortopiroxênio (enstatita) possuem formas subhedrais a euhedrais e dimensão média de 0,8 mm. Alguns cristais ocorrem como fenocristais, com dimensões de 5 mm (textura porfírica), em uma matriz de grãos menores (<1 mm). Os cristais de ortopiroxênio apresentam uma alteração para anfibólio (?). O contato com outros cristais é retilíneo.

OLIVINA (Ol): Os cristais de olivina são anhedrais e possuem hábito prismático curto, com dimensão média de 0,2 mm. Os cristais de olivina estão imersos na matriz carbonática e, dessa

forma, apresentam-se com suas bordas corroídas e alterações para carbonato (calcita?). O seu contato é retilíneo a irregular, por vezes, indistinto, devido a alteração.

FLOGOPITA (Flg): Um mineral foi identificado possuindo formas anhedrais a subhedrais, com dimensão média de 0,3 mm, ocupando os espaços intersticiais entre os cristais de ortopiroxênio. Os cristais estão apresentando pleocroísmo incolor-castanho pálido, extinção reta e mosqueada em relação aos planos de clivagem e cores de interferência de quarta ordem.

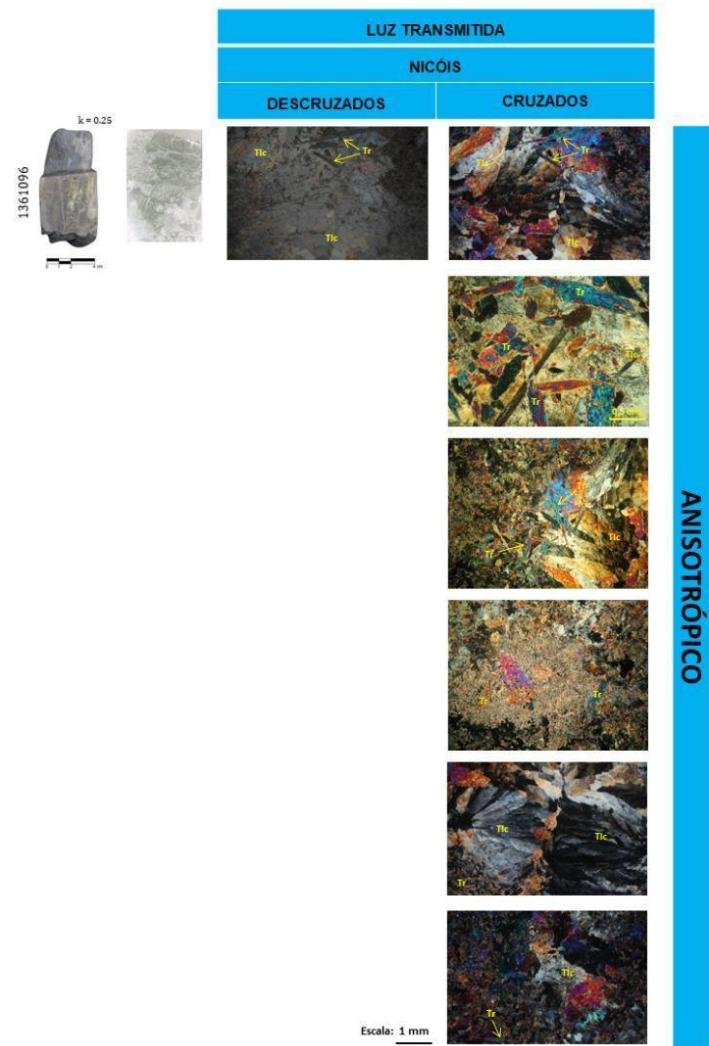
CROMITA (Chr): Os cristais de cromita são euhedrais a subhedrais, com tamanho médio de 0,18 mm e encontram-se no entorno e incluídos nos cristais de ortopiroxênio.

Também foi verificado grãos finos de sulfetos (?).

Classificação da rocha: Metaortopiroxênio isotrópico, granoporfírico de granulação fina.

AMOSTRAS DO CORPO METAULTRAMÁFICO DA SERRA DO JACARÉ

TALCO-TREMOLITA HORNFELS	Talco-tremolita hornfels, anisotrópica, brechada com textura decussada a fibro-radiada de granulação fina. O desenvolvimento da biotita está marcando uma foliação incipiente.
---------------------------------	--



Caixa: 135

Profundidade da amostra: de 503,80 até 504,00 m

Descrição macroscópica: Rocha afanítica, granulação densa e cor cinza-claro a branco, com estrutura brechada. O espaço intersticial entre os fragmentos encontra-se preenchido por um material de cor branca e verde. A rocha apresenta fraco magnetismo ($0,25 \times 10^{-3}$ SI), dentro do intervalo das rochas ultramáficas do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI).

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: A rocha apresenta-se com estrutura anisotrópica e textura decussada a fibro-radiada, inequigranular serrilhado de granulação predominantemente fina. A mineralogia principal é constituída por tremolita, talco e, subordinadamente, quartzo e biotita. Porções mais claras na rocha é marcada pelo desenvolvimento de cristais prismáticos, enquanto nas porções mais escuras, os cristais estão mais fragmentados. Uma foliação incipiente, em desenvolvimento, é demarcada pela aglutinação e migração de um material escuro (biotita?).

Composição modal estimada:

Tremolita	79,5%
Talco	15%
Quartzo	4%
Biotita	1,5%

Descrições e relações dos minerais:

TREMOLITA (Tr): Os cristais de tremolita são subhedrais a anhedrais, com hábito prismático longo a agregados fibrosos de dimensões médias de 0,5 mm (máximo de 2 mm). Os cristais prismáticos de tremolita ocorrem sem orientação preferencial. Em algumas partes da rocha, nas mais escuras, a tremolita ocorre como agregados anhedrais. O contato com outros cristais é serrilhado, retilíneos e irregulares.

TALCO (Tlc): Os cristais de talco ocorrem junto com os cristais de tremolita dentro dos “clastos”, porções mais antigas da rocha, com hábito fibroso radiado. Por vezes, estão englobando os cristais de tremolita. Possuem dimensão média de 1 mm.

QUARTZO (Qtz): Os cristais de quartzo estão intercrescidos entre os clastos constituídos por tremolita e talco, o qual constitui a porção clara da rocha. Possuem dimensão aproximada de 0,8 mm. Alguns cristais de quartzo também estão englobando a tremolita.

BIOTITA (Bt): Os cristais de biotita não estão bem desenvolvidos, ocorrem apenas como uma “massa” que está se aglutinando para formar cristais maiores. A migração desta “massa”, demarca uma foliação incipiente.

Classificação da rocha: Talco-tremolita hornfels, decussada a fibro-radiada de granulação fina.

AMOSTRAS DO CORPO METAULTRAMÁFICO DA SERRA DO JACARÉ

MILONITO DE PLAGIOCLÁSIO-TREMOLITA ANFIBOLITO	Milonito de plagioclásio-tremolita anfibolito de granulação fina a muito fina com minerais opacos demarcando uma foliação. Os cristais estão bastante cumiunidos e há o desenvolvimento de grãos muito finos de hornblenda (fácies anfibolito médio).
--	--



Caixa: 137

Profundidade da amostra: de 510,80 até 511,00 m

Descrição macroscópica: Rocha afanítica, granulação densa de cor cinza-escuro, com estrutura milonítica. A rocha apresenta-se com fraco magnetismo ($1,94 \times 10^{-3}$ SI), quando comparado com os valores obtidos para o grupo amostral de litotipos ultramáficos do CMSJ ($0,10$ a $64,10 \times 10^{-3}$ SI).

Descrição microscópica:

Textura e Estrutura: A rocha possui estrutura anisotrópica e textura milonítica, inequigranular, de granulação fina a densa. A rocha encontra-se bastante cominuída com cristais rotacionados e cristais de magnetita demarcando uma foliação. A mineralogia principal da rocha é composta por hornblenda, tremolita, biotita e plagioclásio, como minerais acessórios ocorrem a magnetita e o quartzo. Em alguns espaços intersticiais parece haver a recristalização de quartzo.

Composição modal estimada:

Hornblenda	45%
Tremolita	32%
Plagioclásio	15%
Biotita	4%
Magnetita	3%
Quartzo	1%

Descrições e relações dos minerais:

Hornblenda (Hbl): Os cristais de anfibólio ocorrem como pequenos cristais esverdeados com pleocroísmo. São caracterizados como anhedrais e possuem granulação muito fina ($< 0,1$ m).

TREMOLITA (Tr): Os porfiroclastos de tremolita estão bastante fragmentados e rotacionados pela deformação, sua forma lembra o hábito prismático e possuem granulação fina (média de 0,2 mm). O contato com outros cristais é irregular.

PLAGIOCLÁSIO (Pl): Os cristais de plagioclásio possuem formas anhedrais com tamanho médio de 0,2 mm. A maioria dos cristais encontra-se rotacionados, além de fortemente fragmentados. O contato com outros minerais é irregular.

BIOTITA (Bt): Os cristais de biotita ocorrem com formas que lembram o hábito micáceo, muito cominuída e rotacionada, de granulação fina. Apresentam minerais opacos ocupando as suas clivagens.

MAGNETITA (Mag): Os cristais de magnetita são anhedrais e possuem granulação fina. Ocorrem como pequenos agregados alongados segundo uma direção preferencial, demarcando uma foliação.

QUARTZO (Qtz): Nos espaços intersticiais da textura milonítica ocorre a recristalização de quartzo.

Classificação da rocha: Milonito de plagioclásio-tremolita anfibolito de granulação fina a densa.

DISCUSSÕES:

DUNITOS

Com base nas descrições, as amostras 1361062, 1361064, 1361065, 1361067, 1361070, 1361072, 1361073, 1361075, 1361087, 1361089 e 1361095, podem ser interpretadas como dunitos (com cristais de Ol + Chr cúmulus e Opx intercúmulus) com textura adcumulática de granulação predominantemente média que foi fortemente serpentinizado a partir da hidratação do sistema.

A preservação da textura ígnea adcumulática, associada ao desenvolvimento da textura pseudomórfica *mesh* (típicas de lizardita e crisotilo), indicam a ocorrência de um evento tectono-metamórfico regional de baixo grau, que desencadeou a serpentinização do dunito em condições estáticas, suficiente para promover a substituição total das olivinas, com a formação de serpentina, magnetita e talco, porém sem deformar e orientar os cristais.

Em alguns exemplares foi observado o desenvolvimento de um paralelismo entre as cordas de alguns pseudomorfos, o qual pode ser indicativo da passagem de fluido ou de que os antigos cristais de olivina foram afetados por algum tipo de esforço suficiente para gerar e orientar suas fraturas, a partir das quais ocorreu o desenvolvimento da serpentina.

Não há a preservação de olivina nos núcleos da textura *mesh*.

Os cristais de brucita foram encontrados de forma muito localizada, porém uns dos produtos mais comuns da serpentinização de dunitos é a brucita. É provável que em alguns núcleos da textura *mesh* exista a associação entre serpentina + brucita, evidenciada pela coloração amarronzada.

O processo de serpentinização promoveu o desenvolvimento de cristais de magnetita, os quais ocorrem com formas alongadas e estão migrando para formar um bandamento sobre os pseudomorfos, aspecto tido como uma anisotropia, além dos cristais aciculares orientados de magnetita que ocorrem no interior dos pseudomorfos.

O aspecto “sujo” acastanhado dos pseudomorfos são indicações das alterações intempéricas do litotipo.

HARZBURGITOS

As amostras 1361080 e 1361083 pertencem ao mesmo grupo de rocha, que é o harzburgito, no qual estão presentes cristais de olivina cumulus e ortopiroxênio intercúmulus. A amostra 1361080 está bem preservada, com minerais primários e texturas ígneas conservadas, mostrando pouco afetamento pelo processo de serpentinização. Já a amostra 1361083 apresenta maior grau de alteração, com significativa talcificação e serpentinização, o que resulta em poucas porções dos cristais de olivina ainda preservados. Ambas as amostras compartilham a mesma composição mineralógica e textural, mas a amostra 1361083 exibe um estágio mais avançado de alteração em relação à 1361080.

ORTOPIROXÊNIOS

As amostras 1361079, 1361085 e 1361091 pertencem ao litotipo, que é o ortopiroxênito. Essas rochas são compostas principalmente por ortopiroxênio. A amostra 1361079 está passando por intensos processos de talcificação, com alguma serpentinização ocorrendo em menor escala. Na amostra 1361085, a textura granular é destacada, e as vênulas presentes na rocha estão causando alteração do ortopiroxênio para anfibólio. Já na amostra 1361091, as vênulas estão preenchidas por material carbonático que constitui a matriz da rocha. Os cristais de ortopiroxênio estão sofrendo alterações para anfibólio, com suas bordas corroídas pela matriz. Embora haja algumas variações nas características de alteração e textura entre as amostras, todas são classificadas como ortopiroxênitos e apresentam processos de modificação mineralógica relacionados à talcificação e/ou serpentinização, o que indica um parentesco entre elas.

TALCO-TREMOLITA HORNFELS

A rocha apresenta características de metamorfismo de contato sobre rochas básicas, o qual promoveu o desenvolvimento de minerais fibro-radiados sem orientação. A porção composta por minerais fragmentados (porção mais escura) pode representar a porção mais antiga, cataclástica, e a porção mais clara, a mais nova, constituída por porfiroblastos de tremolita e talco.

MILONITO DE PLAGIOCLÁSIO-TREMOLITA ANFIBOLITO

Rocha com estrutura milonítica, na qual os cristais anédricos de magnetita demarcam uma boa foliação. O alto grau de cominuição dificulta a melhor caracterização dos cristais existentes na rocha. Os cristais muito finos de hornblenda podem ser produto da alteração dos cristais de biotita e tremolita, o que indica a fácies metamórfica atingida pela rocha.