

**Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia**



**Caracterização mineralógica do regolito do depósito de
níquel laterítico de Santa Fé - Go**

Itamar Pereira Gonçalves

CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

2007

**Caracterização mineralógica do regolito do depósito de níquel laterítico de
Santa Fé - Go**

Itamar Pereira Gonçalves

Monografia submetida ao Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadores: Cláudio
Gerheim Porto Helena
Polivanov

Rio de Janeiro
Dezembro de 2007

Caracterização mineralógica do regolito do depósito de níquel laterítico de Santa Fé - Go

Itamar Pereira Gonçalves

Cláudio Gerheim Porto
Helena Polivanov

Monografia submetida ao Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Aprovada por:

Presidente: Cláudio G. Porto, UFRJ

Helena Polivanov, UFRJ

Cícera Neysi de Almeida, UFRJ

Rio de Janeiro
Dezembro de 2007

Em memória de Waldemar Gonçalves

AGRADECIMENTOS

- A Deus por Tudo.
- A minha Família, em especial minha mãe Maria da Graça Pereira pelo apoio e incentivo.
- Aos meus padrinhos, que sempre me ajudaram.
- A Rose M. Marques e sua família pelo apoio e companheirismo.
- A Igenes José Rodrigues pelos livros doados.
- Ao Professor Cláudio Porto pelas oportunidades ímpares de aprendizagem e pelo apoio e a Professora Helena Polivanov por permitir e ensinar o uso do aparelho de raios-x.
- Ao mestrando Vitor Hugo Gomes da Silva pela grande ajuda no trabalho de laboratório.
- A todos os amigos que direta e indiretamente me ajudaram, em especial a Carlos A. Maximiano, Gerson Machado Firmino, Alesandra Coelho Farias, Liliane Ferreira da Silva, Talita Azevedo, Luís Henrique de C. Faustino, Hugo Polo e a todos os colegas do laboratório de geologia econômica J1-016.
- A toda a UFRJ, com seu corpo docente e de funcionários em especial ao Departamento de Geologia e seus professores.

RESUMO

Caracterização mineralógica do regolito do depósito de níquel laterítico de Santa Fé - Go

Itamar Pereira Gonçalves

Orientadores: Claudio G. Porto
Helena Polivanov

Com o aumento da demanda, principalmente na utilização para Aço Inox, e com o aumento do preço do níquel nos últimos anos a exploração deste metal foi incentivada e fomentada por empresas do setor mineral.

As principais reservas de níquel do mundo ocorrem sobre áreas as quais sofreram intensa laterização, como no caso de Santa Fé (GO) e podem estar associadas a diversas fases minerais silicatadas e oxidadas, como minerais de argila e óxidos e hidróxidos de ferro, em que a predominância da fase mineral portadora de níquel irá classificar o tipo do depósito.

Os diversos fatores do controle e da distribuição de ocorrência de níquel laterítico são clima, geomorfologia, drenagem, litologia e estrutura, que atuam de forma combinada podendo haver um ou mais fatores de maior influência e assim controlar as características de um depósito.

Este trabalho tem por objetivo a caracterização mineralógica do regolito do depósito de níquel laterítico de Santa Fé, localizada no estado de Goiás. Nas amostras analisadas, em um total de dez amostras, analisamos apenas a fração argila. Na etapa laboratorial, foi retirado o ferro livre e adsorvido nas superfícies dos minerais, eliminando os óxidos e hidróxidos de ferro. Em nossos resultados foram encontrados os seguintes minerais: esmectitas, cloritas, e lizarditas, além de caolinitas, illitas e interestratificados desses minerais. Desses, apenas cloritas, esmectitas e lizarditas são potenciais portadores de níquel. poços sobre peridotitos e piroxenitos e podem ter origem por neogênese e transformação a partir das micas trioctaedrais. As lizarditas são minerais primários nessas rochas e estão associadas à rocha fresca serpentinizada. Já as cloritas devem ser secundárias no depósito.

Outros trabalhos devem ser efetuados para uma melhor caracterização desses potenciais minerais portadores de níquel encontrados neste trabalho, em especial análises de microsonda eletrônica de varredura(MEV).

Palavras-chave: Níquel laterítico; Santa Fé; mineralogia.

ABSTRACT

Mineralogy characterization of nickel laterite regolith deposit from Santa Fé-Go

Itamar Pereira Gonçalves

Orientadores: Claudio G. Porto
Helena Polivanov

With the increase of demand, particularly in stainless steel for use, and with the increase at the price of nickel in recent years the exploration of this metal has been encouraged and promoted by companies in the mineral sector.

The main sources of nickel in the world occur on areas which suffered intense laterite process, as in the case of Santa Fe (GO) and may be associated with various stages silicates and oxides minerals as of clay minerals and iron oxides and hydroxides, which the dominance of the mineral phase bearer of nickel will classify the type of deposit.

The various factors of the control and distribution of occurrence of laterite nickel are climate, geomorphology, drainage, litology and structure that act in a way that can be combined into one or more factors of greater influence and controlling the characteristics of a deposit

The goal of this work is to characterize the mineralogy of nickel laterite regolith deposit from Santa Fé, situated in the Goiás state. In samples analyzed in a total of ten samples, we examining only the clay fraction. In step laboratory was removed the iron free and adsorbed on the surfaces of minerals, removing oxides and hydroxides of iron. In our results were found the following minerals: esmectitas, cloritas and lizardites, besides caolinitas, ilitas and swelling of these minerals. Of these, only clorites, esmectites and lizardites are potential carriers of nickel.

The results show that esmectites are associated, mainly to wells on peridotites and piroxenites and can be caused by neogenesis and transformation from trioctahedral micas. The lizardites are primary minerals in these rocks and these are associated with fresh and serpentinized rock. Already the cloritas should be secondary in deposit.

Other works must be made to better characterize the potential of nickel bearing minerals found in this work, especially MEV analyses.

Key-Words: Nickel laterite; Santa Fé; mineralogy.

| | |
|--|-------------|
| AGRADECIMENTOS | v |
| RESUMO | v |
| ABSTRACT | vi |
| LISTA DE FIGURAS E TABELAS | viii |
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Objetivos do trabalho | 1 |
| 3. Níquel e sua importância econômica. | 1 |
| 4. Características de depósitos de níquel laterítico | 2 |
| <i>4.1 Estratigrafia do regolito em depósitos de Ni laterítico</i> | 3 |
| <i>4.2. Classificação dos depósitos</i> | 4 |
| 4.2.1. Depósitos de silicatos hidratados (Tipo A) | 4 |
| 4.2.2. Depósitos de argilo-silicatos(Tipo B) | 5 |
| 4.2.3. Depósitos oxidados (Tipo C) | 5 |
| <i>4.3 Principais minerais portadores de Níquel.</i> | 5 |
| <i>4.4. Controles da Mineralização no Regolito</i> | 6 |
| 5. Depósito de Santa Fé | 7 |
| <i>5.1 Localização</i> | 7 |
| <i>5.2. Geologia de Santa Fé</i> | 7 |
| <i>5.3. Geologia Local</i> | 9 |
| 6. Características do regolito do depósito | 10 |
| 7. Localização das Amostras estudadas | 11 |
| 8. Metodologia de laboratório | 16 |
| <i>8.1. Pulverização das amostras</i> | 16 |
| <i>8.2. Obtenção das frações argila, silte e areia (para o estudo da mineralogia).</i> | 16 |
| <i>8.3. Procedimento para retirar o ferro.</i> | 17 |
| <i>8.4. Confeção de lâminas e obtenção dos difratogramas.</i> | 18 |
| 9. Resultados | 19 |
| 10. Comparação de Resultados: Santa Fé x Vermelho. | 28 |
| 11. Conclusão | 29 |
| Referências Bibliográficas | 30 |

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

- Figura 1.** Distribuição do consumo de Níquel. Fonte:QNI(apresentado no 11th International Stainless Steel Conference em Bruxelas, Bélgica).
- Figura 2.** Perfil geral dos três tipos de Ni laterítico com seus principais componentes e distribuição dos elementos maiores e do Ni, segundo Gleeson *et al*(2003).
- Figura 3.** Mapa de localização da cidade de Santa Fé de Goiás.
- Figura 4.** Geologia do maciço de Santa Fé (segundo Oliveira e Trescases, 1980).
- Figura 5.** Mapa de localização dos poços das amostras estudadas no maciço de Santa Fé.
- Figura 6.** Poço SFTP-050S com a localização de suas amostras e composição química dos seus intervalos do perfil. O poço está situado sobre dunitos.
- Figura 7.** Poço SFDD-234 com a localização de suas amostras e composição química dos seus intervalos do perfil. O poço está situado sobre peridotitos.
- Figura 8.** Poço SFDD-187 com a localização de suas amostras e composição química dos seus intervalos do perfil. O poço está situado sobre piroxenitos.
- Figura 9.** Poço SFDD-003 com a localização de suas amostras e composição química dos seus intervalos do perfil. O poço está situado sobre dunitos.
- Figura 10.** Difratoformas das amostras antes do tratamento para a eliminação do Fe.
- Figura 11.** Amostra 18047(R5) do poço **SFPT-050S** localizado sobre dunitos. A escala mostra a variação do ângulo 2 θ de 2° a 30 °para esta e outras amostras.
- Figura 14.** Amostra **18052(R8)** do poço **SFPT-050S** localizado sobre dunitos.
- Figura 12.** Amostra 18048(R6v) do poço **SFPT-050S** localizado sobre dunitos.
- Figura 13.** Amostra **18050(R7)** do poço **SFPT-050S** localizado sobre dunitos.
- Figura 14.** Amostra **18052(R8)** do poço **SFPT-050S** localizado sobre dunitos.
- Figura 15.** Amostra **18134(R6)** do poço **SFDD-234** localizado sobre olivina-piroxenitos.
- Figura 16.** Amostra **18135(R7)** do poço **SFDD-234** localizado sobre olivina-piroxenitos.
- Figura 17.** Amostra **18138(R6)** do poço **SFDD-187** localizado sobre piroxenitos.
- Figura 18.** Amostra **18139(R7)** do poço **SFDD-187** localizado sobre piroxenitos
- Figura 19.** Amostra **18147(R6)** do poço **SFDD-003** localizado sobre dunitos.
- Figura 20.** Amostra **18148(R7)** do poço **SFDD-003** localizado sobre dunitos.
- Figura 21.** Perfil de alteração típico de encosta no **depósito do Vermelho**, segundo Silva & Oliveira (1995) (goe = goethita; se = serpentina; mg = magnetita; clo = clorita; cr = cromita, qz = quartzo; am =amorfos). Minerais sublinhados = fases níquelíferas.
- Tabela 1.** Série de minerais silicatos hidratados contendo Mg e Ni e classificação segundo Brindley e Maksimovic (1974) e suas composições químicas segundo a International Mineralogical Association.
- Tabela 2.** Estratigrafia do regolito de depósito de Santa Fé-Go.Obs.:A unidade R6 contendo vermiculita foi nomeada como R6v.
- Tabela 3.** Localização das amostras estudadas nos poços (2ª coluna) com suas identificações litológicas e composições químicas. Obs.: A amostra 18049 não foi analisada.
- Tabela 4.** Resumo dos minerais identificados nos difratogramas de raios-x. Os números entre parênteses são estimativas da ordem de abundância relativa dos minerais por unidade.
- Tabela 5.** Tabela mineralógica segundo Alves *et al* (1986) *opud cit* Silva & Oliveira(1995) para o depósito do **Vermelho** e segundo Oliveira & Trescases (1980) para o depósito de **Santa Fé**.Minerais sublinhados são os minerais principais de cada unidade. Os minerais em negrito são os minerais relatados neste trabalho.

1. Introdução

Dada a importância do níquel no mercado atual, cujo valor subiu abruptamente nos últimos anos, a exploração mineral para depósitos niquelíferos foram incentivadas e fomentadas por empresas do setor mineral.

Este trabalho foi gerado com integração do laboratório de exploração mineral da UFRJ e a empresa Teck Cominco Brasil que detém os direitos minerários do depósito de Ni laterítico de Santa Fé (GO), no qual foi realizada uma visita de campo no período de 06 a 10 de junho de 2007 juntamente com o depósito de níquel do Vermelho em Carajás, estado do Pará.

2. Objetivos do trabalho

Este trabalho tem como objetivo caracterizar a mineralogia dos argilo-silicatos dos horizontes do regolito do depósito de Santa Fé (GO), através da técnica de difratometria de raios-X (DRX), pois o elemento níquel está associado à fração argila, principalmente.

3. Níquel e sua importância econômica.

O níquel é um metal branco-prateado, dúctil, maleável, de peso específico 8,5 g/cm³, com escala de dureza Mohs 3,5. Tem seu ponto de fusão em aproximadamente 1.453° C, possuindo grande resistência mecânica à corrosão e à oxidação.

O níquel é utilizado em 300 mil produtos: indústria, material militar, moedas, transporte, aeronaves e na construção civil. Altamente resistentes à oxidação, como os aços inoxidáveis, bem como em ligas em ímãs (metal alnico), em ligas elétricas, magnéticas e de expansão, ligas de alta permeabilidade, ligas de cobre-níquel, tipo níquel-45. O óxido de níquel é usado como catalisador em diversos processos industriais. O sulfato de níquel destina-se a banhos para niquelagem, que é feito pela galvanoplastia usando banhos de sais de níquel.

Nas décadas de 70 e 80 o preço do níquel sobe de US\$0.93/lb para US\$5,90/lb devido a greve da Inco chegando a atingir US\$31/lb. Entre 1971 e 1986 diversas plantas de níquel laterítico entram em operação refletindo diretamente nos custos.

Na década de 90 houve um crescimento na demanda de níquel da ordem de 8% a.a., acrescidos de 3.5% durante o final desta década.

Atualmente a distribuição do consumo de Ni é dominada pelo aço inox além de outras, segundo mostra a figura 1.

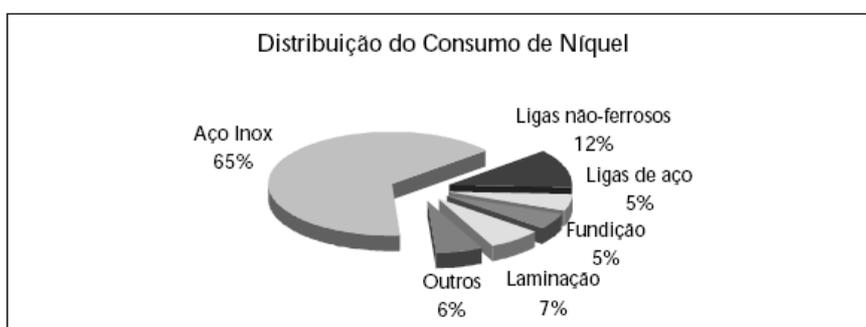


Figura 1. Distribuição do consumo de Níquel. Fonte:QNI(apresentado no 11th International Stainless Steel Conference em Bruxelas, Bélgica).

4. Características de depósitos de níquel laterítico.

Segundo Gleeson et al (2003) o termo níquel laterítico se refere ao regolito que contém concentrações economicamente explotáveis de níquel, mas não para um horizonte ou unidade específica do regolito.

Laterita é um termo usado imprecisamente na literatura e que segundo Eggleton (2001) se refere agora, mais especificamente, à porção superior de regolito intensamente intemperizados em regiões de clima tropical, rico em óxidos rico de ferro e pobre em sílica.

Cerca de 85% dos depósitos de níquel laterítico do mundo estão localizadas em terrenos acrescionários e são desenvolvidos nos regolitos de complexos ofiolíticos obductados do Mioceno e Plioceno. Exemplos destes tipos de depósitos de níquel laterítico encontram-se em Nova Caledônia, Filipinas, Indonésia, Austrália, Colômbia, Cuba, República Dominicana e

oeste do EUA. Os 15% restantes estão localizadas em plataformas cratônicas estáveis desenvolvidas sobre komatiitos e complexos acamadados em cinturões de rochas verdes arqueanas e proterozóicas como, por exemplo, no oeste da Austrália, oeste da África, Ucrânia e Brasil (Brand *et al*, 1998).

4.1 Estratigrafia do regolito em depósitos de Ni laterítico

Em geral um típico perfil de níquel laterítico tem três ou quatro componentes (Figura 2). A base do perfil, o protólito, é a rocha ultramáfica sã, mais comumente harzbugito (peridotito rico em ortopiroxênio) ou outro tipos de peridotito ou dunito serpentinizados. O estágio inicial de intemperismo produz saprolito no qual a estrutura da rocha é preservada ainda que a maior parte dos minerais tenham sido alterados. Com a lixiviação do Mg e a remoção da sílica pelo intemperismo químico, que dissolve os minerais Fe-Mg (olivinas e piroxênios), os óxidos de ferro precipitam-se e passam a dominar no superior do saprolito. Esta parte do perfil laterítico rica em óxidos de Fe é referida informalmente como limonítica podendo se desenvolver uma densa crosta ferruginosa no topo do perfil, também conhecida como canga ou ferricrete, e proteger porções subjacentes do perfil laterítico da erosão (Gleeson *et al*, 2003).

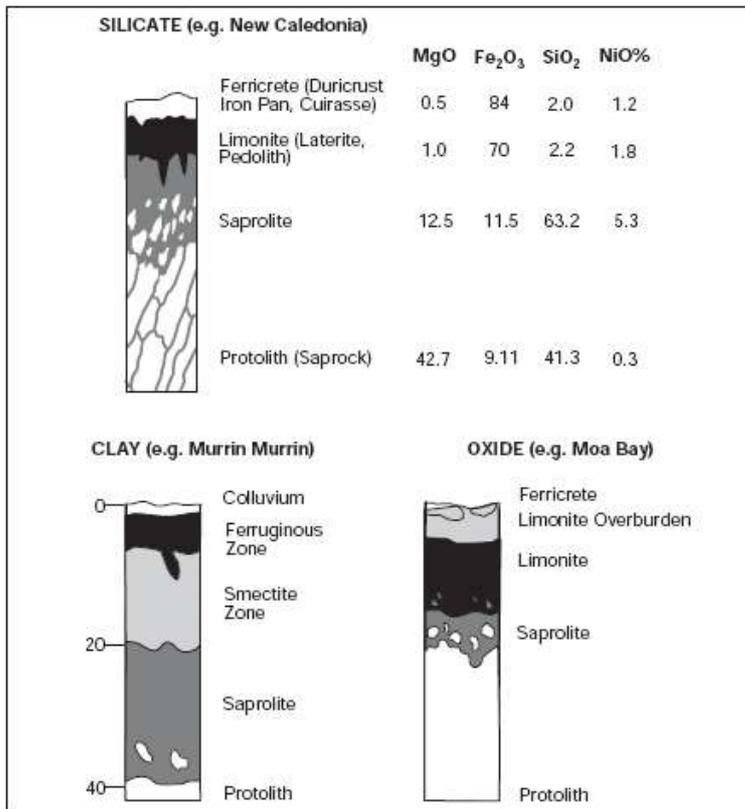


Figura 2. Perfil geral dos três tipos de Ni laterítico com seus principais componentes e distribuição dos elementos maiores e do Ni, segundo Gleeson *et al*(2003).

4.2. Classificação dos depósitos

Segundo Brand *et al.*(1998), depósitos de níquel laterítico podem ser amplamente classificados em três tipos baseados na mineralogia do minério(figura 2). Desta forma podemos classificar os depósitos em depósitos de silicatos hidratados, argilo-silicatos e depósitos oxidados.

4.2.1. Depósitos de silicatos hidratados (Tipo A)

Nestes depósitos dominam os Ni-Mg silicatos hidratados como mineral-minério, geralmente ocorrendo em profundidade no saprolito.Esses depósitos possuem as mais altas taxas de Ni atingindo de 1.8 a 2.5% segundo Gleeson *et al*(2003).

4.2.2. Depósitos de argilo-silicatos(Tipo B)

Nestes, dominam argilas do tipo esmectitas (e.g. nontronita) comumente ocorrendo na porção média a superior do saprolito ou pedolito. Segundo Gleeson *et al* (2003) o Si é apenas parcialmente removido do perfil de intemperismo por água subterrânea e o Si remanescente combina com Fe, Al e Ni para formar argilo-minerais como a nontronita rica em Ni.

4.2.3. Depósitos oxidados (Tipo C)

São dominados por oxi-hidroxidos de Fe (e.g. goethita), formando uma camada no limite saprolito-pedolito. Também são conhecidos como depósitos limoníticos e segundo Gleeson *et al* (2003) podem conter abundante óxidos de manganês enriquecidos em cobalto e possuem teores médios de níquel estão em torno de 1.2%.

4.3 Principais minerais portadores de Níquel.

O raio iônico do íon Ni^{+2} é similar ao do Mg^{+2} , permitindo a substituição em minerais silicatos de Mg e segundo Brindley & Maksimovic (1974) pode ser essa substituição pequena a completa ou quase completa. A tabela 1 mostra as séries de minerais silicáticos contendo Mg e Ni.

| Série | Mineral | Composição |
|-----------------------------|------------|--|
| Minerais 1:1 | | |
| crisotila- pecoraíta | Serpentina | $(Mg, Ni)_3(Si_2O_5)(OH)_4$ - fibrosa |
| lizardita- nepuíta | Serpentina | $(Mg, Ni)_3Si_2O_5(OH)_4$ - radial |
| amesita- nimesita | Serpentina | $Mg_2Al(SiAl)O_5(OH)_4$ |
| Minerais 2:1 | | |
| talco- vilenseita | Talco | $(Mg, Ni)_3Si_4O_{10}(OH)_2$ |
| querolita- pimelita | Talco? | composição variável |
| clinoclorita- nimita | Clorita | $(Mg, Ni, Al)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$ |

Tabela 1. Série de minerais silicatos hidratados contendo Mg e Ni e classificação segundo Brindley e Maksimovic (1974) e suas composições químicas segundo a International Mineralogical Association. *Obs.: Equivalente níquelífero em negrito.*

4.4. Controles da Mineralização no Regolito

Os diversos fatores do controle e da distribuição de ocorrência de níquel laterítico são clima, geomorfologia, drenagem, litologia e estrutura que atuam todo o tempo em escalas locais, regionais e globais, sendo consenso para diversos autores como Brand *et al*(1998) de que não há um único fator dominante sobre a formação de depósitos de níquel laterítico e sim a combinação de diversos fatores em que cada um pode atuar com uma maior influencia sobre o processo e taxas de desenvolvimento e assim controlar as características de um depósito.

As maiores fontes de níquel laterítico estão localizadas em regiões de clima sazonal úmido e tropical úmido com alguns climas temperados e semi-áridos quentes, porém em ambos os casos prevaleceram climas mais quentes e/ou climas sazonais úmidos.

Depósitos oxidados estão presentes em todos ambientes climáticos, enquanto depósitos garnieríticos(depósitos de silicatos hidratados, tipo A da figura 2) ocorrem em climas úmidos, principalmente em climas tropicais e os depósitos esmectíticos parecem estar presentes, principalmente, em regiões semi-áridas.

Regolitos lateríticos profundos são mais bem desenvolvidos e ou preservados em regiões quentes, úmidas, que têm baixa atividade tectônica, relevo moderado a baixo e lençol freático elevado. Esses regolitos desenvolvem-se apenas quando a taxa de erosão é relativamente lenta em relação à taxa de intemperismo químico.

5. Depósito de Santa Fé

5.1 Localização

A cidade de Santa Fé de Goiás localiza-se a cerca de 250 km a noroeste de Goiânia, no sudoeste do estado de Goiás (Figura 3). A região possui clima tropical sazonal de inverno seco e verão chuvoso.

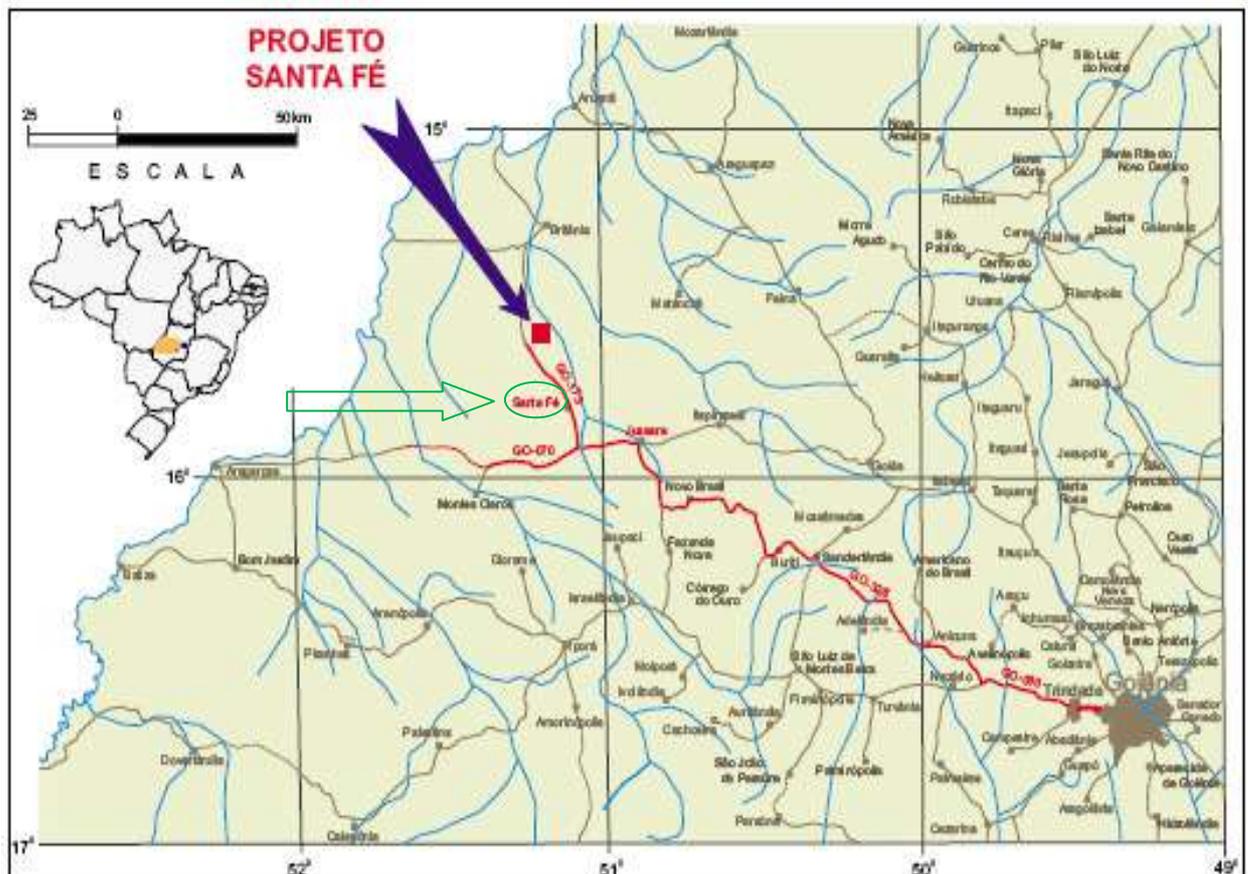


Figura 3. Mapa de localização da cidade de Santa Fé de Goiás. (Fonte CPRM)

5.2. Geologia de Santa Fé

Os depósitos de Ni Laterítico da cidade de Santa Fé de Goiás estão localizados no contexto geológico da Província Alcalina de Goiás.

Almeida (1967) associou o extenso magmatismo alcalino nas margens da Bacia do Paraná a um evento extensional chamado reativação Wealdeniana, considerado pelo mesmo como uma expressão continental da abertura do oceano Atlântico Sul, em que, num primeiro estágio (Cretáceo Inferior), foram formadas rochas alcalinas contemporâneas aos derrames de

basaltos continentais da Formação Serra Geral e num segundo estágio formaram-se as províncias alcalinas do Cretáceo Superior.

O mesmo autor distingue, na região centro oeste brasileira, quatro unidades tectônicas de idade pré- cambriana, que são: Pré- Cambriano indiferenciado ou Complexo Basal, Sistemas de Dobramentos Araxá, Sistemas de Dobramentos Paraguai-Araguaia e Sistemas de Dobramentos Brasília.

As rochas do Pré-Cambriano Indiferenciado constituem um antigo cráton metamorfizado representado por gnaisses, migmatitos, quartzitos, mica-xistos, eruptivas diversas, metabasitos e metaconglomerados. Os três grandes complexos ultrabásicos de Niquelândia, Barro Alto e Canabrava, além de vários pequenos corpos, são intrusivos nestas rochas (Angeiras 1968). O padrão geocronológico é complexo, mostrando idades desde 4000 m.a. para as ultrabásicas, até rochas afetadas pelo ciclo Transamazônico de 2000 M.a. (Oliveira, 1980).

Sobre o complexo basal arrasado, depositaram-se os sedimentos do Grupo Araxá, durante o ciclo Uruçuano (900 a 1300 m.a.) conforme Almeida (1971). São rochas sedimentares de fácies epidoto-anfibolito, de direção geral N-S e NE-SW.

Durante o Ciclo Brasileiro depositaram-se os sedimentos miogeossinclinais dos Grupos Cuiabá e Tocantins, constituindo a faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia (Almeida, 1971).

No Paleozóico, após um longo período de erosão que aplainou a superfície das unidades anteriores, iniciou-se na deposição dos sedimentos da Bacia do Paraná, onde afloram na região de Santa Fé os sedimentos da Formação Furnas, da Formação Ponta Grossa e da Formação Aquidauana (Oliveira, 1980).

No Cretáceo Superior ocorreram intrusões de caráter ultrabásico-alcálico que constituem o Grupo Iporá, provavelmente relacionado à reativação Wealdeniana (Guimarães

et al., 1968).Dentre estas intrusões destacam-se os maciços de Santa Fé, Serra Água Branca, Morro do Engenho e Iporá.

O Grupo Iporá é correlacionado ao vulcanismo alcalino que bordejia a Bacia do Paraná, o qual se desenvolveu durante o Cretáceo Superior. Segundo observações regionais de dados estruturais, correlação estratigráfica e datações radiométricas, o Grupo Iporá pertence ao Cretáceo Superior (Pena & Figueiredo, 1972).

5.3. Geologia Local

O maciço de Santa Fé é constituído por um corpo ovalado medindo aproximadamente 9,5 por 6,5 Km, com maior diâmetro na direção N-S (Barbour, 1976).

As rochas ultramáficas de Santa Fé pertencem à família ultramáfico-alcalina de idade cretácea do Grupo Iporá (Barbour, 1976). São rochas intrusivas em gnaisses afetados pelo Ciclo Brasileiro, em que o corpo intrusivo é um domo zonado de núcleo dunítico, envolvido por camadas descontínuas e concêntricas de peridotito e piroxenito, ocorrendo rochas alcalinas como pequenos corpos nas zonas mais periféricas do maciço (Oliveira et al.,1980; Barbour,1976). Seguem-se manchas da encaixante gnáissica afetadas por metamorfismo de contato e pequenas intrusões de rochas alcalinas dispersas (Barbour, 1976). Andrade e Silva (1976) mapearam lentes de hornblenda gnaisses situadas na área de contato entre o maciço e os gnaisses de metamorfismo regional, interpretando-as como uma pequena e descontínua auréola de metamorfismo do contato de grau médio (fácies hornblenda) (Figura 4).

Na área de Santa Fé, arenitos da Formação Furnas sobrepõem-se aos gnaisses, ocorrendo também uma extensa cobertura de sedimentos quaternários constituído por arenito Furnas retrabalhado (Andrade e Silva, 1980). Esta Formação é cortada pelos maciços de Iporá e Água Limpa, que são considerados contemporâneos ao maciço de Santa Fé (Barbour, 1976).

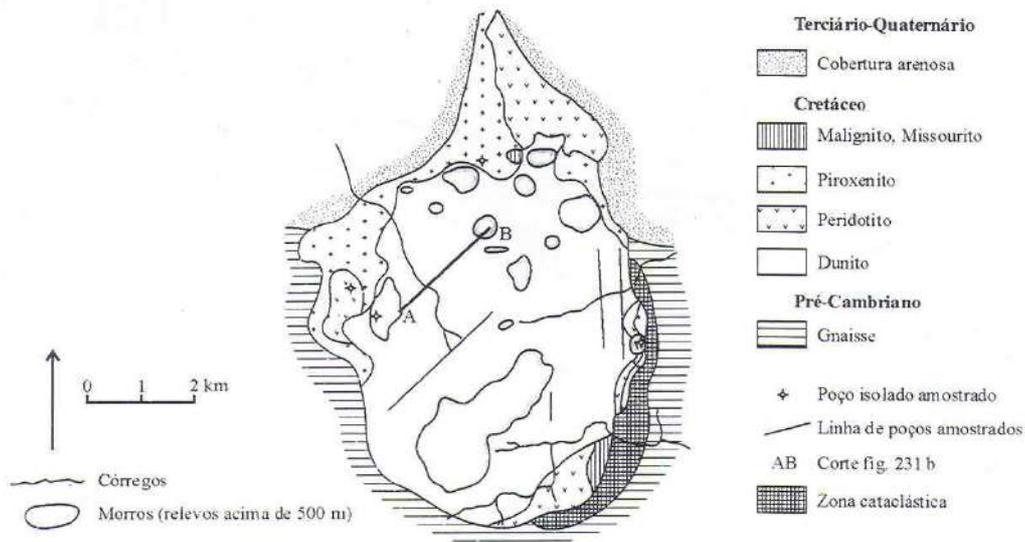


Figura 4. Geologia do maciço de Santa Fé (segundo Oliveira e Trescases, 1980).

Na área norte e sul do distrito, o dunito apresenta variações físicas e, em parte, químicas, evidenciando que o núcleo dunitico é formado por intrusões múltiplas (Barbour, 1976).

A litologia predominante no maciço de Santa Fé é constituída por serpentinitos, produtos da alteração de dunitos, peridotitos e piroxenitos (Andrade e Silva, 1980).

Barbour (1976) destaca três sistemas de fraturamentos no distrito de Santa Fé: a – Sistemas de fraturas paralelo ao contato das rochas intrusivas com as encaixantes, que devem ter se originado por esforços da intrusão, sendo por isso circulares; b- Sistemas de grande fraturas e falhas de direção não coincidente com os contatos; c- Sistema de microfraturamento originado da serpentinização das rochas ultramáficas e que facilitou a alteração secundária das rochas.

6. Características do regolito do depósito

Durante os trabalhos exploratórios efetuados pela empresa Teck Cominco o regolito de Santa Fé foi dividido nas unidades R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7 e R8 que estão descritas na tabela 2. A tabela também apresenta o limite que marca a passagem do minério silicatado ao minério oxidado dado pela diminuição de Si e Mg e aumento de Fe.

| ESTRATIGRAFIA DO REGOLITO - NIQUEL LATERITICO DE SANTA FE, GOIAS | | | | |
|--|-----------------------|--|--------|--|
| ZONA | HORIZONTE | Descrição | Codigo | Obs. |
| PISOLITICA | Solo Pisolítico | Marrom escuro avermelhado com pisolitos manganésiferos e matriz silto-arenosa. Muito magnético | R1 | Geralmente mais rico em pisolitos na porção inferior e nos furos em situações topográficas menos elevadas |
| | Crosta maciça | Estrutura pisolítica e manganésifera. Ocorre em blocos descontínuos | R2 | Na Area SE foi observado com mais frequência próximo aos canais de drenagem pela cimentação dos pisolitos do solo pisolítico |
| | Zona de Transição | Solo argiloso ferruginoso avermelhado, denso, misturado com fragmentos de pisolitos, crosta, saprolito e sílica | R3 | A passagem para o R5 ou R6 se dá a medida que a proporção das feições saprolíticas (texturadas) passam a prevalecer sobre as feições pedogênicas (argilas avermelhadas e fragmentos de crosta e pisolitos) |
| SAPROLITICA | Silcrete | São níveis de sílica, as vezes calcedonia, maciça ou em fragmentos impregnando o saprolito. | R4 | Ocorre principalmente no saprolito substituindo a textura do dunito ou na forma de veios ou bolsões ou impregnações |
| | Saprolito Ocre | Muito ferruginoso, pouco denso, pouco texturado e magnético | R5 | Ocorre sempre abaixo da zona de transição no topo do saprolito. Distingue-se do Saprolito Ferruginoso basicamente por ser menos texturado. Mais comum na área SW onde o perfil parece mais preservado |
| | Saprolito Ferruginoso | Ainda ferruginoso, de coloração marron avermelhado a alaranjado. Textura da rocha melhor preservada. Finas micas disseminadas. | R6 | Distingue-se do R5 pela melhor preservação da textura. Geralmente mais micáceo e esverdeado onde o protólito é mais rico em clorita ou serpentina. |
| | Saprolito Esverdeado | Colorações mais pardas variando do esverdeado ao cinzento. Mais coeso e bem texturado. | R7 | Contato com R6 se define pela mudança de coloração que reflete o grau de oxidação. Barreira redox ou Base da Completa Oxidação. Micas verdes e sílica em fraturas e vênulas são mais aparentes |
| | SAPROCK | Núcleos bem coesos em meio a material mais pulverulento. Mineralogia primária bem preservada. | R8 | Contato pode ser muito alternado com R7 acima ou rocha fresca abaixo. Pode ocorrer em várias passagens decimétricas que podem representar "corestones" no saprolito ou refletir o contão muito irregular. |
| | ROCHA FRESCA | Coloração preta no dunitos e esverdeada nos piroxenitos. Pode estar muito incipientemente alterada com coloração mais amarronzada pela leve ferruginização | U | |

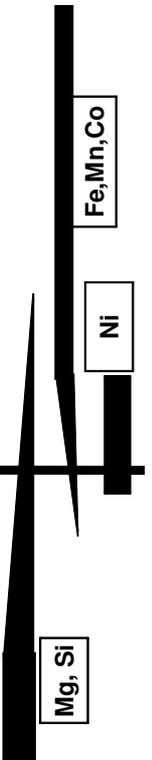


Tabela 2. Estratigrafia do regolito de depósito de Santa Fé-Go.Obs.:A unidade R6 contendo vermiculita foi nomeada como R6v.

7. Localização das Amostras estudadas

Os poços e amostras estudadas do depósito com suas localizações no perfil do regolito estão na tabela 3, que mostra as composições químicas das amostras estudadas. Pela tabela podemos observar que os maiores teores do Ni se encontram nos níveis R6 e R7 que aparecem em destaque na coluna do elemento Ni da tabela.

| Poço | XRD_UFRJ | De | para | Compr. | Lito | Al2O3% | CaO% | Co% | Cr2O3% | Fe2O3% | MgO% | MnO% | Ni% | SiO2% | TiO2% | K2O % | Na2O % |
|-----------|----------|------|------|--------|------|--------|------|-------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|--------|--------|
| SFPT-050S | | 1,00 | 2,00 | 1,00 | R1 | 6,10 | 0,05 | 0,144 | 5,40 | 69,50 | 1,00 | 0,79 | 0,309 | 9,50 | 3,30 | < 0,01 | < 0,1 |
| SFPT-050S | | 3,50 | 4,50 | 1,00 | R3a | 4,40 | 0,04 | 0,165 | 5,20 | 73,90 | 1,00 | 1,00 | 0,711 | 7,00 | 2,60 | < 0,01 | < 0,1 |
| SFPT-050S | 18047 | 5,30 | 6,10 | 0,80 | R5 | 3,20 | 0,03 | 0,156 | 4,50 | 71,80 | 2,20 | 1,20 | 1,532 | 6,70 | 1,50 | < 0,01 | < 0,1 |
| SFPT-050S | 18048 | 6,10 | 6,50 | 0,40 | R6v | 3,80 | 0,04 | 0,104 | 3,70 | 61,00 | 5,50 | 1,10 | 2,808 | 11,70 | 1,20 | < 0,01 | < 0,1 |
| SFPT-050S | 18049 | 6,50 | 7,00 | 0,50 | R6 | 1,40 | 0,12 | 0,117 | 4,00 | 59,50 | 7,70 | 0,99 | 2,105 | 14,80 | 0,79 | < 0,01 | < 0,1 |
| SFPT-050S | 18050 | 7,00 | 7,50 | 0,50 | R7 | 0,49 | 0,01 | 0,035 | 1,30 | 21,80 | 24,70 | 0,38 | 2,436 | 37,00 | 0,24 | < 0,01 | < 0,1 |
| SFPT-050S | 18052 | 8,50 | 9,50 | 1,00 | R8 | 0,30 | 0,01 | 0,024 | 1,10 | 16,60 | 29,60 | 0,29 | 1,710 | 37,50 | 0,14 | < 0,01 | < 0,1 |
| SFDD-234 | | 2,00 | 3,00 | 1,00 | R1 | 6,30 | 0,01 | 0,084 | 2,70 | 56,00 | 1,30 | 0,64 | 0,473 | 21,10 | 6,20 | < 0,01 | < 0,1 |
| SFDD-234 | 18134 | 5,00 | 6,00 | 1,00 | R6 | 5,70 | 0,15 | 0,024 | 0,51 | 28,70 | 7,00 | 0,46 | 2,959 | 41,20 | 3,90 | < 0,01 | < 0,1 |
| SFDD-234 | 18135 | 7,00 | 8,00 | 1,00 | R7 | 2,50 | 4,10 | 0,012 | 0,33 | 13,00 | 16,60 | 0,23 | 2,775 | 50,00 | 1,60 | < 0,01 | 0,10 |
| SFDD-187 | | 1,00 | 2,00 | 1,00 | R1 | 8,80 | 0,05 | 0,121 | 3,40 | 56,70 | 1,10 | 0,98 | 0,425 | 16,10 | 5,70 | < 0,01 | < 0,1 |
| SFDD-187 | 18138 | 4,80 | 5,80 | 1,00 | R6 | 26,40 | 0,10 | 0,022 | 0,30 | 20,20 | 1,80 | 0,34 | 0,383 | 36,00 | 2,10 | < 0,01 | < 0,1 |
| SFDD-187 | 18139 | 8,00 | 9,00 | 1,00 | R7 | 2,30 | 2,90 | 0,029 | 0,26 | 13,70 | 11,20 | 0,20 | 0,760 | 60,50 | 2,00 | 0,03 | < 0,1 |
| SFDD-308 | | 5,00 | 5,60 | 0,60 | R6 | 8,80 | 0,01 | 0,090 | 2,40 | 50,90 | 2,00 | 0,79 | 1,081 | 19,30 | 7,50 | < 0,01 | < 0,1 |
| SFDD-003 | | 0,00 | 0,50 | 0,50 | R1 | 5,94 | 0,36 | 0,048 | 5,38 | 51,62 | 0,93 | 0,34 | 0,187 | 25,11 | 2,83 | | |
| SFDD-003 | | 1,30 | 2,00 | 0,70 | R2 | 5,63 | 0,15 | 0,132 | 2,70 | 64,56 | 0,73 | 2,80 | 0,645 | 11,00 | 2,27 | | |
| SFDD-003 | | 3,00 | 4,00 | 1,00 | R3 | 3,67 | 0,06 | 0,042 | 2,11 | 37,37 | 3,62 | 0,62 | 0,756 | 43,12 | 1,57 | | |
| SFDD-003 | 18147 | 4,00 | 5,00 | 1,00 | R6 | 1,36 | 0,01 | 0,059 | 1,88 | 48,74 | 2,43 | 0,77 | 0,740 | 36,93 | 0,68 | | |
| SFDD-003 | 18148 | 5,00 | 6,00 | 1,00 | R7 | 2,27 | 0,09 | 0,020 | 0,75 | 17,57 | 8,82 | 0,25 | 0,453 | 63,30 | 0,94 | | |

Tabela 3. Localização das amostras estudadas nos poços (2ª coluna) com suas identificações litológicas e composições químicas. Obs.: A amostra 18049 não foi analisada.

As amostras estudadas foram coletadas de quatro poços referidos como SFDD-003, SFDD-187, SFDD-234 e SFPT-050S pela empresa e suas localizações no maciço de Santa Fé estão ilustradas na figura abaixo (Figura 5). A sigla SFDD vem de Santa Fé Diamond Drill e a sigla SFPT vem de Santa Fé PIT.

No poço SFPT-050S sobre dunitos inserem-se as amostras 18047, 18048, 18050 e 18052 representantes das unidades de regolito R5, R6v, R6 e R7 respectivamente; do poço SFDD-234 sobre peridotito foram coletadas as amostras 18134 e 18135 representantes das unidades de regolito R6 e R7 respectivamente; no poço SFDD-187 sobre piroxenitos foram coletadas as amostras 18138 e 18139 respectivamente representantes das unidades R6 e R7 do regolito; e no poço SFDD-003 sobre dunitos as amostras 18147 e 18148 representantes das unidades R6 e R7 respectivamente.

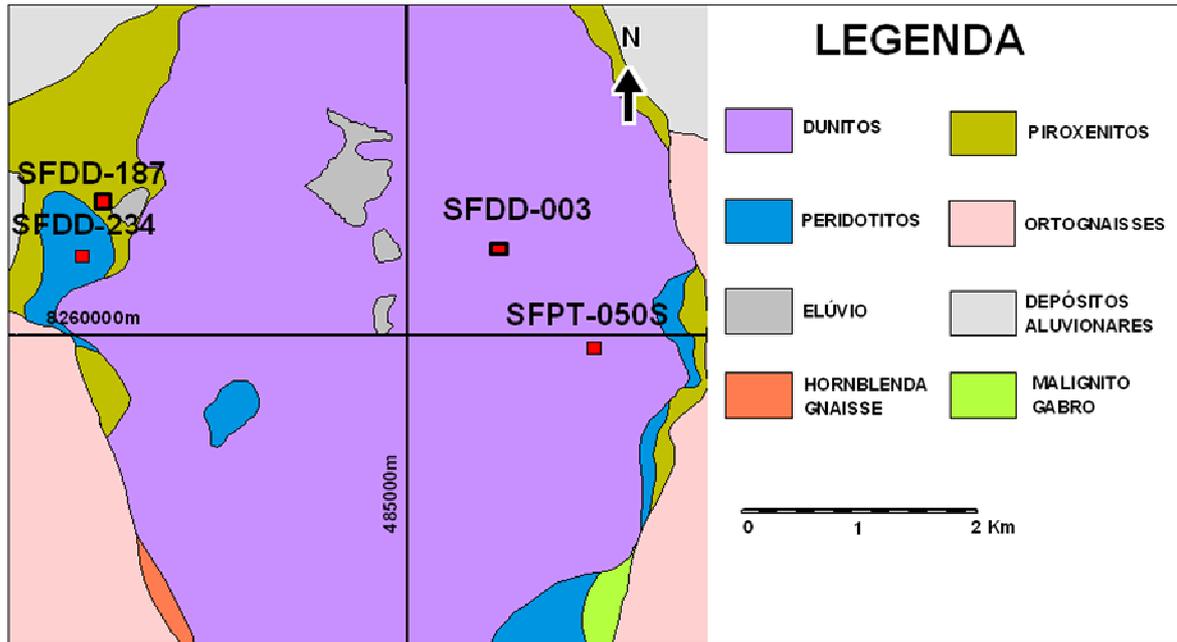


Figura 5. Mapa de localização dos poços das amostras estudadas no maciço de Santa Fé.

As figuras de seis a nove a seguir, elaboradas com auxílio do programa Logplot, apresentam o perfil de regolito de cada poço e a localização das amostras estudadas nos mesmos, como também as composições químicas de cada intervalo dos perfis.

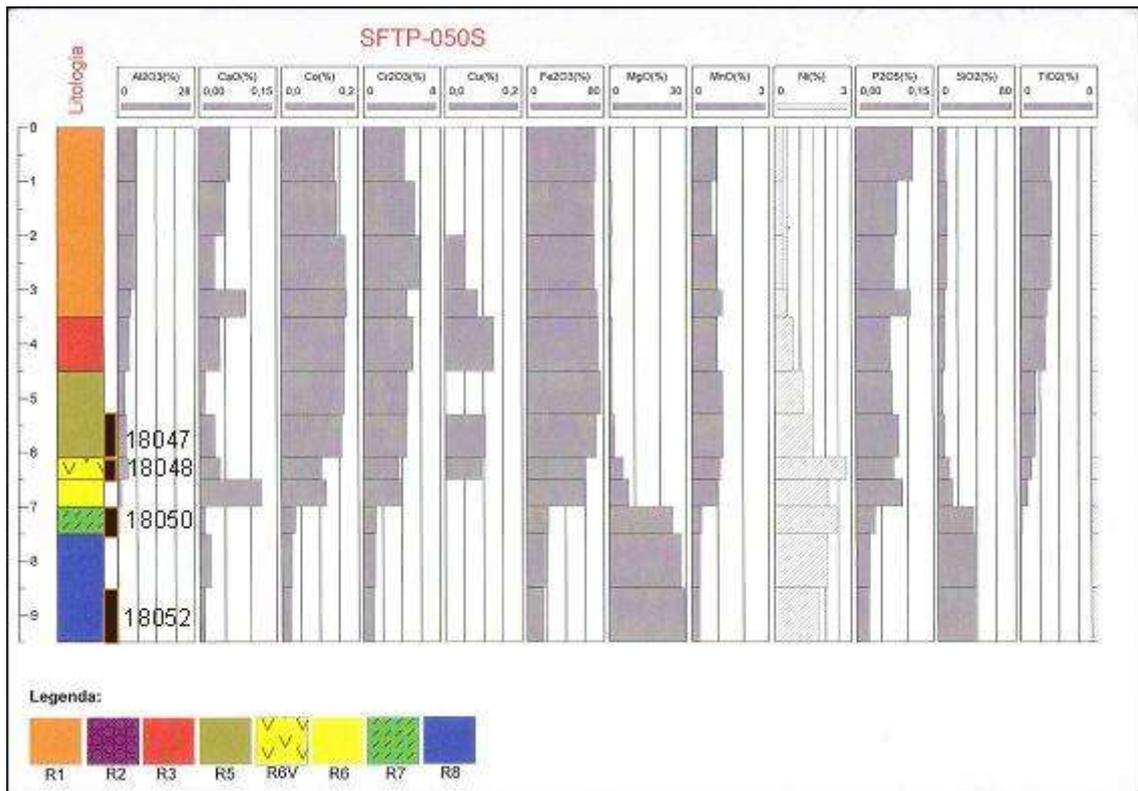


Figura 6. Poço SFTP-050S com a localização de suas amostras e composição química dos seus intervalos do perfil. O poço está situado sobre dunitos.

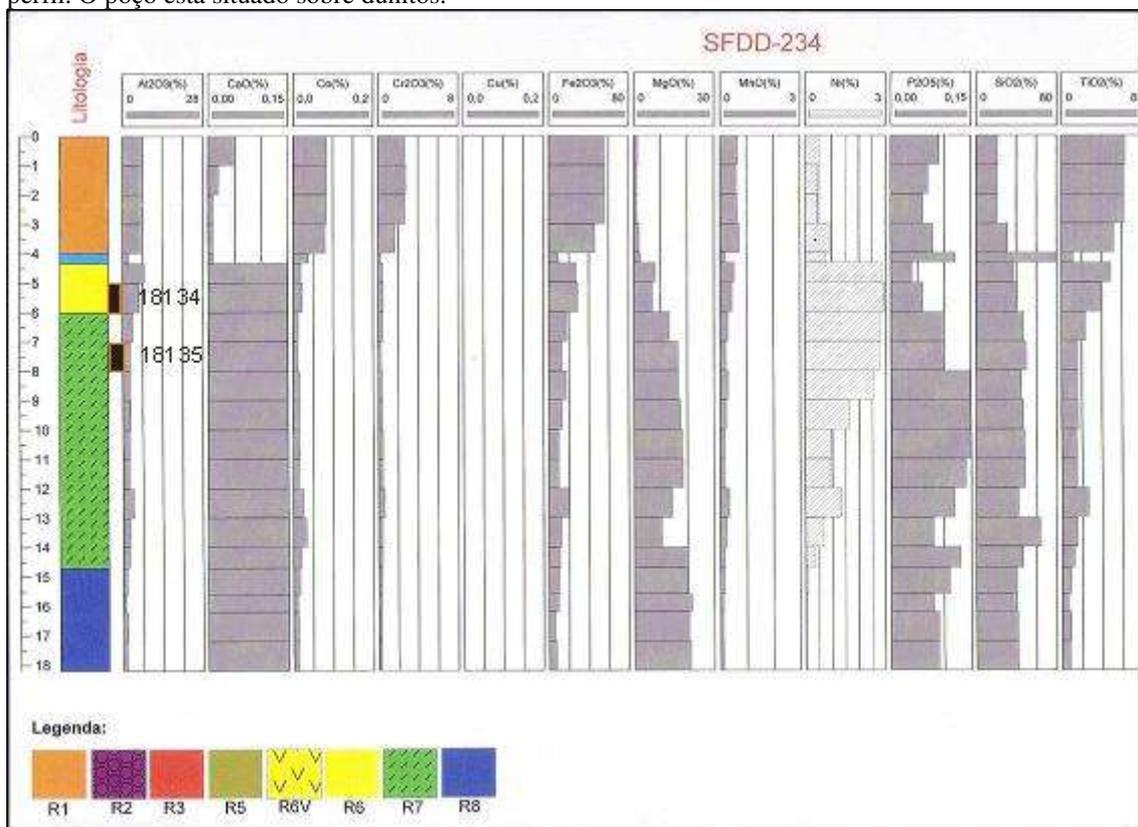


Figura 7. Poço SFDD-234 com a localização de suas amostras e composição química dos seus intervalos do perfil. O poço está situado sobre peridotitos.

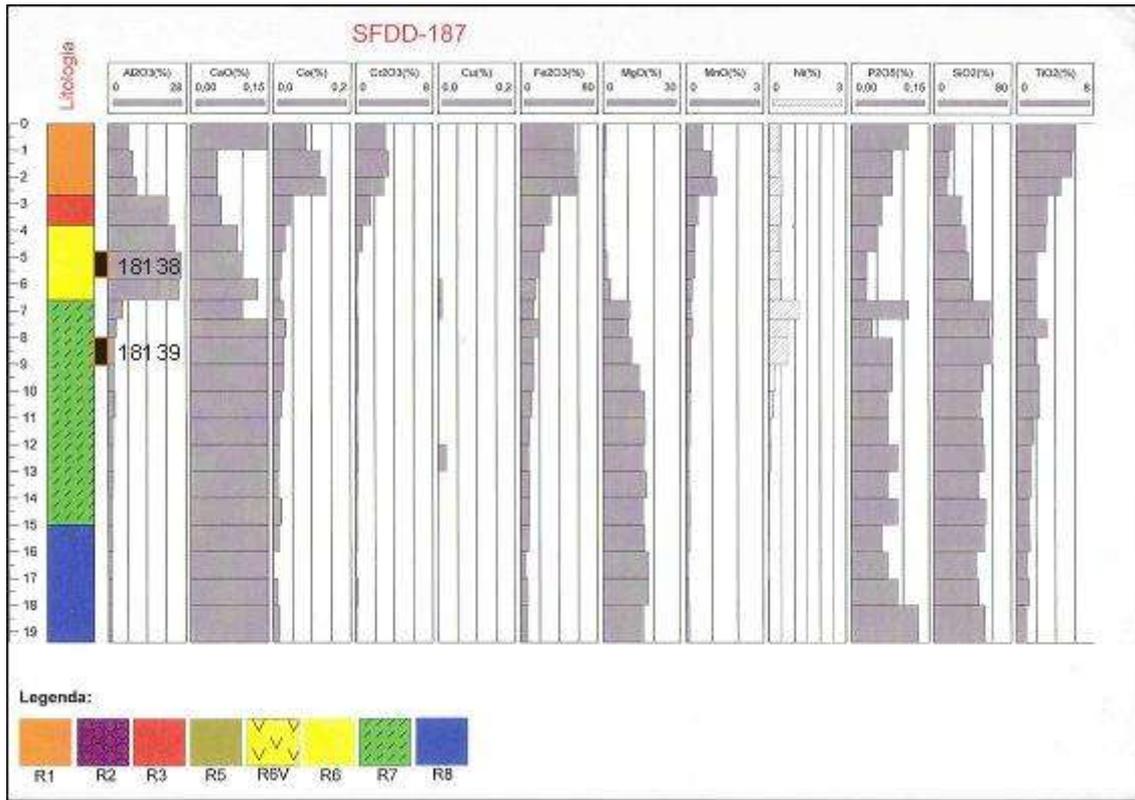


Figura 8. Poço SFDD-187 com a localização de suas amostras e composição química dos seus intervalos do perfil. O poço está situado sobre piroxenitos.

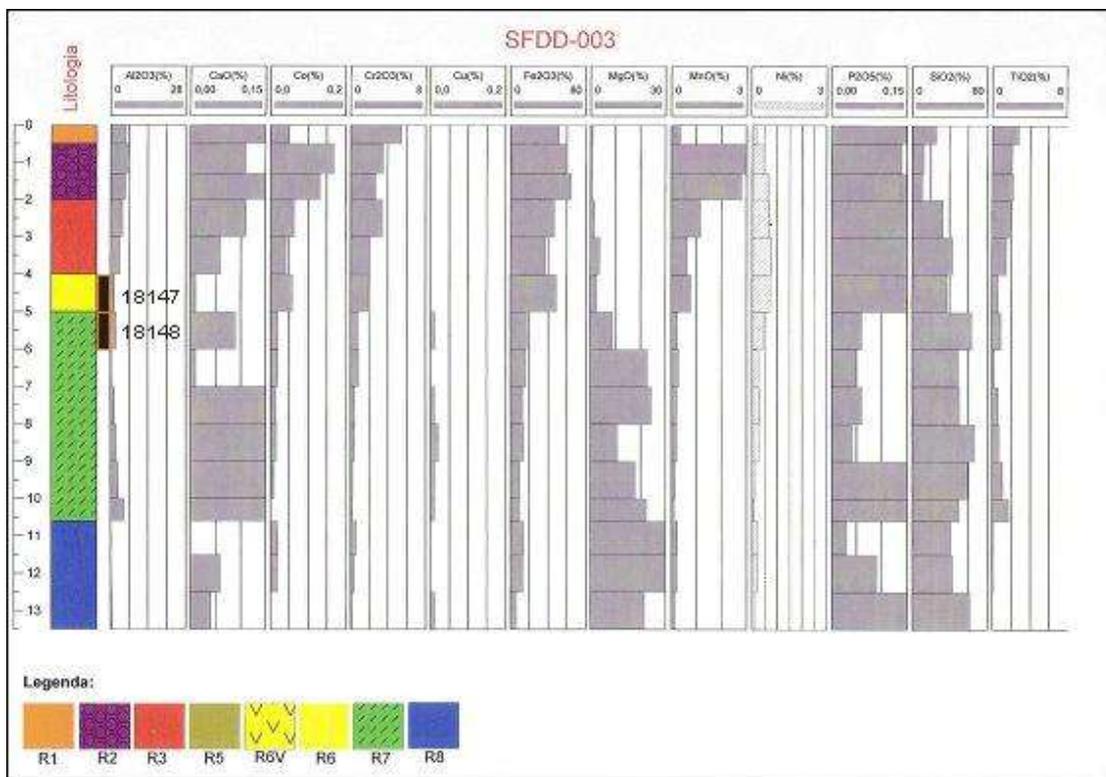


Figura 9. Poço SFDD-003 com a localização de suas amostras e composição química dos seus intervalos do perfil. O poço está situado sobre dunitos.

8. Metodologia de laboratório

As amostras de poço foram primeiramente pulverizadas em um moinho de disco, obtendo-se alíquotas de amostra total. Posteriormente foram efetuadas as separações granulométricas para se obter a fração argila, que foi a fração granulométrica analisada por DRX. Desta fração argilosa foram feitas análises de DRX para uma alíquota não tratada e uma alíquota tratada para a retirada do Fe. Desta última foi dada seqüência para tratamento com etileno glicol e aquecimento a 550 °C.

Abaixo, descrevemos os procedimentos laboratoriais para a obtenção das alíquotas.

8.1. Pulverização das amostras

As amostras foram colocadas separadamente em um moinho de disco de ferro durante o período de um minuto. Após isso se limpa o moinho a fim de que não ocorra contaminação das amostras.

8.2. Obtenção das frações argila, silte e areia (para o estudo da mineralogia).

Em um recipiente de polietileno foi colocado terra fina seca ao ar e aplicado 10 ml de hidróxido de sódio (NaOH) e 200 ml de água destilada. Este material foi agitado e colocado em repouso de vinte e quatro horas.

Após isso o material foi transferido para a coqueteira e agitado por quinze minutos.

Em seguida filtrou-se esse material por uma peneira de 0,056 mm e com o auxílio de um funil o material foi transferido para uma proveta. O material que fica na peneira é lavado a fim de se retirar todos os sedimentos de fração menor que 0,056 mm(silte e argila).Então acrescenta-se água destilada até completar 1000 ml na proveta.

O material remanescente na peneira é areia fina que foi coletada e armazenada em becher de vidro e colocada ao ar para secagem.

Na proveta, o material (argila e silte) foi agitado por dois minutos e colocado em repouso durante 24 horas em local isolado. Após esse tempo ocorre uma separação

granulométrica em que o material argiloso permanece nos primeiros 20 cm abaixo da lâmina de água da proveta. Então, com um tubo plástico retirou-se esse material argiloso.

O material que permanece na proveta é silte e argila. Completa-se na proveta, até 1000 ml de água destilada e deixa-se em repouso durante 24 horas para coletar o material argiloso, novamente.

Para obter a fração silte, é acrescentada água destilada até completar 1000 ml e após 15 minutos retirar o material que estiver 20 cm abaixo da lâmina de água. Repete-se este processo até que a água abaixo dos 20 cm da lâmina de água esteja completamente limpa. O que ficar abaixo dessa medida, então, é apenas a fração silte.

Posteriormente, foi adicionado à porção de argila coletada 10 ml de ácido clorídrico (HCl) para neutralizar o NaOH deixando em repouso por 24 horas. Após isto a argila foi lavada para se retirar os reagentes.

Para isso, colocou-se água destilada junto às argilas em tubos de centrífuga e esse conjunto foi para a centrífuga, a fim de separar a água destilada da argila. Após isto eliminou-se o sobrenadante. Esse processo foi repetido até que os reagentes químicos saíssem completamente das amostras de argila juntamente com o sobrenadante. Para comprovar isso colocou-se algumas gotas de nitrato de prata (AgNO_3) no sobrenadante. Se ocorrer um esbranquiçamento na água significa que a mesma ainda possui reagentes e caso contrário, não havendo reação e o sobrenadante estando límpido, significa que os reagentes foram retirados satisfatoriamente.

8.3. Procedimento para retirar o ferro.

A argila foi levada a um becker de vidro adicionando-se 40ml de citrato de sódio(0,3 molar) e 5ml de bicarbonato de sódio (1 molar). A argila deve ficar bem solta a fim de que entre em contato com esses reagentes. Para isso agitou-se bem o material e quando necessário o mesmo foi levado ao aparelho de ultra-som.

Após isso foi levado o becker com o material argiloso à chapa, aquecendo o material até atingir a temperatura de 75 a 80 °C. Neste momento acrescentou-se um grama de ditionito de sódio que foi acrescentado a cada intervalo de cinco minutos nessa mesma faixa de temperatura por três vezes.

Em seguida o material foi lavado até que todo o ditionito de sódio fosse eliminado pelo sobrenadante.

Para algumas de nossas amostras foi necessário dobrar a concentração de reagentes para a retirada de ferro.

Este procedimento elimina o ferro livre e adsorvido na superfície dos minerais.

8.4. Confeção de lâminas e obtenção dos difratogramas.

Foram feitas lâminas orientadas de argilas não tratadas (1), argilas sem ferro (2), argilas saturadas com etileno glicol (3) e argilas aquecidas a 550° C (4).

Após obtidos os difratogramas das argilas sem ferro, as mesmas foram saturadas com etileno glicol em um dissecador por quatro horas e levadas para análise de raio X em seguida. Feitos os difratogramas, as mesmas lâminas com argilas sem ferro foram aquecidas por cinco horas a 550° C e levadas para análise de raios-X.

Com isso, obteve-se quatro diferentes tipos de difratogramas para cada uma das dez amostras, resultando em quarenta difratogramas.

Os difratogramas foram obtidos após realizadas as difrações de raios-X em um aparelho com tubo de cobre e variando o ângulo 2θ de 2° até 30° para amostras não tratadas(1) e sem ferro(2) e para as amostras glicoladas(3) e aquecidas(4) a variação deste ângulo foi de 2° até 16°. Os difratogramas foram digitalizados com o auxílio do programa Corel Draw e as imagens dos difratogramas (2), (3) e (4) foram superpostas para melhor visualização.

9. Resultados

Os difratogramas das amostras sem tratamento para a retirada de Fe foram obtidos em nossos primeiros resultados, o que em muitas amostras se tornava inviável para a identificação dos minerais. O ferro retirado é o ferro livre e adsorvido nas superfícies dos minerais. Ao compararmos os difratogramas da figura 10 com os demais difratogramas das figuras de 11 a 20 observamos uma mudança significativa, com os picos dos minerais bem acentuados e distintos possibilitando suas identificações.

Os difratogramas foram interpretados com auxílio da tabela de identificação de Santos (1975), Thorez (1975) e Bayliss et al(1993).

Observando os difratogramas de raios-X das figuras 11 a 20 observamos a presença dos seguintes minerais principais: esmectitas, cloritas, e lizarditas, além de caolinitas, ilitas e interstratificados destes minerais.

Desses minerais encontrados, os que possuem importância econômica para a exploração de níquel são as cloritas, esmectitas e lizarditas. Estas últimas são serpentinas que podem sofrer troca de ions de Mg por ions de Ni como mostrado na tabela 1. As esmectitas podem ser do tipo nontronita (esmectitas ferríferas) e representar um desses minerais de minério de Ni, o qual entra na sua composição pela substituição do Fe. As cloritas também sofrem troca iônica de Mg por Ni.

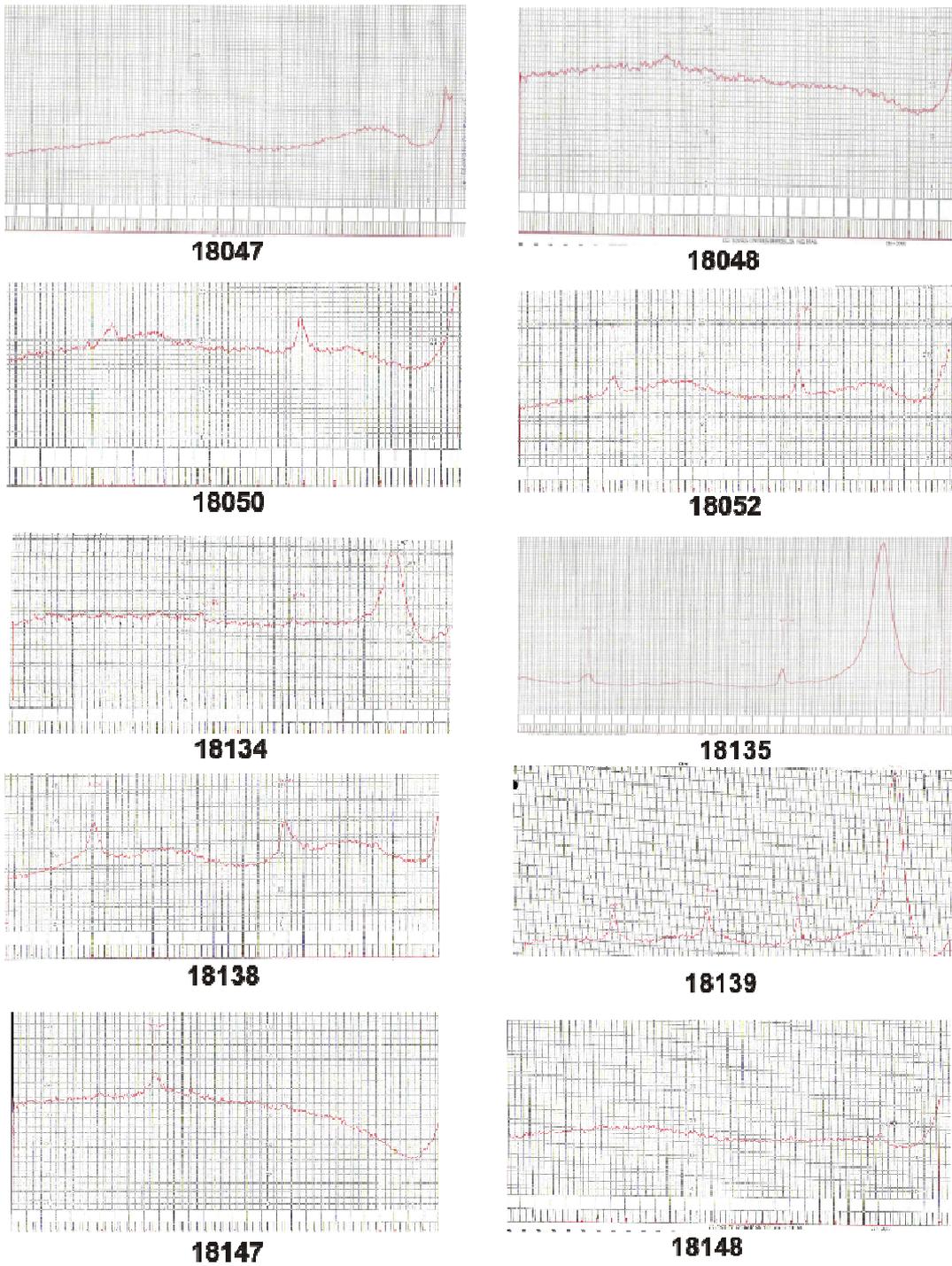


Figura 10. Difratoogramas das amostras antes do tratamento para a eliminação do Fe.

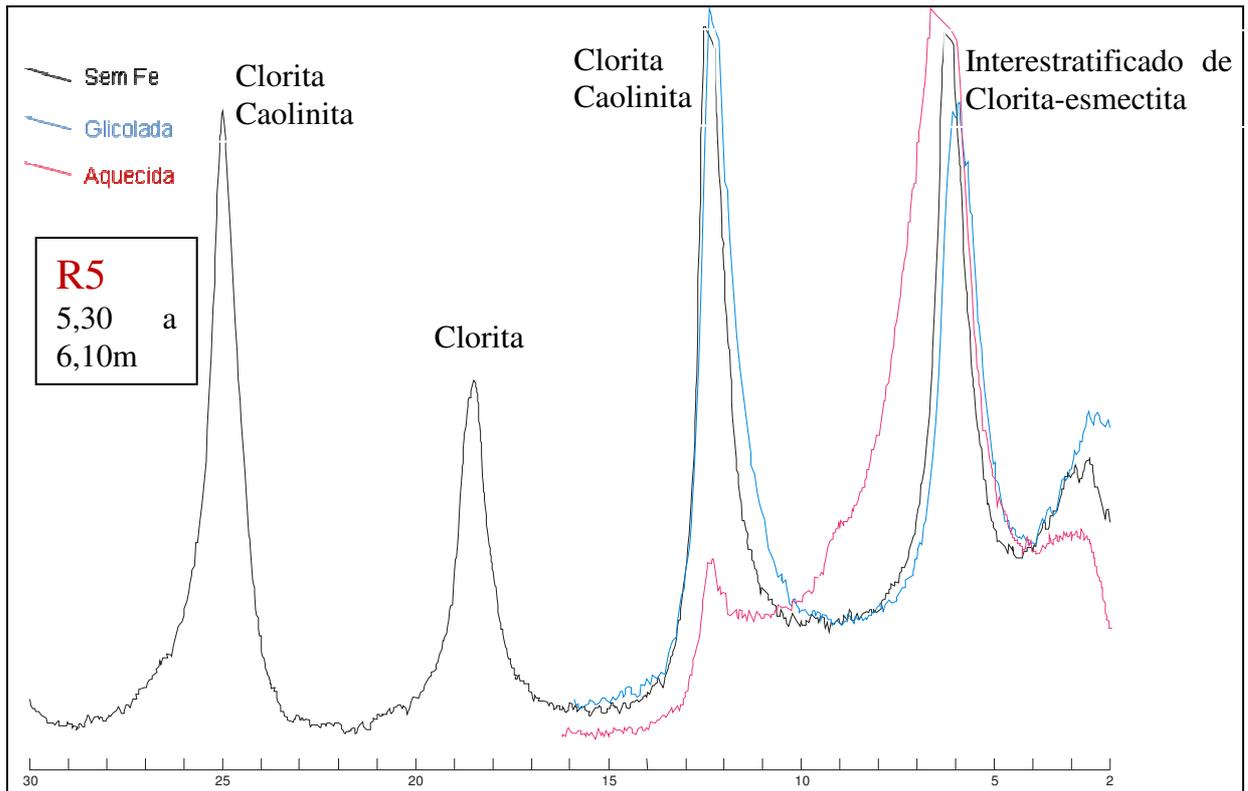


Figura 11. Amostra 18047(R5) do poço SFPT-050S localizado sobre dunitos. A escala mostra a variação do ângulo 2θ de 2° a 30° para esta e outras amostras.

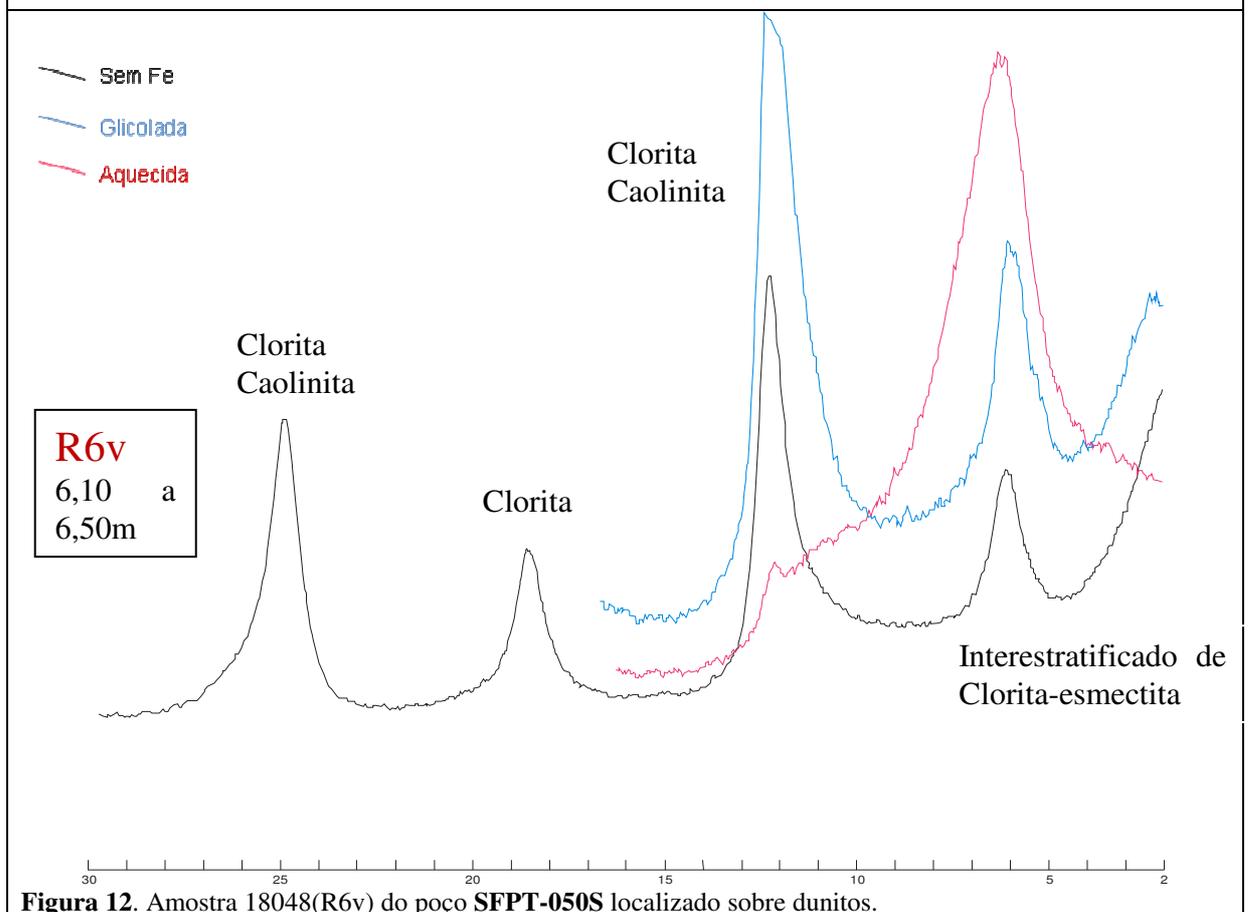


Figura 12. Amostra 18048(R6v) do poço SFPT-050S localizado sobre dunitos.

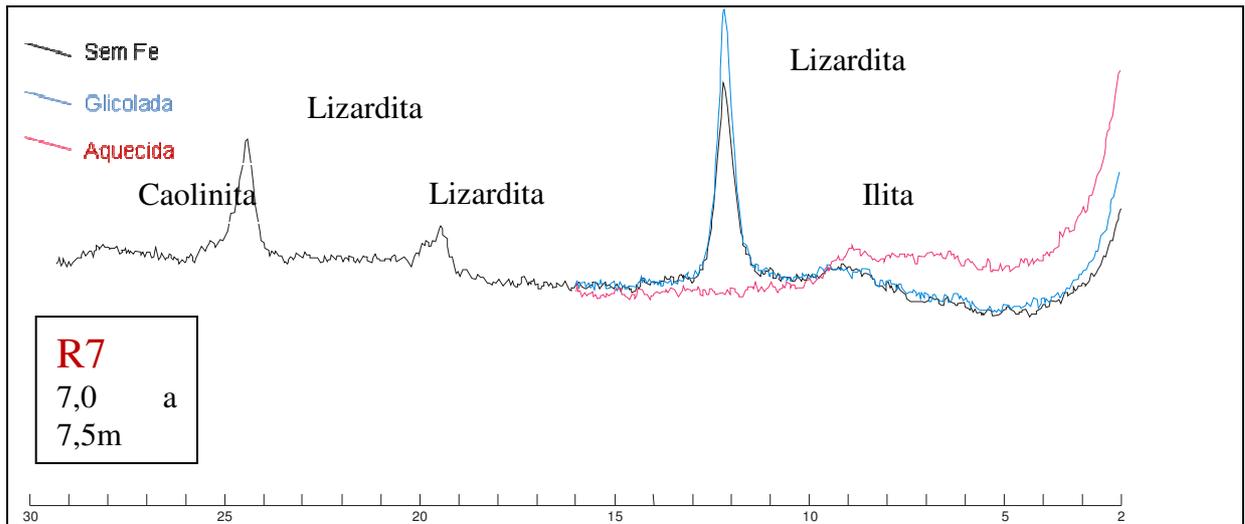


Figura 13. Amostra 18050(R7) do poço SFPT-050S localizado sobre dunitos.

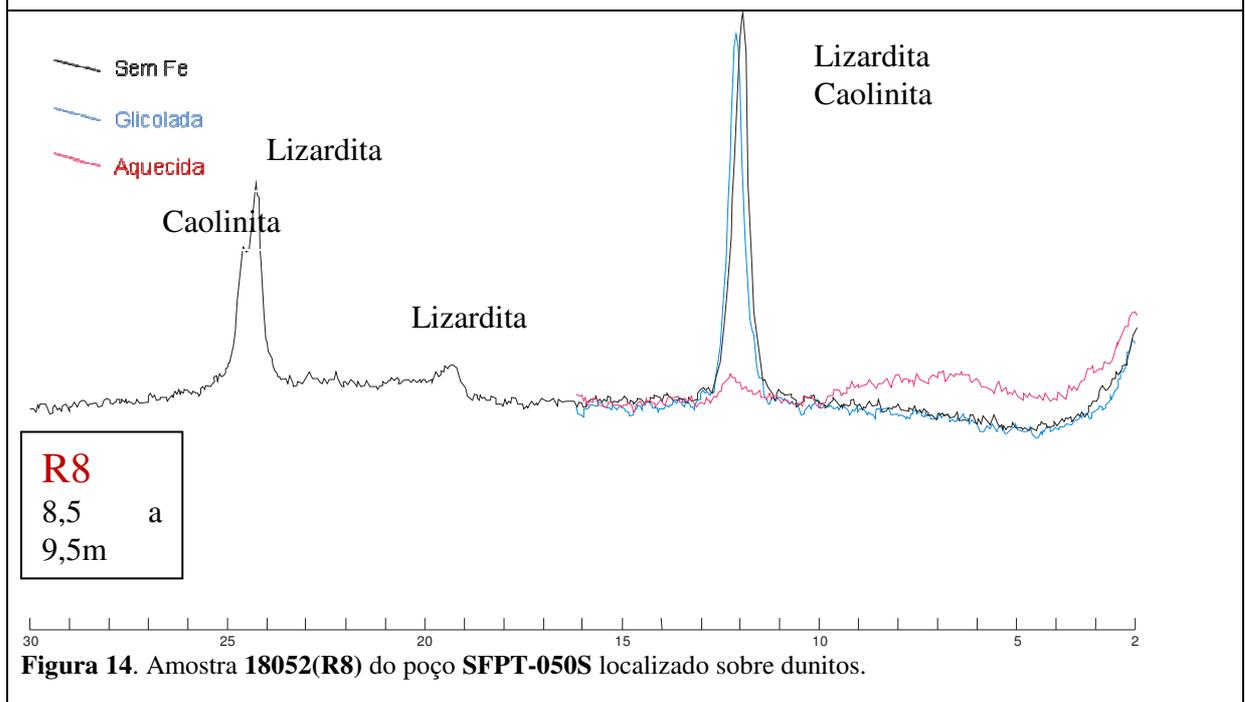


Figura 14. Amostra 18052(R8) do poço SFPT-050S localizado sobre dunitos.

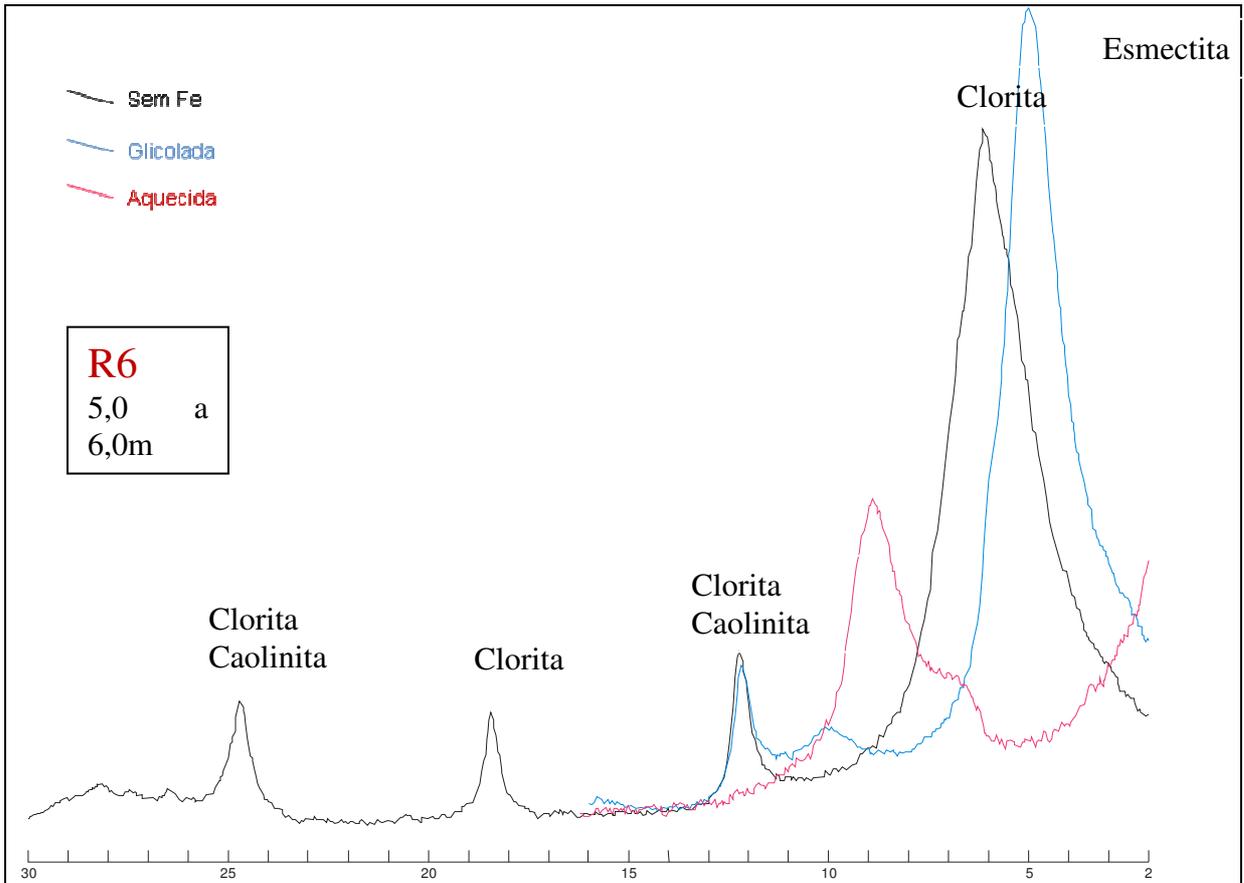


Figura 15. Amostra 18134(R6) do poço SFDD-234 localizado sobre olivina-piroxenitos.

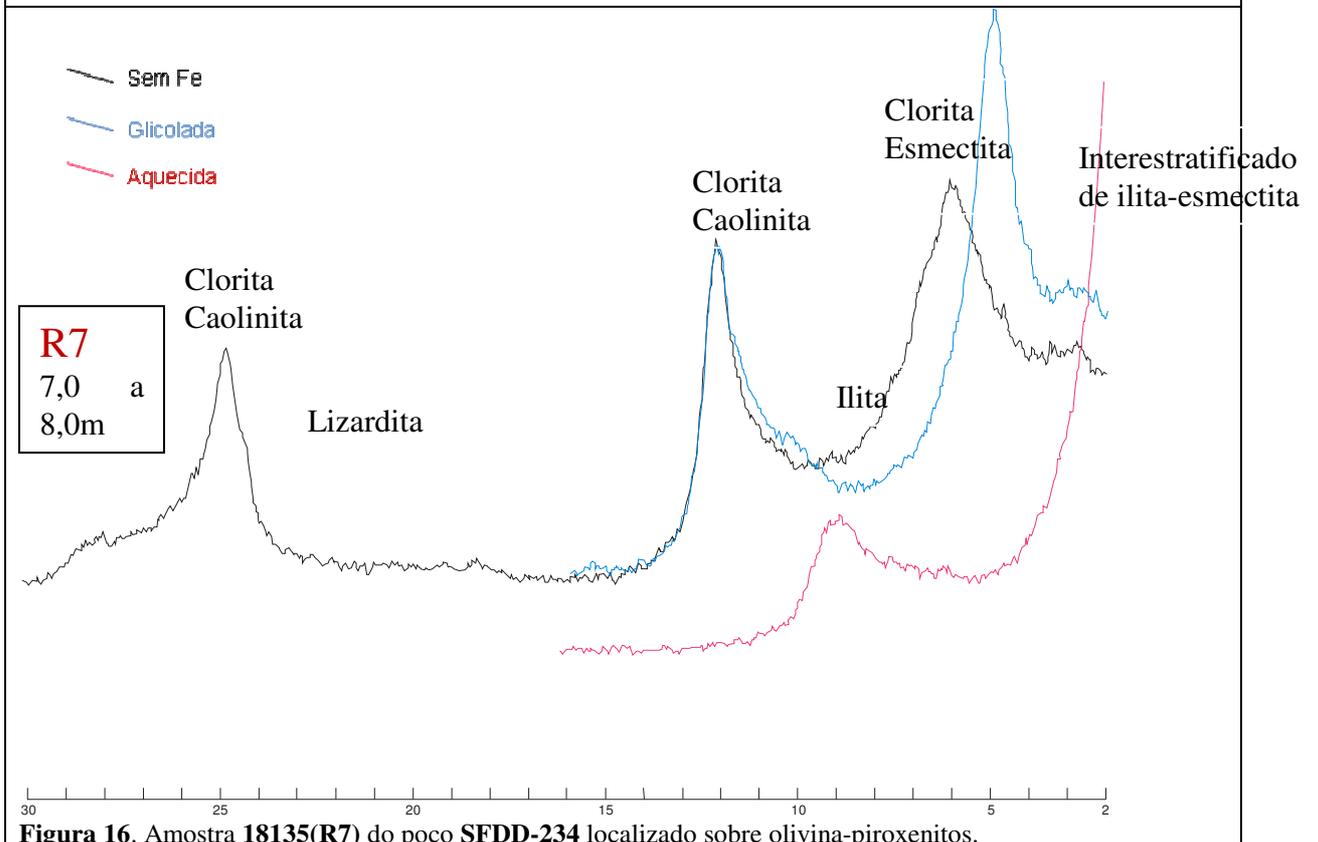


Figura 16. Amostra 18135(R7) do poço SFDD-234 localizado sobre olivina-piroxenitos.

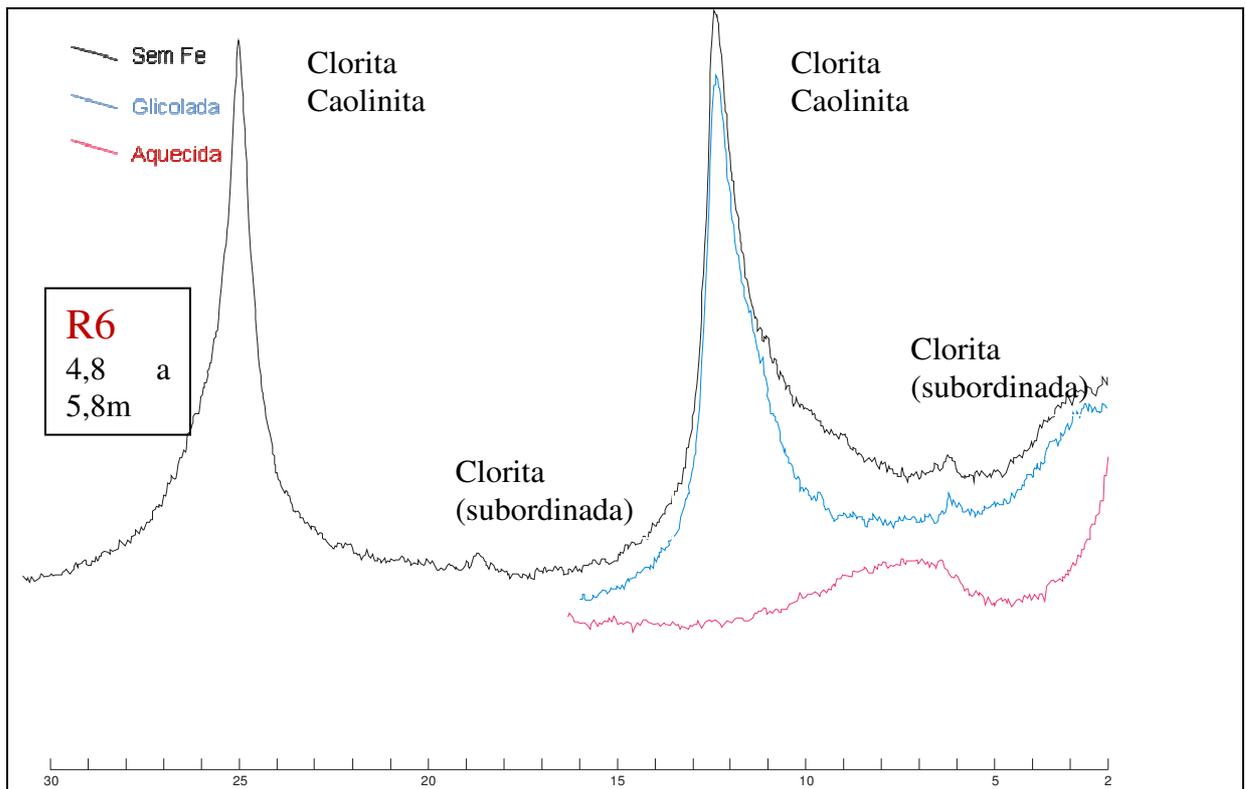


Figura 17. Amostra 18138(R6) do poço SFDD-187 localizado sobre piroxenitos.

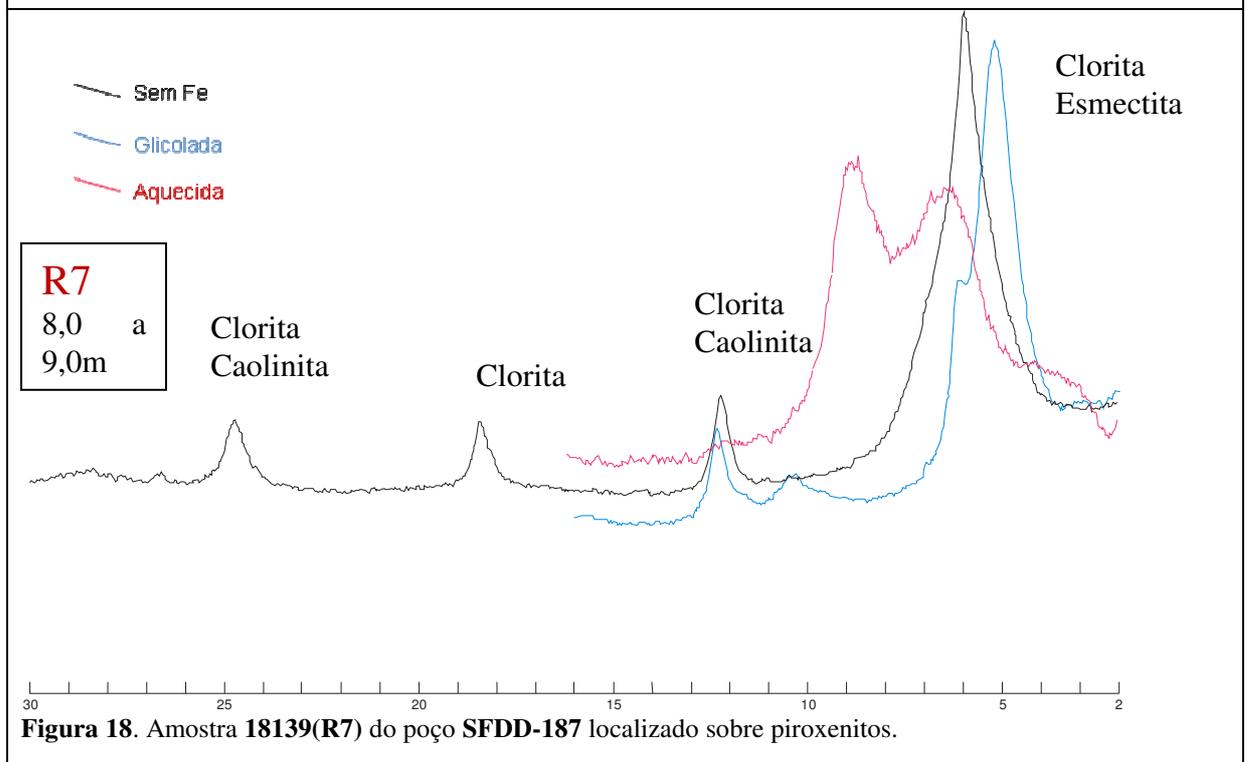


Figura 18. Amostra 18139(R7) do poço SFDD-187 localizado sobre piroxenitos.

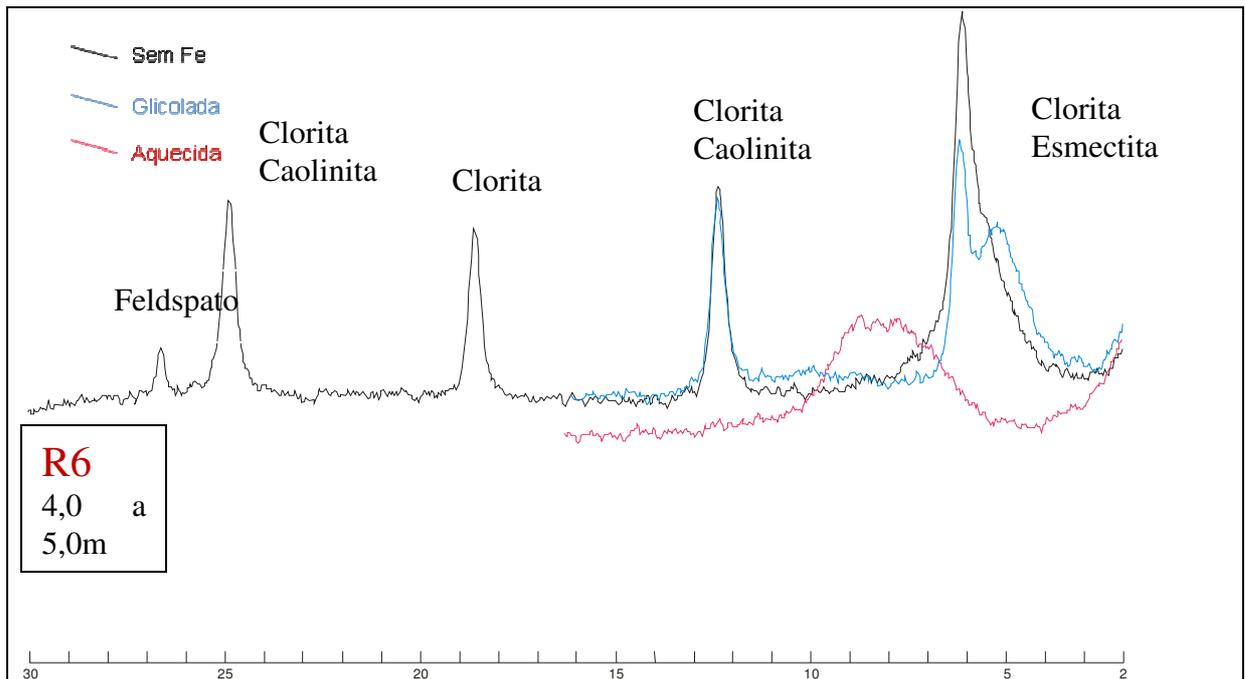


Figura 19. Amostra 18147(R6) do poço SFDD-003 localizado sobre dunitos.

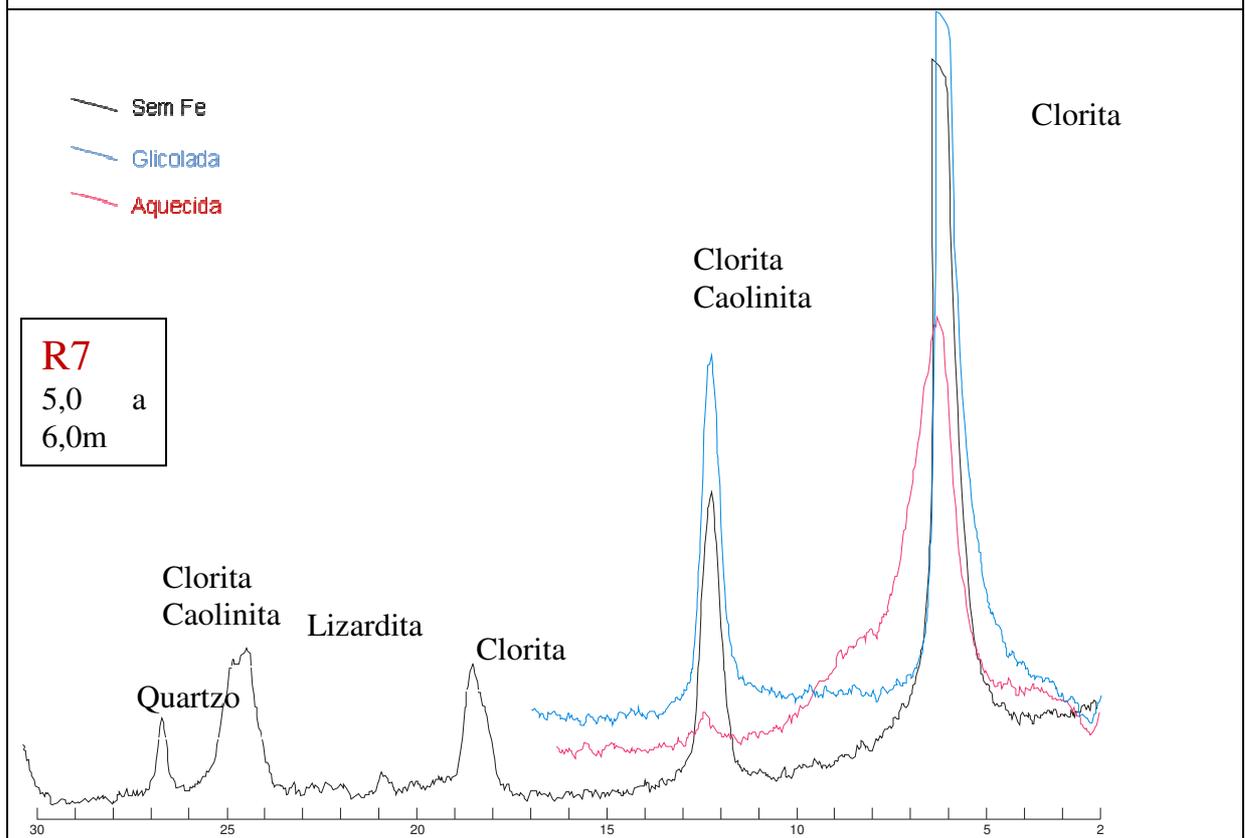


Figura 20. Amostra 18148(R7) do poço SFDD-003 localizado sobre dunitos.

A tabela abaixo apresenta um resumo dos principais minerais de argila encontrados nas amostras excluindo-se os óxidos e hidróxidos de ferro.

| SFTP-050S | SOBRE DUNITOS |
|---------------------------------------|--|
| R5(Saprolito Ocre) | Caolinita(2), clorita(1), interestratificado clorita-esmectita(3). |
| R6v(Sap. Ferruginoso com vermiculita) | Caolinita(2), clorita(1), interestratificado clorita-esmectita(3) |
| R7(Saprolito esverdeado) | Lizardita(1), caolinita(2), ilita(3). |
| R8(Saprock) | Lizardita(1), caolinita(2). |
| | |
| SFDD-234 | SOBRE PERIDOTITOS |
| R6 (Saprolito Ferruginoso) | Esmectita(1), clorita(2), caolinita(3). |
| R7(Saprolito esverdeado) | Esmectita(1), clorita(3), caolinita(2), lizardita(4), ilita(6), enterestrat. ilita-esmectita(5). |
| | |
| SFDD-187 | SOBRE PIROXENITOS |
| R6(Saprolito Ferruginoso) | Caolinita(1), clorita(subordinada) |
| R7(Saprolito esverdeado) | Esmectita(1), clorita(2), caolinita(3). |
| | |
| SFDD-003 | SOBRE DUNITOS |
| R6(Saprolito Ferruginoso) | Esmectita(2), clorita(1), caolinita(2), ilita(3). |
| R7(Saprolito esverdeado) | Lizardita(3), clorita(1), caolinita(2), ilita(4) |

Tabela 4. Resumo dos minerais identificados nos difratogramas de raios-x. Os números entre parênteses são estimativas da ordem de abundância relativa dos minerais por unidade.

As esmectitas no maciço de Santa Fé podem se formar de duas formas, segundo Oliveira & Melfi (1979). Uma dessas seria por neogênese direta a partir dos piroxênios que sofrem hidrólise e dão origem a nontronita (esmectita rica em Fe). Esta se forma em meios saturados e confinados nos primeiros estágios de alteração dos piroxênios. Em meios mais bem drenados, a esmectita é solubilizada, liberando a sílica e precipitando compostos ferruginosos. Outro meio de formação seria pela transformação a partir das micas trioctaedrais, associadas a uma progressiva vermiculitização das micas e posterior transformação para esmectita. Estas esmectitas são mais resistentes à alteração por serem bem estruturadas e estarem protegidas pelas lamelas de micas permanecendo preservadas mesmo nos meios mais superficiais. Dos poços estudados, as esmectitas aparecem principalmente nos poços SFDD-187 E SFDD-234

sobre piroxenitos e peridotitos respectivamente (vide tabela 4), devido à maior presença de piroxênios nessas rochas.

As lizarditas são minerais primários nessas rochas e ao contrário das esmectitas, estão mais associadas aos poços localizados sobre dunitos (SFTP-050S e SFDD-003) estando também associadas, menos frequentemente, ao poço SFDD-234 sobre peridotitos. Essas serpentinas são encontradas a níveis mais profundos no regolito, diretamente associadas à rocha fresca serpentinizada.

As cloritas devem ser secundárias no regolito. No depósito do Vermelho, em Carajás, Silva & Oliveira (1995) descrevem análises químicas por microsonda eletrônica de cloritas e serpentinas em que foram encontradas composições intermediárias entre esses dois minerais, sugerindo uma passagem da serpentina para a clorita. Nas análises de raios-x do regolito de Santa Fé observa-se uma tendência maior para a presença de cloritas nas porções superiores do regolito, indicando uma possível passagem de fase. No poço SFTP-050S (vide tabela 4) podemos observar que nas unidades de Saprolito esverdeado (R7) e Saprock (R8) não há presença de cloritas, mas há serpentinas. Nas unidades superiores esta situação se inverte, onde há cloritas nos níveis de Saprolito Ocre (R5) e Saprolito Ferruginoso com vermiculita (R6v), porém não há serpentinas.

É importante salientar que na amostra 18048 do poço SFTP-18050S no nível de Saprolito Ferruginoso com vermiculita (R6v) não foi encontrada vermiculita nas análises de raios-x. Isso se deve ao fato de que apenas clorita deve ser o responsável pelo aspecto micáceo desse mineral ou porque a vermiculita está na fração mais grosseira em que não foi efetuada análise por DRX.

10. Comparação de Resultados: Santa Fé x Vermelho.

Comparando dados de ambos os depósitos de Santa Fé e do depósito do Vermelho podemos observar muitas semelhanças, principalmente mineralógicas (Tabela 5). Os principais minerais nos níveis de serpentinito parcialmente alterado e nos minérios silicatados de ambos depósitos são serpentinas e nos minérios oxidados de ambos depósitos são goethitas, sendo que são descritas serpentinas, também, como mineralogia principal deste tipo de minério em Santa Fé por Oliveira & Trescases (1980).

O regolito do depósito de Santa Fé tem aproximadamente 20 metros de profundidade, enquanto que o depósito do Vermelho tem mais de 37 metros de profundidade. Ambos os perfis de alteração são muito semelhantes. A figura 21 mostra o perfil de alteração típico de encosta no depósito do Vermelho, segundo Silva & Oliveira (1995).

Ambos os perfis de alteração são desenvolvidos, essencialmente, sobre dunitos intensamente serpentinizados.

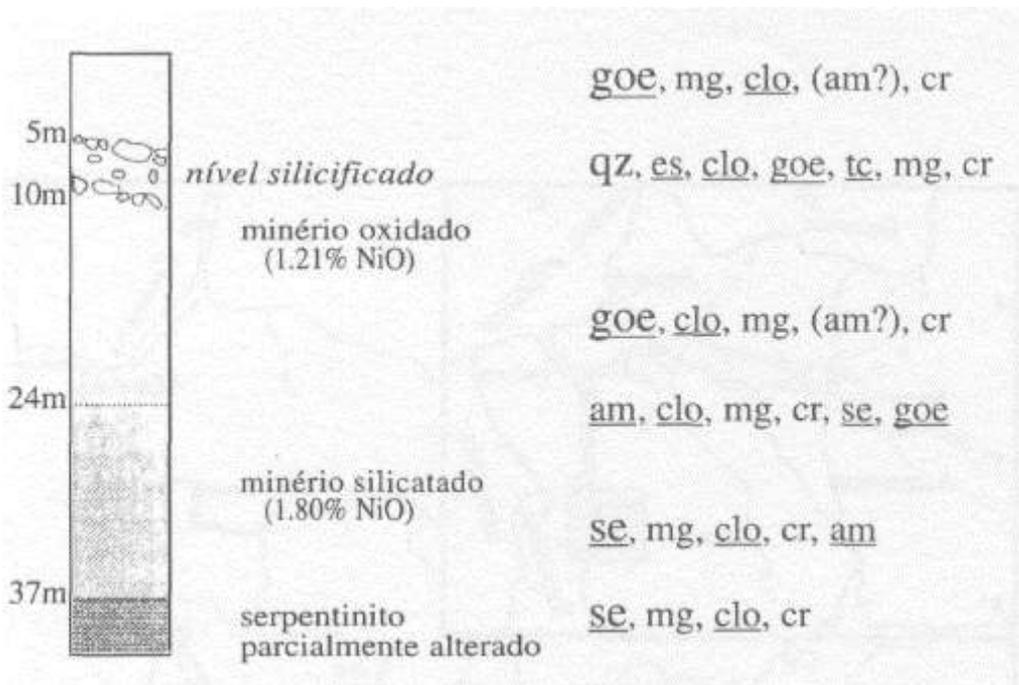


Figura 21. Perfil de alteração típico de encosta no **depósito do Vermelho**, segundo Silva & Oliveira (1995) (goe = goethita; se = serpentina; mg = magnetita; clo = clorita; cr = cromita, qz = quartzo; am = amorfos). Minerais sublinhados = fases niquelíferas.

| Vermelho | | | | Santa Fé | | |
|-----------------|--|--|---|--|--|---|
| Tipo de Minério | Oxidado | Silicatado | Serpentinito parcialmente alterado | Oxidado (R6 e R5) | Silicatado (R7) | Serpentinito parcialmente alterado(R8) |
| | Goethita Clorita Quartzo Espinélio Caolinita | Serpentina Magnetita Clorita Cromita amorfos | Serpentina Magnetita Clorita Cromita | Vermiculita Cromita Serpentina Goethita Hematita Quartzo Gel Si-Fe Clorita Esmectita Ilita Caolinita | Vermiculita Cromita Quartzo Gel Si-Fe resíduo Fe-Ni Serp(Liz) Esmectita Cao Ilita Clorita | Olivina Serp(Liz) Vermiculita Clorita Quartzo Gel Si-Fe Caolinita |
| | Teor médio=1,21 % de Ni | Teor médio=1,8% de Ni | | Teor médio=1,45% de Ni | Teor médio=0,91% de Ni. | |

Tabela 5. Tabela mineralógica segundo Alves *et al* (1986) *opud cit* Silva & Oliveira(1995) para o depósito do **Vermelho** e segundo Oliveira & Trescases (1980) para o depósito de **Santa Fé**. Minerais sublinhados são os minerais principais de cada unidade. Os minerais em negrito são os minerais relatados neste trabalho.

11. Conclusão

É fundamental a retirada de ferro livre e adsorvido na superfície dos minerais para melhor observar a natureza dos minerais de argila.

Dentre os argilominerais presentes nas amostras analisadas, foram encontrados esmectitas, cloritas, caolinitas, ilitas e lizarditas, sendo que apenas esmectitas, cloritas e lizarditas representam os potenciais portadores de níquel.

As cloritas analisadas indicam ser secundárias de lizarditas, porém, faz-se necessárias melhores análises, como análises por microsonda eletrônica para esses dois minerais.

As lizarditas são provenientes do protólito e são encontradas nos níveis mais profundos, de saprolito esverdeado e Saprock.

As esmectitas podem ser ricas em Fe (nontronitas) permitindo troca iônica de Fe por Ni. Sugerimos a averiguação se essas esmectitas são nontronitas através de análises de MEV (microsonda eletrônica de varredura).

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, F.F.M. de. 1967. Origem e Evolução da Plataforma Brasileira. DNPM, Div. Geol. e Min., Bol. n° 241, Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, F.F.M. de. 1971. Geochronological division of the precambrian of South America. *Revista Brasileira de Geociências*, 1(1):13-21.
- ANDRADE E SILVA, A.C.G. de. 1980. Mineralogia, material amorfo, evolução genética e estudo de níquel e cromo no perfil de alteração do maciço ultramáfico de Santa Fé, Goiás. Programa de Pós graduação em geologia, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, p. 136.
- ANGEIRAS, A.G. 1968. A faixa de serpentinitos da região central de Goiás. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 40: 129-136.
- BARBOUR, A.P. 1976. Geologia do Maciço Ultramáfico de Santa Fé. Tese apresentada em concurso para a obtenção do Título de Livre Docente, Universidade de São Paulo, p. 138.
- BAYLISS, P., BERRY, L.G., MROSE, M.E., SMITH, D.K. 1993. Mineral Powder Diffraction File – Data Book. JCPDS. p. 1168.
- BRAND, N.W., BUTT, C.R.M., & ELIAS, M. 1998. Nickel Laterites: classification and features. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17(4): 81 - 88.
- Brindley & Maksimovic. 1974. The nature and nomenclature of hydrous nickel-containing silicates. *Clay minerals*, 10: 271-277.
- EGGLETON, R.A. ed 2001. The regolith Glossary CRC for Landscape Evolution and Mineral Exploration. Floreat Park, Western Australia, p. 144.
- GLEESON, S.A., BUTT, C.R.M., & ELIAS, M. 2003. Nickel Laterites: A Review. In: Newsletter n° 54, Society of Economic Geologists.
- GUIMARÃES, G. ; GLASER, I. & MARQUES, V.J. 1968. Sobre a ocorrência de Rochas Alcalinas na Região de Iporá, Goiás. *Min. e Metal.* 48(283): 11-15 – Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, S.M.B. de. 1980. Alteração Intempérica das Rochas Ultrabásicas de Santa Fé(Go) e gênese do depósito níquelífero. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, USP, 216 p. (unpublished)
- OLIVEIRA, S.M.B. de & MELFI, A.J. 1979. Considerações sobre a origem das esmectitas nos níveis de alteração dos piroxênios de Santa Fé(GO).
- OLIVEIRA, S.M.B. & TRESCASES, J.J. 1980. Geoquímica da Alteração Supérgena das Rochas Ultrabásicas de Santa Fé (Goiás, Brasil). *Revista Brasileira de Geociências*, 10: 243-257.
- PENA, G.S. & FIGUEIREDO, A.J.A. 1972. Projeto Alcalinas. DNPM – CPRM, Relatório Inédito, Goiânia.
- SILVA, M.L.M. de C. e & OLIVEIRA, S.M.B. de. 1995. As fases portadoras de Níquel do Menério Laterítico de Níquel do Vermelho, Serra dos Carajás (PA). *Rev. Bras. Geoc.*, 25(1):69-78.
- SANTOS, P.S. 1975. Identificação de argilas-difração de raios-x. In: *Tecnologia de Argilas – aplicada às argilas brasileiras*. USP, 340p.
- THOREZ, J. 1975. *Phyllosilicates and Clay minerals – a laboratory handbook for their x-ray diffraction analysis*. p 579.