



UFRJ

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA DO
REGOLITO DO DEPÓSITO DE NÍQUEL DE SANTA FÉ DE GOIÁS**

CARLOS EDUARDO CHAIM BIAVATI

Rio de Janeiro
Março de 2007



UFRJ

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA DO REGOLITO DO
DEPÓSITO DE NÍQUEL DE
SANTA FÉ DE GOIÁS

CARLOS EDUARDO CHAIM BIAVATI

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.

Orientador:

Claudio Gerheim Porto

Rio de Janeiro
Março de 2007

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA DO REGOLITO DO
DEPÓSITO DE NÍQUEL DE
SANTA FÉ DE GOIÁS

CARLOS EDUARDO CHAIM BIAVATI

Orientador : CLAUDIO GERHEIM PORTO

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: Prof. Dr. Cláudio Gerheim Porto, Departamento de Geologia - UFRJ

Prof. Dra. Helena Polivanov, Departamento de Geologia - UFRJ

Prof. Dr. Julio Cezar Mendes, Departamento de Geologia - UFRJ

BIAVATI, Carlos Eduardo Chaim
Caracterização mineralógica e geoquímica do regolito do
depósito de níquel de Santa Fé de Goiás.
x, 38 p. 29,7cm (Instituto de Geociências – UFRJ, *B. Sc.*,
Curso de Graduação em Geologia, 2007)
Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Realizada no Instituto de Geociências

Aos meus pais,
Carlos Alberto Lamas Biavati (*in memoriam*) e
Sandra Marina Chaim Biavati.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos ao professor Cláudio Gerheim Porto e a Teck Cominco Brasil S/A pela oportunidade de desenvolver esse trabalho, a Professora Helena Polivanov e ao técnico Osório, por todo apoio prestado na preparação das amostras, bem como na interpretação dos resultados.

Agradeço a toda equipe do Centro de Tecnologia Mineral, em especial ao Sr. Reinner Neumann e as assistentes Erica Escalzzer e Vanessa Rocha, pela realização das análises de raio X.

Ao Professor Julio Cezar Mendes por fornecer material para consulta durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao geólogo Guilherme Sidou Canha pelo fornecimento de dados.

Ao técnico Tarcisio pelo trabalho da pulverização das amostras.

Ao Departamento de Geologia da UFRJ pelo apoio institucional.

Aos amigos do Laboratório de Exploração Mineral: Andresa Teixeira, Edson Oliveira, Filipe Modesto, Thaís Andrade, Talita Azevedo e Bruna Silva.

Ao professor Edson F. Mello e ao Sr. Ronaldo de Oliveira Filho pela oportunidade de estágio na Teck Cominco Brasil.

Ao pessoal do escritório da Teck Cominco, em especial para Elsa Schultz, Claudemiro Barabani, Monique Kos, Maurice Houle, Kelly Azevedo, José Roberto Teixeira, Eduardo Castro, Marcos Cosendey, Marcus Braga e Ronaldo Manhães pelo apoio prestado.

A turma de 2001(inclusive os honorários): Etsuko Hacidume, Jorge Cordeiro, Julio Kosaka, Felipe Tavares, Daniel Conceição, Dimas Cyriaco, Hugo Polo, Leonardo Gomes, Elisa Auler, Marcio Leão, Luis Maurício Lima, Luisa Santos e Lucas Costa.

A Cristiane Gehm pela paciência e atenção.

Finalmente, agradeço a todos os meus amigos e a minha família, por este momento que se realiza.

RESUMO

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA DO REGOLITO DO DEPÓSITO DE SANTA FÉ DE GOIÁS

CARLOS EDUARDO CHAIM BIAVATI

Orientador : CLAUDIO GERHEIM PORTO

Resumo da 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.

O presente trabalho buscou caracterizar a mineralogia e a geoquímica do regolito do depósito de níquel laterítico de Santa Fé de Goiás, através de análises de difração de raios X em 4 amostras representativas da estratigrafia do regolito, focando nos teores econômicos de níquel. Foram produzidos difratogramas da fração argila e de rocha total pulverizada, e tratamentos estatísticos de dados geoquímicos de furos de sondagem. Para isto, foram utilizados dados de 1395 amostras de 231 furos e de 1 poço. De acordo com os resultados na difração de raios X, concluiu-se que ocorrem cloritas e/ou esmectitas nos peridotitos, e cloritas e/ou vermiculitas nos dunitos. A geoquímica indica que a ocorrência de micas está associada a maiores teores de alumínio e titânio. Os dados geoquímicos também indicam que as micas não possuem papel primordial nos controles dos teores de níquel, já que as amostras com e sem mica não apresentaram valores significativamente distintos.

Palavras-chave: Regolito, níquel, Goiás

ABSTRACT

MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE REGOLITE OF SANTA FÉ DE GOIÁS DEPOSIT

CARLOS EDUARDO CHAIM BIAVATI

Orientador : CLAUDIO GERHEIM PORTO

Abstract da 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.

The present work aims to characterize the mineralogy and the geochemistry of the regolith of the lateritic nickel deposit of Santa Fé de Goiás. Four selective representative samples of the regolith stratigraph, have been analysed by XRD of the clay fraction, as well the total rock. Statistical treatments of geochemical data of drill holes have also been done using 1395 samples of 231 drill holes and 1 pit. In accordance with the in the XRD results, it is concluded that chlorites and/or smectites occur over peridotites, and chlorites and/or vermiculites over serpentized dunites. The occurrence of micas are generally associated with higher Al and Ti contents. The geochemical data, also shows that the presence of micas alone does not control nickel grade in the regolith, since samples with or without mica do not show significant differences in nickel grade.

Key-Words: REGOLITE, NICKEL, GOIÁS

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS E CONVENÇÕES	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2.GÊNESE E CLASSIFICAÇÕES DOS DEP.DE NÍQUEL LATERÍTICO	1
3.OBJETIVOS	2
4.LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	3
5.ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	4
6. GEOLOGIA REGIONAL	5
7.GEOLOGIA LOCAL	6
8. ESTRATIGRAFIA DO REGOLITO DE SANTA FÉ	8
9. METODOLOGIA	9
9.1. ANÁLISE MINERALÓGICAS POR DIF. DE RAIOS X	10
9.1.1. SELEÇÃO DAS AMOSTRAS PARA A ANÁLISE DE RAIOS X	10
9.1.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS – FRAÇÃO ARGILA	12
9.1.3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS TOTAIS PULVERIZADAS	13
9.1.4. EQUIPAMENTO E MODO DE OP. UTILIZADO NA DIFRAÇÃO DE RAIOS X	13
9.2 ANÁLISE NA DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ATRAVÉS DE TRATAMENTO DE DADOS DE GEOQUÍMICA DE SONDAGEM	13
9.2.1 GRÁFICOS BOX-PLOTS : CONCEITOS BÁSICOS	14
10.1. LOGS	15
10.2.INTERPRETAÇÃO DOS DIFRATOGRAMAS	18
10.2.1 ANÁLISE DA AMOSTRA SF-18049	18
10.2.2 ANÁLISE DA AMOSTRA SF-18050	21
10.2.3 ANÁLISE DA AMOSTRA SF-18134	24
10.2.4 ANÁLISE DA AMOSTRA SF-18135	27
10.3. INTERPRETAÇÃO DOS GRÁFICOS BOX-PLOT	30
11.CONCLUSÕES	34
12. RECOMENDAÇÕES	34
13.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do Município de Santa Fé de Goiás	3
Figura 2: Localização e principais vias de acesso	4
Figura 3: Mapa geológico de Santa Fé	7
Figura 4: Seção tipo do regolito de Santa Fé	8
Figura 5: Mapa de localização do furo SFDD-234 e do poço SFPT-050S	10
Figura 6: Desenho esquemático de um gráfico Box-plot	15
Figura 7: Log do poço SFPT-050S – parte 1	16
Figura 8: Log do poço SFPT-050S – parte 2	16
Figura 9: Log do Furo de sondagem SFDD-234 – parte 1	17
Figura 10: Log do furo de sondagem SFDD-234 – parte 2	17
Figura 11: Difratoograma de raios X da amostra SF-18049 da fração argila seca ao ar	19
Figura 12: Difratoograma de raios X da amostra SF-18049 da fração argila glicolada	19
Figura 13: Difratoograma de raios X da amostra SF-18049 do pó seco ao ar	20
Figura 14: Difratoograma de raios X da amostra SF-18049 do pó glicolado	20
Figura 15: Difratoograma de raios X da amostra SF-18050 da fração argila seca ao ar	22
Figura 16: Difratoograma de raios X da amostra SF-18150 da fração argila glicolada	22
Figura 17: Difratoograma de raios X da amostra SF-18150 do pó seco ao ar	23
Figura 18: Difratoograma de raios X da amostra SF-18150 do pó glicolado	23
Figura 19: Difratoograma de raios X da amostra SF-18134 da fração argila seca ao ar	25
Figura 20: Difratoograma de raios X da amostra SF-18134 da fração argila glicolada	25
Figura 21: Difratoograma de raios X da amostra SF-18134 do pó seco ao ar	26
Figura 22: Difratoograma de raios X da amostra SF-18134 do pó glicolado	26
Figura 23: Difratoograma de raios X da amostra SF-18135 da fração argila seca ao ar	28
Figura 24: Difratoograma de raios X da amostra SF-18135 da fração argila glicolada	28
Figura 25: Difratoograma de raios X da amostra SF-18135 do pó seco ao ar	29
Figura 26: Difratoograma de raios X da amostra SF-18135 do pó glicolado	29
Figura 27: Gráficos Box-plot da área Sudeste – parte 1	30
Figura 28: Gráficos Box-plot da área Sudeste – parte 2	31
Figura 29: Gráficos Box-plot da área Sudoeste – parte 1	32
Figura 30: Gráficos Box-plot da área Sudoeste – parte 2	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados geoquímicos do furo SFDD-234	11
Tabela 2: Dados geoquímicos do poço SFPT-050S	11

LISTA DE SÍMBOLOS E CONVENÇÕES

CL: CLORITA

SM: ESMECTITA

CA: CAULINITA

GO:GOETITA

QZ: QUARTZO

VE: VERMICULITA

N: NÚMERO DE AMOSTRAS

1. INTRODUÇÃO

No ano de 2005, devido ao aumento do preço do níquel no mercado mundial, a Teck Cominco Brasil S/A iniciou um estudo mais detalhado do depósito de níquel laterítico de Santa Fé de Goiás. Este depósito já havia sido avaliado na década de 70 pela Mineradora Montita, cujos recursos estimados ficaram na faixa de 44 milhões de toneladas, com teor médio de 1,56%.

Este depósito ocorre na região Oeste do Estado de Goiás, associado a um importante distrito de níquel laterítico, composta por complexos máficos e ultramáficos alcalinos que têm sido foco de exploração nos últimos anos. O depósito de Santa Fé está inserido neste complexo, e será a fonte dos dados para este trabalho de caracterização mineralógica e geoquímica do regolito.

2. GÊNESE E CLASSIFICAÇÕES DOS DEPÓSITOS DE NÍQUEL LATERÍTICO

De acordo com ANDRADE E SILVA (1980), "os maciços ultrabásicos e/ou ultramáficos, quando submetidos às condições imperantes em climas tropicais, são afetados por processos de laterização. Estes processos são responsáveis pelo desenvolvimento de perfis lateríticos, nos quais é comum a concentração residual de certos elementos como níquel, ferro, cromo e cobalto constituindo em alguns casos jazidas minerais.

No Brasil, têm-se referência a número superior a uma centena e meia de corpos de rochas ultramáfico-ultrabásicas associadas frequentemente a litologias máfico-ultrabásicas. Esses corpos apresentam ampla variação com referência à litologia e ao tamanho. Assim, aparecem na constituição petrográfica, dunitos, peridotitos, piroxenitos, gabros, carbonatitos, etc., constituindo desde grande maciços até simples ocorrências

GLEESON *et al*, (2003) afirma que, para se formar um depósito de níquel laterítico, é fundamental a ocorrência de rochas ricas em magnésio, como as rochas ultramáficas. Estas, quando submetidas a condições específicas de clima tropical, tectônica, relevo e estrutura,

ficam suscetíveis à processos de laterização. Tais processos formam um perfil laterítico típico, composto por protólito, rocha decomposta, saprolito, zona ferruginosa e ferricrete.

Resumidamente, os processos de laterização resultam no colapso de minerais primários. Em consequência, ocorrem as seguintes etapas:

- Liberação de componentes químicos na água subterrânea;
- Lixiviação dos componentes móveis;
- Concentração dos componentes residuais e insolúveis;
- Formação de minerais estáveis em ambientes afetados pelo intemperismo químico.

De acordo com GLEESON *et al* (2003), ocorrem três classificações de depósitos de níquel laterítico, listados a seguir, com suas respectivas explicações:

- Depósitos de óxidos/limoníticos: As olivinas e serpentinas colapsam, liberando os íons de Ni e Co que por afinidade química, são incorporados na estrutura mineralógica dos hidróxidos de ferro recém formados; O Ni e o Co também são incorporados a estrutura dos óxidos de manganês, precipitados através de reações redox em veios, fraturas .
- Depósitos de argilo-silicatos: Em condições menos severas de intemperismo, em climas secos e frios, a sílica não é completamente lixiviada combinando-se com ferro e uma pequena quantidade de alumínio para a formação de esmectita. Este tipo de depósito se desenvolve em áreas preferencialmente onde a topografia é mais suave, com um restrito movimento de água subterrânea.
- Depósitos de silicatos hidratados: Englobam os silicatos de Ni e Mg (garnierita e serpentina). O Ni é lixiviado dos óxidos e hidróxidos de ferro, no horizonte limonítico, movendo-se para baixo no perfil, depositando na forma de silicatos hidratados de Ni (garnierita) ou substituindo o Mg das serpentinas secundárias. Este modelo é o que concentra os maiores teores de Ni, atingindo valores entre 1,8% e 3,0%.

3. OJETIVOS

Este trabalho visa a caracterização mineralógica e geoquímica do regolito do depósito de níquel laterítico de Santa Fé de Goiás, referente à disciplina Trabalho Final de Curso (IGLU-08), cursada pelo aluno de graduação Carlos Eduardo Chaim Biavati, do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, sob a orientação do Professor Cláudio Gerheim Porto.

Os objetivos do trabalho foram:

- Estabelecer a distribuição geoquímica do regolito através da análise dos resultados geoquímicos obtidos em amostras de sondagem em duas áreas mineralizadas que ocorrem dentro do Complexo Santa Fé.
- Caracterizar o tipo das argilas de quatro amostras selecionadas representando as unidades da estratigrafia do regolito enriquecidos em Ni através de técnicas de difração de raios X.

4. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O município de Santa Fé de Goiás está situado no sudoeste do Estado de Goiás, na região geográfica conhecida como Centro-Oeste brasileiro (figura 1). O acesso pode ser feito por estrada asfaltada, a partir de Goiânia, através das rodovias GO-060, GO-326 e GO-070, por cerca de 250 Km (figura 2).

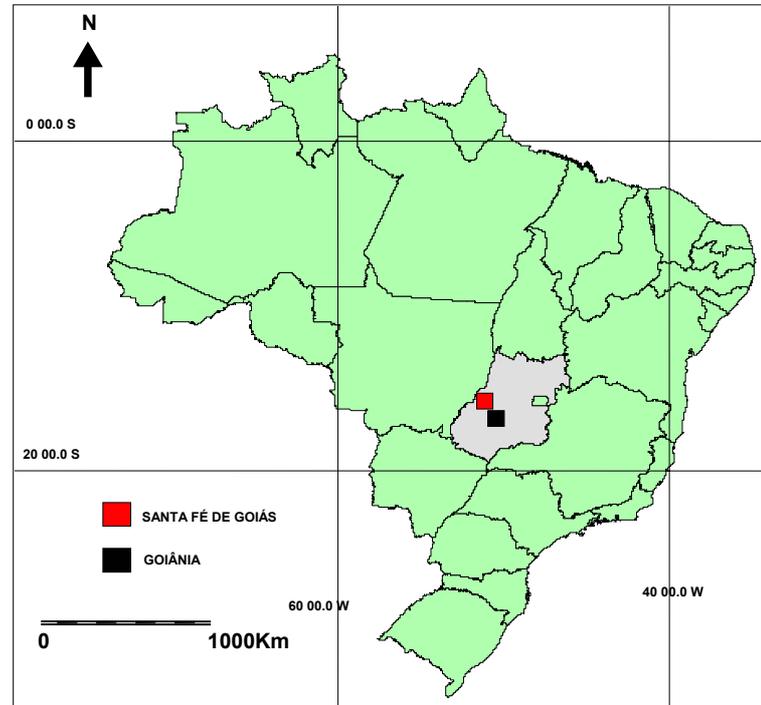


Figura 1: Localização do município de Santa Fé de Goiás. (Andrade e Silva, 1980).

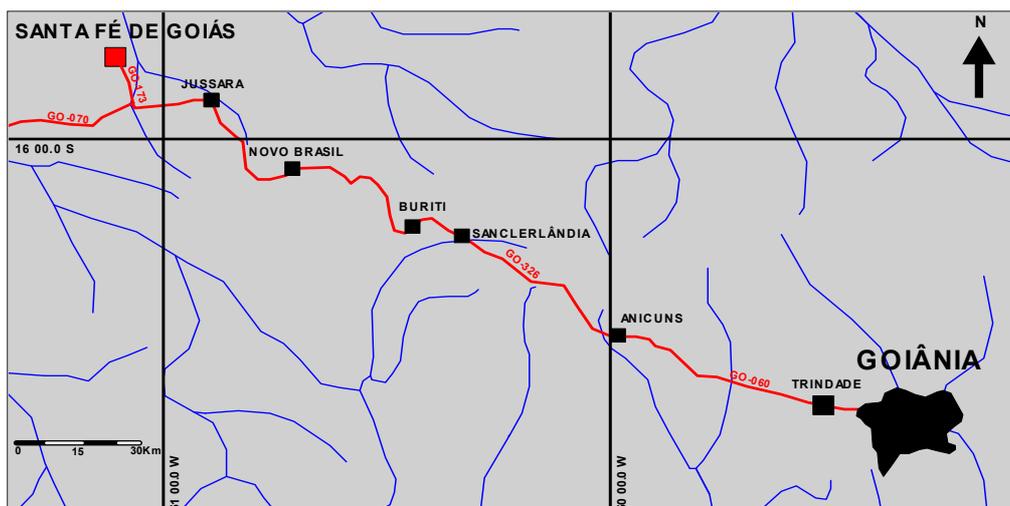


Figura 2: Localização e principais vias de acesso (Radaelli,2000).

5. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

Segundo RADAELLI (2000), “A região é caracterizada por extenso peneplano da bacia do Rio Araguaia. Sobre esta superfície de base destacam-se alguns acidentes geográficos, dentre os quais os morros Tira Pressa e do Engenho, a Serra dos Mil Homens e o maciço da Água Branca”.

Segundo o mesmo autor, “O clima é caracterizado por dois períodos bem definidos: Um, úmido, de novembro a março e, outro, seco, de abril a outubro. A temperatura média é de 22 graus Celsius e a precipitação anual de 1.500mm”

RADAELLI (*op cit*) afirma ainda que “a vegetação é de cerrado, desenvolvendo-se, nas margens dos drenos, florestas constituídas por buritis e outras árvores de grande porte (mata-galeria). A ação antrópica substituiu, em grande parte, os cerrados originais por pastagens.”

6. GEOLOGIA REGIONAL

Segundo ANDRADE E SILVA (1980), “o maciço ultramáfico de Santa Fé pertence ao Grupo Iporá, definido por GUIMARAES *et al* (1968) como um conjunto pluto vulcânico alcalino que rasgou os arenitos devonianos da região.

O Grupo Iporá foi correlacionado por PENA & FIGUEIREDO (1972) ao vulcanismo alcalino que bordejia a Bacia do Paraná, o qual desenvolveu-se durante o cretáceo superior. A diversidade petrográfica desse Grupo é relevante, ocorrendo desde rochas ultrabásicas até graníticas, passando por termos sieníticos (GUIMARAES, *op cit*).

O magmatismo alcalino que bordejia a Bacia do Paraná em suas partes nordeste e norte, ao qual pertence o maciço de Santa Fé, representa uma fase de reativação tectono-magmática da Plataforma Sul-Americana, desenvolvida do Jurássico ao Neógeno e definida por ALMEIDA (1967) sob o nome de reativação Wealdeniana.

As encaixantes do maciço são constituídas por gnaisses de grau de metamorfismo baixo a médio, integrantes do Complexo Basal Goiano (ALMEIDA), e atribuído por BARBOSA (1969) ao Pré-Cambriano indiferenciado.

Na área de Santa Fé, superpostos à estes gnaisses, ocorrem arenitos da Formação Furnas de idade Devoniana (OLIVEIRA, 1912), além de uma extensa cobertura de sedimentos Eógenos constituídos por arenito Furnas retrabalhado.

De acordo com BARBOUR *et al* (1979), efetuaram datações mediante ao método K-Ar em biotitas pertencentes a missourito e malignito do maciço de Santa Fé, obtendo idades compreendidas entre $82,6 \pm 4,5$ e $88,4 \pm 2,7$ m.a., confirmando-se idade cretácica superior atribuída ao maciço. Já as determinações Rb-Sr, realizadas em amostras de rocha total dos gnaisses encaixantes, possibilitaram a elaboração de uma isócrona que proporciona a estas rochas uma idade de 467 ± 10 m.a. (BARBOUR, 1979).

7. GEOLOGIA LOCAL

ANDRADE E SILVA, (1980) afirma que “o maciço em estudo está constituído por um corpo de forma elipsoidal com eixos de 9 e 6 Km de extensão, apresentando alongação na direção N-S(figura 3).

A parte central do maciço encontra-se constituída por dunitos quase totalmente serpentinizados. Este núcleo dunitico apresenta gradação lateral para faixa anelares descontínuas, constituídas por peridotitos e piroxenitos. Nas bordas do maciço, foram detectadas litologias gábricas alcalinas representadas por missouritos e malignitos.

Os dunitos apresentam granulação fina a média e encontram-se constituídos por mais de 90% de olivina magnésiana, além de clinopiroxênio, biotita, flogopita, magnetita, cromita e ilmenita.

Os peridotitos apresentam granulação sub-milimétrica e são constituídos essencialmente de olivina e piroxênio; aparecem feldspatóides, biotita e minerais opacos como acessórios.

Os piroxenitos apresentam granulação média a grossa e encontram-se constituídos por piroxênios, olivina, biotita e opacos.

O missourito apresenta granulação média e está constituído por piroxênio (diopsídio-augita), olivina, leucita e biotita. Como acessórios aparecem biotita e opacos. Há evidências de seritização e cloritização.

O malignito possui granulação sub-milimétrica e está constituído pelos serpentinitos, produto da alteração de dunitos, peridotitos e piroxenitos. A serpentinização neste maciço dá-se por um processo de alteração hipógena hidrotermal, a qual apresenta maior intensidade em profundidade.(BARBOUR,1976).

Foram mapeadas lentes de hornblenda gnaiss situadas nas áreas de contato entre o maciço e os gnaisses de metamorfismo regional. Estes lentes representam uma pequena e descontínua auréola de metamorfismo de contato de grau médio (fácie hornblenda).

A constituição mineralógica do hornblenda gnaiss, em ordem quantitativa decrescente, é a seguinte: Hornblenda, feldspato potássico, plagioclásio, biotita, quartzo, granada e epidoto.

Os gnaisses formados por metamorfismo regional, não afetados por metamorfismo de contato, apresentam a seguinte composição mineralógica, também em ordem decrescente de abundância: Feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, biotita, muscovita, apatita e opacos.

Quanto à estrutura, o maciço de Santa Fé apresenta forma dômica. Não obstante, na sua borda E ocorre uma inversão no mergulho do contato dunito-peridotito, representando uma deformação original do domo ou, então, um adernamento posterior (BARBOUR,1976) ”

BARBOUR ,1976, determinou três sistemas principais de fraturas no distrito de Santa Fé:

- 1- Sistema de fraturas paralelo ao contato da rocha intrusiva com as encaixantes, originado provavelmente por esforços de intrusão.
- 2- Sistema constituído por grandes fraturas e falhas de direção discordantes com respeito às bordas do maciço. Estas estruturas orientam algumas escarpas, vales e espigões com direções entre N 40 E e N 65 E.
- 3- Sistema de microfraturamento,originado durante a serpentinização hipógena das ultramáficas e que facilitou a alteração secundária das rochas, a concentração de níquel e a formação de “box-work” silicoso. Este sistema apresenta um reticulado de microfraturas de diversas atitudes.

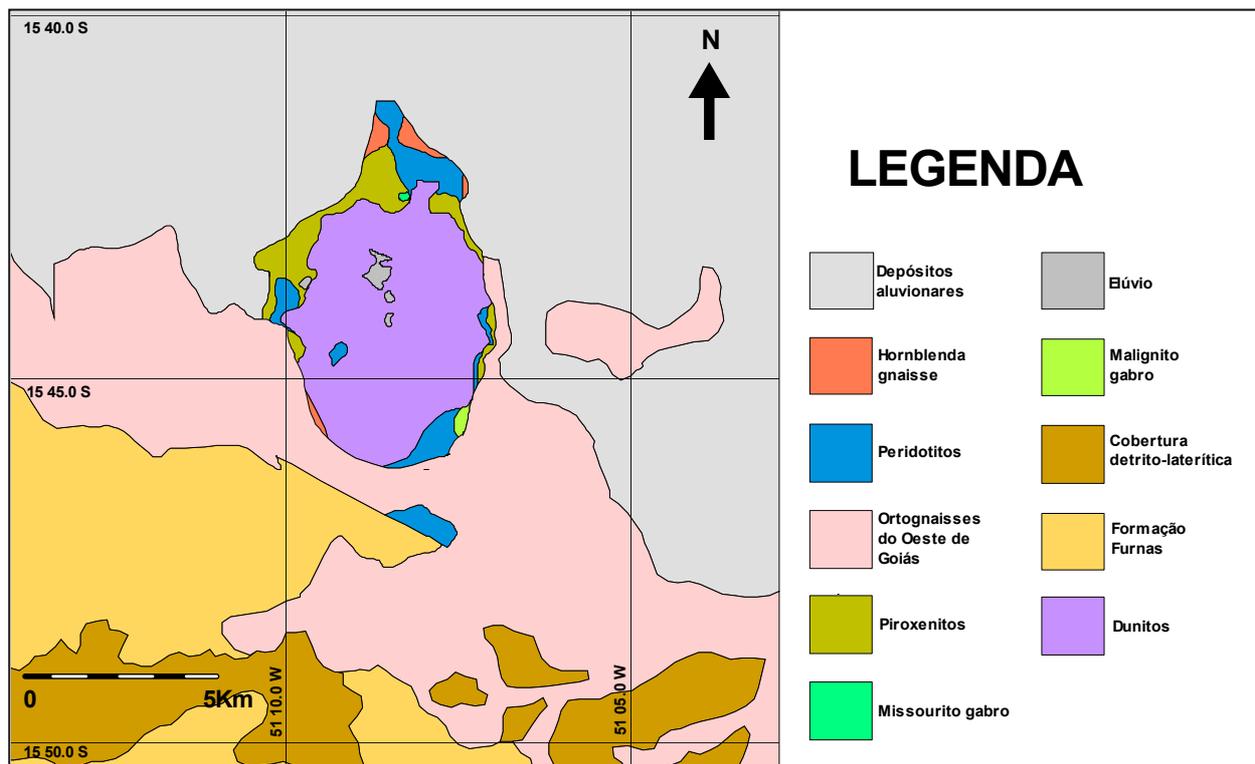


Figura 3: Mapa geológico de Santa Fé (Barbour,1976 ,modificado pela Teck Cominco Brasil).

8. ESTRATIGRAFIA DO REGOLITO DE SANTA FÉ

A estratigrafia do regolito definida pelos trabalhos de pesquisa da Teck Cominco Brasil, foi grupada nas seguintes unidades descritas abaixo:

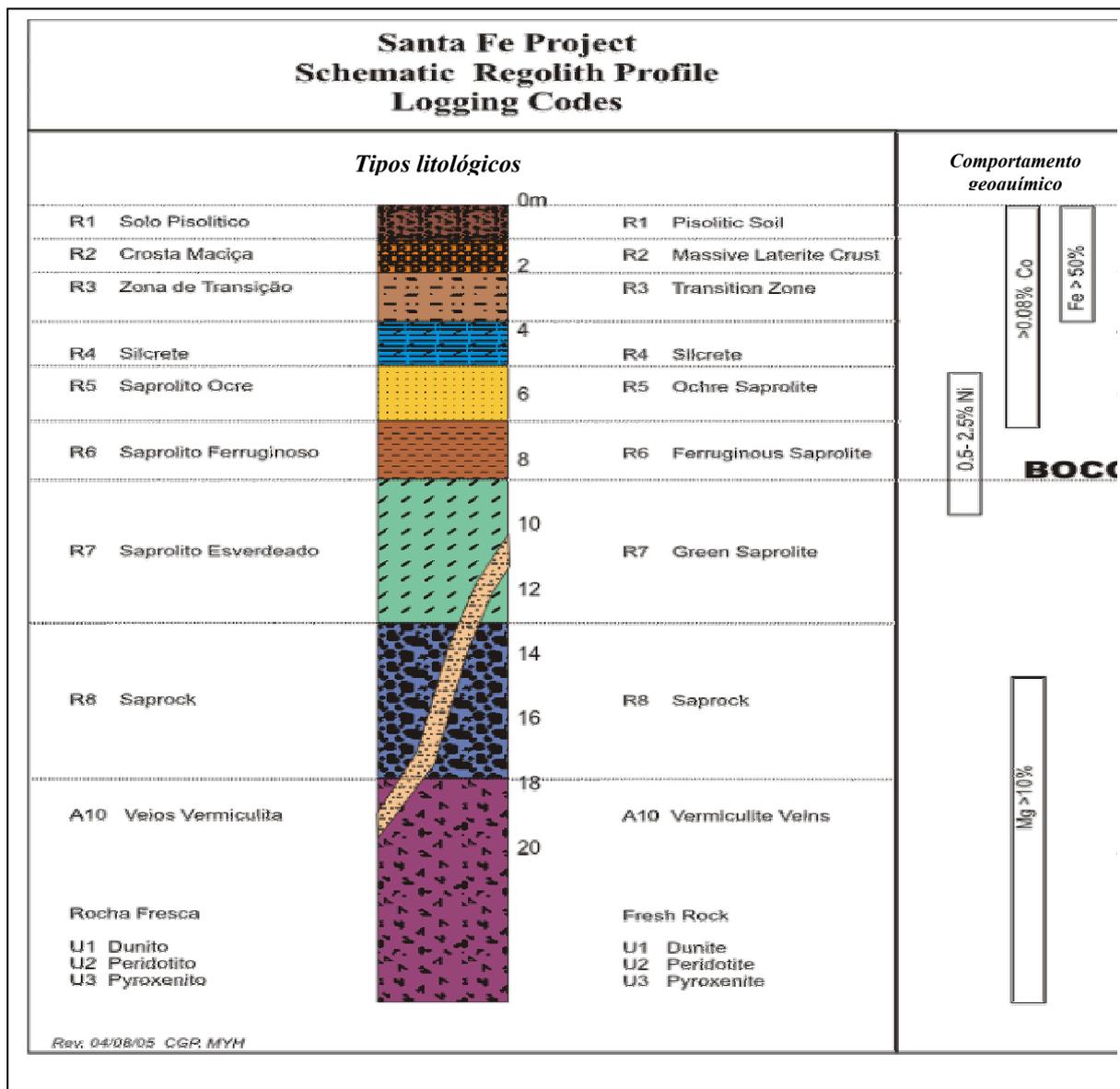


Figura 4: Seção tipo do regolito de Santa Fé (Teck Cominco Brasil – Relatório interno).

R1: Solo pisolítico, marrom escuro avermelhado, com pisólitos manganésíferos e ferruginoso, com matriz silto-arenosa. Muito magnético. Geralmente mais rico em pisólitos na porção inferior.

R2: Crosta maciça, apresentando estrutura pisolítica e manganésifera. Ocorre em blocos descontínuos, geralmente mais próximos do leito de drenagem.

R3: Zona de transição. Trata-se de um solo argiloso, ferruginoso e avermelhado, denso, misturados com fragmentos de pisólitos, crosta, saprolito e sílica.

R4: Horizonte de silcrete, às vezes calcedônia, maciça, ou em fragmentos impregnando o saprolito. Ocorre principalmente no saprolito substituindo a textura do dunito ou na forma de veios e bolsões. Pode ocorrer em diversos níveis dentro do saprolito.

R5: Saprolito ocre, muito ferruginoso, pouco denso, pouco texturado e magnético. Ocorre sempre abaixo da zona de transição no topo do saprolito. Distingue-se do saprolito ferruginoso basicamente por ser menos texturado e mais denso.

R6: Saprolito ferruginoso, de coloração marrom avermelhado a alaranjado. Textura da rocha melhor preservada. Finas micas disseminadas. Geralmente mais micáceo e esverdeado onde o protólito é mais rico em clorita ou serpentina.

R7: Saprolito esverdeado, apresentando colorações mais pardas variando de esverdeado ao cinzento. Mais coeso e bem texturado. O contato com o R6 se define pela mudança de coloração que reflete o grau de oxidação dado por uma barreira redox. Micas verdes e sílica em fraturas e vênulas são mais aparentes.

R8: Rocha decomposta, com núcleos bem coesos em meio material mais pulvurulento. Mineralogia primária bem preservada. O contato pode ser muito alterado com R7 acima ou rocha fresca abaixo. Pode ocorrer em várias passagens decimétricas que podem representar *corestones* no saprolito ou refletir o contato muito irregular.

U: Rocha fresca, sendo que nos dunitos, a coloração é mais escura, e no caso dos piroxenitos e peridotitos apresenta uma cor esverdeada. Pode estar muito incipientemente alterada com coloração mais amarronzada pela leve ferruginização.

9. METODOLOGIA

As metodologias aplicadas no desenvolvimento do presente trabalho estão descritas nos itens seguintes:

9.1 ANÁLISES MINERALÓGICAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Com o intuito de determinar quais os grupos de minerais de argila que ocorrem nos furos de sondagem contendo horizontes R5 e/ou R6 e/ou R7 ricos em níquel, foram realizadas as etapas descritas nos sub-itens seguintes.

9.1.1 SELEÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISES DE RAIOS X

Foram selecionadas quatro amostras que melhor representavam geoquímicamente o depósito estudado. As amostras SF-18134 e SF-18135 pertencem ao furo SFDD-234 da área SW e as amostras SF-18049 e SF-18050 ao poço SFPT-050S da área SE. Os dados geoquímicos, bem como as profundidades e espessuras das amostras pertencem ao banco de dados da Teck Cominco Brasil (tabelas 1 e 2).

O furo SFDD-234 está localizado sobre um corpo de peridotito. Já o poço SFPT-050S encontra-se sob um corpo dunitico serpentinizado (figura 5).

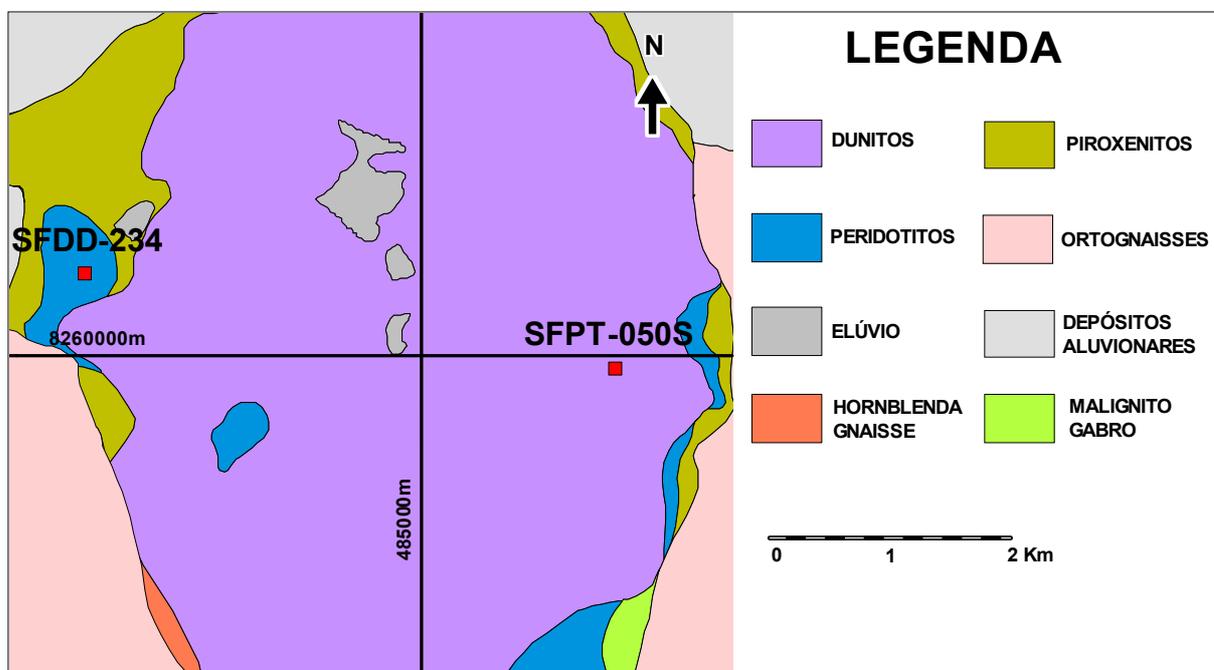


Figura 5: Mapa de localização do furo de sondagem SFDD-234 e do poço SFPT-050S.

Tabela 1: Dados geoquímicos do furo SFDD-234(Teck Cominco Brasil ,relatório interno).

FURO	DE	ATÉ	AMOSTRA	UNIDADE	SiO2%	Al2O3%	MgO%	MnO%	FE2O3%	TiO2%	CR2O3%	LOI %	CO%	NI%
SFDD-234	0,00	1,00		R1	21,90	6,10	1,50	0,86	55,70	6,30	2,70	4,02	0,085	0,515
SFDD-234	1,00	2,00		R1	21,50	6,30	1,30	0,62	56,50	6,20	2,80	3,40	0,085	0,445
SFDD-234	2,00	3,00		R1	21,10	6,30	1,30	0,64	56,00	6,20	2,70	3,46	0,084	0,473
SFDD-234	3,00	4,00		R1	31,30	6,00	2,10	0,72	46,20	5,20	1,70	4,33	0,081	0,908
SFDD-234	4,00	4,33		R4	79,50	1,80	2,40	0,19	9,90	1,20	0,26	2,42	0,039	0,796
SFDD-234	4,33	5,00		R6	37,70	7,40	8,00	0,54	27,20	4,90	0,47	8,82	0,020	2,866
SFDD-234	5,00	6,00	18134	R6	41,20	5,70	7,00	0,46	28,70	3,90	0,51	7,83	0,024	2,959
SFDD-234	6,00	7,00		R7	47,70	3,50	13,30	0,30	17,90	2,40	0,46	7,30	0,014	2,821
SFDD-234	7,00	8,00	18135	R7	50,00	2,50	16,60	0,23	13,00	1,60	0,33	6,66	0,012	2,775
SFDD-234	8,00	9,00		R7	45,00	2,40	16,60	0,31	17,60	1,60	0,40	7,13	0,015	2,543
SFDD-234	9,00	10,00		R7	47,00	2,70	17,60	0,23	13,40	1,70	0,43	5,76	0,015	1,679
SFDD-234	10,00	11,00		R7	48,60	2,50	18,10	0,16	9,80	1,50	0,49	4,19	0,016	0,964
SFDD-234	11,00	12,00		R7	48,80	2,40	18,40	0,16	9,60	1,50	0,48	4,16	0,015	0,918
SFDD-234	12,00	13,00		R7	41,50	3,90	14,30	0,34	19,90	2,70	0,63	7,08	0,024	1,304
SFDD-234	13,00	14,00		R7	64,00	2,60	10,40	0,24	12,40	1,60	0,44	4,45	0,033	0,680
SFDD-234	14,00	14,70		R7	46,30	2,10	20,00	0,17	11,10	1,30	0,42	6,76	0,020	0,327
SFDD-234	14,70	15,60		R8	40,60	1,60	19,80	0,14	10,00	0,99	0,39	11,31	0,017	0,083
SFDD-234	15,60	16,20		R8	37,10	1,20	21,70	0,12	9,30	0,70	0,28	16,03	0,012	0,050
SFDD-234	16,20	17,20		R8	41,20	1,60	20,60	0,11	6,40	0,93	0,32	12,96	0,012	0,021
SFDD-234	17,20	18,20		R8	41,70	1,50	21,20	0,12	7,60	0,88	0,32	12,46	0,013	0,032

Tabela 2: Dados geoquímicos do poço SFPT-050S(Teck Cominco Brasil ,relatório interno).

POÇO	DE	ATÉ	AMOSTRA	UNIDADE	SiO2 %	Al2O3 %	MgO %	MnO %	Fe %	TiO2 %	Cr2O3 %	Co %	Ni %
SFPT-050S	0,00	1,00		R1	8,20	6,50	0,84	0,96	71,00	3,10	4,30	0,139	0,352
SFPT-050S	1,00	2,00		R1	9,50	6,10	1,00	0,79	69,50	3,30	5,40	0,144	0,309
SFPT-050S	2,00	3,00		R1	8,80	6,30	0,94	1,00	69,70	3,20	6,00	0,167	0,347
SFPT-050S	3,00	3,50		R1	6,80	4,90	0,77	1,20	73,20	2,80	4,60	0,171	0,504
SFPT-050S	3,50	4,50		R3	7,00	4,40	1,00	1,00	73,90	2,60	5,20	0,165	0,711
SFPT-050S	4,50	5,30		R5	5,00	2,70	1,10	1,20	76,80	1,60	4,60	0,164	1,108
SFPT-050S	5,30	6,10		R5	6,70	3,20	2,20	1,20	71,80	1,50	4,50	0,156	1,532
SFPT-050S	6,10	6,50		R6v.	11,70	3,80	5,50	1,10	61,00	1,20	3,70	0,104	2,808
SFPT-050S	6,50	7,00	SF-18049	R6	14,80	1,40	7,70	0,99	59,50	0,79	4,00	0,117	2,105
SFPT-050S	7,00	7,50	SF-18050	R7	37,00	0,49	24,70	0,38	21,80	0,24	1,30	0,035	2,436
SFPT-050S	7,50	8,50		R8	38,00	0,33	28,20	0,31	18,20	0,16	1,20	0,027	2,083
SFPT-050S	8,50	9,50		R8	37,50	0,30	29,60	0,29	16,60	0,14	1,10	0,024	1,710

9.1.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS – FRAÇÃO ARGILA

Cada uma das quatro amostras selecionadas passou pelas seguintes etapas listadas abaixo, no laboratório de via úmida da UFRJ. O processo total da separação da fração argila teve a duração de quatro dias.

Primeiro Dia:

- Separação de 30g da amostra em um recipiente.
- Adição de 100 mL de água destilada, agitando por um minuto.
- Adição de 10 mL de pirofosfato de sódio (desfloculante), agitando por um minuto.
- Repouso de 24 horas

Segundo dia:

- Adição de água e desfloculante, agitando por um minuto
- Repouso de 24 horas

Terceiro dia:

- Separação da fração argila, utilizando peneira de 0,053mm (MESH 270)
- Inserção da fração argila na coqueteleira, acoplada em um agitador elétrico, por cinco minutos.
- Drenagem da água excedente
- Adição de 10 mL de HCl
- Repouso de 24 horas

Quarto dia

- O material foi levado ao centrifugador por cerca de 5 minutos, com o objetivo de separar a fração argila da água excedente e do desfloculante. Para isso, esse processo foi repetido diversas vezes, fazendo o teste com nitrato de prata, para certificar de que não havia mais nenhum resíduo significativo.

9.1.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS TOTAIS PULVERIZADAS

9.1.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS – FRAÇÃO ARGILA

Parte das amostras *in natura* foi levada para estufa durante 8 horas, submetidas a uma temperatura de 45 graus Celsius, e em seguida passaram pelo processo de pulverização, em um moinho industrial. Feito isso, as amostras seguiram para análises de raios X.

9.1.4 EQUIPAMENTO E MODO DE OPERAÇÃO UTILIZADO NA DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Para as amostras secas ao ar, os difratogramas de raios X foram obtidos pelo método do pó, sendo coletados em um equipamento Bruker-AXS D5005 equipado com espelho Goebel para feixe paralelo de raios x, nas seguintes condições de operação: Radiação Co K alfa (35kV/40mA); velocidade do goniômetro de 0,02 graus 2θ por passo com tempo de contagem de 1 segundo por passo e coletados de 5 a 80 graus 2θ . As interpretações qualitativas de espectro foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF02 (ICDD,1996) em software Bruker Diffrac Plus.

Já para as amostras glicoladas, os difratogramas de raio-x foram obtidos pelo método de lâminas orientadas e glicoladas por 24hs, e foram coletados utilizando o mesmo equipamento e especificações do parágrafo anterior.

9.2 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ATRAVÉS DE TRATAMENTO DE DADOS DE GEOQUÍMICA DE SONDAGEM.

A partir da base de dados de sondagem disponíveis, foram selecionados 231 furos de sondagem e um poço de pesquisa das áreas Sudeste e Sudoeste que melhor representam a distribuição da estratigrafia do regolito, ou seja, furos que interceptaram os níveis R5 e/ou R6 e/ou R7. Com essa seleção, foram computadas 1395 amostras com resultados de geoquímica. Computou-se também dessas amostras, as que continham intervalos micáceos de acordo com as descrições dos Logs. Os horizontes onde ocorrem micas foram denominados R5V, R6V e R7V.

A partir desses dados, foram confeccionados os gráficos do tipo ‘‘box-plot’’, indicando as unidades R5, R5V, R6, R6V, R7 e R7V. Estes, totalizaram vinte gráficos, sendo dez referentes a área Sudeste e os outros dez relacionados a área Sudoeste. O número de amostras por horizonte foi indicado pelo valor associado a letra N na base dos gráficos. Os elementos e compostos químicos analisados foram: Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , LOI , MnO , Cr_2O_3 , Co , Ni e TiO_2 .

9.2.1 GRÁFICOS BOX-PLOTS : CONCEITOS BÁSICOS

Segundo BUSSAB & MORETTIN, 1940, o Box-plot é um desenho esquemático que representa a distribuição de variáveis quantitativas, no qual se busca eliminar o efeito dos valores extremos na mediana e no desvio padrão, bem como indicar a assimetria da distribuição dos valores. Estes gráficos são constituídos pelos seguintes itens:

1. Quartis (Q): Cada quartil faz o mesmo que a mediana para as duas metades demarcadas pela mediana. Ou seja, a mediana é um valor que deixa metade dos dados abaixo e metade acima dele. O primeiro quartil (Q1) é um valor que deixa um quarto do valor abaixo e três quartos acima dele. O terceiro quartil (Q3) é um valor que deixa três quartos dos dados abaixo e um quarto acima dele. O segundo quartil (Q2) é a mediana.
2. Pontos remotos: São os valores extremos não discrepantes. Localizam-se no topo das linhas que partem do retângulo descrito na figura .
3. Pontos discrepantes(X): Para um valor ser considerado discrepante, este deve ser menor do que $Q1 - 2/3(Q3-Q1)$ ou maior do que $Q3 + 2/3(Q3-Q1)$.

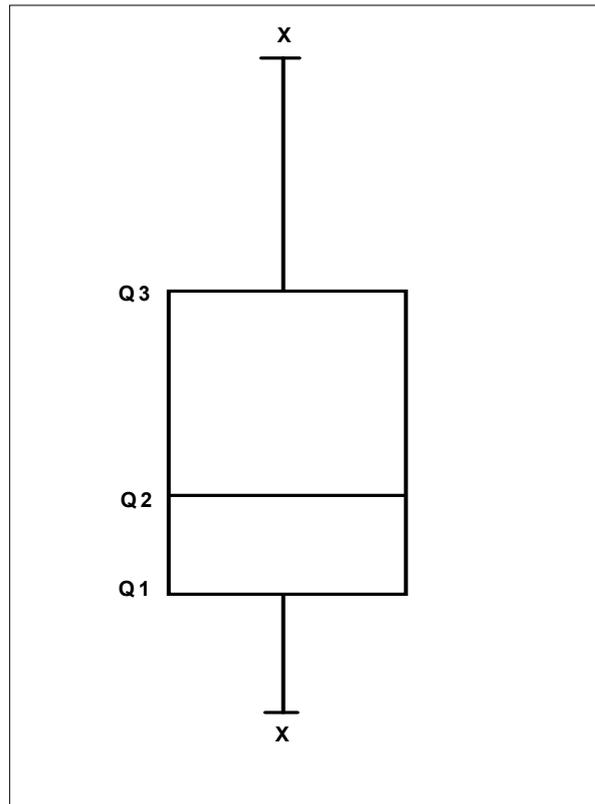


Figura 6 : *Desenho esquemático de um gráfico Box-plot(Bussab & Morettin,1940,modificado pelo autor)*

10.1 LOGS

Os logs do furo SFDD-234 e do poço SFPT-050S mostrados a seguir foram gerados através do software MAPINFO 7.5 SCP Discovery, baseando-se nos dados de geoquímica das tabelas 1 e 2. Em ambos logs, fica evidenciado que os maiores teores de níquel encontram-se nos horizontes R6 e/ou R7.

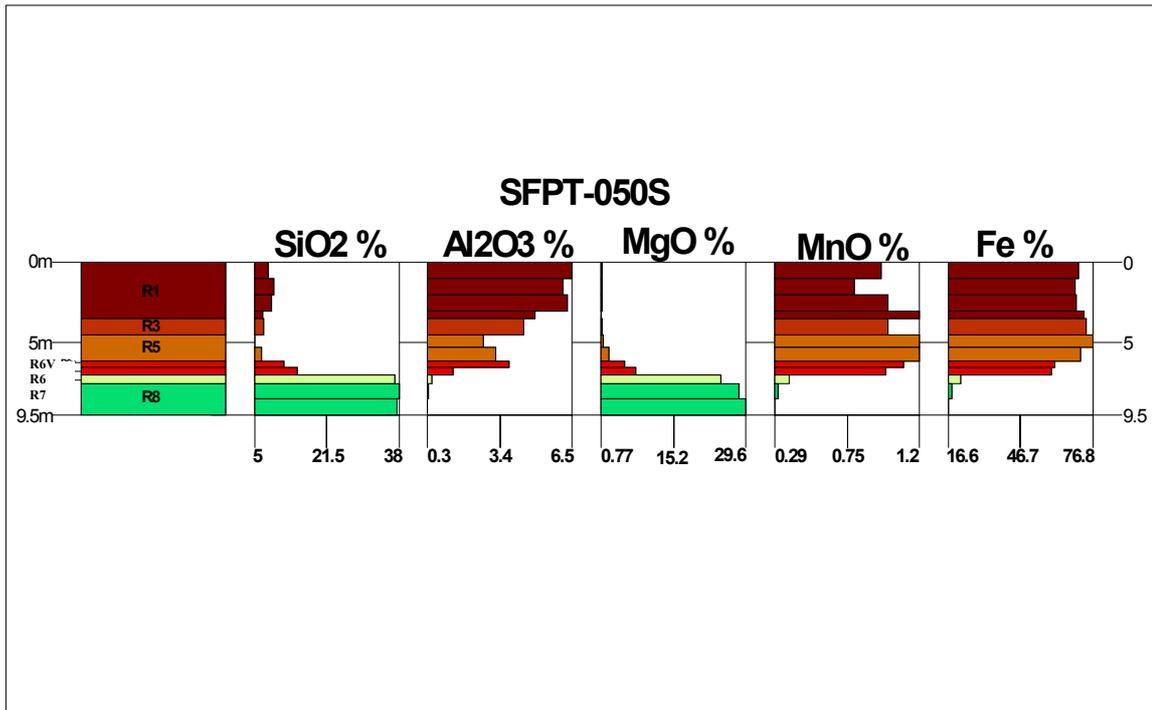


Figura 7 : Log do poço de pesquisa SFPT-050S – parte 1.

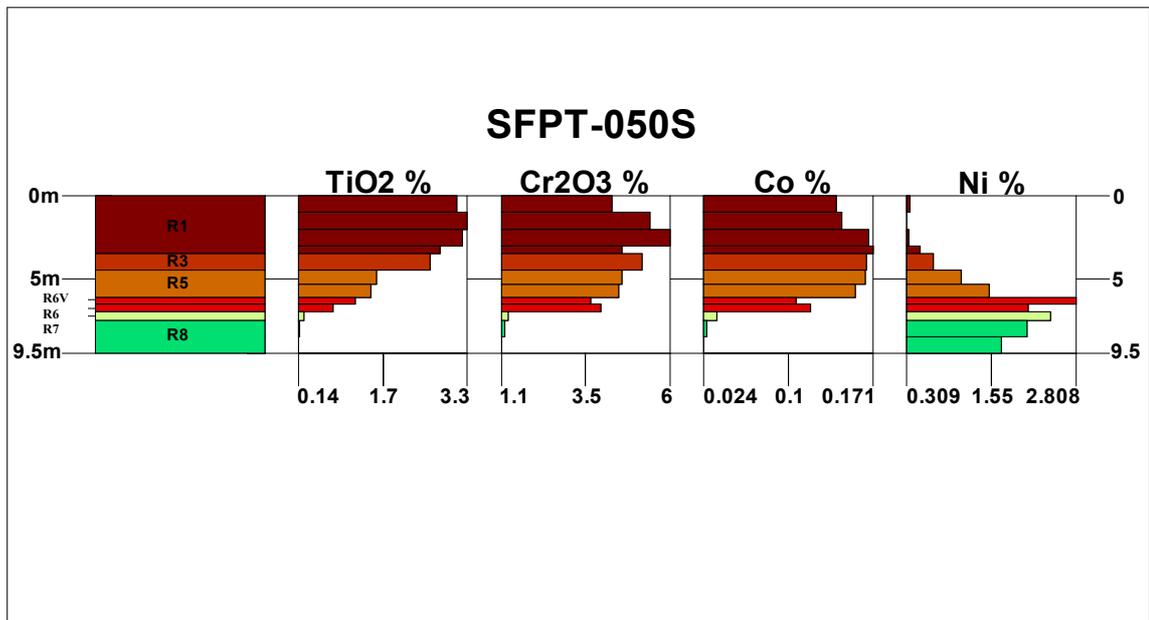


Figura 8 : Log do poço de pesquisa SFPT-050S – parte 2.

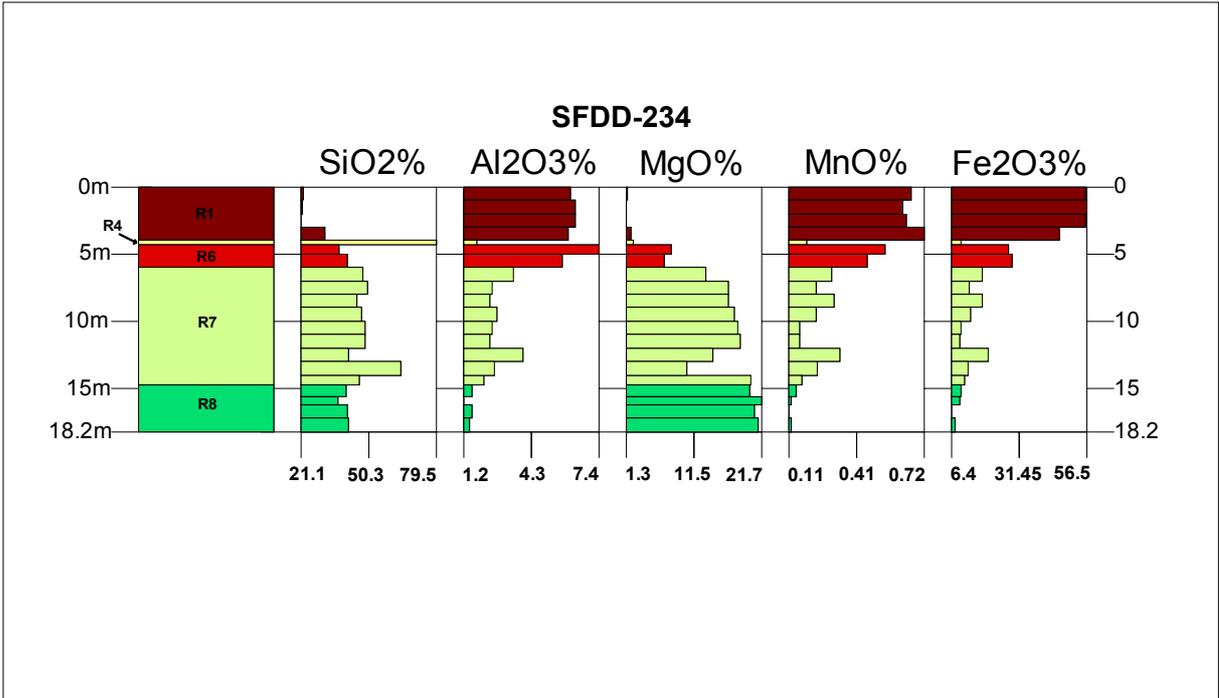


Figura 9: Log do furo de sondagem SFDD-234 – parte 1.

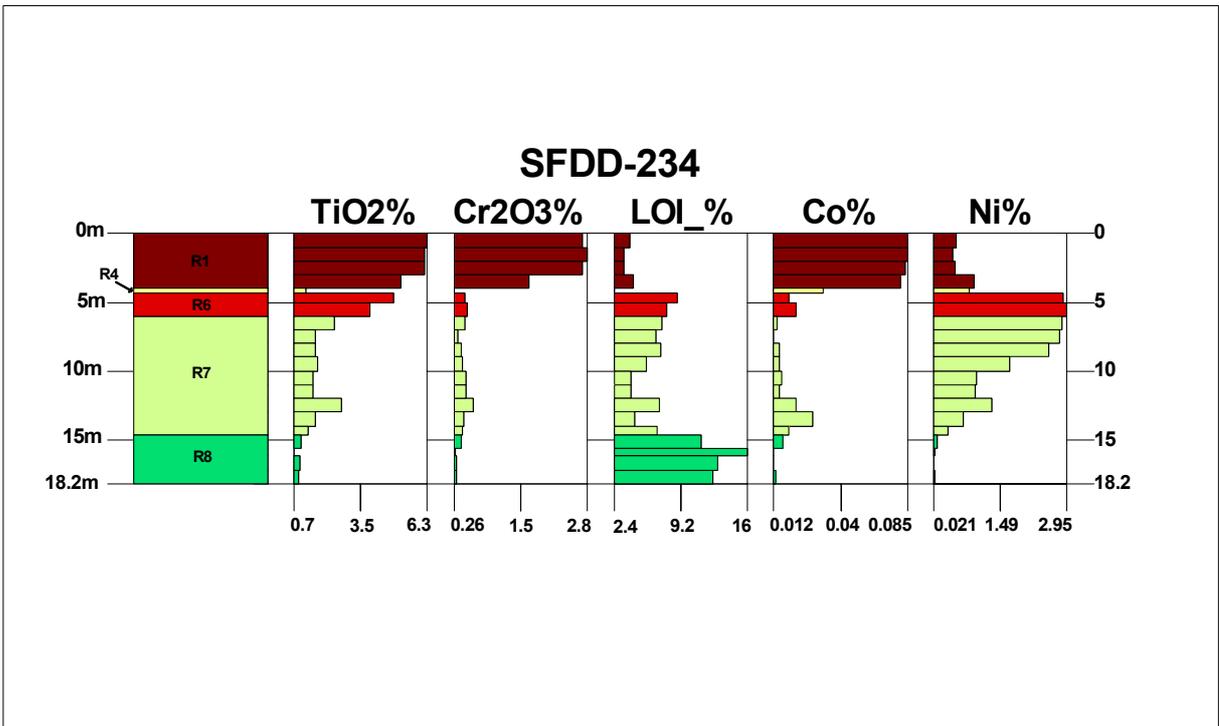


Figura 10: Log do furo de sondagem SFDD-234 – parte 2.

10.2 INTERPRETAÇÃO DOS DIFRATOGRAMAS

Abaixo seguem as interpretações das análises dos difratogramas de raios X. Devido ao alto teor de ferro nas amostras, o *background* dos difratogramas ficaram com valores acima dos padrões usuais, dificultando a identificação dos minerais. Para a identificação dos minerais consultou-se os valores de d contidos em Santos (1928) e também no livro *Mineral Powder Diffraction File Databook*, ICDD(1993)

10.2.1 ANÁLISE DA AMOSTRA SF-18049

De acordo com o gráfico da fração argila seca ao ar (figura 11), foram identificados alguns picos de distância interplanar d que indicam a possibilidade da ocorrência de clorita e/ou caulinita e/ou esmectita, bem como a ocorrência de goetita. Vale ressaltar que também ocorre um valor $d = 4,7815$ que é diagnóstico da clorita. O pico $d = 3,63803$ indica a possibilidade de ocorrer caulinita. Quanto ao gráfico da fração argila glicolada (figura 12), ocorreu algum tipo de erro experimental, inviabilizando a sua interpretação.

O gráfico do pó seco ao ar (figura 13) indicou um pico ($d=14,23170$) que indica a ocorrência de clorita e/ou caulinita e/ou esmectita. Ocorrem também picos que indicam a ocorrência de quartzo. Comparando com o gráfico do pó glicolado (figura 14) observamos que a forma dos picos não variaram de um modo geral, indicando a mesma sugestão sobre a mineralogia, exceto pelo pico $d = 7,34168$, que, pela forma apresentada (base larga), sugere a possibilidade da ocorrência de clorita associada a caulinita. A fração pó, se comparada com a fração argila, apresentam maior quantidade de clorita, o que pode ser constatado pelos maiores índices de contagem. Isso se justifica pelo tamanho das placas deste mineral, que tendem a ocorrer em tamanhos maiores do que 2 mm.

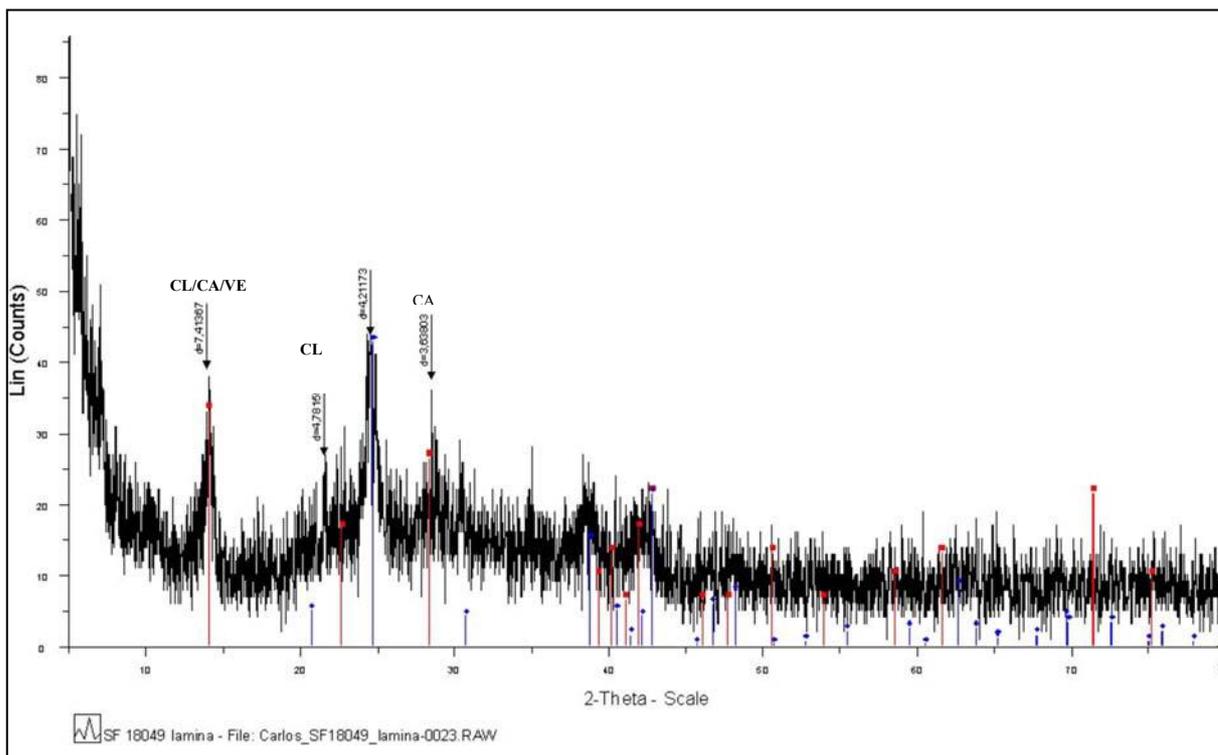


Figura 11.: Difratoograma de raios X da amostra SF-18049 da fração argila seca ao ar.

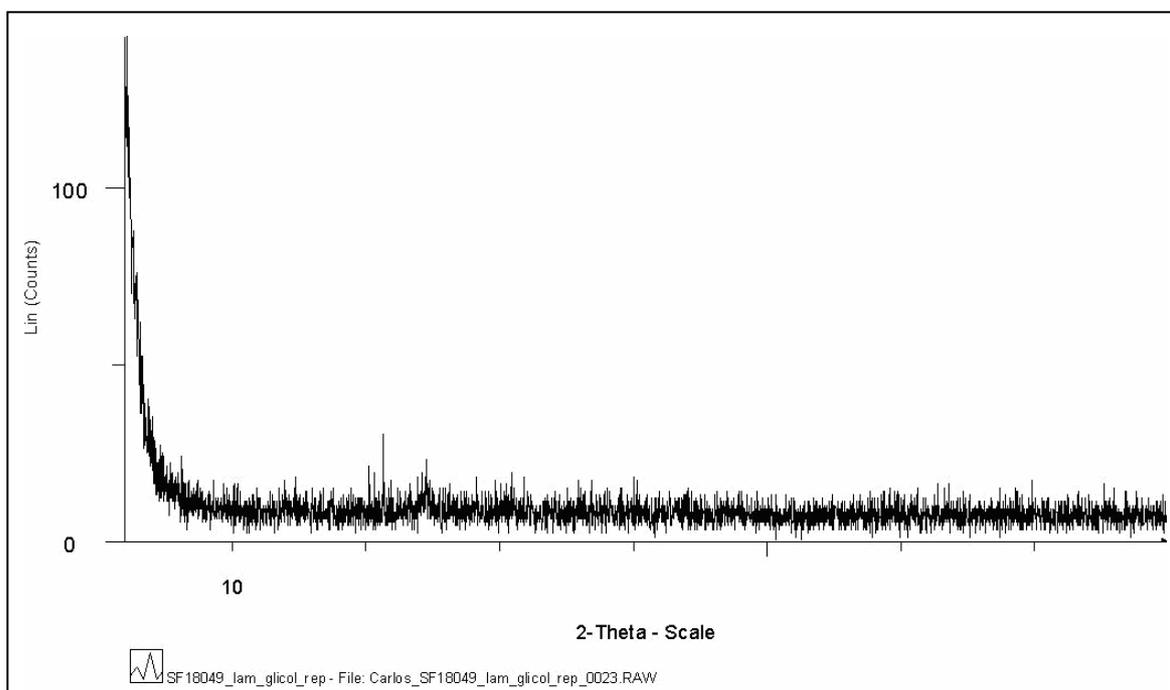


Figura 12: Difratoograma de raios X da amostra SF-18049 da fração argila glicolada.

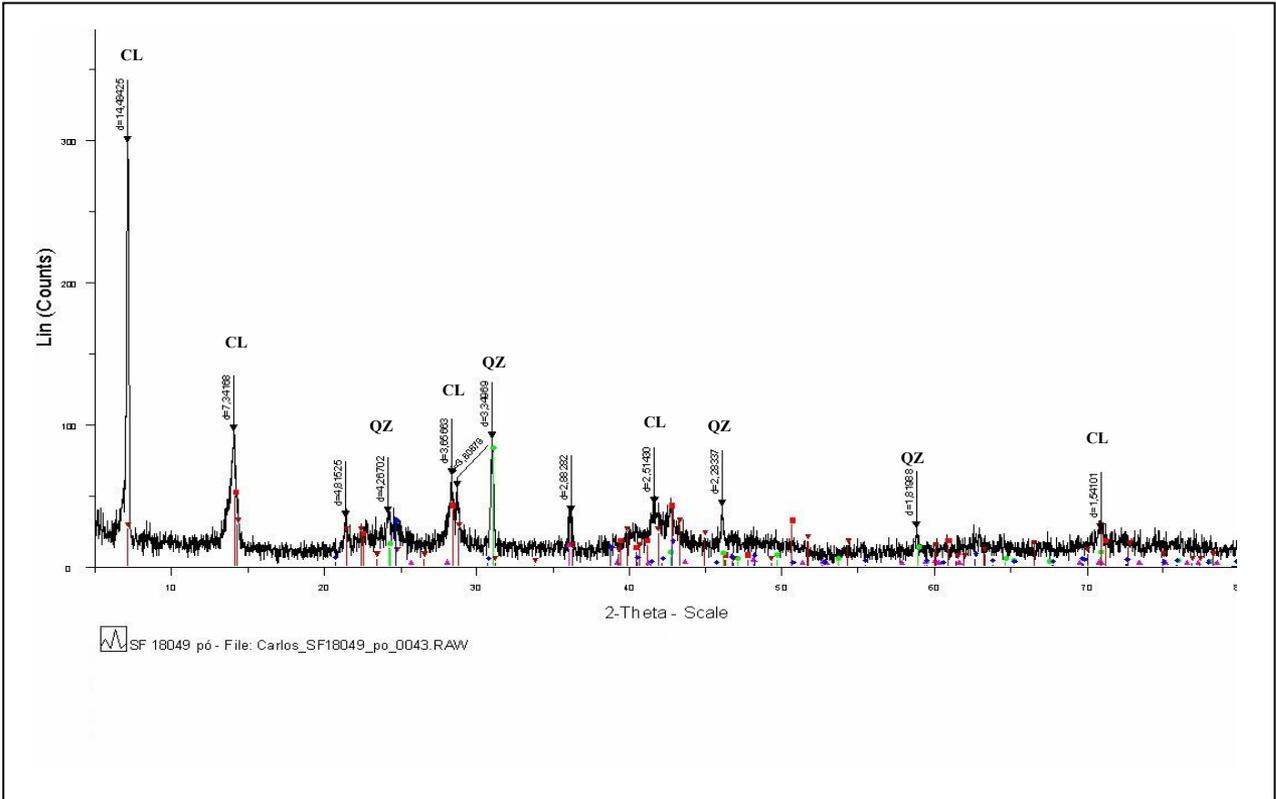


Figura 13: Difratoograma de raios X da amostra SF 18049 de pó seco ao ar.

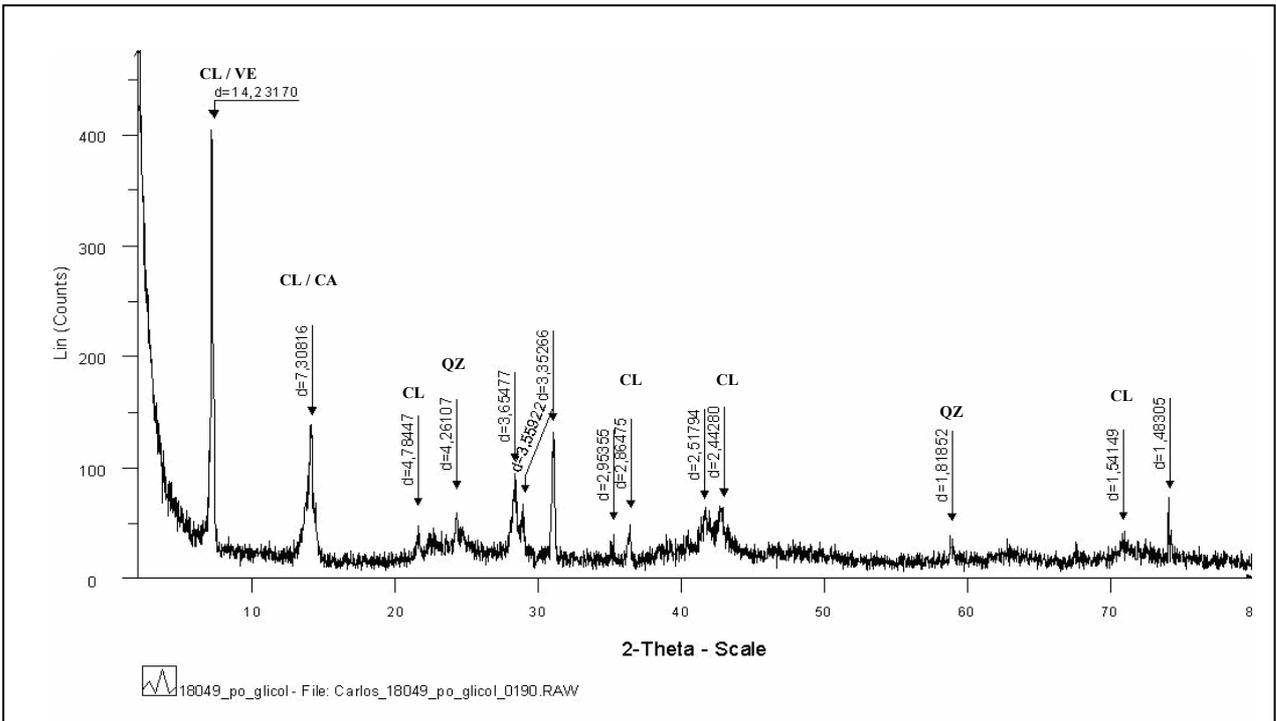


Figura 14: Difratoograma de raios X da amostra SF-18049 de pó glicolado.

10.2.2 ANÁLISE DA AMOSTRA SF-18050

Os gráficos da fração argila (Figuras 15 e 16) indicam praticamente a mesma mineralogia da amostra SF-18049, porém sem ocorrer os picos diagnósticos do quartzo. Outro ponto importante é a ocorrência do pico $d = 4,78$, diagnóstico da clorita (figura 15).

A fração pó (figuras 17 e 18) mostra que os principais picos continuaram a ocorrer, mantendo a mesma tendência da amostra SF-18049 de possuir um maior teor de clorita na fração pó.

As amostras glicoladas não apresentam mudanças significativas na posição dos picos, dessa forma, fica então caracterizado a presença de clorita e/ou vermiculita.

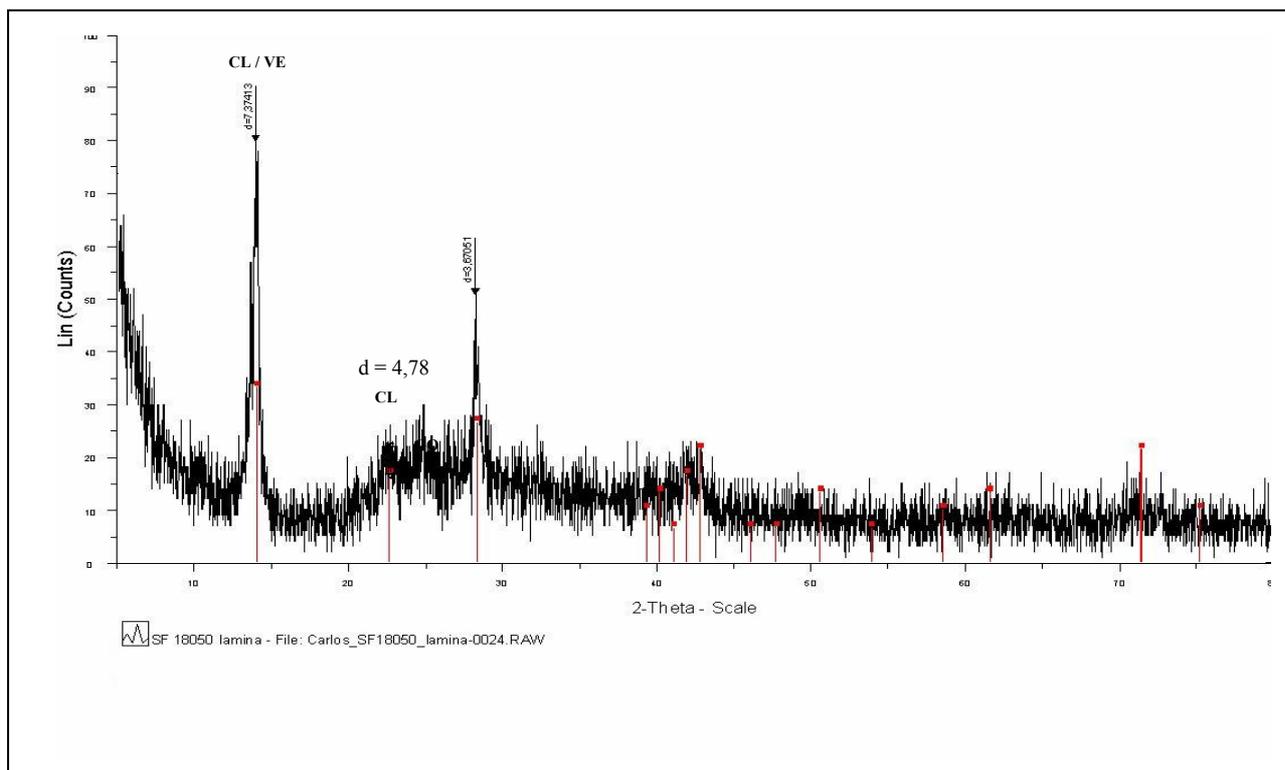


Figura 15: Difratograma de raios X da amostra SF-18050 da fração argila seca ao ar.

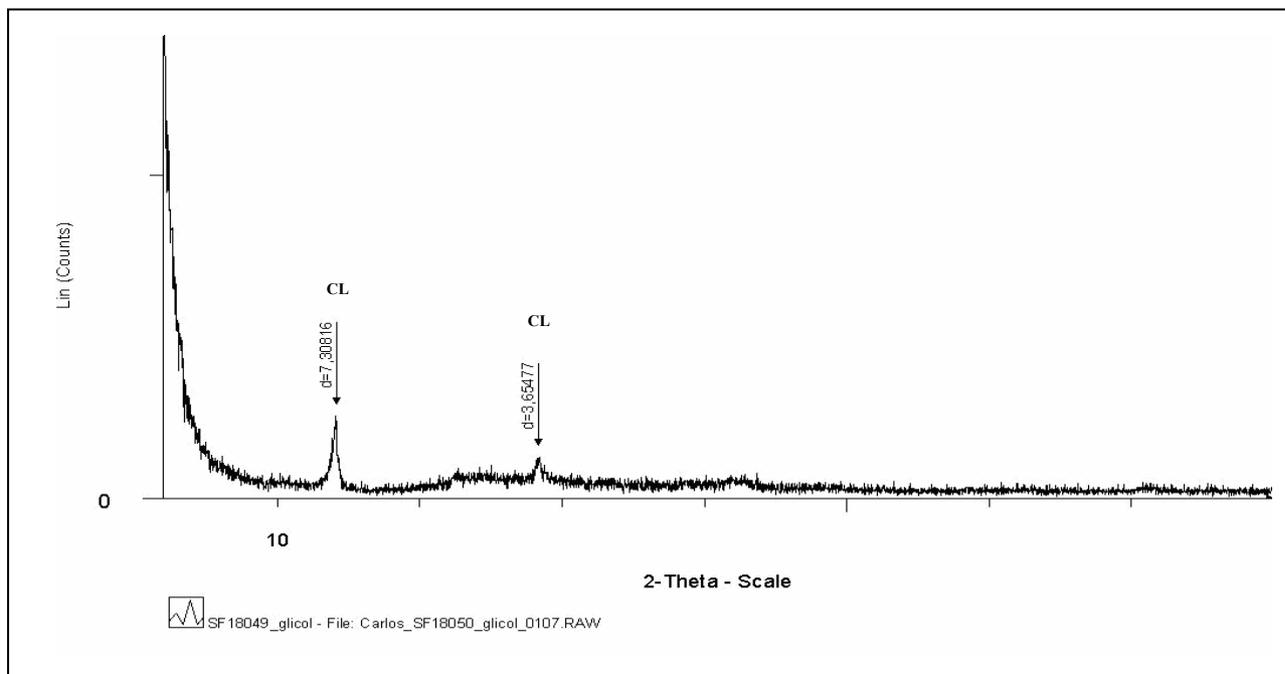


Figura 16: Difratograma de raios X da amostra SF-18050 da fração argila glicolada.

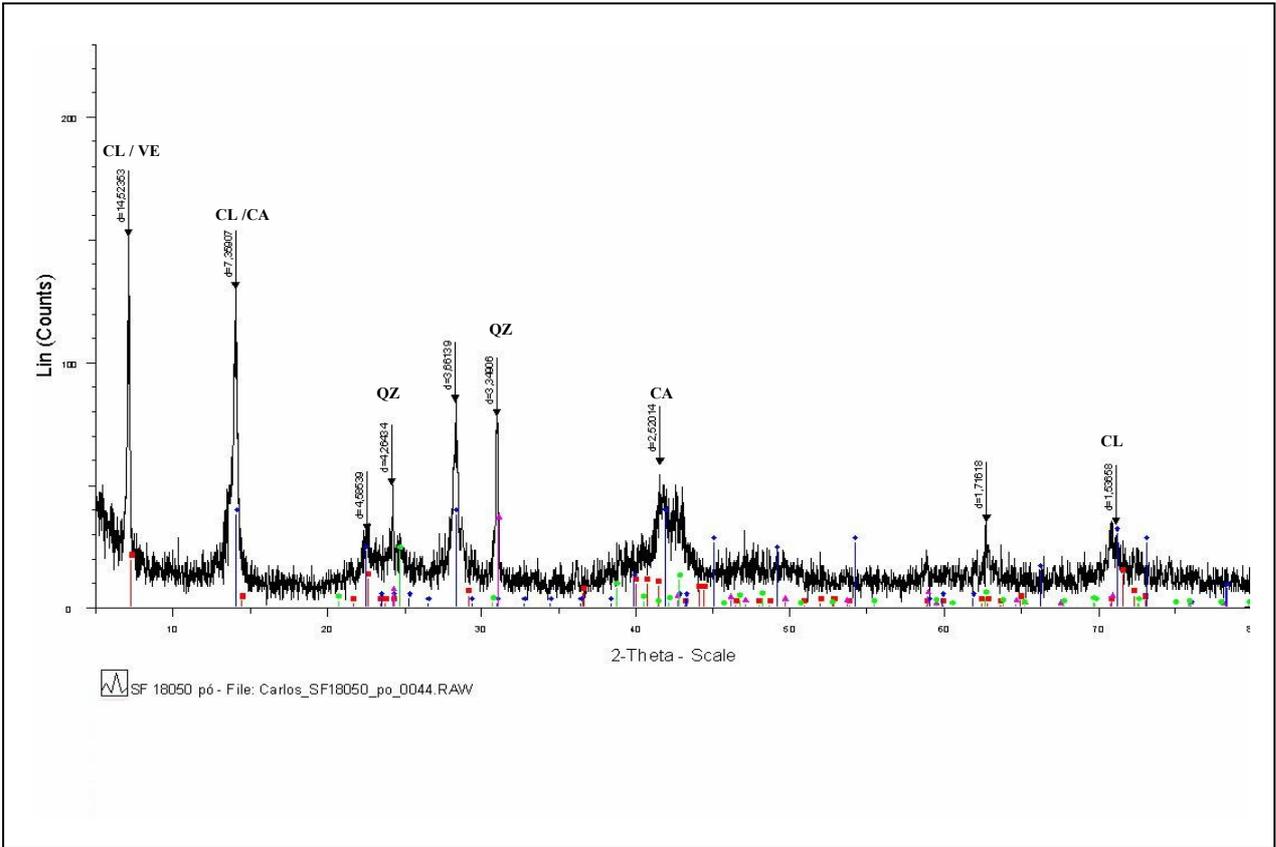


Figura 17: Difratoograma de raios X da amostra SF-18050 de pó seco ao ar.

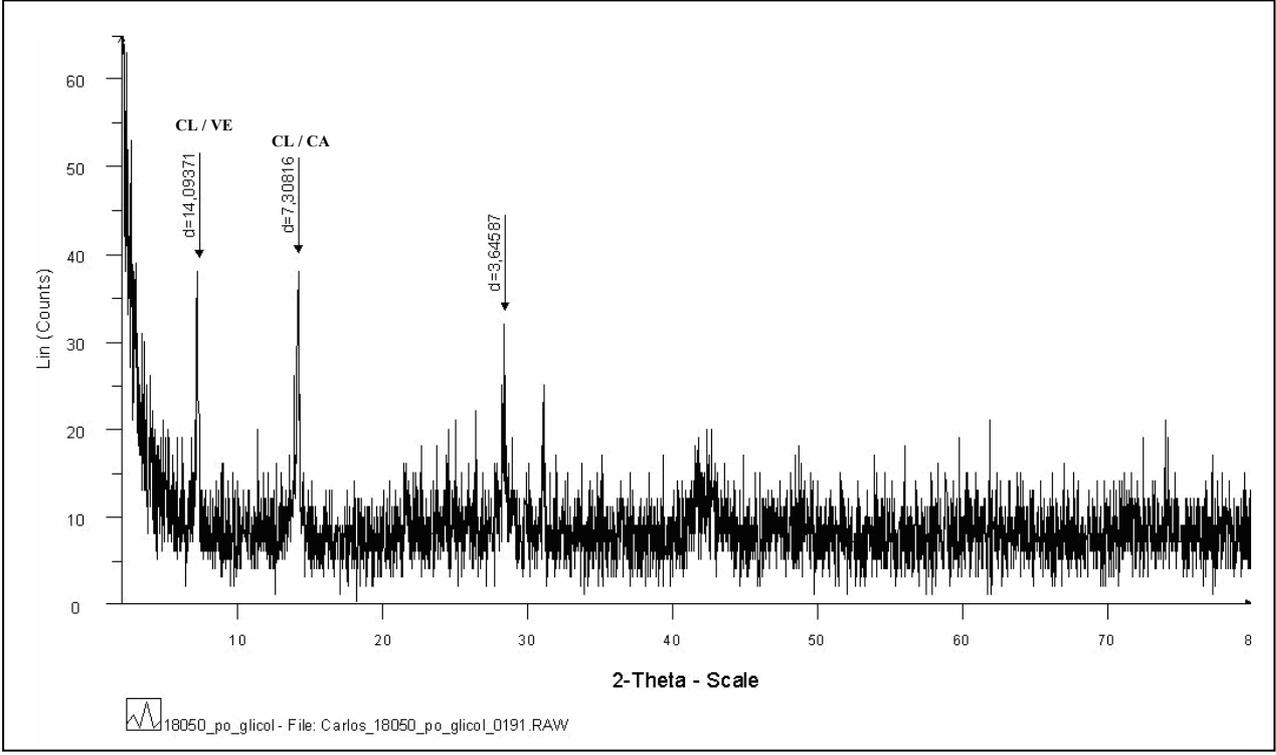


Figura 18 : Difratoograma de raios X da amostra SF-18050 de pó glicolado.

10.2.3 ANÁLISE DA AMOSTRA SF-18134

O difratograma da fração argila seca ao ar (figura 19) sugere a ocorrência de clorita e/ou esmectita e/ou vermiculita. Já no difratograma da fração argila glicolada (figura 20) indica a possibilidade de ocorrer esmectita, já que o pico foi expandido para $d = 17,27769$.

Quanto aos difratogramas da fração pó (figuras 21 e 22) ocorrem picos indicativos de caulinita e/ou clorita, mostrando que praticamente apenas ocorre esmectita na fração argila.

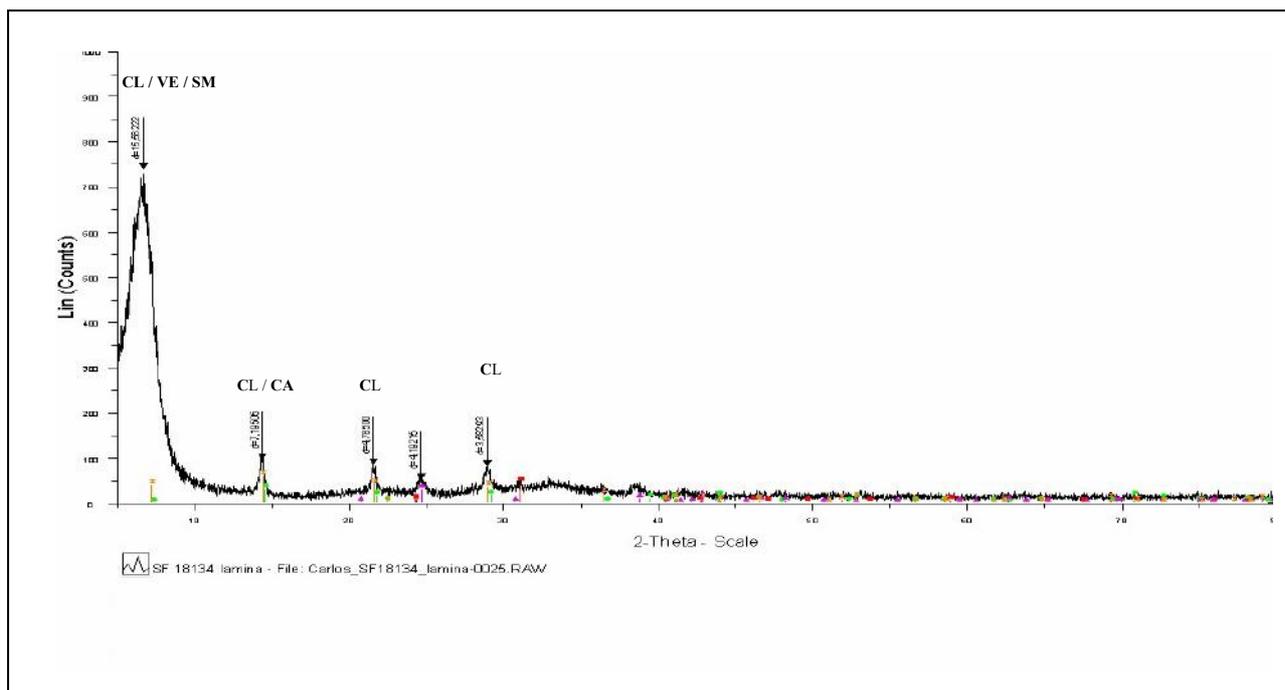


Figura 19: Difratograma de raios X da amostra SF-18134 da fração argila seca ao ar.

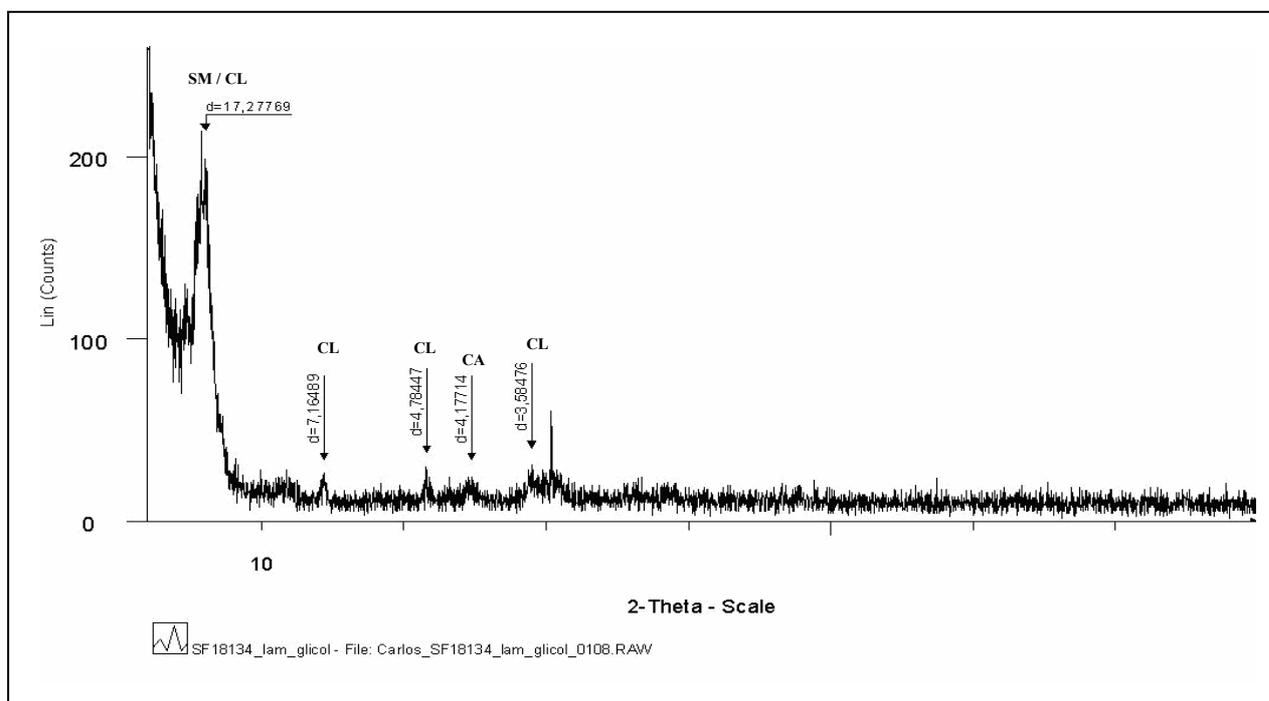


Figura 20: Difratograma de raios X da amostra SF-18134 da fração argila glicolada.

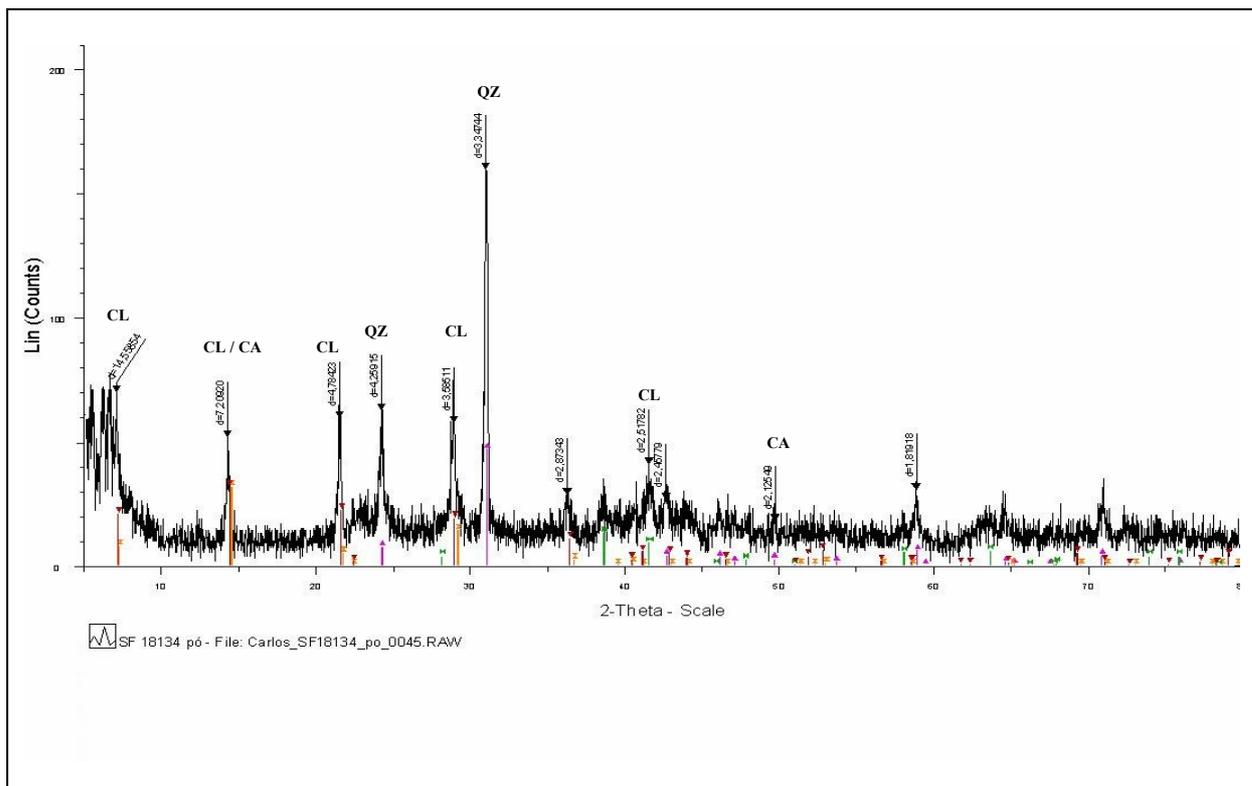


Figura 21: Difratoograma de raios X da amostra SF-18134 de pó seco ao ar.

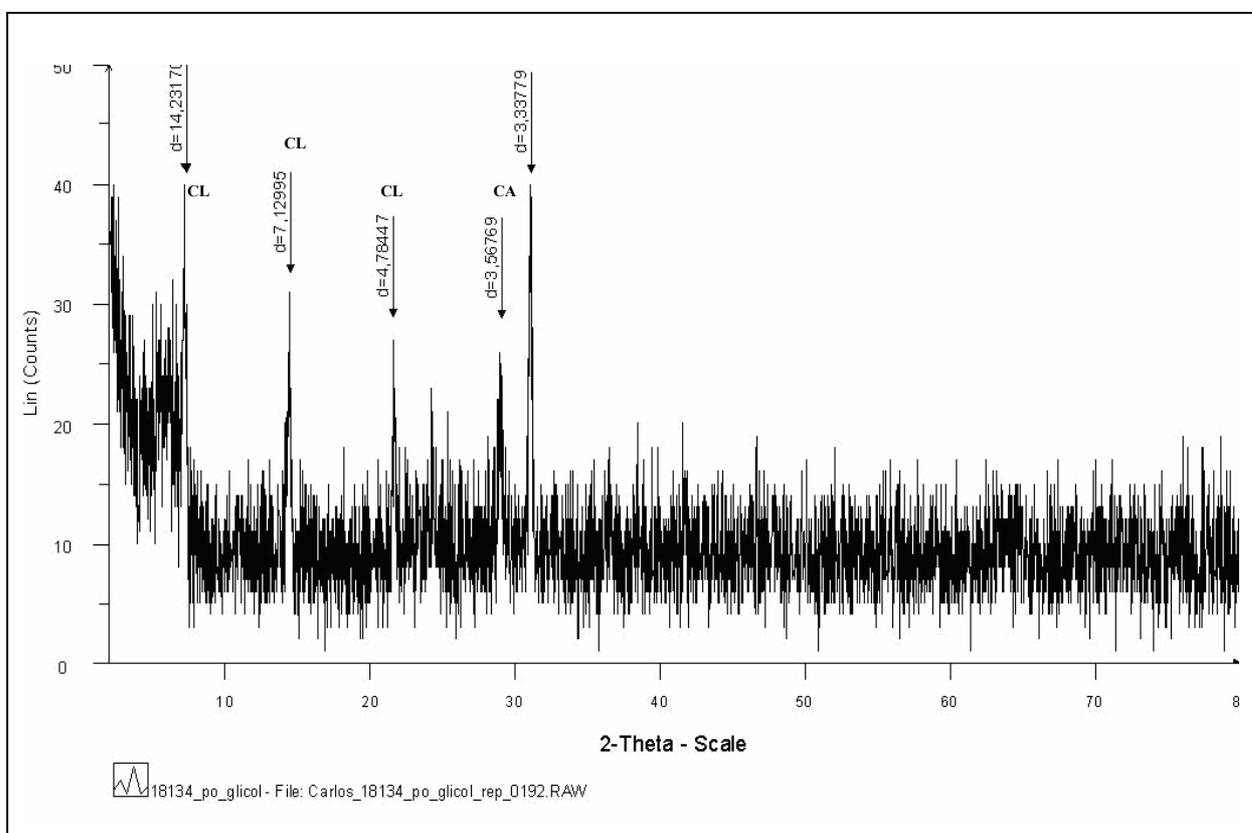


Figura 22: Difratoograma de raios X da amostra SF-18134 de pó glicolado.

10.2.4 ANÁLISE DA AMOSTRA SF-18135

Como na amostra SF-18134, ocorrem picos que indicam esmectita, tanto na fração argila como na fração pó. Nos difratogramas da fração argila (figuras 24 e 25) ocorrem picos diagnósticos de esmectita. Quanto ao pico de valor $d = 8,6504$ (figura 24), este é provavelmente causado por algum tipo de desajuste no difratômetro, pois deveria indicar algum valor em torno de 7, sugerindo a ocorrência de esmectita.

A variação do pico na fração pó (figuras 25 e 26), variando o valor d de 14,94767 para 17,48567, é um resultado que indica a ocorrência de esmectita .

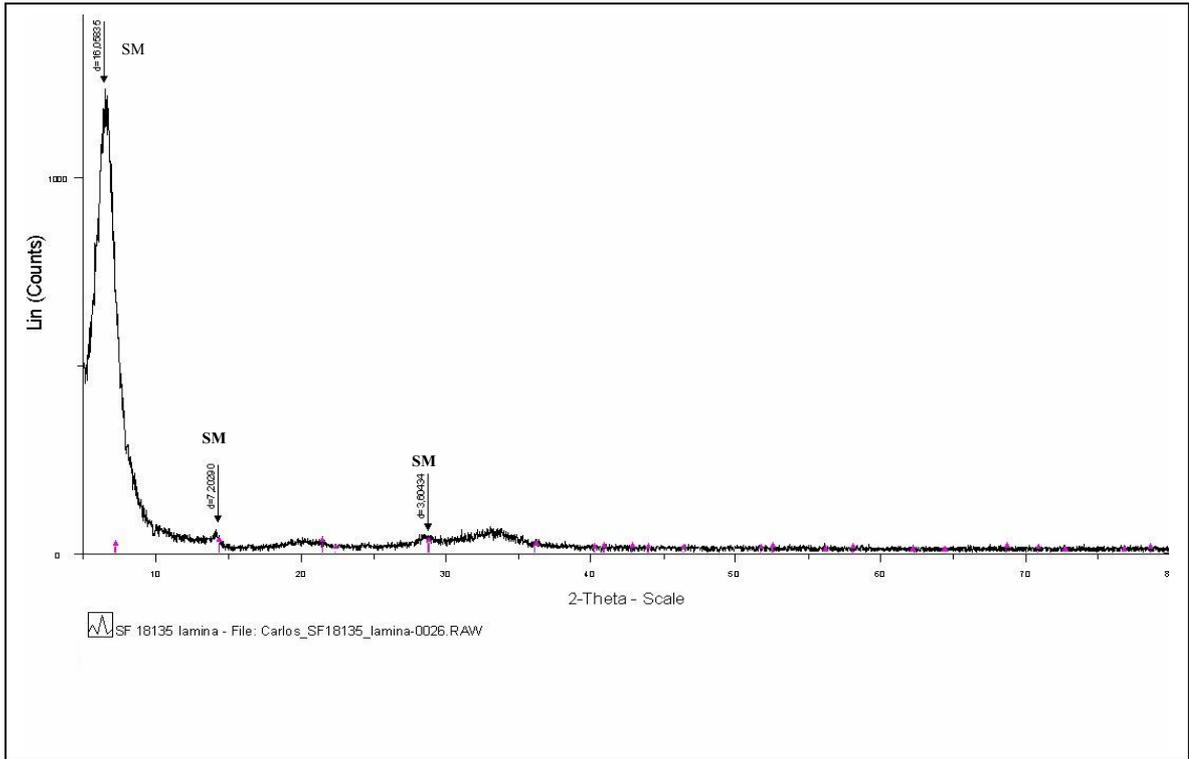


Figura 23: Difratoograma de raios X da amostra SF-18135 da fração argila seca ao ar.

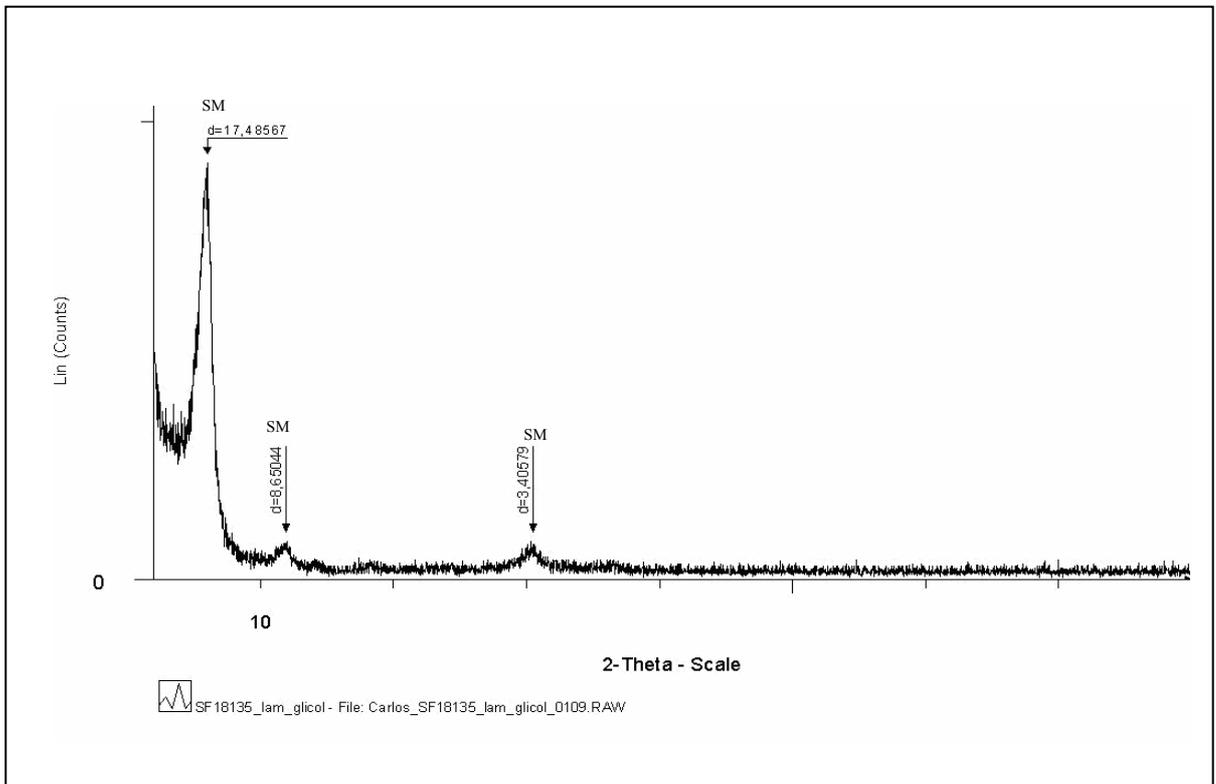


Figura 24: Difratoograma de raios X da amostra SF-18135 da fração argila glicolada.

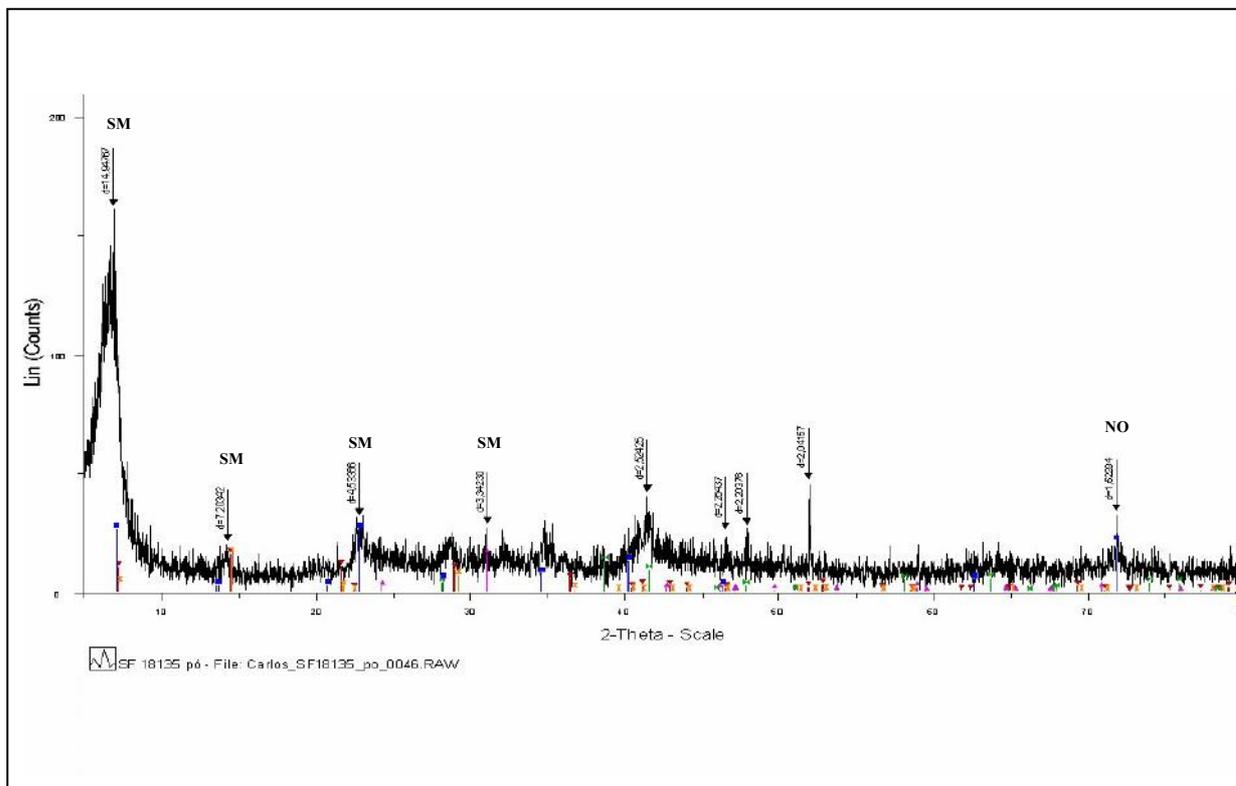


Figura 25: Difratoograma de raios X da amostra SF-18135 do pó seco ao ar.

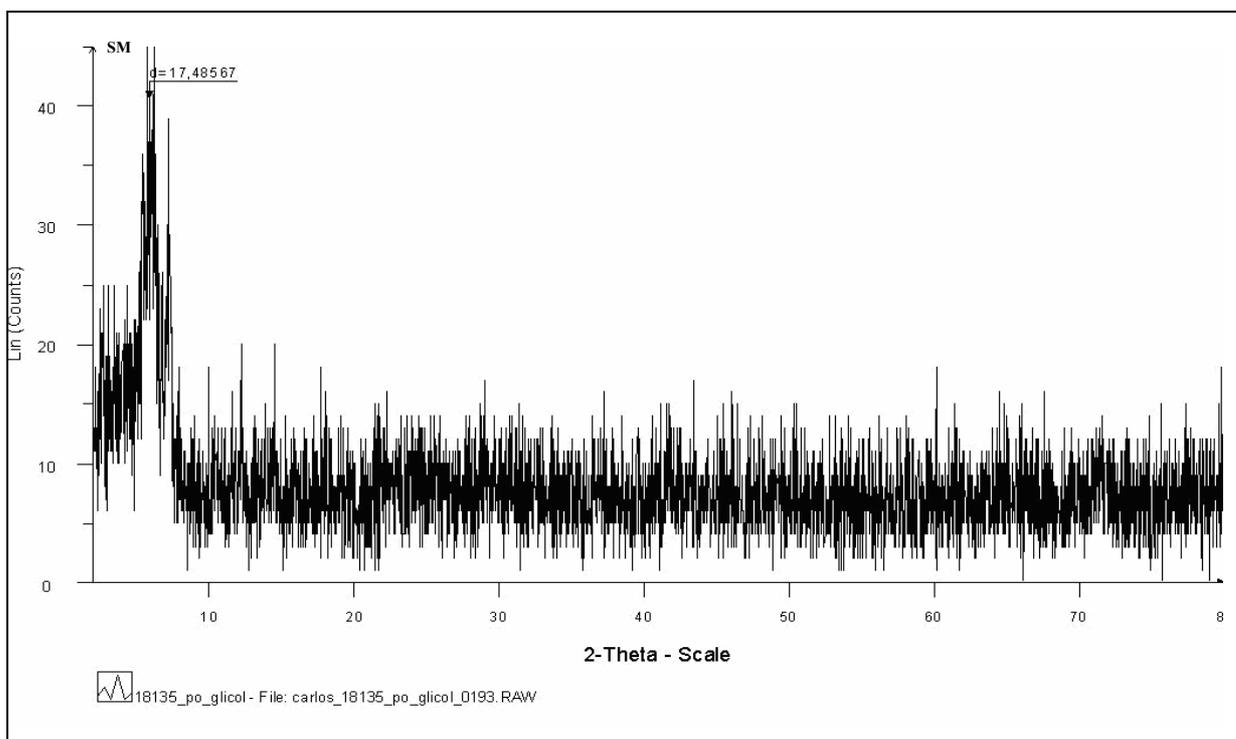


Figura 26: Difratoograma de raios X da amostra SF-18135 do pó glicolado.

10.3 INTERPRETAÇÃO DOS GRÁFICOS BOX –PLOT

Analisando os gráficos da área Sudeste do depósito (figuras 27 e 28), nota-se que ocorreu uma irrelevante mudança no teor médio de níquel no R6, se compararmos as amostras com e sem minerais micáceos. Já as variáveis TiO_2 e Al_2O_3 tendem a se concentrar nas amostras contendo micas. Já se considerarmos a distribuição em todo o perfil, notaremos que as variáveis MnO , Co , Cr_2O_3 e Fe_2O_3 tendem a concentrar mais nos horizontes ferruginosos.

Quanto aos gráficos da região Sudoeste (figuras 29 e 30), notamos que o teor de níquel no horizonte R6 também não sofreu nenhuma alteração significativa, comparando-se as amostras com e sem minerais micáceos. O mesmo observou-se para as outras variáveis, exceto para as variáveis Al_2O_3 e TiO_2 , especialmente no R6. Os teores de MnO , Co , Cr_2O_3 e Fe_2O_3 também se concentram nos horizontes R5 e R6, como nos gráficos da região Sudeste.

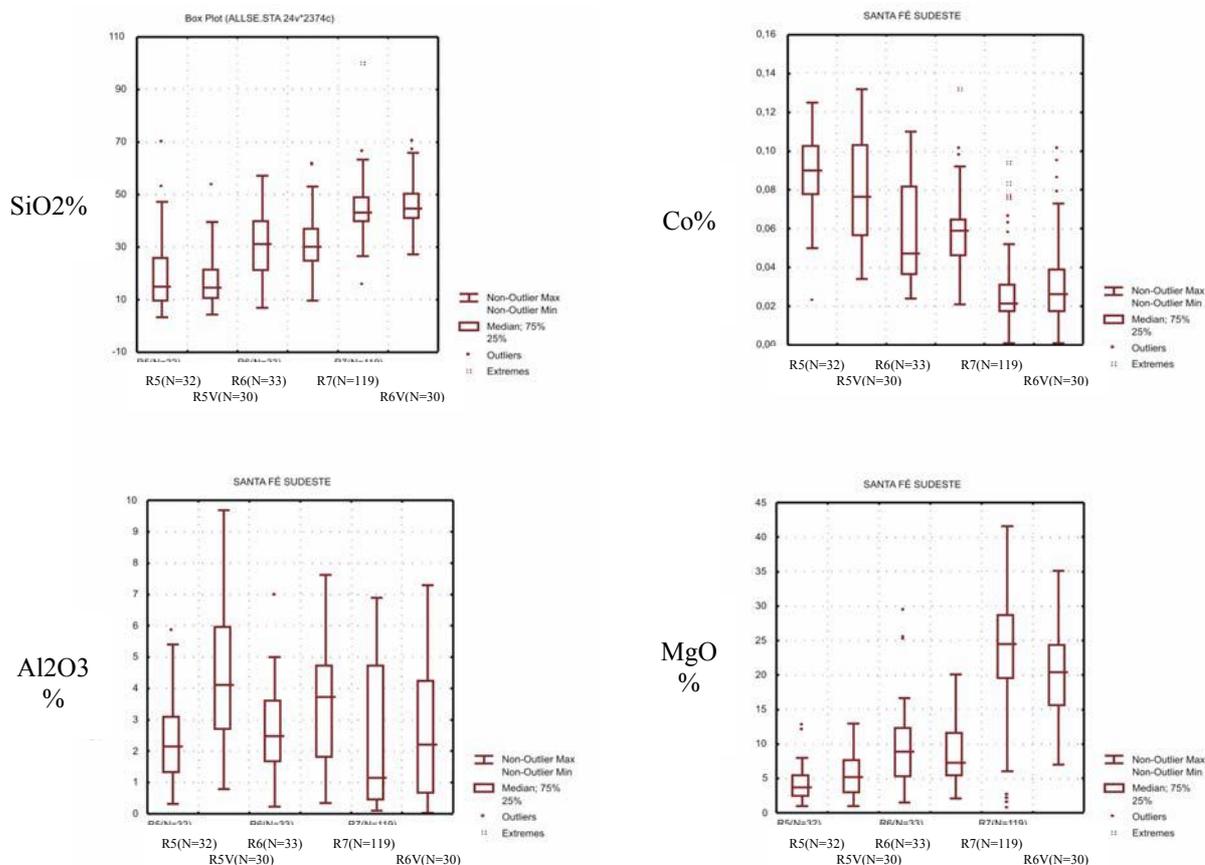


Figura 27 : Gráficos Box-plots da área Sudeste – parte 1.

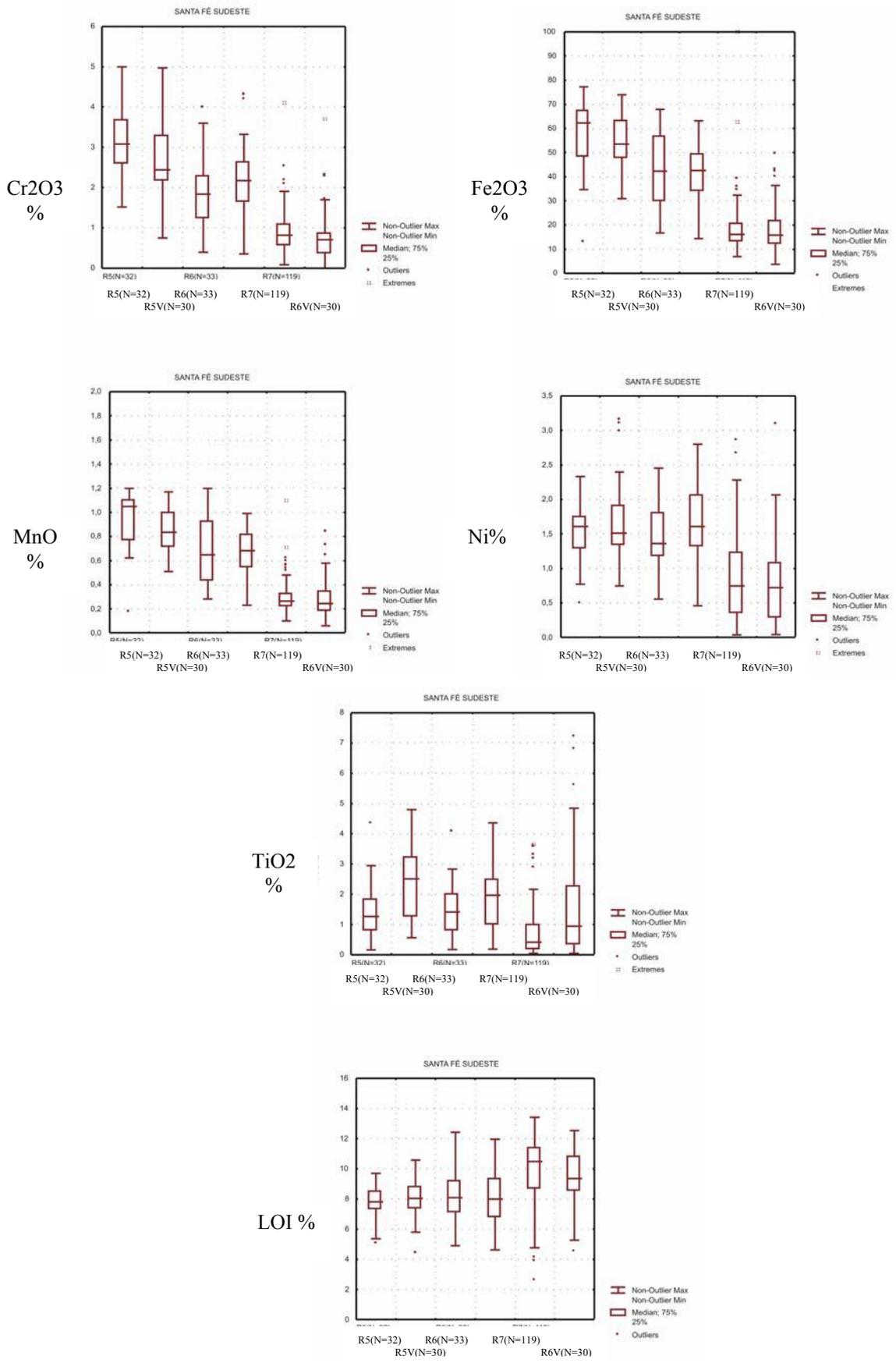


Figura 28: Gráficos Box-plot da área Sudeste – parte 2.

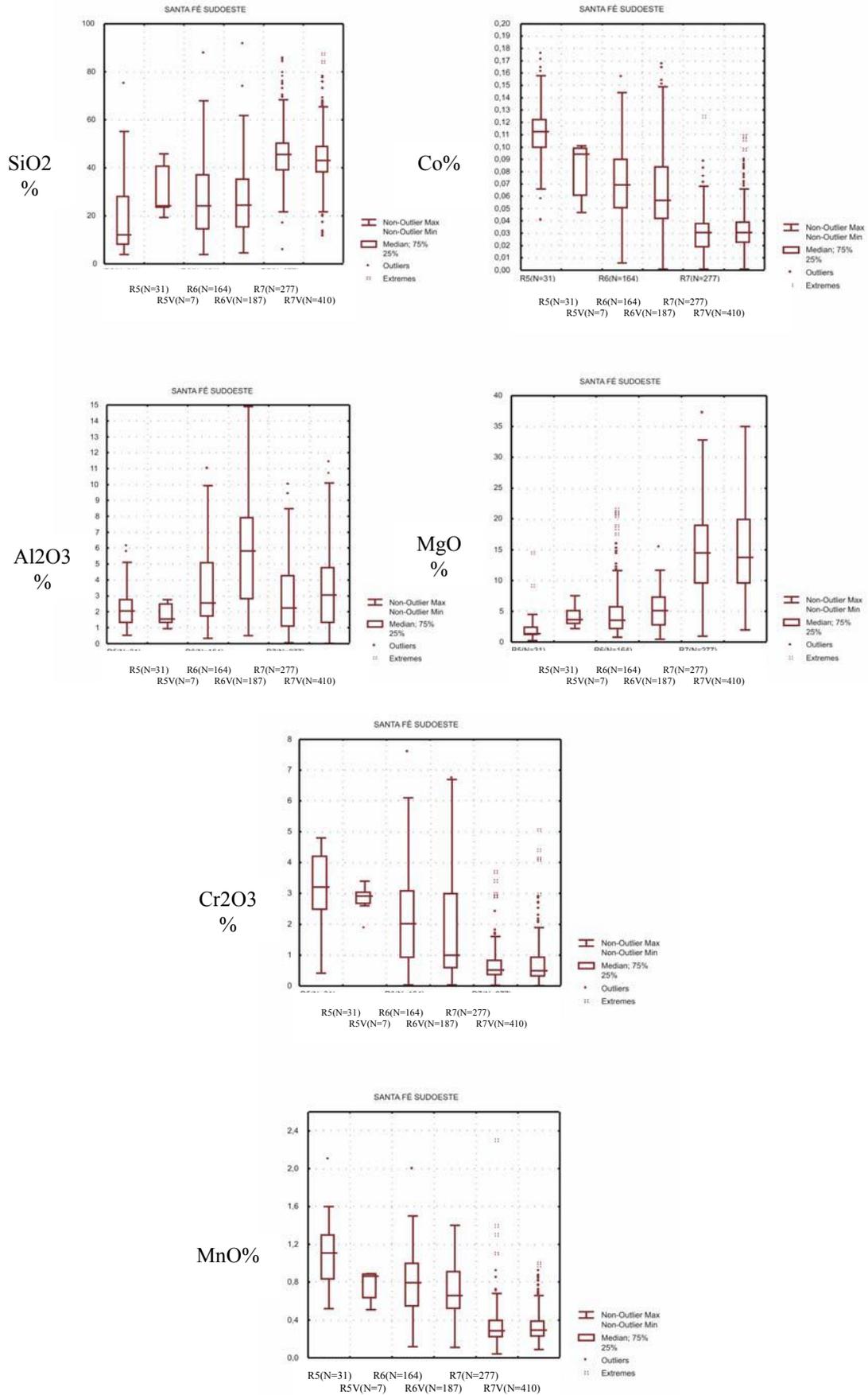


Figura 29: Gráficos Box-plots da área Sudoeste – parte 1

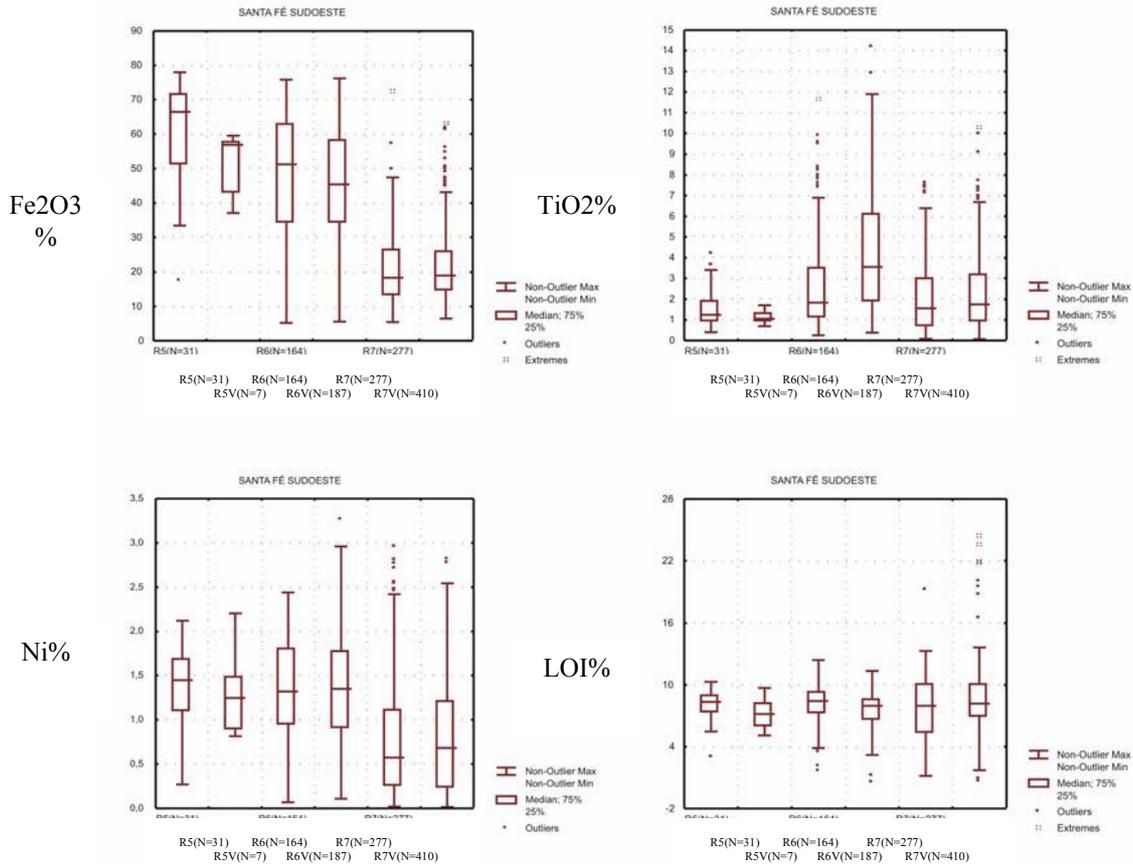


Figura 30: Gráficos Box-plot da área Sudoeste – parte 2

11. CONCLUSÕES

Estudando os gráficos box-plots obtidos, nota-se que se compararmos os teores de níquel das amostras com mica com aquelas sem mica, conclui-se que não há uma diferença significativa de teores níquel, sugerindo que os minerais micáceos, , não são exclusivamente os agentes controladores da distribuição de níquel no minério. Apesar do níquel em depósito laterítico estar reconhecidamente hospedado em argilas, tais como clorita e vermiculita, esse não parece ser o caso no depósito de Santa Fé. . Já no que se refere aos elementos alumínio e titânio, estes tendem a se concentrar nas amostras mais ricas em mica, o que reflete na composição das cloritas, principalmente no horizonte R6.

Já as variáveis Co, Cr₂O₃, MnO tendem a se concentrar mais próximos do topo do perfil, enriquecendo-se junto com o Fe₂O₃, ao contrário das variáveis MgO e SiO₂, que são mais rapidamente lixiviados, devido a sua associação com os minerais ferro-magnesianos que possuem menor resistência ao intemperismo.

Os maiores teores de TiO₂, observados na área Sudoeste, apresentou um comportamento razoavelmente previsível, pois nesta área é mais ricas em piroxênios, já que nos peridotitos ocorrem mais de 10% desse mineral.

Quanto à interpretação dos difratogramas de raios X, conclui-se que a ocorrência de esmectitas está associada a alteração dos piroxênios, um dos minerais que constituem os peridotitos, onde encerra-se o furo de sondagem SFDD-234.

12. RECOMENDAÇÕES

Para uma possível continuação deste trabalho, recomenda-se acrescentar na preparação das amostras de difração de raios X a etapa de eliminação dos óxidos de ferro contido nas amostras, já que os mesmos prejudicaram na interpretação. Outra recomendação que deve ser citada é a de cumprir as etapas experimentais seguintes descritas amplamente na literatura usual, tais como a etapa de aquecimento, permitindo assim caracterizar, de forma mais precisa, a mineralogia das argilas, que permite diferenciar as cloritas das vermiculitas.

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. F.M. de.** 1967. Origem e Evolução da Plataforma Brasileira. DNPM – Div. Geol. e Min. – Bol. 241 – Rio de Janeiro.
- Andrade e Silva, A.C.G.** 1980. Mineralogia, material amorfo, evolução genética e estudo do níquel e cromo no perfil de alteração do maciço ultramáfico de Santa Fé, Goiás. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 129 p.
- Barbosa, O.** 1969. Projeto Brasília – Goiás. DNPM, Prospec AS, Rio de Janeiro (inédito).
- Barbour, A. P.,** 1976. Geologia do Maciço Ultramáfico de Santa Fé, Goiás. Tese de Livre Docência Instituto de Geociências - USP.
- Barbour, A. P., Guirardi, V.A.V., Kawashita, K., Souza, A.M.S.** 1979. Geocronologia do Complexo Máfico - Ultramáfico Alcalino de Santa Fé, Goiás. Bol. Instituto de Geociências, USP – V.10 p 11-18.
- Bussab, Wilton O., Morettin, Pedro A.,** 1940. Estatística básica, 4. ed. – São Paulo : Atual, 1987. 1
- Gleeson, S.A., Butt, C.R.M. and Elias, M.** 2003. *Nickel laterites: A Review.* In Society of economic geologists, Newsletter, Number 54, July 2003, p10-17.
- Guimarães, G., Glaser, I., Marques, V.J.,** 1968. Sobre a Ocorrência de Rochas Alcalinas na Região de Iporá, Goiás. Min. e Metal. V.48 n 283. p 11-15 – Rio de Janeiro.
- International Centre of Diffraction Data,** 1993. Mineral Powder Diffraction File Databook Sets 1-42, 782p.
- Oliveira, E.P.,** 1912. O terreno devoniano do Sul do Brasil. An. Esc. Min. Ouro Preto 14 p 31-39.
- Pena, G.S.; Figueiredo, A.J.A.,** 1972 . Projeto Alcalinas. DNPM – CPRM. Relatório inédito, Goiânia.
- Radaelli, V. A.,** 2000. *Níquel de Santa Fé - Estado de Goiás.* Goiânia, CPRM, 1v.; il; 10p. (Informe de Recursos Minerais, Série Oportunidades Minerais – Exame atualizado de Projeto, número 01)
- Santos, Pêrsio de Souza,** 1928. Tecnologias de argilas, aplicadas às argilas brasileiras. São Paulo, Edgard Blücher, Editora da Universidade de São Paulo, 340p.