

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**A QUARTZILIZAÇÃO EM PERFIS DE INTEMPERISMO
TROPICAL**

SILVANA COSTA FERREIRA SENAHA

ORIENTADOR: JOSÉ CAMAPUM DE CARVALHO, Dr.
COORIENTADOR: RENATO MARQUES CABRAL, D.Sc.

DISSERTAÇÃO MESTRADO EM GEOTECNIA

BRASÍLIA / DF: 07/2019

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

A QUARTZILIZAÇÃO EM PERFIS DE INTEMPERISMO TROPICAL

SILVANA COSTA FERREIRA SENAHA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

**JOSÉ CAMAPUM DE CARVALHO, Ph.D (UnB)
(ORIENTADOR)**

**RENATO MARQUES CABRAL, D.Sc (Furnas e UEG)
(ORIENTADOR)**

**LUIS FERNANDO MARTINS RIBEIRO, Ph.D (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**ÉDER DE SOUZA MARTINS, D.Sc (EMBRAPA)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 10 do JULHO de 2019.

FICHA CATALOGRÁFICA

FERREIRA SENAHA, SILVANA COSTA

A Quartzilização em Perfis de Intemperismo Tropical [Distrito Federal]
2019.

xii, 159 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Geotecnia, 2019)

Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil

1. Solos

2. Sílica

3. Neoformações

4. Difractometria de

Raios-X

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FERREIRA SENAHA, S.C. (2019). A Quartzilização em Perfis de Intemperismo Tropical. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-332/2019, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 159 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Silvana Costa Ferreira Senaha

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Quartzilização em Perfis de Intemperismo Tropical.

GRAU / ANO: Mestre / 2019

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Silvana Costa Ferreira Senaha
silfrds@yahoo.com.br

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, a Fernando meu esposo; aos meus pais, Emílio e Helena; aos meus irmãos, Marli, Luís e Lenir e; aos meus grandes amigos, pelo apoio, incentivo e pela compreensão nos incontáveis dias em que estive ausente.

AGRADECIMENTOS

A todos envolvidos durante o processo de realização deste trabalho, gostaria de expressar minha gratidão:

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro.

Ao meu orientador José Camapum de Carvalho, pela dedicação, orientação, constantes e incentivos e principalmente pela brilhante atuação em associar a Geotecnia com as outras ciências que vem a agregar mais conhecimentos.

Ao meu co-orientador Renato Marques Cabral, também pela dedicação, orientação e pela parceria que envolveu a Universidade de Brasília (UnB) e Furnas para a produção de mais conhecimento no campo da Geotecnia.

À Furnas Centrais Elétricas S.A e a ANEEL. Este trabalho apresenta parte do estudo desenvolvido no Programa de P&D da ANEEL – projeto intitulado Metodologias e Infraestrutura Tecnológica para Ampliação da Confiabilidade e Otimização de Empreendimentos de Energia (código ANEEL 0394-1504/2015) de Furnas Centrais Elétricas S.A., pela infraestrutura fornecida e pelo apoio incondicional de seus respeitados pesquisadores, Renato Batista de Oliveira e Heloisa Helena Azevedo Barbosa da Silva.

À Universidade de Brasília, pela infraestrutura, pelas lições aprendidas, no qual contribuiu consideravelmente para meu crescimento pessoal e acadêmico.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, pelo ensino de excelência e pela oportunidade.

Ao meu marido, pelo amor e apoio incondicional a mim oferecido em todas as etapas desta dissertação.

À professora Edi Mendes Guimarães, professora do Instituto de Geociências da UnB, na qual gentilmente cedeu não apenas a estrutura do laboratório de Difração de Raios-X, mas também uma pequena parte de seus maravilhosos conselhos e ensinamentos.

Ao professor Antônio Lázaro Ferreira Santos, professor da Universidade Estadual de Goiás (UEG), campus da Anápolis, pelo auxílio tanto na obtenção de informações quanto na gentileza cedida para a coleta de amostras primordiais a esta pesquisa.

Aos respeitados pesquisadores, Éder de Souza Martins, Marisaides Cruz Lima, Gilson Gitirana Jr, Fabrício Bueno da Fonseca Cardoso, Wisley Moreira Farias e a Sabrina Marques Cabral por terem cedido, tão gentilmente, os resultados de suas pesquisas para compor dados para mais evidências deste trabalho.

As minhas colegas Rocio Del Carmen Perez Collantes e a Danieli Miranda Marinho pelo apoio na obtenção de ensaios e amostras.

Aos queridos amigos que fizeram parte desta igual caminhada rumo ao conhecimento, hoje me sua maioria mestres e doutores, pelo apoio mútuo, pelos momentos de dificuldade e principalmente aqueles de alegria de nossa jornada acadêmica.

Aos meus pais, Emílio e Helena, pelo oferecimento das lições aprendidas, caráter e, sobretudo, pela oportunidade de terem me oferecido uma educação necessária, amor e, sobretudo, pelo apoio às minhas decisões.

A Deus, pela eterna gratidão e cuidados a mim oferecidos, cuja atuação me conduziu a tecer este trabalho.

RESUMO

Os solos tropicais brasileiros apresentam características peculiares quanto ao seu arranjo estrutural e conteúdo mineral. Estes solos, ao sofrerem a ação de intemperismo, passam a apresentar grandes mudanças tanto na sua estrutura quanto na formação de minerais de origem secundária. Estas mudanças podem afetar tanto a ocupação do espaço quanto a agricultura, ocasionando em regiões com escassez de recursos, a exemplo das regiões desérticas, a agricultura e também influenciando nas propriedades dos solos, resultando em várias consequências no âmbito geotécnico.

Tendo em vista as mudanças do solo, causadas pelo intemperismo intenso, observa-se que há relevância em estudos científicos capazes de promover o entendimento desses processos, como a sua gênese. Os solos que sofrem processos intemperismo intenso, ou seja, aqueles que sofreram alitização/bissialitização são aqueles ricos em argilominerais do tipo 1:1 (grupo da caulinita), acrescidos do aparecimento de oxi-hidróxidos de ferro e alumínio, possuindo uma intensa lixiviação de bases nas camadas mais superiores e mais intemperizadas. No entanto alguns minerais de origem primária, mais resistentes, podem permanecer nesses perfis, como o caso dos minerais de quartzo, rutilo e anatásio, observados comumente nos solos. Nas reações químicas envolvidas nesses processos identifica-se a formação de outros minerais a partir da transformação/decomposição de outros: As micas e os feldspatos darão origem aos argilominerais do tipo 2:1 (formados por 1 folha de octaedro de alumínio e 2 folhas tetraédricas de silício), que ao serem intemperizados darão origem aos argilominerais 1:1 (formados por 1 folha de octaedro de alumínio e 1 folha tetraédrica de silício). Quando ocorrem transformações ainda mais intensas estes argilominerais do tipo 1:1 originam outros como a gibbsita, a goethita e a hematita, liberando folhas tetraédricas de sílica em solução no solo. Mas o que poderia estar ocorrendo com estas folhas tetraédricas no solo? Tendo em vista essa indagação foram analisados perfis de solos no Distrito Federal, Anápolis-GO e da literatura para solos da Amazônia, para buscar respostas a esta nova pergunta – poderiam estas folhas tetraédricas formarem novos grãos de quartzo (neoformado) nesses perfis de solo intensamente intemperizados/alitizados? Para responder a estas perguntas foram realizados ensaios de Difração de Raios-X (DRX), Fluorescência de Raios-X (FRX), ensaios de pH, peso específico dos grãos para buscar indícios de ocorrência desse fenômeno chamado de quartzilização.

PALAVRAS CHAVES: caracterização químico-mineralógica, intemperismo, mineralogia, pH, solos.

ABSTRACT

Brazilian tropical soils have peculiar characteristics regarding their structural arrangement and mineral content. These soils, when suffering the action of weathering, start to present major changes both in their structure and in the formation of minerals of secondary origin. These changes can affect both land use and agriculture, causing in resource-scarce regions, such as desert regions, agriculture and also influencing soil properties, resulting in several geotechnical consequences.

Considering the soil changes caused by intense weathering, it is observed that there is relevance in scientific studies capable of promoting the understanding of these processes, as their genesis. Soils that undergo intense weathering processes, ie those that have undergone alitization / bisialization are those rich in type 1: 1 clay minerals (kaolinite group), plus the appearance of iron and aluminum oxyhydroxides, with an intense leaching of bases in the upper and most weathered layers. However, some resistant minerals of primary origin may remain in these profiles, such as quartz, rutile and anatase minerals, commonly observed in soils. The chemical reactions involved in these processes identify the formation of other minerals from the transformation / decomposition of others: The micas and the feldspars will give rise to the type 2: 1 clay minerals (formed by 1 aluminum octahedron leaf and 2 tetrahedral leaves). which, when weathered, will give rise to 1: 1 clay minerals (made up of 1 aluminum octahedron sheet and 1 tetrahedral silicon sheet). When even more intense transformations occur these type 1: 1 clay minerals give rise to others such as gibbsite, goethite and hematite, releasing tetrahedral leaves of silica in solution in the soil. But what could be happening to these tetrahedral leaves in the soil? In view of this question, soil profiles in the Federal District, Anápolis-GO and the Amazonian soil literature were analyzed to find answers to this new question - could these tetrahedral leaves form new quartz grains (neoformed) in these intensely soil profiles? weathered / smoothed? To answer these questions, X-ray Diffraction (XRD), X-ray Fluorescence (FRX) assays, pH assays, specific grain weight tests were performed to look for evidence of occurrence of this phenomenon called quartzization.

KEYWORDS: chemical-mineralogical characterization, weathering, mineralogy, pH, soils.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO DOS SOLOS	6
2.2 OS ARGILOMINERAIS	7
2.3 MINERALOGIA DAS ARGILAS:	8
2.4 CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA DAS ARGILAS	12
2.5 SUPERFÍCIES MINERAIS E SUA INTERAÇÃO COM SOLUÇÕES	12
2.6 ADSORÇÃO	13
2.7 SOLOS TROPICAIS	13
2.8 SOLOS LATERÍTICOS	14
2.9 QUÍMICA DOS SOLOS LATERÍTICOS.....	14
2.10 A HIDRÓLISE	15
2.11 PROCESSO DE QUELUVIAÇÃO	16
2.12 MINERALOGIA DOS SOLOS LATERÍTICOS	16
2.13 SOLOS SAPROLÍTICOS	17
2.14 ASPECTOS FÍSICOS E TEXTURAIS DOS SOLOS TROPICAIS – MINERAIS DE ARGILA	17
2.15 DENSIDADE REAL DOS GRÃOS.....	18
2.16 PERFIS DE INTEMPERISMO NOS SOLOS TROPICAIS DO DISTRITO FEDERAL.....	19
2.17 GÊNESE E CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS TROPICAIS: TRANSFORMAÇÕES MINERAIS: AGENTES FORMADORES DOS SOLOS E DE MINERAIS SECUNDÁRIOS.....	21
2.18 QUÍMICA DOS PROCESSOS INTEMPÉRICOS NA QUESTÃO DA SILICIFICAÇÃO/QUARTZILIZAÇÃO	23
2.19 CLASSIFICAÇÕES PARA SOLOS LATERÍTICOS	25
2.20 ASPECTOS QUÍMICO-MINERALÓGICOS E GEOTÉCNICOS	27
2.21 HIPÓTESE DO CRESCIMENTO CRISTALINO	28
2.22 CLIMA E LATITUDE.....	30
2.23 ESTABILIDADE GEOQUÍMICA DOS SILICATOS	30
2.24 NEOFORMAÇÕES MINERAIS	31
2.25 CONTEXTO DA QUARTZILIZAÇÃO	31
2.26 CLASSIFICAÇÃO DA <i>SOIL TAXONOMY</i> PARA SOLOS OXÍDICOS.....	33
2.27 PONTO DE CARGA ZERO (PCZ) E O Δ pH.....	35
2.28 O FENÔMENO DA CAULINITIZAÇÃO.....	36

2.29	OUTRAS ORIGENS/ACÚMULO DE SÍLICA NEOFORMADA	36
2.30	CLIMA DA REGIÃO DO DISTRITO FEDERAL E DO CAMPUS DA UEG EM ANÁPOLIS.....	37
2.31	ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS DAS REGIÕES AMOSTRAS – DISTRITO FEDERAL E CAMPUS DA UEG EM ANÁPOLIS-GO	38
3.	METODOLOGIA	43
3.1.	PERFIS SELECIONADOS	43
3.2.	AMOSTRAGEM	43
3.3.	DESCRIÇÃO DOS SOLOS AMOSTRADOS.....	45
3.4.	ANÁLISES FÍSICAS	52
3.5.	ANÁLISES QUÍMICAS	53
3.6.	ANÁLISES MINERALÓGICAS	55
4.	RESULTADOS DE DISCUSSÕES PARA OS PERFIS ESTUDADOS.....	62
4.1	ANÁLISES FÍSICAS	62
4.2	ANÁLISES QUÍMICAS:	71
4.3	ANÁLISES MINERALÓGICAS	83
4.4	ANÁLISES POR MEIO DE EDS	115
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES DE PERFIS DA LITERATURA.....	141
6.	CONCLUSÕES	148
7.	PESQUISAS FUTURAS	154
	REFERÊNCIAS	155

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1. Valores de Capacidade de Troca Catiônica (CTC).....	12
Tabela 2-2. Peso Específico dos Grãos de alguns minerais constituintes de solos tropicais... 18	
Tabela 2-3. Peso Específico dos Minerais mais comuns encontrados nos solos	19
Tabela 2-4. Classificação de Cardoso (2002) para a representação dos perfis de intemperismo do Distrito Federal. (modificada).	20
Tabela 2-5. Processos atuantes na transformação mineral em função da gênese dos solos.....	21
Tabela 2-6. Estágios de alteração química segundo Jackson e Sherman, <i>apud</i> Macedo (1961).	22
Tabela 2-7. Classificação dos Solos Oxídicos segundo a <i>Soil Taxonomy</i> (1992).....	33
Tabela 2-8. Classificação Proposta por Farias (2012).....	34
Tabela 3-1. Descrição textural do Perfil Lago Sul 1.	47
Tabela 3-2. Descrição textural do Perfil Lago Sul 2.	48
Tabela 3-3. Descrição textural do Perfil Obra Park Sul.	49
Tabela 3-4. Descrição textural do Perfil Obra Clube do Exército – Lago Sul.	50
Tabela 3-5. Descrição Textural do Perfil na Obra de Ligação Torto-Colorado.....	51
Tabela 4-1. Resultados de ensaio de Fluorescência de Raios-X – Sondagem SPT-01, QI-27 Lago Sul.	72
Tabela 4-2. Resultados de ensaio de Fluorescência de Raios-X – Sondagem SPT-02, QI-29 Lago Sul.	73
Tabela 4-3. Resultados de pH em H ₂ O e KCl para o perfil UEG Anápolis.....	82
Tabela 4-4. Análise Semi-Quantitativa do Perfil 1 – Lago Sul 1 – SPT-01.	84
Tabela 4-5. Intensidade de Contagem dos Picos N1 – Perfil Lago Sul 1	85
Tabela 4-6. Quantificação mineralógica e razões RHmGt e RCtGb do Perfil Lago Sul 1.	86
Tabela 4-7. Análise Semi-Quantitativa do Perfil 1 – Lago Sul 2 – SPT-02.	89
Tabela 4-8. Intensidade de Contagem dos Picos N1 – Perfil Lago Sul 2.	90
Tabela 4-9. Quantificação mineralógica e razões RHmGt e RCtGb do Perfil Lago Sul 2.	91
Tabela 4-10. Análise Semi-Quantitativa do Perfil Park Sul.....	95
Tabela 4-11. Intensidade de Contagem dos Picos N1 – Perfil Park Sul.	96
Tabela 4-12. Quantificação mineralógica e razões RHmGt e RCtGb do Perfil Park Sul.....	97
Tabela 4-13. Análise Semi-Quantitativa do Perfil Torre de TV Digital.	98
Tabela 4-14. .Quantificação mineralógica e razões RHmGt e RCtGb do Perfil Torre de TV Digital.....	99

Tabela 4-15. Análise Semi-Quantitativa do Perfil Clube do Exército.	100
Tabela 4-16. Intensidade de Contagem dos Picos N1 – Perfil Clube do Exército.	101
Tabela 4-17. Quantificação mineralógica e razões RHmGt e RCtGb do Perfil Clube do Exército.	101
Tabela 4-18. Análise Semi-Quantitativa do Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado.	104
Tabela 4-19. Intensidade de Contagem dos Picos N1 – Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado.	104
Tabela 4-20. Quantificação mineralógica e razões RHmGt e RCtGb do Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado.	105
Tabela 4-21. Análise Semi-Quantitativa do Perfil campus da UEG de Anápolis- BR-153...	107
Tabela 4-22. Intensidade de Contagem dos Picos N1 – Perfil campus da UEG de Anápolis- BR-153.	108
Tabela 4-23. Quantificação mineralógica e razões RHmGt e RCtGb do Perfil campus UEG – Anápolis - BR-153.	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Imagem de MEV de um solo laterítico fino (Arquivo pessoal de José Camapum de Carvalho, 2001).	2
Figura 2.1. Estrutura da caulinita: (a) Folha tetraédrica e; (b) Corte transversal. (White, 2005).	8
Figura 2.2. Estrutura da muscovita ($KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$). A estrutura da illita é similar, no entanto esta possui menos potássio alumínio e mais sílica. (White, 2005).	10
Figura 2.3. Estrutura da clorita (2:2). (White, 2005).	11
Figura 2.4. Diagrama Ternário para Classificação de Lateritos. Melfi (1994).	25
Figura 2.5. Mobilização de Fe, Al e Si vs pH das soluções de alteração (Krauskopf, 1967). .	26
Figura 3.1. Mapa Geológico Simplificado Distrito Federal. Freitas-Silva (1995), modificado por Amaral (2017). Áreas Amostradas em forma de pontos vermelhos.	45
Figura 3.2. Localização e amostragem dos perfis Lago Sul 1 e 2 por meio de sondagem SPT. A) Placa de Identificação do Parque Bernardo Sayão; B), C) recuperação de solo pelo amostrador SPT; D) recuperação de solo pelo amostrador SPT no perfil Lago Sul 1 a aproximadamente 4m de profundidade, com aparecimento do NA.	46
Figura 3.3. Aspecto do perfil, com cerca de 2m de profundidade do talude de obra sendo executada nas proximidades do Clube do Exército.	50
Figura 3.4. Aspecto do perfil no talude da obra de ligação Torto-Colorado. A) Perfil visivelmente alterado/solo saprolítico; B) Fragmentos de metapelitos no perfil de alteração. 51	
Figura 3.5. Parede da trincheira Perfil UEG – Anápolis-GO.	52
Figura 3.6. Pentapicnômetro da marca Quantachrome do Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília.	53
Figura 3.7. Fixação das amostras de torrões de solo no porta-amostras por meio de cola.	59
Figura 3.8. Fixação de Agregações em porta amostras por meio de pinos de fixação.	59
Figura 3.9. Amostra UEG-Anápolis fixada no porta amostras e em seguida metalizada para uso da técnica de alto vácuo.	60
Figura 4.1. Massa específica dos grãos perfis de solo no - Lago Sul. a) Perfil 1; b) Perfil 2. 63	
Figura 4.2. Massa específica dos grãos perfis de solo Torre de TV Digital.	63
Figura 4.3. Relação entre densidade real do solo em função do percentual de hematita obtido pela semi-quantificação – Perfil Lago Sul 2.	64
Figura 4.4. Relação entre densidade real do solo em função do percentual de gibbsita obtido pela semi-quantificação – Perfil Lago Sul 2.	64

Figura 4.5. Relação entre densidade real do solo em função do percentual de hematita obtido pela semi-quantificação – Perfil Torre de TV Digital.....	65
Figura 4.6. Relação entre densidade real do solo em função do percentual de gibbsita obtido pela semi-quantificação – Perfil Torre de TV Digital.....	65
Figura 4.7. Perfil Lago Sul-1. Perfis de umidade Lago Sul. a) Perfil 1; b) Perfil 2.....	66
Figura 4.8. Imagem proveniente de Lupa Eletrônica em interior de agregados do perfil Lago Sul 1. A e B aumentos de 50X, C e D, aumentos de 100X e E e F, aumentos de 200X.....	68
Figura 4.9. Microestruturas do interior de dois agregados lateríticos do Distrito Federal, amostras A3 (a) e A4 (b). Fonte: Palocci (1998).	69
Figura 4.10. Imagem do interior da matriz de agregados para perfil Lago Sul 1 provenientes de observações em Lupa Eletrônica. A e B aumentos de 50X, C e D, aumentos de 100X e E e F, aumentos de 200X.....	70
Figura 4.11. Imagem provenientes de Lupa Eletrônica em agregados do campus da UEG em Anápolis-GO. A e B aumentos de 50X, C e D, aumentos de 100X.....	71
Figura 4.12. Relação entre os teores de Alumínio (Fe_2O_3) e Sílica (SiO_2).....	75
Figura 4.13. Relação entre os teores de Alumínio (Al_2O_3) e Sílica (SiO_2).....	75
Figura 4.14. Diagrama Ternário para Classificação de Lateritos: relação entre os teores de Sílica (SiO_2), Alumínio (Al_2O_3) e Ferro (Fe_2O_3). Pontos em vermelhos amostras do Perfil Lago Sul 1 e pontos em azul, amostras do Perfil Lago Sul2. Modificado de Melfi (1994).	76
Figura 4.15. Evolução do pH em KCl e H_2O , em função da profundidade, para os Perfis Lago Sul 1 e 2.....	77
Figura 4.16. Resultados de Ponto de Carga Zero (PCZ) (a) e ΔpH (b) dos Perfis Lago Sul 1 e 2.	77
Figura 4.17. Evolução do pH em KCl e H_2O , em função da profundidade, para o Perfil Park Sul.....	78
Figura 4.18. Resultados de Ponto de Carga Zero (PCZ) (a) e ΔpH (b) do Perfil Park Sul.....	78
Figura 4.19. Evolução do pH em KCl e H_2O , em função da profundidade, para o Perfil Clube do Exército.	79
Figura 4.20. Resultados de Ponto de Carga Zero (PCZ) (a) e ΔpH (b) do Perfil Clube do Exército.	80
Figura 4.21. Evolução do pH em KCl e H_2O , em função da profundidade, para o Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado.	80
Figura 4.22. Resultados de Ponto de Carga Zero (PCZ) (a) e ΔpH (b) do Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado.....	81

Figura 4.23. Evolução comparativa do pH em KCl e H ₂ O, em função da profundidade, para os Perfis Lago Sul 1 e 2, Park Sul, Clube do Exército e Ligação Torto-Colorado.....	83
Figura 4.24. Correlação Caulinita/Gibbbita e %Ct + %Gb em função de quartzo - Perfil Lago Sul 1.....	86
Figura 4.25. Gráfico RCtGb em função de RHmGt – Perfil Lago Sul 1.	87
Figura 4.26. Intensidade de Picos de Caulinita, Gibbsita e Ct+Gb.....	88
Figura 4.27. Assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para perfil Lago Sul 1.	88
Figura 4.28. Correlação Caulinita/Gibbbita e %Ct + %Gb em função de quartzo - Perfil Lago Sul 2.....	90
Figura 4.29. Gráfico RCtGb em função de RHmGt – Perfil Lago Sul 2.	92
Figura 4.30. Intensidade de Picos de Caulinita, Gibbsita e Ct+Gb.....	93
Figura 4.31. Assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para perfil Lago Sul 2.	94
Figura 4.32. Relação entre os teores caulinita + quartzo versus gibbsita.....	95
Figura 4.33. Correlação Caulinita/Gibbbita e %Ct + %Gb em função de quartzo - Perfil Park Sul.....	97
Figura 4.34. Gráfico RCtGb em função de RHmGt – Perfil Park Sul.	98
Figura 4.35. Gráfico RCtGb em função de RHmGt – Perfil Torre de TV Digital.....	99
Figura 4.36. Assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para perfil Torre Digital de TV.....	100
Figura 4.37. Gráfico RCtGb em função de RHmGt – Perfil Clube do Exército.....	102
Figura 4.38. Intensidade de Picos de Caulinita, Gibbsita e Ct+Gb.....	102
Figura 4.39. Assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para perfil Clube do Exército.....	103
Figura 4.40. Gráfico RCtGb em função de RHmGt – Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado.	105
Figura 4.41. Intensidade de Picos de Caulinita, Gibbsita e Ct+Gb.....	106
Figura 4.42. Assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para perfil Clube do Exército.....	106
Figura 4.43. Correlação Caulinita/Gibbbita e %Ct + %Gb em função de quartzo - Perfil campus da UEG de Anápolis- BR-153.....	108
Figura 4.44. Correlação Caulinita/Gibbbita e %Ct + %Gb em função de quartzo + tridimita - Perfil campus da UEG de Anápolis- BR-153.....	109

Figura 4.45. Gráfico RCTGb em função de RHmGt – Perfil campus da UEG de Anápolis- BR-153.....	110
Figura 4.46. Intensidade de Picos de Caulinita, Gibbsita e Ct+Gb.....	110
Figura 4.47. Assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para perfil Campus da UEG – Anápolis – BR-153.	111
Figura 4.48. Visão geral de uma amostra coletada entre 1 m e 2 m de profundidade.	112
Figura 4.49. Amostra coletada entre 1 m e 2 m de profundidade. Grão sub anguloso no centro da imagem com fase contendo Zr envolto por agregações de argila e oxi-hidroxidos de ferro e/ou alumínio.....	113
Figura 4.50. Grão de quartzo sub anguloso ao centro. Ao redor argilas e oxi-hidroxidos. Não se observam morfologias características das fases. À esquerda, imagem LVSTD e à direita imagem obtida por análise de EDS (ferramenta para obter a distribuição de peso atômico de determinado mineral identificado). (a) Imagem MEV; (b) Imagem formada por “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstrando o contraste de peso entre os minerais.	113
Figura 4.51. Grão de quartzo ao centro. À esquerda: Imagem MEV; à direita: Imagem formada por “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstrando o contraste de peso entre os minerais.	114
Figura 4.52. Detalhe em agregação com superfície sem microporos visualizáveis neste nível de ampliação. Macro poros ao redor dos agregados e disformes.....	114
Figura 4.53. Imagem EDS. Perfil Lago Sul – 2, profundidade 1 m a 2m.	115
Figura 4.54. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-2, confirmando a presença de grão de quartzo no ponto a. 1 m a 2 m de profundidade.	116
Figura 4.55. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-2 - a presença de Si, Al, oxi-hidróxidos de Fe e Ti – agregado, ponto b. (1 m a 2 m de profundidade).	116
Figura 4.56. Resultado de Imagem EDS Perfil Lago Sul-2 – possível presença de caulinita e oxi-hidróxidos de Fe e Ti – agregado, ponto c. (1 m a 2 m de profundidade).....	117
Figura 4.57. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-2 - possível presença de caulinita, oxi-hidróxidos de Fe e Ti – agregado, ponto d. (1 m a 2 m de profundidade).	117
Figura 4.58. Concentração de grãos de quartzo, aparentando veio, em meio a matriz do solo. Os grãos estão envoltos por partículas de argilas. Fragmento de filito em meio a massa homogênea de solo. À esquerda, imagem MEV; à direita imagem formada por “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstrando o contraste de peso entre os minerais.	118

Figura 4.59. Perfil Lago Sul-2. Possíveis partículas de caulinita identificadas no solo saprolítico. (12 m a 13m de profundidade).	118
Figura 4.60. Imagem de MEV. Perfil Lago Sul-2. Possíveis caulinitas com morfologia pouco preservada em meio a concentração de grãos de quartzo. (12m a 13 m de profundidade)....	119
Figura 4.61. Imagem de MEV. Perfil Lago Sul-2. Matriz homogênea com agregações dispersas, raros grãos de quartzo (canto superior direito) em meio a matriz. Não observam-se partículas preservadas. (12 m a 13 m de profundidade).	119
Figura 4.62. Imagem EDS. Perfil Lago Sul-2. (Profundidade 12m a 13m).....	120
Figura 4.63. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-2. Possível presença de octaedros de Al (transformação mica em caulinita - presença de K) e tetraedros de Si, óxi-hidróxidos de Fe e Ti – matriz (a). (12m a 13 m de profundidade).	121
Figura 4.64. Imagem de MEV. Perfil Lago Sul-1. Interior de agregado contendo cristal de quartzo, ponto b.....	122
Figura 4.65. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-1. “Interior da massa de agregado” onde se observa uma predominância de óxi-hidróxidos de Fe, ponto a.....	122
Figura 4.66. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-1. Superfície do grão de quartzo “aprisionado” dentro do agregado. O sensor EDS confirma a presença de SiO ₂ . Ponto b. ...	123
Figura 4.67. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-1. “Interior da massa de agregado” onde se observa uma predominância de óxi-hidróxidos de Fe. Ponto c.	123
Figura 4.68. Imagem de MEV. Perfil Lago Sul-1. Interior de agregado. (1 m a 2 m de profundidade).	124
Figura 4.69. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-1. Mapeamento global da matriz de agregado.	124
Figura 4.70. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-1. Mapeamento global de “massa” de agregado demonstrando a presença de pontos onde predominam Fe (verde) e Si (vermelho) e Al (Azul).	125
Figura 4.71. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul 1. Mapeamento global de “massa” de agregado demonstrando, por tipo de elemento, a presença de pontos onde predominam Fe, Si, O, Al, Ti, K e Mg.	126
Figura 4.72. Imagem MEV. Perfil UEG- Anápolis-GO. Concreção laterítica e cristal de quartzo sendo envolvido. À esquerda imagem MEV; À direita imagem formada por “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstrando o contraste de peso entre os minerais.	127

Figura 4.73. Imagem MEV. Perfil UEG- Anápolis-GO. Interior da Concreção Laterítica. Provável grão quartzo (Si), mas com identificação de Zr por análise de BSE em meio a matriz laterítica. (a) Imagem MEV; (b) Imagem formada por “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstrando o contraste de peso entre os minerais.....	128
Figura 4.74. Imagem MEV. Perfil UEG- Anápolis-GO. Interior da Concreção Laterítica. Concreções lateríticas de textura botroidal em meio a matriz laterítica. Dentro das concreções/agregações são encontrados cristais de quartzo e outros. À esquerda imagem MEV; à direita imagem formada por “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstrando o contraste de peso entre os minerais.	128
Figura 4.75. Grão de quartzo envolto por uma especie de capa em meio a matriz ferruginosa do nódulo. À esquerda, Imagem MEV; à direita imagem formada por “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstrando o contraste de peso entre os minerais	129
Figura 4.76. Detalhamento de resultado de Imagem EDS (Figura 4.75). Perfil UEG-Anápolis-GO. Grão de quartzo no interior de agregado.	130
Figura 4.77. Detalhamento de resultado de Imagem EDS (Figura 4.75). Perfil UEG-Anápolis-GO. Composição da “massa” de agregado, composta por óxi-hidróxidos de Fe e Al e óxidos de Ti observados em concreção laterítica.	131
Figura 4.78. Detalhamento de resultado de Imagem EDS (Figura 4.75). Perfil UEG-Anápolis-GO. Superfície de grão de quartzo.	131
Figura 4.79. Detalhamento de resultado de Imagem EDS (Figura 4.75). Perfil UEG-Anápolis-GO. “Parede” de agregado, composta por óxi-hidróxidos de Fe e Al e óxidos de Ti, com possível presença de SiO ₂ , observados em concreção laterítica.	132
Figura 4.80. Detalhamento de resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Grão de quartzo no interior de agregado.....	132
Figura 4.81. Grão de quartzo envolto por uma especie de capa em meio a matriz ferruginosa do nódulo.....	133
Figura 4.82. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Possível presença de SiO ₂ e óxi-hidróxidos de Fe observados em concreção laterítica.....	133
Figura 4.83. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Possível presença de SiO ₂ , tetraedros de Al e óxi-hidróxidos de Fe e Ti observados em concreção laterítica.....	134
Figura 4.84. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Possível presença de SiO ₂ , tetraedros de Al e óxi-hidróxidos de Fe e Ti observados em concreção laterítica.....	134

Figura 4.85. Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Grão de quartzo envolto por uma especie de capa em meio a matriz ferruginosa do nódulo (a); e cavidades identificadas como interior de agregados (b) e (c).....	135
Figura 4.86. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Superfície de uma grão de quartz observado em concreção laterítica (a).....	135
Figura 4.87. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Interior de agregado demonstrando resquícios de SiO ₂ , tetraedros de Al e óxi-hidróxidos de Fe e Ti observados em concreção laterítica.....	136
Figura 4.88. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Interior de agregado demonstrando resquícios de SiO ₂ , tetraedros de Al e óxi-hidróxidos de Fe e Ti observados em concreção laterítica.....	136
Figura 4.89. Imagem de MEV. Perfil UEG-Anápolis-GO. Matriz dispersa, com pequenos grãos de quartzo na “massa” de agregado.....	137
Figura 4.90. Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Matriz dispersas, com esparsos grãos de quartzo na “massa” de agregado.	137
Figura 4.91. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Mapeamento global de “massa” de agregado demonstrando resquícios de SiO ₂ , tetraedros de Al e óxi-hidróxidos de Fe e Ti observados em concreção laterítica.	138
Figura 4.92. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Mapeamento global de “massa” de agregado demonstrando a presença de pontos onde predominam Fe (verde) e Si (vermelho).	138
Figura 4.93. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Mapeamento global de “massa” de agregado demonstrando, por tipo de elemneto, a presença de pontos onde predominam Fe, Si, O, Al, Ti e K.	139
Figura 5.1. Intensidade de Picos de quartzo em função da intensidade dos picos de caulinita para solos de Manaus-AM.....	141
Figura 5.2. Gráficos de Intensidades de Picos de quartzo e caulinita nos perfis de solo Canaranas e Distrito Industrial.....	142
Figura 5.3. Gráficos de Intensidades de Picos de quartzo e caulinita nos perfis de solo Tarumã 1 e 2.	142
Figura 5.4. Relação entre Picos de Quartzo e Caulinita/Teor de Agregado dos solos de Manaus-AM.	143

Figura 5.5. Gráfico de Intensidades de Picos de quartzo em função das intensidades de caulinita (Ct) / (intensidade de hematita (Hm) + goethita (Gt), gibbsita / (Hm + Gt) e (Ct + 2.Gb) / (Hm + Gt) no perfil São Sebastião.	144
Figura 5.6. Gráfico de Intensidades de Picos de quartzo em função das intensidades de caulinita (Ct) / (intensidade de hematita (Hm) + goethita (Gt), gibbsita / (Hm + Gt) e (Ct + 2.Gb) / (Hm + Gt) no perfil Capão da Onça.	145
Figura 5.7. Gráfico de Intensidades de Picos de quartzo em função das intensidades de caulinita (Ct) / (intensidade de hematita (Hm) + goethita (Gt), gibbsita / (Hm + Gt) e (Ct + 2.Gb) / (Hm + Gt) no perfil Águas Claras.	145
Figura 5.8. Distribuição dos Principais Minerais ao Longo da Profundidade do Campo Experimental da UnB.	146
Figura 5.9. Gráfico de Intensidades de Picos de quartzo em função das intensidades de caulinita (Ct) / (intensidade de hematita (Hm) + goethita (Gt), gibbsita / (Hm + Gt) e (Ct + 2.Gb) / (Hm + Gt) no perfil Campo Experimental (UnB).	147

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
An	Anatásio
Ct	Caulinita
DF	Distrito Federal
DRX	Difratometria de Raios-X
E	Leste
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FRX	Florescência de Raios-X
G	Densidade Real dos Grãos
Gb	Gibbsita
Gt	Goethita
Hm	Hematita
M	Molar
Ma	Milhões de Anos
Meq	Miliequivalente
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
Ms	Muscovita
N	Norte
NA	Nível d'água
PF	Perda ao Fogo
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppm	Partes por Milhão
Qtz	Quartzo
Rpm	Rotações por Minuto
Rut	Rutilo
S	Sul
SPT	Standard Penetration Test
T	Tridimita
UEG	Universidade Estadual de Goiás
UnB	Universidade de Brasília
UTM	Universal Transversa de Mercator
W	Oeste
W	Umidade
Å	Ângstrom

1. INTRODUÇÃO

Antes de adentrar no conteúdo desta dissertação cabe lembrar algumas peculiaridades relevantes no processo de transformação geológica que são particularmente relevantes em ambientes de clima tropical. Inicialmente a própria natureza da rocha, sua composição químico-mineralógica, sua estrutura estratigráfica, as condições de fluxo que ela favorece e se submete são fatores de grande relevância na atuação do processo de intemperismo. Cabe destacar, no entanto, conforme mostrado por Cardoso (1995), que em processos muito avançados de intemperização dos maciços a origem deste termina não interferindo diretamente em comportamentos dos solos como o colapso.

Neste contexto há que se realçar a natureza resistiva ao processo de intemperismo do quartzo quando presente na rocha de origem, o que faz com que ele seja quase sempre admitido como um mineral primário que resistiu aos processos de intemperismo durante a formação do solo, ou seja, ele é geralmente considerado como um mineral residual.

Um segundo aspecto a ser considerado é próprio clima. Geralmente ele é compreendido dentro de uma macropercepção ambiental, no entanto, no processo de formação dos solos faz-se necessário considerar o microclima, que prevalece em função de peculiaridades como pressão, insolação e submissão aos efeitos dos ventos interferindo diretamente na interação entre o maciço e a atmosfera (Luiz, 2012).

Não menos relevante é a morfologia de subsuperfície/superfície, pois elas interferem ditetamente na drenabilidade dos maciço e, por consequência no processo de intemperismo (Jesus, 2013).

O fluxo da água é um fator de grande importância no processo de intemperismo atuante nos solos e rochas. No entanto, geralmente quando se pensa no fluxo, tal pensamento se volta para o fluxo em meio saturado, porém, como mostrado por Lima (2003), o fluxo da água em condições não saturadas pode ser reponsável por significativas mudanças nos perfis de solo, lembrando que em condições favoráveis de pH muitos compostos químicos são solubilizáveis e passíveis de serem carreados. No contexto do fluxo, chama-se a atenção para a possibilidade dos compostos químicos carreados darem origem a minerais neoformados em outros pontos do maciço ou mesmo longe deste. Esta observação é relevante no contexto desta dissertação, pois sinaliza com a possibilidade da neoformação do quartzo se dar afastado no ponto de liberação do silício.

Um outro aspecto não menos relevante no processo de transformação dos solos diz respeito a ação dos organismos biológicos vivos nele presentes. Valencia (2009) mostrou que o aporte de

alimentos às bactérias nativas presentes nos solos tropicais possibilitam a elas a produção de cimentos. Olhando por outro ângulo, como estes e outros microorganismos presentes nos solos estão constantemente a se alimentarem, dos solos eles extraem o seu sustento contribuindo assim para o processo de intemperização. No mesmo sentido atuam as plantas como mostra a Figura 1.1 em que uma raiz se encontra em plena interação com um solo coletado a 1 m de profundidade em um perfil de imperismo do cerrado. Já os animais, muitos deles contribuem para importantes movimentações do solo no maciço como é o caso das térmitas.

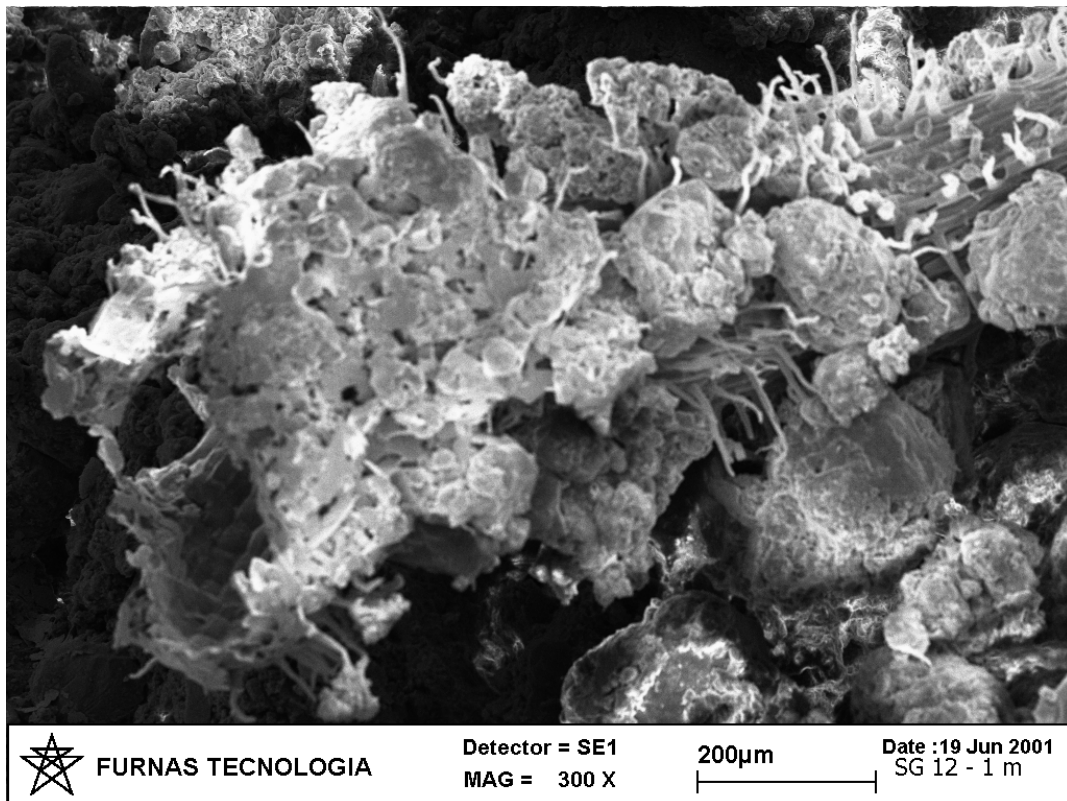


Figura 1.1. Imagem de MEV de um solo laterítico fino (Arquivo pessoal de José Camapum de Carvalho, 2001).

Diante desse breve preâmbulo, sobressai o entendimento de que a hipótese apresentada da ocorrência do fenômeno da quartzilização em perfis de intemperismo tropical, não busca estabelecer esse caminho como única fonte do quartzo, pois é sabido que ele muitas vezes tem origem residual. Também é sabido que a atividade biológica (Folheto, et al, 2005) também está associada ao consumo e aprisionamento da sílica em plantas, a exemplo das plantas do Cerrado, nas quais são capazes de retirar a sílica em solução dos solos, passando a incorporar o óxido em suas estruturas.

Também não se defende que o local exato da quartzilização seja exatamente aquele em que se deu a liberação do silício, e nem que este silício liberado tenha como únicos caminhos a

formação do quartzo ou a sua simples lixiviação, pois outros minerais como a caulinita podem se originar da junção do silício aos óxi-hidróxidos de alumínio dando origem ao fenômeno da caulinitização.

1.1 Justificativa

Os solos tropicais brasileiros apresentam características peculiares quanto ao seu arranjo estrutural e conteúdo mineral. Estudar estes requer uma atenção específica para estes condicionantes. As mudanças de caráter mineralógico devido ao intemperismo intenso podem acarretar sérias consequências à agricultura, engenharia e meio ambiente.

As ocorrências de solos pouco férteis, ricos em areias, quartzosos, influenciam diretamente na dinâmica de interação entre o espaço (antropizado ou natural - ambiente) e o homem, podendo ocasionar em situações extremas quando associadas a fatores climáticos. Tal dinâmica pode afetar tanto a ocupação do espaço quanto a agricultura, ocasionando em regiões de escassez de recursos, a exemplo das regiões desérticas. Como um todo, solos excessivamente arenosos afetam não apenas a agricultura ou a ocupação humana, mas também podem influenciar em suas propriedades dos solos e apresentar consequências no âmbito geotécnico.

Nas ocorrências desse intemperismo intenso, capazes de produzir neoformações minerais que poderiam modificar as características dos solos, o estudo da teoria da quartzilização pode indicar fatores deflagradores capazes de gerar acúmulo de minerais de quartzo, seja este residual ou neoformado. Dessa forma a ideia central desse estudo se baseia na análise dos condicionantes e principalmente na hipótese da formação de sílica neoformada/secundária denominado fenômeno da quartzilização.

Observações em trabalhos da literatura e as peculiares condições climáticas existentes em um país tropical como o Brasil, com períodos de seca e chuva bem definidos e a ocorrência de perfis de solos bem drenados. Estas características são de interesse para verificação da hipótese de um favorecimento e/ou acúmulo de minerais de quartzo neoformados (formados a partir da transformação de argilominerais), tornando-se objetos de estudo no entendimento de evolução de perfis de solos e dos minerais associados a estes.

1.2 Objetivos

O objetivo geral dessa pesquisa é buscar evidências de neoformações minerais que comprovem o aparecimento de quartzo microcristalino neoformado em perfis de solos tropicais.

Para atender ao objetivo geral dessa dissertação será necessário estabelecer:

- a) Análise dos processos de neoformação e condições de intemperismo, classificando e semi-quantificando as espécies mineralógicas neoformadas e residuais a partir de perfis oriundos de sondagens e taludes a serem realizadas em áreas geomorfologicamente estratégicas (platôs e vertentes);
- b) Analisar resultados de pesquisas recentes realizadas em âmbito nacional;
- c) Observar as características mineralógicas da(s) rocha(s) de origem e sua variação de seu teor ao longo dos perfis;
- d) Associar algumas propriedades físicas dos solos e obter uma relação com as ocorrências mineralógicas;
- e) Obter as assinaturas dos espectros de difração de raios-x de todos os minerais envolvidos, sejam neoformações ou não;
- f) Obter alguns parâmetros químicos para buscar um entendimento da variação destes ao longo dos perfis e quais as suas consequências para as neoformações minerais e na evolução do intemperismo dos solos;
- g) Obter resultados semi-quantitativos (em termos de óxidos) dos minerais relacionados à dinâmica do intemperismo dos solos;

1.3 Organização da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos contendo itemização de modo a facilitar a leitura e entendimento do texto. Apresenta-se a seguir a sequência dos capítulos constantes desta dissertação.

No Capítulo 1 é apresentado um breve preâmbulo embasador dos estudos realizados nesta dissertação seguido da justificativa do estudos e seus objetivos e que se finaliza nesta apresentação da organização do texto.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica que tem por objetivo subsidiar o desenvolvimento do tema e seu endendimento.

No Capítulo 3 são apresentadas as metodologias utilizadas nesta dissertação.

O Capítulo 4 compreende a análise em conjunto com a discussões dos resultados obtidos para as amostras utilizadas neste trabalho.

O Capítulo 5 apresenta uma discussão sobre casos observados na literatura, nos quais, a partir de dados fornecidos pelos autores, nos quais se buscou evidências da hipótese do fenômeno da quartzilização.

O Capítulo 6 apresenta uma discussão sobre os resultados deste trabalho, abrangendo todos as discussões elencadas por este estudo assim como as conclusões indicadas para cada perfil analisado.

Finalmente são apresentadas as referências bibliográficas consultadas durante a redação desta dissertação utilizados em sua elaboração.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processo de Desertificação dos Solos

O termo desertificação começou a ser amplamente utilizado após a sociedade e os governos compreenderem que o fenômeno se tratava da ocorrência da degradação da terra, ameaçando a disponibilidade de recursos provenientes desta, os ecossistemas naturais e a produção agrícola. Muito se associou, até então, aos efeitos da desertificação apenas as questões como a derrubada e a queima de florestas e matas naturais para tornar vastas regiões agricultáveis, relacionando diretamente o homem o poder destrutivo do meio-ambiente (MATALLO JÚNIOR, 2001).

Este termo trata da degradação do solo em ambientes de clima árido, semiárido e subsumido em relação à interação das atividades humanas e das condições climáticas. Crepani (1996) e Tricart (1977) demonstram que o processo está intrinsecamente ligado a uma relação entre o tipo de solo, a geologia, a paisagem, a vegetação e os fatores socioeconômicos; além disso, a partir do conceito de ecodinâmica, pode-se referir a esta interação como uma relação mútua entre os diversos componentes da dinâmica (do meio ambiente), dos fluxos de energia e da matéria no meio ambiente. Normalmente o fenômeno em si, muitas vezes está associado à remoção da cobertura vegetal, que acelera a erosão do solo e conseqüentemente causará a uma redução na fertilidade deste, enfraquecendo o ecossistema composto pelo ambiente solo-biota, reduzindo a capacidade resiliente deste em detrimento as condições originais.

O objetivo desta pesquisa é averiguar a existência da relação entre a intemperização dos solos em ambiente tropical e a neoformação de quartzo. O interesse surgiu atrelado a questões ambientais, pois demonstrada tal relação, surge a possibilidade da ocorrência da quartzilização contribuir para o processo de desertificação em áreas críticas, o que requer maiores cuidados em relação ao uso do solo.

O bioma Cerrado, localizado na região centro-oeste brasileiro, principalmente, abriga um cenário importante na produção agrícola nacional, sendo compreendida por culturas como algodão, milho, produção animal e soja. Além da diversidade biológica que este bioma abriga, neste também se localizam importantes cabeceiras de bacias hidrográficas do Brasil de suma importância para o abastecimento da população. Macedo (1993) cita que cerca de 53 milhões de hectares de pastos cultiváveis apresentam algum grau de degradação. A degradação do Cerrado, segundo o autor, seria caracterizada com um processo evolutivo de perda de produtividade e capacidade de recuperação natural do bioma, tornando o mesmo susceptível às

pragas, doenças e a inserção de plantas invasoras. Andrade (2015) também apontam evidências de algum tipo de processo de degradação a partir de imagens de satélites, resultando em 80% das áreas de pastagens, nos estados de Mato Grosso, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás; além disso os autores também salientam que a abertura de novas frentes produtivas, excluindo-se as boas práticas de conservação, causam o aumento da perda da biodiversidade e de áreas nativas, acelerando estes processos ainda mais.

No entanto, além dos processos expostos até aqui, não se pode deixar de associar a esta acelerada empreitada em direção à desertificação ao próprio intemperismo dos solos do bioma cerrado. Podendo-se admitir o desencadeamento da formação de cristais de quartzo ou mesmo os polimorfos desse mineral, de origem secundária, por meio do processo de quartzilização, pode-se presumir que este poderia ser considerado um acelerador do processo de desertificação em milhares de anos ou seja, no tempo geológico.

2.2 Os argilominerais

Os argilominerais ocorrem com muita frequência no regolito (definido como a camada superficial da Terra, na qual se apresentam os horizontes dos perfis de alteração, os sedimentos e os solos formados pelo intemperismo, erosão, transporte e deposição) e podem ser considerados onipresentes na terra. O termo argila, no entanto, está associado a dois significados distintos, um deles, relacionado à mineralogia, no qual apresenta os minerais do grupo dos silicatos em forma de folha e, o outro, à fração fina do sedimento ou do solo (White, 2005). Quanto à fração fina, denominada fração argila, pode-se destacar não somente os argilominerais, mas também os óxi-hidróxidos e os demais minerais microcristalinos, presentes que podem estar presentes na fração.

Às argilas pode-se destacar um importante controle relativo à composição dos fluidos aquosos, em função das reações químicas formadas de acordo com as suas capacidades de troca catiônica e de sorção. Esta se dá de acordo com uma capacidade de troca iônica verdadeira, na qual os íons presentes nas argilas poderão ser trocados por íons da solução, já os óxi-hidróxidos poderão adsorver e remover os íons de suas superfícies.

2.3 Mineralogia das argilas:

White (2005) descreve as argilas como minerais de folhas silicatadas. Estas folhas silicatadas consistem na disposição de camadas de tetraedros de sílica ligada a uma camada de hidróxido em que o cátion (Al, Fe ou Mg) aparecerá em coordenação octaédrica; já os hidróxidos puros como a gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ou a brucita ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) também apresentarão coordenação octaédrica.

a) Grupo da Caulinita (Argilas 1: 1)

As argilas do grupo da caulinita compreendem os argilominerais do tipo 1:1, consistindo em argilominerais mais simples, onde se apresentam uma camada de silicato tetraédrico e uma “camada de hidróxido octaédrico”. Sua fórmula $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ compreende uma célula unitária com estrutura bastante semelhante à da gibbsita, com exceção de algumas hidroxilas substituídas por oxigênios. Suas folhas individuais não se apresentam vinculadas, mas são mantidas unidas em função das forças de Van der Waals. (Figura 2.1). Outro mineral que possui estrutura semelhante ao da caulinita é a serpentina, no qual apresenta uma substituição de Mg pelo Al, com todos os lugares octaédricos preenchidos.

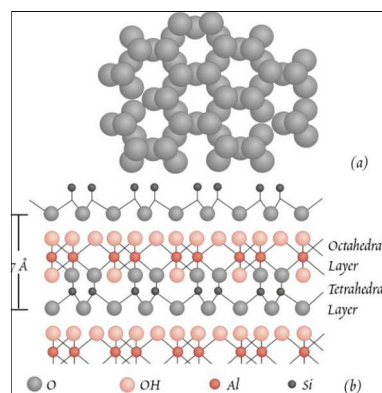


Figura 2.1. Estrutura da caulinita: (a) Folha tetraédrica e; (b) Corte transversal. (White, 2005).

b) Grupo da Pirofilita (Argilas 2:1)

Este grupo de argilominerais é caracterizado por conter duas camadas de tetraedros de sílica e entre estas, uma “camada de hidróxido”, possuindo assim o termo argila 2:1. Diferentemente das argilas do tipo 1:1, as argilas 2:1 terão mais de uma hidroxila na camada de hidróxido substituída por oxigênio. Os tipos mais simples são representados pelas argilas pirofilita, $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ e talco, $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. A serpentina e o talco são considerados

trioctaédricas, enquanto a pirofilita dioctaédrica. Exemplares mais complexos, segundo White (2005), como as do grupo da biotita, esmectita, muscovita, saponita e vermiculita possuem estruturas semelhantes à da pirofilita e do talco e serão derivados dos seguintes processos:

- Substituição de Al^{+3} por Si^{+4} nos tetraedros, gerando um desequilíbrio de carga que será equilibrada pela presença de um cátion entre as camadas. Quando o número de cátions é pequeno, eles serão geralmente permutáveis; quando o número é grande, K é tipicamente o cátion e não é muito permutável.
- Substituição de Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} ou outro cátion que seja semelhante ao Al^{3+} ou pela substituição de Fe^{2+} , Fe^{3+} ou Al^{3+} por Mg^{2+} na camada octaédrica. Quando ocorre um déficit de carga resultante esta será equilibrada pela presença de cátions trocáveis entre camadas ou “vagas” nos locais octaédricos.

Cabe salientar que a estrutura da illita é bastante similar à estrutura da muscovita, mas a illita tipicamente possui menos K e Al e mais Si.

As argilas do grupo da esmectita podem ser distinguidas a partir de tratamento com etilenoglicol, no qual induzirá a expansão de sua célula unitária de 14Å . Essa expansão é provocada pela entrada da molécula de etilenoglicol na região que compreende a distância interplanar basal da argila. Normalmente elas também apresentam moléculas de água nessa região, e a quantidade dessas moléculas é determinada pelo cátion presente (White, 2005).

A presença de água nas intercamadas de argilominerais do tipo 2:1 depende do tipo de cátion presente e da umidade, por exemplo, na ocorrência de cátions Mg^{2+} ou Ca^{2+} haverá uma menor presença de água.

As esmectitas são os argilominerais mais comuns, sua fórmula é representada por $X_{1/3}(\text{Mg}_{1/3} \text{Al}_{5/3})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.n\text{H}_2\text{O}$. Além disso, o cátion entre partículas deste mineral é permutável, assim, na ocorrência de uma solução de NaCl o cátion permutável será o Na e em presença de solução de CaCl_2 , o cátion permutável será o Ca. Segundo White (2005) as vermiculitas irão apresentar uma maior deficiência de cátions em função de apresentar uma carga líquida maior, na camada 2:1, assim, como resultado, as forças eletrostáticas que irão manter uma proximidade maior entre as camadas, tornando esta menos expansível e os cátions presentes na distância interbasal serão menos intercambiáveis.

No caso das micas, tanto a biotita quanto a muscovita, estas apresentam uma associação como a pirofilita e o talco, pois diferem apenas na substituição do Al^{3+} por Si^{4+} no sistema tetraédrico. (Figura 2.2).

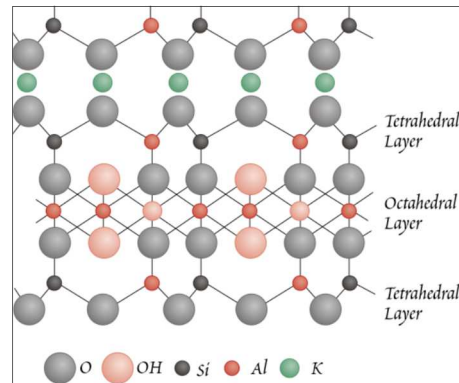


Figura 2.2. Estrutura da muscovita ($KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$). A estrutura da ilita é similar, no entanto esta possui menos potássio alumínio e mais sílica. (White, 2005).

Ainda se pode destacar os argilominerais interstratificados, nos quais podemos destacar a formação de argilas constituídas por camadas de diferentes tipos de argilas, como por exemplo, o conjunto ilita-esmectita e gibbsita ou brucita em esmectita; estas camadas também podem estar distribuídas de forma aleatória, como por exemplo os tipos cloreto-esmectita de camada mista.

c) Grupo de Clorita (argilas 2: 2)

Segundo White (2005), este grupo de argilominerais é caracterizado por ser constituído por duas camadas tetraédricas e mais duas camadas octaédricas (hidróxido). Millot (1961) destaca ainda que o termo clorita, utilizado há dois séculos, compreende minerais foliados, verdes, riscos em ferro ferroso. São minerais que apresentam numerosas substituições de homótipos (mesmo tipo de estrutura) que poderão ocorrer em sua estrutura. Sua fórmula ideal é representada por $(Mg, Fe, Al)_6(SiAl)_4O_{10}(OH)_8$, nos os elementos em parênteses poderão ocorrer sob quaisquer proporções (Figura 2.3). Deve-se salientar que podem ocorrer dois tipos de clorita na natureza, aquelas denominadas septeclorita, contendo apenas uma camada tetraédrica e outra octaédrica, possuindo um espaçamento interbasal de 7Å e são menos estáveis e incomuns; já as cloritas verdadeiras apresentam um espaçamento interbasal de 14Å .

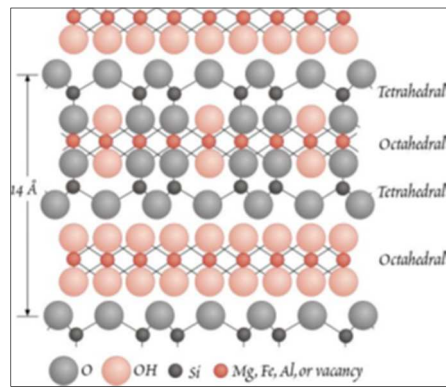


Figura 2.3. Estrutura da clorita (2:2). (White, 2005).

d) Óxi-hidróxidos de Ferro e Alumínio

Segundo Millot *et al* (1961) os óxi-hidróxidos de ferro e alumínio são produtos do intemperismo, ocorrendo até em rochas ricas em argilas. Estes minerais neoformados são subdivididos, segundo o autor, em óxi-hidróxidos de ferro naturais, óxi-hidróxidos de alumínio e misturas de óxidos:

Hidróxidos e Óxidos de Ferro Naturais:

Segundo Millot *et al* (1961) estes minerais tornarem-se mais conhecidos devido ao uso dos ensaios de difração de Raios-X, pois antigamente eram determinados apenas por percentuais variados de óxido de ferro e teor de água; ao serem reconhecidos foram nomeados como limonita, turgite, stilpnosiderita, xanthosiderita, hidrohematita, hidrogoetita e assim por diante.

Atualmente são consideradas quatro espécies mais importantes, além da magnetita:

- 2 hidróxidos: goethita (α FeOOH) e lepidocrocita (γ FeOOH);
- 2 óxidos: hematita (α Fe₂O₃) e maghemita (γ Fe₂O₃);

Hidróxidos e Óxidos de Alumínio:

Quanto a estas espécies as mais comuns na natureza são os minerais de gibbsita (ou hidrargila (AlOH)), boemita (AlOOR) e diásporo (AlOOH) e; na forma natural como mineral primário o coríndon (Al₂O₃) de origem metamórfica.

2.4 Capacidade de Troca Catiônica das Argilas

As argilas possuem uma propriedade muito importante que não é observada nos demais minerais. Esta é chamada de Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e consiste na substituição de um íon adsorvido por outro que se encontra em solução. De forma generalista podemos tratar esta propriedade de forma a incluir as reações de troca entre os íons da solução e os íons ligados que se encontram dentro do sólido. Esta troca é medida em miliequivalentes (meq) e, de acordo com o tipo de argilomineral podem assumir algumas faixas de valores (Tabela 2-1).

Tabela 2-1. Valores de Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

Argilomineral	Capacidade de troca catiônica (meq/100g)
Esmectita	80-100
Vermiculita	120-200
Ilita	10-40
Caulinita	1-10
Clorita	<10

Modificado de White (2005).

Ainda, segundo White (2005) a reação de troca de dois íons monovalentes e entre a argila consiste na seguinte forma:



2.5 Superfícies minerais e sua interação com soluções

Com relação às reações que ocorrem entre as soluções e os sólidos, se pode admitir que sempre envolverão uma interface entre essas fases, e tal processo será regido pelo equilíbrio entre os sólidos e as soluções. Em função das argilas possuírem partículas muito pequenas, a relação superfície por volume será alta, aumentando a importância química da superfície (White, 2005).

Esses processos, ditos de superfície também estão intrinsecamente ligados à fertilidade do solo, pois estes possuem concentrações de elementos químicos acima dos níveis descritos para os processos de dissolução e precipitação devido a adsorção nas superfícies das partículas. Tal processo irá afetar a dispersão de poluentes nos solos e nas águas superficiais e subsuperficiais.

2.6 Adsorção

A adsorção envolve três efeitos muito importantes para se entender o comportamento dos argilominerais perante as interações com as soluções que percolam o meio e as “folhas” de argilas, e são eles:

- Complexos em superfície – compreende a formação de ligações coordenadas entre os metais ligados na superfície;
- Interações eletrostáticas – fenômeno de carregamento nas superfícies sólidas; consiste em forças eletrostáticas que vão afetar a formação do complexo de superfície, promovendo ligações entre os íons e esta;
- Adsorção hidrófoba – ocorrência de substâncias apolares, denominadas muitas vezes de substâncias orgânicas, que podem ser adsorvidas nas superfícies em função de serem repelidas pela água.

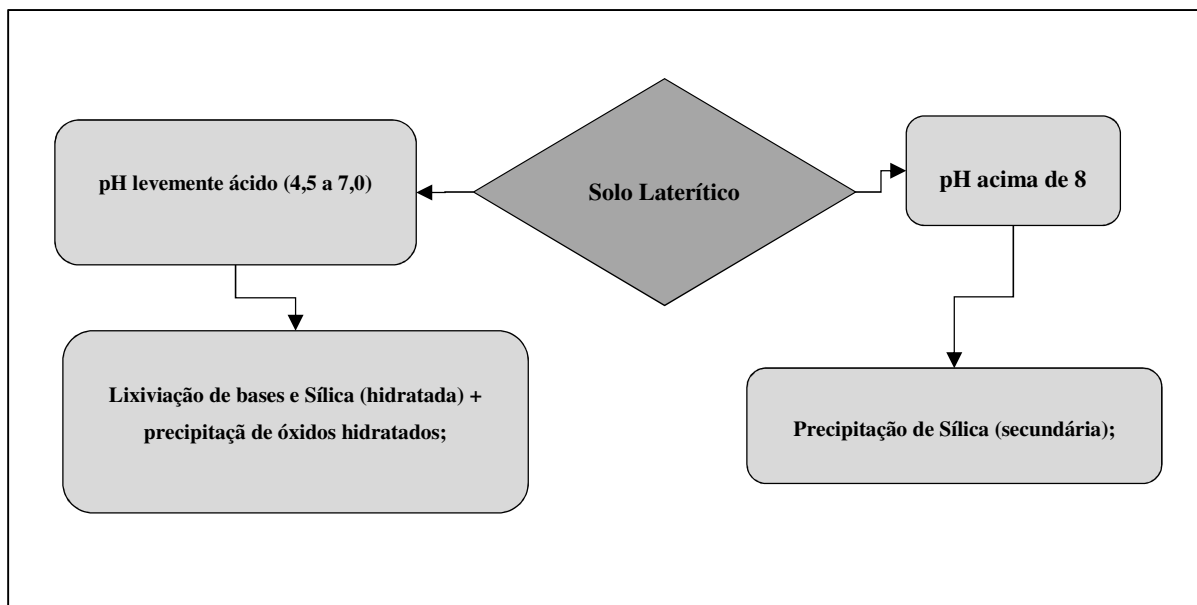
Estes três efeitos, devido as reações desses grupos de superfície e as espécies dissolvidas na solução irão promover uma interação eletrostática.

2.7 Solos Tropicais

Os solos tropicais, segundo o Comitê de Solos Tropicais (*Committee on Tropical Soils of International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering – ISSMFE*) e, segundo Camapum de Carvalho *et al* (2012), compreendem aqueles solos cujos comportamento e propriedades diferem dos não tropicais em função da sua origem por parte dos processos geológicos e/ou pedológicos atuantes. Na maioria de suas ocorrências, possuem alta porosidade, sensibilidade (devido ao seu conteúdo em argilas) em presença de água; Estes solos, portanto, irão apresentar grandes variabilidades em função da ação díspar do intemperismo juntamente com os fatores geológicos associados, afinal, os perfis de solos das regiões tropicais estão sujeitos as grandes variações de temperatura e chuva, influenciando diretamente nas variações no teor de umidade, nível do lençol freático e na infiltração. Estes solos são divididos em lateríticos e saprolíticos e normalmente apresentam uma zona de transição entre eles, além de características físico-químicas inerentes a seus processos de formação, conferindo as propriedades desses solos expostas nesse parágrafo.

2.8 Solos Lateríticos

Estes solos são característicos de regiões onde os processos pedogenéticos atuam em uma faixa de pH entre 4,5 e 7,0, promovendo uma forte lixiviação das bases (cátions dissolvidos) e silício na forma Si(OH)_4 e em contrapartida ocorre a precipitação de alumínio e ferro na forma M(OH)_3 na forma de óxidos, promovendo um enriquecendo os horizontes de solo. O ferro, tanto na forma Fe^{2+} quanto Fe(OH)_2 , irá sofrer alterações em detrimento a mudanças de pH do meio para que este se precipite ou que apresente certa mobilidade (pH 5,5 para sua mobilidade e, condições não oxidantes e; pH mais elevado para sua precipitação). (Quadro 1).



Quadro 1. Resumo das principais mudanças com relação aos minerais secundários e a alteração de pH.

2.9 Química dos Solos Lateríticos

De acordo com os estudos de Freire (2006), em função da interação entre o clima, a topografia, o tempo e a ação biológica, além da própria origem composicional do substrato rochoso estes solos apresentam características químicas diferenciadas e dependentes desses aspectos, que controlam o intemperismo no maciço.

Estes solos ocorrem em regiões tropicais, e estão expostos a altas variações de temperatura e umidade, ocasionando processos de degradação e intemperismo mais elevados. Estes dois processos descritos (degradação e intemperismo elevados) são consequências das alterações químicas do ambiente, que irão ocorrer juntamente com os processos físicos que atuam na

pedogênese. Com a degradação química acelerada devido às variações ambientais, haverá mudanças na dinâmica superficial, do ponto de vista químico, provocando alterações nos solos, em função de reações de oxidação-redução, hidratação-desidratação, dissolução-precipitação, carbonatação-descarbonatação, hidrólise e queluviação. Destas reações químicas elucidadas neste parágrafo destaca-se a hidrólise e queluviação, identificadas como reações ocorrentes nos solos brasileiros e nos perfis de solos estudados neste trabalho.

2.10 A Hidrólise

A hidrólise age sob os minerais silicatados e as reações envolvidas nesta irão ocorrer em zonas climáticas intertropicais e subtropicais. O processo envolve a quebra de ligações dos íons dos minerais pelos íons H^+ e OH^- da água.

Este tipo de reação química é subdividida em hidrólise total e hidrólise parcial como descrita a seguir:

- 1) Hidrólise total – caracterizada pelo processo de alitização: nela, toda a sílica e as bases são eliminadas, e o que não é eliminado, ou seja, $Al(OH)_3$ se acumulará na forma de gibbsita;
- 2) Hidrólise parcial – caracterizada pelo processo de sialitização: nela, parte da sílica do mineral primário é removida e reage com o alumínio, formando “sais básicos insolúveis” (hidrossilicatos aluminosos - argilas) - liberando sílica na forma incompleta, com eliminação de cátions básicos. Tem-se na hidrólise parcial:
 - a) Monossilitização: processo de dessilicatação quase completa, formando argilas 1:1 do tipo caulinita;
 - b) Bissialitização: processo que envolve a liberação de cátions básicos, tratando-se de uma reação parcial onde serão gerados argilominerais com estruturas 2:1, como as esmectitas, nas quais as cargas dessas estruturas serão compensadas pela presença de íons interfoliares.

No Distrito Federal considera-se que a região esteja localizada em uma zona de transição entre os processos de alitização e monossilitização, sendo responsável pelo aparecimento de diferentes perfis de solos para aqueles, muitas vezes, de mesma origem geológica.

2.11 Processo de Queluviação

Trata-se de reações químicas nas quais ocorrem processos que tendem a concentrar elementos considerados mais móveis que a sílica, neste caso, o alumínio e o ferro (elementos metálicos), tendendo a concentrá-los no perfil de intemperismo (Camapum de Carvalho, 1995). Também há uma subdivisão para este tipo de reação, na qual compreende:

- Queluviação Total – Este processo envolve uma saída total de bases e alumínio, resultando em um favorecimento de um remanescente de sílica;
- Queluviação Parcial – O processo é semelhante ao anunciado acima, no entanto, também promove um remanescente parcial de alumínio e algumas bases, resultando na formação de argilominerais do tipo 2:1 (processo de Aluminossilificação).

2.12 Mineralogia dos Solos Lateríticos

Os solos lateríticos, por sofrerem um processo de lateritização irão possuir uma assembleia mineral constituída de minerais primários e minerais de origem secundária (resultantes da alteração de minerais primários); A forma de suas ocorrências estão intrinsecamente ligadas à rocha de origem e ao processo intempérico associado a sua formação, podendo ocasionar em perfis com mineralogias distintas, mesmo em localidades próximas.

Dos minerais secundários mais presentes nos perfis intempéricos, destacam-se os minerais de argila (silicatos de alumínio em sua forma cristalina), os silicatos não cristalinos, óxidos e hidróxidos de Al e Fe, além óxidos de manganês e titânio (Camapum de Carvalho, 2012). Dentre estes minerais se podem citar os minerais do grupo da caulinita (caulinita e haloisita), óxidos de Fe e Al e minerais primários, como o quartzo e rutilo, sendo este último denominado como mineral resistato.

De acordo com Nogami e Villibor (1995), uma questão bastante importante, acerca dos óxi-hidróxidos podem ser elencados, eles aparecem em todas as frações do solo, e vão influenciar o seu comportamento. Embora sua superfície específica seja bastante considerável, sua atividade é baixa, conferindo pouco ou nenhuma expansividade e capacidade de troca catiônica, embora, se influenciados pelo pH predominante do solo irão possuir excesso de cargas positivas em sua superfície. Ainda sobre esta questão, no trabalho de Cardoso (2002), no qual realizou ensaios de extração sequencial para se obter o entendimento dos processos formadores do solo

e de verificação de todas as fases presentes neste (fases minerais e orgânicas) pela técnica de ICP-AES (Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma de Acoplamento Induzido) se observou que quanto maior a presença destas espécies no solo, maior será a formação de agregados. Quanto à considerável superfície específica, o autor observou que, quanto maior e mais cargas positivas esta possuir, mais argilominerais irão aderir à sua superfície; Este fenômeno ocorre, pois os argilominerais possuem cargas negativas em sua superfície, gerando verdadeiras interações elétricas (forças de Van Der Waals), ocasionando em uma limitação ao contato com água e reduzindo a plasticidade destes minerais. Além disso, sua superfície positiva (causa do poder agregador desses minerais) irá interagir com as moléculas de água (de carga negativa), proporcionando um aumento na plasticidade desses minerais em função desta interação. Contudo, esta interação eletrônica reflete um mecanismo químico-mineralógico no qual induz um aumento de plasticidade no solo, assim como o seu poder de agregação.

2.13 Solos Saprolíticos

Segundo Pastore (1992) os solos saprolíticos são caracterizados como aqueles que advém da decomposição da rocha *in situ* onde são mantidas as estruturas provenientes desta, tratando-se, portanto, de um solo residual. Na porção menos intemperizada suas características compreendem a presença de blocos de rocha com espessura e composição granulométrica variável e dependente da rocha de origem e de sua posição no relevo, o que corresponde ao saprolito. Podem-se observar trechos de transição, marcando o maciço rochoso e o solo, apresentando diferentes graus de alteração até a classificação de rocha sã.

2.14 Aspectos Físicos e Texturais dos Solos Tropicais – Minerais de Argila

Lepsch (2002) demonstra que o entendimento em função das condições climáticas, nas quais os solos tropicais estão sujeitos, os minerais de argila tendem a se decompor e formar óxi-hidróxidos de ferro e alumínio. A partir dessa transformação, o teor de óxido de ferro livre e as suas associações alumino-ferruginosas apresentarão diferentes graus de desidratação e endurecimento, assim como irão constituir arranjos em sua matriz que os faz diferir dos demais solos devido às suas características geotécnicas. Camapum de Carvalho (2012) comenta que estes processos produzirão arranjos estruturais nos solos responsáveis pelas diferenças evidenciadas por muitos autores nas propriedades de engenharia, ocasionando na peculiaridade

desses solos; Assim, o entendimento acerca desses solos passa a compreender uma junção dos conhecimentos sobre a química, a mineralogia e o aspecto estrutural dos solos tropicais, considerando estes conhecimentos como definidores dos comportamentos mecânico, hidráulico desses solos. A seguir serão elencadas algumas características dessas peculiaridades dos solos tropicais:

- Possuem variação no índice de vazios, de acordo com os processos intempéricos, se comparado à curva granulométrica (com e sem defloculante), independentemente da rocha que origina esses solos;
- A formação de agregados nesses solos irá provocar uma diferença na distribuição de poros, pois estes solos apresentam, como característica estrutural, uma bimodalidade (macroporos e microporos (interior dos agregados)) quanto a esta distribuição;
- Baixas resistências e altas compressibilidades podem ocorrer de acordo com a estrutura e os processos pedogenéticos desses solos.

2.15 Densidade Real dos Grãos

A densidade real dos grãos, segundo Kiehl (1979) é uma função dos componentes minerais existentes nos solos, sejam eles de origem mineral ou orgânica, e seu quantitativo. A Tabela 2-2 a seguir demonstra os valores/faixas de densidade de acordo com as ocorrências minerais mais comuns nos solos:

Tabela 2-2. Peso Específico dos Grãos de alguns minerais constituintes de solos tropicais.

Peso Específico dos Minerais			
Mineral	(kN/m ³)	Mineral	(kN/m ³)
Caulinita	2,60 - 2,68	Goethita	4,37
Ilita	2,60 - 2,68	Hematita	4,90 - 5,30
Montmorilonita	2,20 - 2,70	Magnetita	5,18
Quartzo	2,65 - 2,66	Rutilo	4,18 - 4,25
Gibbsita	2,30 - 2,40	Zircão	4,68 - 4,70

(Modificado de Kiehl, 1979).

Verifica-se que os valores de densidades medidos nos solos compreendem um indicativo, da existência de certos minerais, observando-se que o grau e o tipo de intemperismo e o clima

estão intrinsecamente relacionados com as ocorrências de densidade. Tais propriedades foram observadas por Kiehl (1979) e Townsend *et al* (1971) ao verificarem os teores de oxi-hidróxidos de ferro em diferentes climas: climas tropicais apresentam maiores valores de densidade, sendo estes em torno de 3,0, em detrimento à climas frios, com densidades em torno de 2,65. Quanto à gibbsita verifica-se que estes minerais são responsáveis pela diminuição da densidade real dos solos, controlada pela maior ou menor presença de óxi-hidróxidos de ferro nos solos lateríticos (Tabela 2-3).

Tabela 2-3. Peso Específico dos Minerais mais comuns encontrados nos solos

Minerais	Valores de Peso Específico (kN/m³)
Caulinita	2.60 – 2.68
Gibbsita	2.30 – 2.40
Goethita	4.37
Hematita	4.90 – 5.30
Montmorilonita	2.20 – 2.70
Muscovita	2.70 – 3.00
Quartzo	2.65 – 2.66
Rutilo	4.18 – 4.25

Modificado de KIEHL (1979).

2.16 Perfis de Intemperismo nos solos tropicais do Distrito Federal

A descrição dos perfis de intemperismo do Distrito Federal é apresentada no trabalho de Cardoso (2002) o qual resultou em uma proposta de descrição para solos tropicais que inclui a presença de horizonte ferruginoso (solo laterítico). Tais observações estão embasadas em adaptações de outros trabalhos como o de Martins (2000), Pastore (1995) e do Sistema Brasileiro de Solos (Embrapa, 1999). A partir dessas associações e das observações de perfis de solos do cerrado, Cardoso (2002) estabeleceu uma proposta coerente para descrever os perfis de intemperismo na região com uma abordagem voltada à geologia de engenharia e à geotecnia.

A classificação é agrupada em sete (7) horizontes pedológicos os quais contemplam doze (12) subhorizontes que compreendem as características mineralógicas, químicas e geotécnicas dos perfis de intemperismo. A primeira subdivisão corresponde aos subhorizontes O, A e B, baseadas na Classificação Morfo-Genética de Dokuchaev (1883) e Cardoso (2002) e na

classificação de Martins (2000) correspondendo a categoria de “*Solum*”. Logo abaixo são descritas subcategorias que correspondem ao horizonte ferruginoso: cascalho laterítico, couraça ferruginosa, carapaça e zona mosqueada. Para a geotecnia, a subdivisão do horizonte ferruginoso possui grande importância: ela representa uma diversidade de comportamentos mecânico, diferenças estruturais e de teores de óxi-hidróxidos de ferro e alumínio. Abaixo dessa sequência de sub-horizontes apresentam-se aqueles que possuem características da rocha de origem e suas diferenças quanto ao comportamento mecânico (diferenciações de saprólitos à rocha alterada e rocha sã propriamente dita).

Deve-se levar em consideração que estes perfis variam em espessura, independentemente do tipo de rocha de origem, dependendo assim dos processos pedogenéticos e intempéricos que influenciaram na formação desses horizontes. A seguir está ilustrada uma modificação da tabela apresentada no trabalho de Cardoso (2002), na qual faz uma representação do perfil de intemperismo no Distrito Federal e que em partes também representa os perfis de solo laterítico do Campus da UEG (Tabela 2-4).

Tabela 2-4. Classificação de Cardoso (2002) para a representação dos perfis de intemperismo do Distrito Federal. (modificada).

Subdivisões	Classificação de Cardoso (2002)	
Pedólito (0 a 30 m)	Horizonte O	Solum (Martins, 2000)
	Horizonte A	
	Horizonte B	
	Cascalho Laterítico	
	Couraça Ferruginosa	
	Carapaça	
	Zona Mosqueada	
Saprólito (30 a 100 m)	Saprólito Fino ou Argiloso	
	Saprólito ou Saprólito Grosso	
	Rocha Muito Alterada	
	Rocha Alterada	

Subdivisões	Classificação de Cardoso (2002)
Protólito	Rocha Sã

2.17 Gênese e Características dos Solos Tropicais: Transformações Mineraias: agentes formadores dos solos e de minerais secundários

A formação dos solos e a transformação dos minerais envolvem a atuação de agentes de meteorização, capazes de promover tais modificações. Macedo (1961) destaca que os agentes de meteorização são representados por processos químicos e físicos, destacando-se quais os agentes que irão atuar no meio físico, dos quais:

Tabela 2-5. Processos atuantes na transformação mineral em função da gênese dos solos.

Processos Físicos	Processos Químicos
Atividade orgânica;	Reações de permuta de íons;
Ação de colóides;	Atividade de ácidos;
Crescimento de cristais*;	Redução;
Diminuição da pressão hidrostática;	Solubilização e formação de colóides*;
Expansão provocada pelos fenômenos de dilatação e compressão;	Hidratação e hidrólise*;
-	Oxidação*;

A Tabela 2-5 acima apresenta todos os processos físicos e químicos envolvidos na gênese dos minerais na formação dos solos, com destaque para alguns processos (*), em sua maioria químicos, nos quais estão intrinsecamente ligados com a questão da formação de minerais secundários e principalmente em relação à hipótese de quartzilização nos solos estudados.

Segundo Macedo (1961), o intemperismo químico, fator preponderante com relação à silicificação, associa os termos capacidade versus a intensidade a este processo:

Capacidade: estado de subdivisão do material (trata-se de sua superfície específica) e; natureza do material.

Intensidade: temperatura e sua ação indireta no acúmulo de matéria orgânica: quantidade de água, lavagem; acidez da solução, grau de alteração dos coloides com hidrogênio; forças bióticas (podem ser traduzidas como atividade biogênica?); Potencial redox.

Assim a capacidade seria uma função da característica e natureza do material e a intensidade como um conjunto de forças exteriores atuando naquele meio. Portanto, é definido que o grau de intemperismo pode ser apresentado como uma interação entre a “intensidade x tempo”.

A mineralogia dos silicatos compreendendo sua unidade básica, tetraedro de silício e oxigênio (contendo um átomo de Si e quatro átomos de O), apresenta categorias em função do aumento de sua complexidade estrutural e o número de oxigênios compartilhados para formar a cadeia. Estes passam, portanto, desde nesossilicatos, sorossilicatos, inossilicatos, filossilicatos e por fim, os tectossilicatos.

Quanto à intensidade do intemperismo e de acordo com a série de cristalização de Bowen, há uma ordem para a remoção de íons nos minerais de feldspatos: primeiramente há a saída dos íons o potássio (K^+), sódio (Na^+) e cálcio (Ca^+) e posteriormente a saída do alumínio (Al) e por último do silício (Si^{4+}). Nas micas o potássio (K^+) é removido primeiro e depois o alumínio (Al) em coordenação tetraédrica até as estruturas tornarem-se individuais (tetraedros de sílica e octaedros de Al^{3+} ou Magnésio (Mg^{2+})).

Segundo os autores Jackson & Sherman (1953) e Macedo (1961) foram definiram estágios de alteração química de acordo com a estabilidade mineral, levando-se a um paralelo entre a série de Bowen e Goldich:

Tabela 2-6. Estágios de alteração química segundo Jackson e Sherman, *apud* Macedo (1961).

Estágio Primário	
Estágio	Mineral
Salino;	Olivina-hornblenda (diopsídio, etc.);
Calcário;	Biotita (glauconita, clorita, etc.);
Feldspato e Minerais Ferromagnesianos;	Albita (anortita, microclínio, etc.);
Estágio Intermediário	
Quartzo;	Quartzo (cristobalita);
Mica-Ilita;	Ilita (muscovita, etc.);
Silicatos de camadas mistas 2:1 e vermiculita;	Micas, clorita, vermiculita, montmorilonita, talco, etc.;
Montmorilonita;	Montmorilonita (bentonita) ou montmorilonitas cálcica e sódica;

Estágio Avançado	
Caulinita;	Caulinita (haloisita);
Gibbsita-alofano;	Gibbsita (bohemita);
Hematita-goethita;	Hematita (limonita);
Anatásio-Leucoxena;	Anatásio (rutilo, ilmenita);

As séries apresentadas anteriormente são consideradas muito úteis quando associadas a processos pedogenéticos e principalmente à gênese dos minerais de argila.

A partir da série apresentada se pode elencar algumas conclusões úteis relacionadas aos processos intempéricos:

- a) Os minerais ferromagnesianos, em sua maioria, apresentam uma fraca estabilidade;
- b) Em comparação, os feldspatos potássicos irão possuir uma maior estabilidade em relação aos feldspatos cálcico-sódicos;
- c) Há diferentes condições de estabilidade entre plagioclásios sódico (↑) e cálcico (↓);
- d) O mineral de quartzo apresenta elevada estabilidade;
- e) Os minerais micáceos biotita e muscovita, a mica ferromagnesiana (biotita), apresenta menor estabilidade;
- f) Caso aumente o teor de magnésio nos minerais máficos, ocorrerá a diminuição da estabilidade;
- g) Em casos onde há a substituição de um silício por alumínio na estrutura a resistência ao intemperismo irá diminuir;
- h) A estabilidade dos silicatos será maior em estruturas mais complexas: tetraedros independentes → cadeias simples → cadeias duplas → folhas;
- i) Estabilidade na litosfera para minerais de argila em folhas.

2.18 Química dos Processos Intempéricos na questão da silicificação/quartzilização

Aos processos químicos associados ao surgimento do fenômeno da quartzilização/silicificação, analisando-se do ponto de vista geoquímico observa-se que a concentração de sílica amorfa e

quartzo na solução estão intrinsecamente relacionadas ao crescimento deste mineral neoformado e ao pH a sua solubilidade.

O processo de crescimento mineral está associado a ocorrência da floculação de sílica amorfa que se desenvolve progressivamente até o estágio de sílica cristalizada. Portanto é necessário se conhecer a solubilização da sílica em água.

A solubilidade da sílica em água é controlada por leis de polimerização e despolimerização – quando o teor total de sílica na água for inferior a 100ppm – 140 ppm a 25°C ela estará na forma dispersa e em estado de equilíbrio, na forma H_4SiO_4 (estará em solução). Caso o teor de sílica exceda os 140 ppm a 25°C, com pH menor 9 suas moléculas serão polimerizadas e ficarão disponíveis na forma coloidal, nesse caso as condições de acidez/alcalinidade começam a afetar o processo.

Nas águas naturais normalmente são encontradas sílica na forma $Si(OH)_4$ em concentrações menores que a solubilidade real (100 ppm – 140 ppm), independentemente da origem das águas (rios, mar, conatas ou nos solos). Já as soluções coloidais ocorrerão em águas de origem hidrotermal.

É necessário analisar o comportamento do quartzo na água – soluções que estão a longo prazo em contato com o quartzo possuem um conteúdo de 7 ppm - 10 ppm de $Si(OH)_4$. Assim, qualquer solução que esteja subsaturada em relação à sílica amorfa, entre 10 ppm - 140 ppm estará supersaturada em relação ao quartzo.

A silicificação, em geologia, é tratada como uma ocorrência de crescimento cristalino, neste caso em minerais de calcedônia e opala. Diversos autores como Washburn e Navias (1922,1924), Sosman (1927), Correns e Nagelschimdt (1933), Midgley (1951) e Folk e Weaver (1952), *apud* Millot (1961) estudaram as ocorrências de opala e calcedônia, descrevendo respectivamente como sílica e água, em arranjo desordenado (Correns e Nagelschimdt (1933)) e como fibras alternadas de quartzo e camadas finas de opala (Midgley (1951) e Folk e Weaver (1952)), *apud* Millot (1961). A opala por Flörke (1955, 1961) é descrita como um mineral composto por pequenos cristais de cristobalita e tridimita (grupo da sílica – polimorfos de sílica).

2.19 Classificações para Solos Lateríticos

Dentre as classificações para solos lateríticos do ponto de vista químico/mineralógico, a proposta de classificação de Schellman (1982) é a mais adequada para este estudo, pois utiliza um diagrama ternário para representar os teores em óxidos levando-se em consideração o silício e óxidos de alumínio e ferro em função dos minerais (quartzo, caulinita, hematita-goethita e gibbsita). Dessa classificação resultam vários tipos de lateritos:

- Silicoso – rico em quartzo;
- Ferruginoso – rico em ferro e com couraças ferruginosas;
- Aluminoso – rico em alumínio (depósitos de bauxita);
- Argilosos – com elevados teores de caulinita (depósitos de caulim);
- Lateritos strictu sensu – material caracterizado pela paragênese mais comum de solos tropicais, caulinita + variações de hematita, goethita e gibbsita.

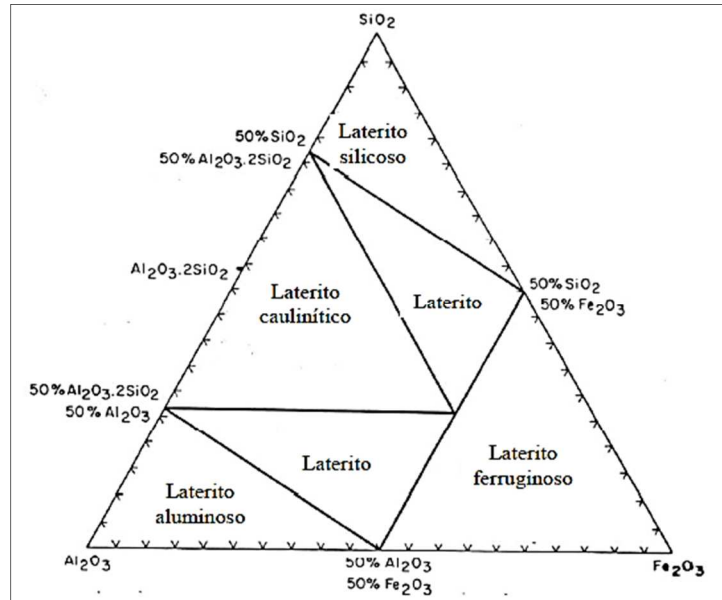


Figura 2.4. Diagrama Ternário para Classificação de Lateritos. Melfi (1994).

Segundo Melfi (1994) e Cardoso (2002), que transformou o diagrama ternário de Schellmann (1982) e adicionou o silício para classificar os tipos de laterita (Figura 2.4).

Outro aspecto importante citado em seu trabalho é a abordagem sobre os aspectos químicos relativos às reações que ocorrem nos processos de alteração nos solos tropicais. São ditas que as reações químicas que ocorrem entre os minerais e as soluções (sejam elas meteóricas e/ou de componentes atmosféricas) resultam em alterações de ordem química em superfície denominadas hidratação-desidratação, oxidação-redução, dissolução-precipitação, carbonatação-descarbonatação, hidrólise e queluviação, sendo estas duas últimas destacadas para os solos do Brasil (segundo Pedro, 1966 e Cardoso, 2002).

A hidrólise é a reação mais comum que ocorre sob os minerais silicatados e está intimamente ligada às características de zona climática intertropical e subtropical. Nesse caso ocorrerão quebras das ligações entre os íons dos minerais pelos íons H^+ e OH^- da água. A variação de pH também será controlada pela degradação de matéria orgânica. A variação controla especificamente o comportamento dos principais elementos que constituem os minerais formadores de rochas. Assim, na degradação, o Al e Fe se tornarão insolúveis, passando a acumular-se em óxidos e hidróxidos de Fe e Al; já os elementos da família dos alcalinos e alcalinos terrosos, no entanto serão quase que em sua totalidade, lixiviados e; a sílica encontrar-se-á mobilizada, mas com uma velocidade mais baixa em relação aos alcalinos.

A Figura 2.5, retirada da tese em questão, mostra esta relação de mobilidade de Fe, Al e Si em função do pH , onde pode-se verificar em sua o que foi explicitado anteriormente.

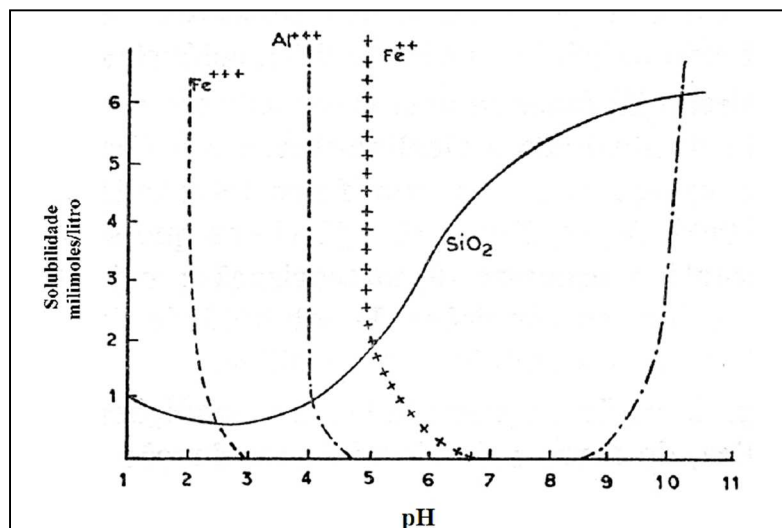


Figura 2.5. Mobilização de Fe, Al e Si vs pH das soluções de alteração (Krauskopf, 1967).

Os referidos processos relativos à hidrólise podem ser exemplificados a partir da decomposição de k-feldspato por meio de soluções percolantes, gerando minerais de illita, caulinita e gibbsita secundariamente.

Assim:

- Hidrólise total – caracterizada pelo processo de alitização: toda a sílica e as bases serão eliminadas, e o que não é eliminado, ou seja, $\text{Al}(\text{OH})_3$ se acumulará na forma de gibbsita;
- Hidrólise parcial – parte da sílica do mineral primário é liberada e reage com o Al, formando “sais básicos insolúveis denominados hidrossilicatos aluminosos (argilas) - trata-se de um processo de sialitização: liberação de sílica de forma incompleta, mas com eliminação de cátions básicos mais ou menos elevados.
- Monossilização: dessilicatação quase completa, formando argilas 1:1 do tipo caulinita;
- Bissialitização: quando a liberação de cátions básicos é parcial serão gerados argilominerais com estruturas 2:1, como as esmectitas - a carga dessas estruturas será compensada por íons interfoliares.

No caso da laterização o processo irá se desenvolver em faixas de pH entre 4,5 e 7,0 – permitindo que haja uma intensa lixiviação do silício na forma $\text{Si}(\text{OH})_4$ e das bases de cátions dissolvidos e, como consequência, haverá precipitação de Al e Fe férrico na forma $\text{M}(\text{OH})_3$ na forma de óxidos.

2.20 Aspectos Químico-Mineralógicos e Geotécnicos

Processos Atuantes:

Os solos tropicais sofrem degradação química acelerada devido às altas temperaturas e a umidade. Estas variações promovem mudanças na dinâmica superficial, do ponto de vista químico, provocando alterações nos solos provenientes de reações de oxidação-redução, hidratação-desidratação, dissolução-precipitação, carbonatação-descarbonatação, hidrólise e queluviação.

Dentre os tipos de alteração citados, o mais comum é a hidrólise. A hidrólise age sob os minerais silicatados e ocorre em zonas climáticas intertropicais e subtropicais. O processo envolve a quebra de ligações dos íons dos minerais pelos íons H^+ e OH^- da água. A hidrólise é subdividida em hidrólise total e hidrólise parcial:

- a) Hidrólise total – caracterizada pelo processo de alitização: nela, toda a sílica e as bases são eliminadas, e o que não é eliminado, ou seja, $Al(OH)_3$ se acumulará na forma de gibbsita;
- b) Hidrólise parcial – caracterizada pelo processo de sialitização: nela, parte da sílica do mineral primário é removida e reage com o alumínio, formando “sais básicos insolúveis” (hidrossilicatos aluminosos - argilas) - liberação de sílica de forma incompleta com eliminação de cátions básicos. Tem-se na hidrólise parcial:
 - Monossialitização: dessilicatação quase completa, formando argilas 1:1 do tipo caulinita;
 - Bissialitização: quando a liberação de cátions básicos é parcial serão gerados argilominerais com estruturas 2:1, como as esmectitas - a carga dessas estruturas será compensada por íons interfoliares.

2.21 Hipótese do Crescimento Cristalino

Para a gênese da silificação, Millot (1961) se utilizou da hipótese do crescimento cristalino:

- Quartzificação – este fenômeno foi observado na Sahara superior, com a ocorrência de soluções subsaturadas em sílica amorfa e supersaturadas em quartzo, com esta ocorrência se inicia o crescimento de cristais em torno desses grãos – atuando como “gêrmens de cristalização” – o processo pode acarretar a formação de quartzito sedimentar a longo prazo.
- Silificação em calcedônia – este conceito parte da ocorrência de soluções com conteúdo moderado de sílica (40 ppm, 60 ppm e 80 ppm a 25°C) (Bonifas, 1958; Dapples, 1959 – *apud* Millot (1961)); além disso estas possuem íons externos. Dessa forma, o quartzo se encontrará disposto em longos espirais que contém zonas

desordenadas onde a água e os íons externos entrarão na rede cristalina, gerando uma variedade de calcedônias.

- Silicificação em opala (sílica amorfa hidratada) – o autor sugere que a formação da opala se dá por meio da formação de uma rede de cristobalita de baixa temperatura, de forma imperfeita, onde atuam íons externos e água; Cayex (1929) *apud* Millot (1961) comenta que pode ocorrer o aparecimento de opalas por meio da silicificação de argilas – camadas silicosas de folhas de argila organizando estas ocorrências minerais.

Deve-se considerar que, para ocorrências destas, há a necessidade de ocorrer no sistema águas puras e silicosas; com atenção ao fato de que, se estas águas encontrarem-se mineralizadas, o crescimento cristalino tornar-se-á dificultado. Na ocorrência de calcedônia se desenvolverão fibras de quartzo e; na ocorrência de opala ocorrerão “ilhas” de cristobalita com maior dificuldade.

Weaver (1973) estabelece que a depender do conteúdo de sílica, a baixas temperaturas (< 100°C) e de acordo com o pH, pode-se obter a formação de camadas de sílica:

“O teor de sílica dos produtos formados é maior em um meio neutro ou alcalino. Com pH baixo, as camadas de sílica se apresentarão incompletas e as camadas de hidróxido serão contínuas; com pHs mais elevados, as camadas de sílica são contínuas e as de hidróxidos descontínuas” (processo inverso).

De acordo com experimentos descritos pelo autor, nota-se que os produtos cristalinos podem ser obtidos a temperaturas em torno de 20°C.

Segundo Strava (2001), que comenta sobre a questão do ensaio de pH para avaliar a condição ambiental favorável à mobilidade de íons e a capacidade de tamponamento do solo. Esta comenta que há uma associação da capacidade tamponamento dos solos tropicais quando em presença de óxidos e hidróxidos de ferro; tal processo, portanto, irá resultar em uma resolubilização de amorfos de ferro que estarão na forma de precipitados nos poros do solo e depositados sob a superfície das partículas em condições de pH básico. Assim:



Quando o fluido permeia o solo ocorre a solubilização de hidróxidos de Fe precipitados, consumindo o hidrogênio da reação e deslocando o equilíbrio da reação para a esquerda.

Segundo Cardoso (1998), dos processos pedogenéticos mais atuantes no Cerrado, o mais importante envolve os processos de intemperismo profundo, no caso, é o processo de alitização. Nos demais solos tropicais que ocorrem no Brasil há a predominância de outros processos como a monoalitização e bissialitização ou aluminossilicificação. Estes processos acarretam a aparição de teores anômalos de Al nos solos do DF, na forma de gibbsita e de minerais paracristalinos, sendo portanto uma importante consequência químico-mineralógica para os processos pedogenéticos do Cerrado Brasileiro.

2.22 Clima e Latitude

Segundo o tipo de clima são destacados os tipos de intemperismo mais predominantes:

- 1) Climas frios e temperados ou áridos – ocorre o “intemperismo diacrônico” – tal processo irá afetar os minerais mais sujeitos ao intemperismo (feldspatos, micas, etc..) – esses minerais evoluem, mas ainda não estão em fase de “decomposição mineral” (transformação total para outro mineral de origem secundária) – quando ocorre uma evolução cristalquímica na fase sólida, há a formação de um mineral de origem secundária. Assim os solos se desenvolvem em perfis rasos em função de sua evolução superficial.
- 2) Climas de zonas intertropicais, úmidos e quentes - o intemperismo químico será mais intenso e assim irá afetar todos os minerais alteráveis – “intemperismo sincrônico” (resultante da rápida alteração dos minerais); resulta em uma maior ocorrência de neoformações minerais, apresentando perfis de solos mais espessos, apresentando dois (2) níveis: *Solum* e Saprólito.

2.23 Estabilidade Geoquímica dos Silicatos

Segundo Macedo (1961) pode-se fazer uma comparação entre a série de Bowen (série de cristalização mineralógica) com a sequência de suscetibilidade ao intemperismo para o caso dos silicatos:

- 1) A substituição estrutural do silício pelo alumínio irá ocorrer pela perda de resistência em função da meteorização.

- 2) A estabilidade dos silicatos será maior em função de estruturas mais complexas:
Tetraedros independentes → cadeias simples → cadeias duplas → Folhas.

Ainda segundo Millot (1961) o mineral quartzo só estará na forma solúvel se a quantidade de sílica dissolvida for menor que 6 ppm em solução, assim em regiões como o DF por exemplo, com áreas com alta precipitação pluviométrica e boa drenagem poderá haver uma dissolução de sílica suficiente; no entanto, se essas condições de drenagem e pluviosidade diminuïrem ou cessarem, o processo também irá cessar.

2.24 Neofomações Minerais

Sobre os mecanismos de formação dos minerais de argila, óxidos e hidróxidos de Fe e Al Millot (1961) demonstrou a origem das argilas à partir de três (3) processos:

- Herança – são consideradas argilas de origem detrítica, provenientes da rocha de origem;
- Transformação – advém da transformação de filossilicatos – transformação de uma fase cristalina em outra (ambas sólidas) – ex.: ilita se transformando em biotita;
- Neofomação – os minerais se formam em função de reações em fase líquida – soluções iônicas, co-precipitações ou precipitações de geles.

2.25 Contexto da Quartzilização

A hipótese da quartzilização por neofomação pode ser explicada a partir da transformação de argilominerais em processo de alitização. Estas transformações partem de argilominerais do tipo 2:1 (grupo das esmectitas, ilitas) para argilominerais do tipo 1:1 (caulinita) até se transformarem em óxi-hidróxidos de alumínio e ferro e minerais paracristalinos, liberando o silício para dar origem aos cristais de quartzo neoformados.

Esta verificação estabelecida principalmente por Millot (1961, 1964), evidenciou a gênese da quartzilização, em função de processos de quartzilização/silicificação a partir de estudos de ocorrências observadas principalmente na África. Como se trata de reações químicas entre os minerais e a solução, o pH terá grande importância nesses processos – este influencia na concentração de sílica amorfa e quartzo na solução, também sendo regida pela lei de polimerização e despolimerização citada em seções anteriores.

Quanto ao crescimento dos cristais pode-se associar este fenômeno à questão da solubilidade de sílica e quartzo na solução ao crescimento de cristais de variedades de quartzo (calcedônia e opala). Diversos autores como Washburn e Navias (1922, 1924), Sosman (1927), Correns e Nagelschmidt (1933), Midgley (1951) e Folk e Weaver (1952), *apud* Millot (1961) estudaram as ocorrências de opala e calcedônia, descrevendo-os respectivamente como sílica e água, em arranjo desordenado e como fibras alternadas de quartzo e camadas finas de opala. Assim, para a gênese da sílica neoformada, pode-se citar três hipóteses de crescimento cristalino:

1. Quartzificação – fenômeno observado na Sahara superior - ocorrências de soluções subsaturadas em sílica amorfa e supersaturadas em quartzo, iniciando-se o crescimento por meio de “gêrmens de cristalização” – o processo pode acarretar a formação de quartzito sedimentar em longo prazo.
2. Silicificação em calcedônia – este conceito parte da ocorrência de soluções com conteúdo moderado de sílica (40, 60 e 80 ppm a 25°C) (Bonifas, 1958; Dapples, 1959 – *apud* Millot (1964)); além disso, estas possuem íons externos. Dessa forma, o quartzo se encontrará disposto em longos espirais que contém zonas desordenadas onde a água e os íons externos entrarão na rede cristalina, gerando uma variedade de calcedônias.
3. Silicificação em opala (sílica amorfa hidratada) - formação da opala por meio da geração de rede de cristobalita de baixa temperatura, imperfeita, onde atuam íons externos e água; pode ocorrer o aparecimento de opalas por meio da silicificação de argilas – camadas silicosas de folhas de argila organizando estas ocorrências minerais.

Das hipóteses de crescimento cristalino e a partir das leituras realizadas até o momento, salienta-se que há a necessidade da ocorrência de um sistema de águas puras e silicosas; com atenção ao fato de que, se estas águas se encontrarem mineralizadas, o crescimento cristalino tornar-se-á dificultado. Na ocorrência de calcedônia se desenvolverão fibras de quartzo e; na ocorrência de opala ocorrerão “ilhas” de cristobalita com maior dificuldade. O mesmo estudo sugere que às temperaturas < 100°C e na mesma faixa de variação de pH (2 a 9), dependendo do conteúdo de sílica, poderá ocorrer a formação desta em camadas. Com pH baixo (pH 4,5 a 5), as camadas de sílica se apresentarão incompletas e as camadas de hidróxido serão contínuas; com pHs mais elevados (pH 8 a 9), as camadas de sílica serão contínuas e as de hidróxidos descontínuas (processo inverso).

Portanto a evolução para se considerar a liberação de sílica em solução irá compreender a seguinte cadeia de neoformações minerais:

Argilominerais 2:1 (Grupos das Montmorilonitas e Ilitas) ⇒ Argilominerais 1:1 (Caulinita) ⇒ Gibbsita + Hematita + Goethita + Quartzo Neoformado (Quartzilização) + Geles amorfos de sílica, alumínio e ferro.

Esta sequência também sugere o aumento do grau de intemperismo.

2.26 Classificação da *Soil Taxonomy* para Solos Oxídicos

Segundo Farias (2012) e de acordo com as diretrizes estabelecidas por Estados Unidos (1992), com a *Soil Taxonomy* os solos profundamente intemperizados (solos oxídicos) podem ser classificados segundo classes determinadas de acordo com a presença de determinados minerais na fração argila. Esta classificação se mostra bastante útil para os solos tropicais e serve para comparar os níveis de intemperismo na evolução de um perfil.

De acordo com o órgão, pode-se classificar os solos de acordo com os percentuais dos minerais apresentados na Tabela 2-7.

Tabela 2-7. Classificação dos Solos Oxídicos segundo a *Soil Taxonomy* (1992).

Identificação	% Mineral	Presença ou não de minerais (2 a 6)	Classificação
1	> 40 Hematita	2, 4, 5 e 6	Ferrítico
2	> 40 Gibbsita	3, 5 e 6	Gibbsítico
3	18 a 40 Hematita	5 e 6	Ferruginoso
4	19 a 40 Gibbsita	5 e 6	Alítico
5	> 50 Caulinita	-	Caulinitico
6	> 50 Halosita	-	Halosítico
3 e 4	-	5 e 6	Sésquico

Ainda segundo Farias (2012), outra relação importante que pode ser considerada e que foi adaptada à classificação acima, para o comportamento intempérico, pode ser obtida pelas razões Hematita/Goethita (RHmGt) e Caulinita/Gibbsita (RCtGb), calculadas da seguinte forma (Estados Unidos, 1992):

$$RHmGt = \frac{Hm}{Hm+Gt} \quad (3)$$

e,

$$RCtGb = \frac{Ct}{Gb+Ct} \quad (4)$$

O cálculo dessas razões permite obter uma outra classificação, adaptada pelo autor e baseada na *Soil Taxonomy* (Tabela 2-8).

Tabela 2-8. Classificação Proposta por Farias (2012).

Tipo de Solo	Quadrante Dominante - Razões RCtGt e RHmGb
Caulinítico	CtGt
Gibbsítico	GbHm
Gibbsítico	GbGt
Oxídico-Gibbsítico	GbGt
Caulinítico-Oxídico	CtHm
Caulinítico-Oxídico	CtGt
Oxídico-Hematítico	CtHm

Para esta classificação devem ser considerados os critérios apresentados no Quadro 2 com relação aos percentuais mineralógicos na fração argila:

<u>Crítérios de Classificação dos Solos</u>
Caulinítico $\geq 50\%$ (Ct) na fração argila;
$Oxídico = \left(\frac{\%Fe_2O_3 \text{ (ataque sulfúrico)} + \% gibbsita \text{ (argila)}}{\% argila} \right) \geq 0,2$
Gibbsítico $\geq 40\%$ (Gb na argila);
Oxídico-gibbsítico = Gb > Ct, se Gb > Hm + Gt (argila);
Caulinítico-oxídico = Ct > Gb (argila) ou $\frac{Ct}{Ct+Gb} \geq 0,5$, se Gb > Hm + Gt;
Entretanto, mesmo que a Ct seja maior que a Gb, mas ocorra:
Gb (argila) < Gt + Hm (argila) e $Hm \geq Gt$ ou $\frac{Hm}{Hm+Gt} \geq 0,5$; classifica-se como Oxídico-hematítico;
Caso também ocorrer:
Gb (argila) < Gt + Hm (argila) e $Hm < Gt$ ou $\frac{Hm}{Hm+Gt} \geq 0,5$; classifica-se como Oxídico-goethítico.

Quadro 2. Classificação dos Solos segundo critérios estabelecidos por Farias (2012).

Ainda segundo o autor, pode-se utilizar as ferramentas apresentadas pelo mesmo, constantes do Quadro 2, para melhor representar e compreender a evolução e a evolução intempérica dos solos tropicais.

2.27 Ponto de Carga Zero (PCZ) e o ΔpH

Segundo Farias (2012) o Ponto de Carga Zero (PCZ) consiste em um valor de PH no qual a carga superficial de sistema reversível de dupla camada é zero. Assim, o PCZ irá representar o pH de máxima aglomeração de partículas e o menor potencial de solubilização do mineral; Além disso, para uma melhor entendimento do PCZ, considera-se que seria a condição para que o PCZ obtido experimentalmente em função do valor de pH compreenderia um dado valor nos quais as partículas de solo não se moveriam em um campo elétrico aplicado ou na ocorrência do assentamento/floculação destas.

Ainda sobre o PCZ, Farias (2012), determinar o PCZ do solo compreende entender os fenômenos de agregações das partículas do solo, inferir se a estrutura se encontra dispersa ou floculada e também do comportamento colapsível do mesmo em função de fatores físico-químicos.

O ΔpH pode ser interpretado como um indicador de carga superficial dos solos e também de intemperismo. Este é calculado pela diferença entre o pH_{KCl} e o $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$; em função desse cálculo é observado que valores de ΔpH maiores que zero, haverá um balanço de cargas positivo (+), sendo portanto responsável pela formação da Capacidade de Troca Aniônica no solo. Valores de ΔpH negativo estariam associados ao predomínio de argilas silicatadas (caulinita por exemplo) e valores de ΔpH positivo ao predomínio de óxidos de ferro e alumínio (goethita e gibbsita).

Silva et al (2008) Observaram que, em conjunto, os valores de PCZ e ΔpH irão ser bastante influenciados pela presença de matéria orgânica (MO) no solo, sendo que, quanto maior o teor de MO, menor será o PCZ (valores de pH do solo irão se apresentar maiores que os valores de PCZ), ocasionando em sobras de cargas negativas (carga líquida) e maior retenção de cátions ($\text{CTC} > \text{CTA}$); quando o teor de MO é menor, haverá predomínio de óxidos, portanto, valores de PCZ maiores (pH menor que o PCZ), ocasionando no acúmulo de cargas líquidas positivas ($\text{CTA} > \text{CTC}$). Estas características ocorrem comumente nos horizontes A e B dos solos respectivamente. Ao se relacionar estes dois parâmetros, observa-se que na ocorrência de cargas positivas, o PCZ será alcalino para oxihidróxidos e; na ocorrência de cargas negativas este será mais ácido tanto para caulinita quanto para montmorilonita.

2.28 O Fenômeno da Caulinitização

Apresentado por Faria *et al* (2015) ao estudar o solo latossólico do capeamento de mineração de bauxita em Minas Gerais no horizonte Bw, mostra que devido aos processos pedológicos e climáticos, há uma transformação da gibbsita em caulinita, envolvendo a reincorporação da sílica. O fenômeno citado pelos autores é denominado resilicificação ou caulinitização, termo já atribuído por Keller *et al* (1984).

A degradação da gibbsita estaria associada à inserção de matéria orgânica no sistema, por parte da vegetação e poderia ainda ser oriundo das próprias transformações mineralógicas ocorridas no processo de intemperismo, pois sua lixiviação está atrelada a fatores como a química do meio e condições de drenagem - esta seria decomposta, introduzindo uma condição mais ácida no meio, potencializando o efeito das neoformações minerais nas camadas mais superficiais dos solos. A vegetação, neste caso, ao se decompor estaria reintroduzindo diversos elementos químicos novamente nos solos, como o silício, tornando-se favorável a formação de caulinita em detrimento da gibbsita. Estes fenômenos podem ser evidenciados quando se demonstra a presença de solos mais caulíníficos sob condições de intemperismo tropical úmido. No entanto, em perfis onde ocorre o aumento do teor de gibbsita guardando certa proporção com o aumento do teor de quartzo este fenômeno estaria sendo substituído pelo da quartzilização, hipótese defendida no presente estudo.

2.29 Outras origens/acúmulo de sílica neoformada

Uma das origens mais interessantes quanto ao aparecimento da sílica neoformada está associada a atividade biogênica, neste caso, realizado pelas plantas.

Cornelis *et al* (2019) comentam que o silício nas plantas tem um papel de conferir uma série de benefícios ecofisiológicos às plantas (resistência a herbivoria, doenças, estresse hídrico e desequilíbrios nutricionais). Embora hajam poucos estudos a respeito dos processos que controlam a disponibilidade de silício (Si) para as plantas salienta-se que os sílicatos amorfos fitogênicos (fitólitos) podem repor o Si na solução do solo, ocorrendo durante a pedogênese à longo prazo. Os autores estudaram solos da região costeira do sudoeste da Austrália, verificando que as transformações pedogenéticas envolvidas compreendem reações de descarbonatação, formação de óxidos de ferro e minerais de argilas (estágio intermediário), dissolução de argilas e queluviação de Fe. Esta evolução portanto implica no enriquecimento

de quartzo (estágios avançados), envolvendo um aumento gradativo da concentração de quartzo ao longo das transformações pedogenéticas citadas neste parágrafo. Ao longo desta evolução do intemperismo os silicatos fitogênicos passam a controlar o enriquecimento de sílica e a diminuição de compostos de sílica carbonatada.

Resende (2012) em seu trabalho demonstrou que a espécie *Curatella americana* L. (Dilleniaceae), conhecida como “lixeira”, que ocorre predominante no bioma Cerrado, é utilizada amplamente tanto na medicina popular (tratamentos de úlceras, inflamações) e como agente bioindicador da existência de metais preciosos. A planta é descrita como arbustos tortuosos que podem atingir de 1 m a 12 m de altura, possuindo folhas duras e àspersas, semelhantes ao formato de uma lixa. A espécie absorve elementos necessários a sua sobrevivência, assim como partículas de contaminantes e metais essenciais para seu crescimento que ficam em suas raízes e folhas, agregando sílica.

Faleiro *et al* (2008) comenta que o silício pode estar presente tanto como grãos de quartzo quanto como caulinita, além disso, este pode ser transportado pela solução do solo, como sílica amorfa, e adsorver-se nas concreções, muito presentes nos solos tropicais. O autor também salienta que a sílica, assim como o fosfato, pode ser adsorvida nos óxidos de ferro e de alumínio. A sílica de origem biogênica ou fitólito, comentada anteriormente, irá permanecer nos solos e nos sedimentos, principalmente nas camadas superficiais, quando há ocorrências de locais onde haja o impedimento da drenagem, como as veredas por exemplo. Os fitólitos liberados, liberados das plantas em função da decomposição das frações orgânicas serão incorporados nos solos. Assim, sua permanência ou não irá depender do pH e das condições de drenagem do meio: sob condições de pH ácido, estes fitólitos irão se decompor lentamente em situações de drenagem impedida, preservando a sílica biogênica que servirá, para muitos estudos, como indicador paleoecológico.

2.30 Clima da Região do Distrito Federal e do Campus da UEG em Anápolis

O clima do Distrito Federal, como observado por Souza *et al* (2006) compreende basicamente duas estações climáticas; a primeira entre os meses de outubro a abril, caracterizada como quente e chuvosa e a segunda, entre os meses de maio a setembro, caracterizada com fria e seca. Portanto, em função da amplitude apresentada por estas duas variações climáticas, as médias anuais de temperatura variam entre 13°C a 22°C, caracterizando-se os meses de setembro a

outubro os mais quentes (20°C a 22°C) e o mês de junho o mais frio (médias em torno de 16°C a 18°C). Os índices pluviométricos variam entre 1.500 mm a 2.000 mm anuais, no qual o mês de janeiro é apontado como o mês de maior índice pluviométrico, com cerca de 320 mm/mês. Períodos de baixa umidade são frequentemente observados, compreendendo umidades em torno de 11% nos meses mais secos e umidades em torno de 75% nos meses mais chuvosos.

O clima do município de Anápolis-Go é classificado como tropical úmido, com duas estações bem definidas: úmida com chuvas bastante volumosas (meses de outubro a março) e seca (meses de abril a setembro). Com médias de temperatura anuais variando de 21°C, com máximas atingindo cerca de 29°C a 31°C (no verão) e mínimas entre 13°C e 18°C (no inverno). Também são verificadas condições de baixa umidade do ar, assim como o Distrito Federal.

A pluviosidade média anual apresenta-se em torno de 1500 mm/ano, na qual, nos meses chuvosos a média, no verão se apresenta em torno de 260 mm/mês, no inverno com cerca de 8 mm/mês.

2.31 Aspectos Geológicos e Geomorfológicos das Regiões Amostras – Distrito Federal e Campus da UEG em Anápolis-GO

Aspectos Geológicos de Região do Distrito Federal - do Grupo Paranoá

Todas as amostras coletadas no Distrito Federal fazem alusão ao domínio geológico pertencente ao Grupo Paranoá. Segundo Campos (2013) estas rochas compreendem sequências psamopelíticas-carbonatadas, ocorrendo dentro do território do Distrito Federal e ao Sul do Estado do Tocantins. As rochas identificadas na região compreendem uma sucessão de metassedimentos provenientes do preenchimento de uma bacia sedimentar. A bacia que deu origem a estes metassedimentos teve forte influência de processos marinhos e uma ampla continuidade lateral, comprovada pela datação de fósseis. O autor comenta em seu trabalho que a sequência foi depositada na idade Meso/Neoproterozóica, em um intervalo de 1300 a 1042 Ma.

Rochas do Grupo Paranoá

No contexto do Distrito Federal, algumas Formações Geológicas são de vital importância para o entendimento das sequências e dos tipos de formação dos solos analisados neste trabalho:

- a) Formação Ribeirão Piçarrão (S)

A Formação Ribeirão Piçarrão um conjunto de metassiltitos argilosos, de aspecto homogêneo. Podem ocorrer, intercalados a estes metassiltitos: quartzitos finos com espessuras até decimétricas; quartzitos médios a grossos, com grãos arredondados; rochas carbonáticas na forma de lentes, com a presença de fósseis; bancos de quartzitos arcoseanos de caráter maciço ou laminados.

b) Formação Ribeirão do Torto (A)

A Formação Ribeirão do Torto é identificada em uma região próxima ao Ribeirão do Torto, e se estende até a região da barragem de Santa Maria, dentro do Parque Nacional de Brasília. As rochas identificadas correspondem ao domínio das ardósias, por vezes encontradas com intercalações silto-argilosas de espessuras milimétricas a centimétricas até uma passagem gradual para metarritmitos que recobrem estas rochas. Se apresentam extremamente fraturadas e são de caráter pelítico, por vezes apresentando foliações metamórficas. São rochas com foliações plano-paralelas.

c) Formação Serra da Meia-Noite (R3)

A Formação Serra da Meia Noite é caracterizada por possuir alternâncias centimétricas a métricas de quartzitos finos a médios, com níveis de metassiltitos argilosos e metamelanitos micáceos.

d) Formação Ribeirão Contagem (Q3)

Estas rochas podem ser encontradas em regiões próximas da nascente do Ribeirão Contagem e são identificadas como as rochas que sustentam as áreas de chapadas elevadas do Distrito Federal.

Nesta Formação são identificados quartzitos maciços, finos a médios, com cristais bem selecionados, maduros, podendo ou não se encontrarem recristalizados. Em meio a estas rochas podem ser encontradas lentes de metarritmitos com espessuras atingindo até cerca de 10 m. Normalmente a mineralogia presente nestas rochas compreendem cristais de quartzo (95%), feldspatos em estágio avançado de alteração, muscovita detrítica, turmalina e zircão e óxidos de Fe e Ti como minerais acessórios.

e) e) Formação Córrego do Sansão (R4)

Estas rochas afloram da região da cabeceira do Córrego do Sansão, na região de Sobradinho, compreendendo metarritmitos dobrados. Estes metarritmitos apresentam-se homogêneos, com intercalações de metassiltitos, metamelanitos e quartzitos finos.

Diferentemente da Formação Ribeirão Contagem, os quartzitos encontrados nesta apresentam-se mal selecionados, com um quantitativo de feldspatos podendo atingir cerca de 10%, resultado da transformação de arenitos feldspáticos. As intercalações contendo níveis pelíticos apresentam uma mineralogia na qual podem ser encontradas muscovitas detríticas e óxi-hidróxidos de ferro, resultantes dos processos de alteração intempérica.

f) Formação Córrego do Barreiro (PC)

A Formação Córrego do Barreiro aflora na região norte de Brazlândia, na qual é caracterizada por ocorrências de metargilitos, quartzitos e metassiltitos.

Também são encontradas rochas carbonáticas com a presença de fósseis, de geometria lenticular, observada nas fácies pelíticas. Tais lentes podem chegar a centenas de metros. Os quartzitos possuem o aspecto de lentes alongadas, com continuidade lateral.

Região de Anápolis

a) Aspectos Geológicos do Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu

Segundo Moreira (2008) o Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu se situa na faixa alongada NW-SE no sudeste do estado de Goiás. Possui contato tectônico com o Grupo Araxá e zonas de cisalhamento transcorrentes NW-SE com a Sequência Silvânia e o Granito Jurubatuba. São rochas de domínio Arqueano-Paleoproterozóico, fazendo parte do embasamento cristalino do Arco Magmático de Goiás. Trata-se de granulitos para e ortoderivados do Paleoproterozóico. São rochas orto-granulíticas básicas e ultrabásicas associadas a rochas Supracrustais. Neste pacote ocorrem uma grande variedade de gnaisses metamorfisados, de alto grau, associados a ortogranulitos e rochas supracrustais granulitizadas e inseridas de maneira imbricada às rochas metassedimentares do Grupo Araxá.

b) Coberturas Laterítico-Detríticas

Estas unidades recobrem o Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu na área de estudo do campus da UEG. São rochas do Terciário-Quaternário, observadas em superfícies de topos aplainados, onde se observa processos de lateritização.

São observadas nessas unidades latossolos vermelhos, de textura areno-argilosa onde há predominância de minerais de caulinita, gibbsita e goethita. Estes perfis lateríticos são considerados maduros a imaturos, contendo fragmentos de quartzo angulosos na parte superior destes. Apresentando uma maturidade alta pode-se observar horizontes mosqueados, ferruginosos de aspecto psolítico e crosta ferruginosa.

Aspectos Geomorfológicos do Distrito Federal

Segundo Martins (2004) o relevo do Distrito Federal está dividido em treze (13) unidades geomorfológicas, distribuídas basicamente em três (3) Macrounidades da paisagem: Regiões de Chapadas, Área de Dissecação Intermediária e Região Dissecada de Vale.

a) Região de Chapada – esta macrounidade ocupa cerca de 34% do território do Distrito Federal; Possui uma topografia plana a plano-ondulada, com altitudes de cerca de 1000 m ou mais. Este tipo de relevo se desenvolve em praticamente todos os litotipos descritos nos aspectos geológicos: quartzitos (Chapadas da Contagem, Brasília e Piripau), ardósias, filitos e micaxistos (Chapadas Divisoras São Bartolomeu-Preto e Descoberto-Alagado). Normalmente se formam perfis constituídos por couraças vesiculares/psolíticas e latossolos;

b) Área de Dissecação Intermediária – esta macrounidade ocupa cerca de 31% do território do Distrito Federal; São regiões onde ocorrem fenômenos de dissecação fraca do relevo, na qual são drenados por pequenos córregos, moldando rochas como ardósias, filitos e quartzitos da Depressão Paranoá e Vale do Rio Preto. Nas regiões onde ocorrem interflúvios podem ocorrer as formações de couraças e latossolos e fragmentos de quartzo;

c) Região Dissecada de Vale – esta macrounidade compreende cerca de 35% do território do Distrito Federal e são observados nas depressões das drenagens de maior porte no território: curso superior do Rio Maranhão, alto curso do Rio São Bartolomeu, curso superior do Rio Descoberto, alto curso do Rio Descoberto, curso superior do Rio Descoberto e alto curso do Rio Alagado.

Os perfis de solo abordados neste trabalho compreendem as regiões das macrounidades 1 e 2, sendo que os perfis Lago Sul 1 e 2 são provenientes da Região de Chapadas e os demais das Áreas de Dissecação Intermediárias.

Aspectos Geomorfológicos da região de Anápolis-GO

Segundo Nascimento (1991) a unidade de relevo representativa do perfil da do campus de Anápolis UEG (BR 153) compreende o denominado Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba. No local de estudo, classificado como de relevos elevados, com 1000 m a 1200 m, ocorrem topos truncados ou superfícies elevadas conservadas, abrangendo litologias diversas e indicando a ação de processos erosivos mecânicos sob climas severos (teoria da pediplanação).

3. METODOLOGIA

3.1. Perfis Selecionados

Para a escolha dos perfis analisados objetivou manter algumas características geológicas e do relevo que se apresentassem em comum. Martins (2000) definiu em seu trabalho a localização/coleta de seus perfis baseado na distribuição da compartimentação geomorfológica do Distrito Federal. Utilizando-se dos mesmos princípios e em consequência da localização dos perfis, atribuiu-se a metodologia aos perfis do Distrito Federal e ao perfil do campus da UEG em Anápolis-GO (BR 153). Basicamente os perfis do Distrito Federal são representativos de rochas metapelíticas/psamíticas do Grupo Paranoá. Freitas-Silva & Campos (1998) demonstram que, embora façam parte do mesmo arcabouço geológico, compreendem a formação de diferentes solos que fazem parte dos regolitos que compõem estes e as coberturas lateríticas da região.

Em Anápolis, o perfil estudado se situa em uma área do campus da Universidade Estadual de Goiás – UEG no qual é caracterizado como uma região onde predomina crostas lateríticas derivadas à partir da associação de granulitos (rochas básicas e ultrabásicas metamorfisadas) do Complexo Uruaçu (“Raiz do Arco Magmático de Goiás”). A região se destaca por pertencer a um relevo com topos aplainados, com cobertura laterítica no topo e latossolos vermelho-amarelos na base do relevo (sopé dos morros).

3.2. Amostragem

Foi executado um perfil por sondagem, totalizando quatro perfis, três deles por meio de SPT e um coletado via trado, nos quais coletou-se as amostras via amostrador. Nem todas as profundidades apresentaram uma recuperação significativa, o que levou a se optar pela coleta de todo o solo, incluindo o bico do amostrador para as amostras obtidas no SPT. As amostras foram etiquetadas e acomodadas em câmara úmida para a realização do teor de umidade e análises químico-mineralógicas.

Os demais perfis, correspondentes à trincheiras e taludes expostos, foram coletadas amostras deformadas e armazenadas em sacos plásticos.

Após a coleta dos materiais, parte destes foram encaminhados ao laboratório de Difração de Raios-X da Universidade de Brasília e outra parte para o laboratório de FURNAS, para

posterior preparação para o ensaio de DRX e aferição do pH em H₂O e KCl. Estes solos foram destorroados, homogeneizados e promovida a desagregação para que as amostras chegassem na textura de areia fina/silte.

A localização dos perfis Lago Sul 1 e 2 compreendem a posição, em coordenadas UTM (Unidade Transversa de Mercator) 23 K de, respectivamente as coordenadas 8246924 latitude sul e 0198595 longitude leste e; coordenadas 8248102 latitude sul e 0199804 longitude leste.

A localização do perfil Park Sul possui posição, em coordenadas UTM 23 K de 8248298 latitude Sul e 183554 longitude leste.

A localização do perfil Torre Digital de Tv possui posição, em coordenadas UTM 23 K de 8261132 latitude Sul e 198974 longitude leste.

As amostras retiradas de um talude exposto em uma obra de um restaurante as margens do Lago Sul, denominadas Clube do Exército possuem posição, em coordenadas UTM 23 K de 8249006 latitude sul e 0193621 longitude leste.

Amostras retiradas do talude exposto da obra de Ligação Torto-Colorado possuem posição em coordenadas UTM 23 K de 8262224 latitude sul e 190918 longitude leste.

Amostras retiradas do campus da UEG Anápolis-GO, dentro de trincheiras executadas para ensaios geofísicos possuem posição em coordenadas UTM 22K de 8187996 latitude sul e 719372 longitude leste.

A Figura 3.1 demonstra os pontos de coleta de amostras associados às litologias do Grupo Paranoá no Distrito Federal, no quais os perfis Lago Sul 1 e 2 pertencem à Unidade Metarritmito Arenoso; Os perfis Park Sul e Clube do Exército à Unidade Ardósia e; O perfil Ligação Torto-Colorado ao contato entre as Unidades Ardósia e Metassiltito Argiloso:

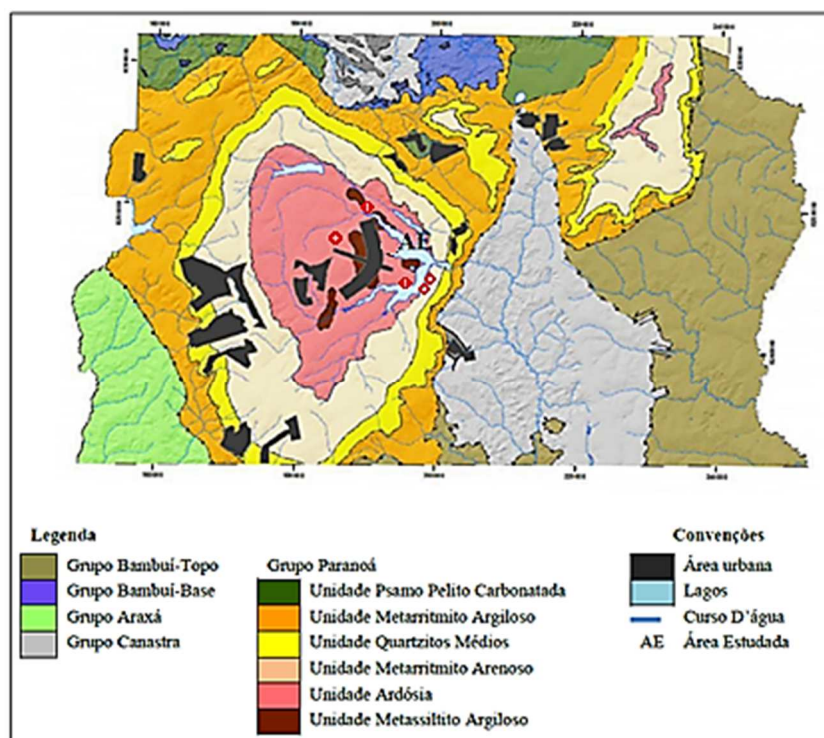


Figura 3.1. Mapa Geológico Simplificado Distrito Federal. Freitas-Silva (1995), modificado por Amaral (2017). Áreas Amostradas em forma de pontos vermelhos.

3.3. Descrição dos Solos Amostrados

Parque Bernardo Sayão – Lago Sul – Brasília-DF

Os dois primeiros perfis considerados neste estudo foram coletados no Parque Bernardo Sayão, no Lago Sul, entre as Quadras QI 27 e QI 29. Tratam-se de perfis bastante interessantes e de grande importância pois encontravam-se o mais próximos possíveis da condição natural de evolução dos solos, com pouca interferência antrópica. Dessa forma, estes foram selecionados para execução de todos os ensaios previstos para esta dissertação. (Figura 3.2).

As amostras foram coletadas durante ensaio SPT, até o limite do impenetrável; Em função da irregularidade do regolito e da localização geomorfológica de cada ponto amostrado, as sondagens apresentam profundidades distintas entre si: O perfil Lago Sul 1 – SPT-01 possui sete (7) metros de profundidade e; o perfil Lago Sul 2 – SPT-02 possui treze (13) metros de profundidade; ambas se aproximando do saprólito da rocha de origem. É importante salientar que há uma distinção em termos de intemperização dos perfis Lago Sul 1 e 2 devido a localização do primeiro encontrar-se relativamente próximo ao bordo de chapada, ocasionando comportamentos distintos entre estes.



Figura 3.2. Localização e amostragem dos perfis Lago Sul 1 e 2 por meio de sondagem SPT. A) Placa de Identificação do Parque Bernardo Sayão; B), C) recuperação de solo pelo amostrador SPT; D) recuperação de solo pelo amostrador SPT no perfil Lago Sul 1 a aproximadamente 4m de profundidade, com aparecimento do NA.

Os solos do Perfil Lago Sul 1 foram descritos segundo sua textura e observação com lupa de aumento de 10X. Abaixo um descritivo por profundidade:

Tabela 3-1. Descrição textural do Perfil Lago Sul 1.

Profundidade (m)	Classificação Táctil Visual das Amostras
1	Solo de textura argilosa, marrom, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
2	Solo de textura argilo-arenosa, de coloração vermelha, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
3	Solo de Textura argilosa, com presença de pedregulhos, de coloração vermelha e com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
4	Solo com textura areno-argilosa, de coloração variegada e com a presença de pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
5	Solo de textura areno-siltosa a argilosa, de coloração variegada, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
6	Solo de textura areno-siltosa a argilosa, de coloração variegada, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
7	Solo de textura arenosa, variegado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados.

Os solos do Perfil Lago Sul 2 foram descritos segundo sua textura e observação com lupa de aumento de 10X. Abaixo um descritivo por profundidade:

Tabela 3-2. Descrição textural do Perfil Lago Sul 2.

Profundidade (m)	Classificação Táctil Visual das Amostras
1	Solo de textura argilosa, marrom, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
2	Solo de textura argilo-arenosa, de coloração vermelha amarelado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
3	Solo de textura argilo-arenosa, de coloração vermelha amarelado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
4	Solo de textura argilo-arenosa, de coloração vermelha amarelado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
5	Solo de textura argilo-arenosa, de coloração vermelha amarelado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
6	Solo de textura argilo-arenosa, de coloração vermelha amarelado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
7	Solo de textura argilo-arenosa, de coloração vermelha amarelado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
8	Solo de textura argilo-arenosa, de coloração vermelha amarelado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
9	Solo de textura argilo-arenosa, de coloração vermelha amarelado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
10	Solo de textura argilo-arenosa, de coloração vermelha amarelado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
11	Solo de textura argilo-arenosa, de coloração vermelha amarelado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
12	Solo de textura areno-argilosa, variegado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
13	Solo de textura arenosa, variegado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados.

Obra Park Sul

O solo coletado no perfil Park Sul é proveniente de uma obra já em andamento, nas proximidades da rodovia Épia/BR 040 e rodoviária Interestadual de Brasília. Num total de 20 m de profundidade, o perfil foi descrito e analisado segundo suas diferenças texturais. As amostras foram coletadas durante ensaio SPT, até o limite do impenetrável. (Tabela 3-3).

Tabela 3-3. Descrição textural do Perfil Obra Park Sul.

Profundidade (m)	Classificação Táctil Visual das Amostras
1	Solo de textura argilosa, marrom, com resíduos de construção civil;
4	Solo de textura argilo-siltosa, de coloração vermelha;
8	Solo de textura argilo-arenosa, de coloração vermelha, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
9	Solo de textura silto-argilosa, variegado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
10	Solo de textura silto-argilosa, variegado;
12	Solo de textura silto-argilosa, de coloração vermelha;
14	Solo de textura silto-argilosa, de coloração vermelha, com aparentes pequenos veios de quartzo (saprólito);
16	Solo de textura silto-argilosa, de coloração vermelha, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
18	Solo de textura silto-argilosa, variegado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados;
20	Solo de textura silto-argilosa, de coloração vermelha, com pequenos grãos de quartzo angulosos a subarredondados.

Perfil Torre de Digital de TV

O solo do Perfil Torre Digital de Tv foi coletado nas proximidades da rodovia DF-001, distando pouco mais de um quilômetro do referido monumento. Coletadas a trado, o perfil possui cerca de 8 m de profundidade. Trata-se de um latossolo vermelho (LV), com textura argilosa a muito argilosa, distrófico. Estes solos são classificados de forma geral como arenosos a siltosos, com presença de agregados esféricos a semi-esféricos.

Orla do Lago, Clube do Exército – Lago Sul – Brasília-DF

O solo coletado no perfil Clube do Exército é proveniente de um talude recém aberto de uma obra já em andamento, na orla do lago. Foram coletadas três profundidades de solo, 1,0 m, 2,0 m e 3,0 m. Amostras de superfície não foram coletadas devido a presença de agregados de construção civil. (Figura 3.3 e Tabela 3-4).

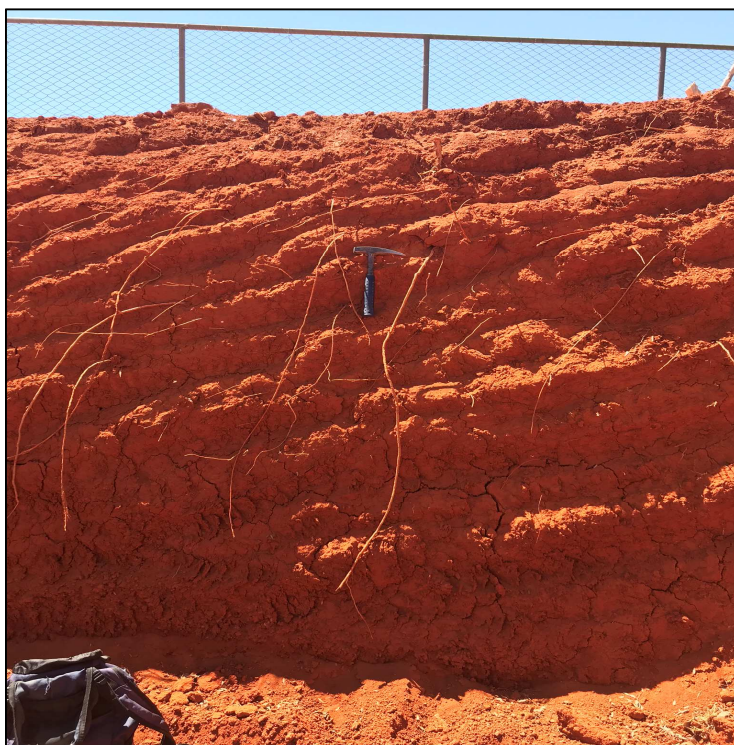


Figura 3.3. Aspecto do perfil, com cerca de 2m de profundidade do talude de obra sendo executada nas proximidades do Clube do Exército.

Tabela 3-4. Descrição textural do Perfil Obra Clube do Exército – Lago Sul.

Profundidade (m)	Classificação Tátil Visual das Amostras
1	Solo com textura silto-arenosa a argilosa, vermelho amarelado, com presença de raízes;
2	Solo de textura areno-siltoso, vermelho amarelado, com pequenos grãos de quartzo angulosos a semi-arredondos;
3	Solo de textura silto-arenosa (areia fina) a argilosa, com presença de macroagregados, vermelho amarelado, esbranquiçado;

Obra de Ligação Torto-Colorado

O solo coletado na obra do trecho de triagem norte é proveniente de um talude recém-aberto de uma obra em andamento, às margens da rodovia Épia Norte. Foram coletadas três profundidade de solo, 1,0 m, 2,0 m e 3,0 m. (Figura 3.4 e Tabela 3-5).



Figura 3.4. Aspecto do perfil no talude da obra de ligação Torto-Colorado. A) Perfil visivelmente alterado/solo saprolítico; B) Fragmentos de metapelitos no perfil de alteração.

Tabela 3-5. Descrição Textural do Perfil na Obra de Ligação Torto-Colorado.

Profundidade (m)	Classificação Táctil Visual das Amostras
1	Solo com textura silto-arenosa a argilosa, vermelho amarelado a esbranquiçado, com visíveis veios de quartzo e presença de zoneamentos de caulinita;
2	Solo com textura silto-arenosa a argilosa, vermelho amarelado, com visíveis veios de quartzo e presença de zoneamentos de caulinita;
3	Solo com textura silto-arenosa a argilosa, vermelho amarelado a esbranquiçado, com fragmentos de rocha metapelítica.

Campus da Universidade Estadual de Goiás – UEG – Anápolis-GO

O solo coletado no campus da Universidade Estadual de Goiás – UEG, Anápolis-GO, não segue o mesmo padrão de coleta dos demais perfis.

São solos provenientes de um solo laterítico, mapeado como cobertura laterítica a qual apresenta horizonte plíntico, característico para denominar este solo como plintossolo.

O foco nesta coleta está baseado na diferença entre os horizontes de solo. Foram abertas trincheiras no campus para que os alunos de graduação do Curso de Engenharia Civil pudessem realizar suas pesquisas e executar ensaios geofísicos e classificar o solo. Os horizontes escolhidos para as análises são os horizontes A (com cerca de 0,5 m), B (com cerca de 0,5 m) e Bw (com cerca de 1,0 m) (Figura 3.5), além do horizonte Bw do latossolo da base do perfil.

O horizonte A é descrito como de textura arenosa a siltosa, de coloração amarelo-acinzentado, com presença de agregações pequenas ou grandes agregações, contendo quartzo em seu interior.

O horizonte B é descrito como de textura arenosa a siltosa (areia fina), de coloração amarelo-acinzentado, com pequenas agregações e de aspecto homogêneo.

O horizonte Bw é descrito como de textura arenosa a siltosa, de coloração amarelo-acinzentado, com presença de agregações pequenas e isoladas.

O horizonte Bw Latossolo é descrito como de textura argilo-arenosa, de coloração vermelha.



Figura 3.5. Parede da trincheira Perfil UEG – Anápolis-GO.

3.4. Análises Físicas

3.4.1 Peso Específico dos Grãos

O peso específico dos grãos normalmente é obtido através do ensaio regido pela norma Brasileira NBR 6508/16, no entanto, para este estudo a obtenção desses resultados se deu pela utilização do pentapicnômetro da marca Quantachrome do Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília. Os resultados permitiram obter a densidade real dos solos estudados para os perfis Lago Sul 1 e 2. (Figura 3.6).



Figura 3.6. Pentapicnômetro da marca Quantachrome do Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília.

3.4.2 Análises Físicas por Meio da Utilização de Lupa

Para observar a estrutura dos solos e principalmente a composição mineral do interior dos agregados utilizou-se uma lupa eletrônica da marca AVANTSCOPE, na qual foram obtidas imagens dos agregados dos perfis Lago Sul e UEG campus de Anápolis, procedendo com aumentos de 50X, 100X e 200X e; 50X e 100X respectivamente.

3.4.3 Determinação da Umidade

Para a obtenção dos teores de umidade dos perfis Lago Sul 1 e 2 foram executados ensaios segundo a Norma Brasileira NBR 6457/16.

3.5. Análises Químicas

3.5.1 Fluorescência de Raios-X (FRX)

Os ensaios de fluorescência de raios-x visam a obtenção de dados para análises de elementos maiores e menores, metálicos ou não, tanto em amostras líquidas quanto sólidas. Os ensaios foram realizados pelo laboratório de química do Centro Tecnológico de Engenharia Civil de FURNAS . A técnica permite realizar uma determinação dos constituintes das amostras em percentual de óxidos mais estáveis, presentes nos minerais tais como Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , Na_2O , K_2O , CaO e MgO , ensaiados em um espectômetro de fluorescência de raios-x. As amostras para realização destes ensaios primeiramente são secas em estufa ($100^{\circ}C$) por 24hs;

após a secagem o material deve ser quarteado, separando-se a amostra que passará por processo de moagem; a partir do material que passou pela moagem serão confeccionadas pastilhas prensadas que em seguida são submetidas à mufla para realização de ensaio de perda ao fogo. Após este processo, finalmente é executado o ensaio por meio do espectômetro de fluorescência de raios-x.

O princípio atrelado a este ensaio se baseia da absorção de raios-x, provocada a partir da ionização interna dos átomos, na qual resultará em radiações características responsáveis por identificar cada tipo de óxido constituinte da amostra.

3.5.2 Determinação do pH em H₂O e KCl

A determinação do pH, no qual é considerado um método potenciométrico, mede a concentração ativa ou efetiva de hidrogênio. O ensaio é realizado por meio de pH-metro contendo um eletrodo de vidro (eletrodo de referência Ag/AgCl).

O princípio do ensaio se baseia na concentração de íons de hidrogênio contidos na solução de solo que entrará em contato com o eletrodo, gerando um potencial. Tal potencial será aferido e indicará certas concentrações de hidrogênio na solução de solo, resultando em valores de pH.

Para a determinação do pH tanto em água quanto em KCl foram utilizados água destilada e KCl de concentração 1 molL⁻¹ utilizando-se:

- a) Becker de vidro de 50 ml no qual foram colocados o equivalente de 10ml de solo e 25ml de água destilada, agitando-se com bastão de vidro ou agitador por 5 minutos e;
- b) Becker de vidro de 50 ml no qual foram colocados o equivalente de 10ml de solo e 25ml de KCl 1 molL⁻¹, agitando-se com bastão de vidro ou agitador por 5 minutos.

Após repouso por cerca de 1 hora foram realizadas as medições com pH-metro.

Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Difração de Raios-X do Instituto de Geociências da UnB.

3.6. Análises Mineralógicas

3.6.1 Introdução

Este item da pesquisa compreende a metodologia de preparação de amostras, empregadas no ensaio de difração de raios-x (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os ensaios foram executados em dois laboratórios distintos, sendo que as primeiras análises foram realizadas no Laboratório do Centro Tecnológico de Engenharia Civil de FURNAS, localizado em Aparecida de Goiânia – GO (DRX e MEV) e, posteriormente no Laboratório de Difração de Raios-X do Instituto de Geociências da UnB (DRX), localizado em Brasília-DF.

3.6.2 Difração de Raios-X

A preparação das amostras no Laboratório de FURNAS para o ensaio de raios-x se deu submetendo-as a secagem em estufa e secagem ao ar para posteriores separações das amostras integrais para todas as frações granulométricas e para a fração argila. (preparações A e B).

A) Preparação para Análise Integral: A preparação para a análise integral, também conhecida como método do pó, permite a análise das frações areia e silte, de forma a não orientar os minerais. As amostras são secas e na sequência destorroadas, até que o solo (100% do deste) passe na peneira #200 (0,074 mm). De forma subsequente as amostras são acondicionadas em porta amostras, realizando-se leves pressões com o auxílio de lâminas de vidro, para acomodação das amostras e para que não ocorra uma orientação dos minerais presentes nas mesmas.

B) Preparação para Fração Argilosa: Para a preparação da fração argilosa as amostras são transferidas para outro recipiente, no qual é adicionado uma solução aquosa de hexametáfosfato de sódio (20 ml de solução para 70g de solo). Após este preparo, a mistura permanece em repouso por 24hs e, após este período, a mesma é vertida para outro recipiente no qual será removido todo o material com o uso de água destilada; Após este processo a mistura é levada a um dispersor no qual a amostra irá permanecer por 15 minutos para a liberação da fração argilosa. Na sequência a mistura é transferida para uma proveta na qual será removido todo material aderido ao recipiente anterior com o auxílio de água destilada. A proveta então é fechada e passa por processo de agitação por cerca de 1 minuto; sequencialmente após a agitação, a amostra é deixada em repouso para que ocorra a decantação da amostra baseado na Lei de Stokes.

Cessado o processo de decantação serão preparadas lâminas que conterão a fração argila, a partir de material proveniente da proveta – neste momento é realizado o procedimento de orientação por esfregação (transferência do líquido sobrenadante para tubos de ensaio que serão submetidos a centrífuga por cerca de 15 minutos a 5500 rpm, onde o material decantado será raspado e espalhado na lâmina de vidro – promovendo a orientação das partículas com movimentos repetidos em uma única direção e com certa pressão).

Em ambos os procedimentos detalhados no item 2 necessita-se que as amostras sejam secas ao ar, para que, após este procedimento, sejam levadas ao difratômetro.

Os procedimentos acima compreendem a preparação apenas para a análise total e da fração argila, no entanto, para se identificar determinados tipos de argilominerais é necessário realizar outros procedimentos como: glicolagem (para argilas da família das esmectitas, vermiculitas por exemplo) e calcinação (como para a caulinita). A glicolagem envolve submeter a lâmina a etileno-glicol por cerca de 12 horas, para que a substância penetre nas intercamadas dos minerais 2:1 expansivos. Já a calcinação envolve a utilização de mufla com temperatura de 550°C. Nesta temperatura ocorre a destruição da caulinita permitindo diferenciar o seu pico do segundo pico da clorita. onde se verifica a perda intercamada de determinados minerais, promovendo um diminuição do espaço interplanar basal.

Dessa forma, as lâminas após a realização dos tratamentos, juntamente com as sem tratamento, foram levadas para o difratômetro de raios X para proceder às análises.

A preparação de amostras no Laboratório de Difração de Raios-x do Instituto de Geociências da UnB para difratometria de raios-x envolve etapas que compreendem a separação da fração argila (lâminas orientadas) e a consideração da fração integral areia, silte e argila (diâmetro equivalente $\leq 2\text{mm}$) para as análises totais. Estes procedimentos foram realizados tanto para amostras de solos dos perfis do Distrito Federal (Park Sul, Clube do Exército e Obra de Ligação Torto-Colorado) quanto para amostras do perfil da UEG – Anápolis-GO. (preparações C e D).

C) Preparação para análise integral: A preparação das amostras para a análise integral envolveu processos de fragmentação e moagem das amostras. Estas foram quebradas com auxílio de marretas ou martelos (amostras de concreções lateríticas) e posteriormente submetidas à moagem manual em gral de ágata, até que 100% do

material passasse na peneira #200 (0,074 mm). Após estes procedimentos, a preparação segue a mesma sequência procedimental descrita para o laboratório de FURNAS, promovendo o acondicionamento das amostras em lâminas de vidro com leve compactação de modo a se evitar a orientação das partículas, em especial as de argila.

- D) Preparação para análise da Fração Argilosa: Neste caso foram separados 10 g de solo proveniente dos processos de fragmentação e a ele adicionado 150 ml de água destilada, realizando-se um processo de agitação da mistura por 10 minutos – este processo irá resultar da dispersão das partículas; no caso dos solos lateríticos, nos quais pode haver a presença de argila tanto na fração silte como areia fina, é necessário o emprego de defloculante e/ou de ultrassom, sendo a última utilizada nas amostras desse trabalho. Após a agitação, as amostras serão transferidas para três (3) tubos falcon de 50 ml cada, no qual deve-se proceder com a identificação dessas amostras e posterior separação de fases. Os tubos serão acomodados em centrífuga para a realização dessa etapa.

A separação das frações (grossa e fina) envolvem a utilização de duas fases de centrifugação: a primeira fase envolve centrifugação a 750 rpm durante 7 minutos (à temperatura de 30°C); assim, o líquido sobrenadante, com material em suspensão (fração argila), será transferido para um becker de capacidade de 50 ml e após este procedimento será transferido novamente para o tubo falcon (devidamente higienizado), após o descarte da fração grossa. Em sequência será promovida a decantação da fração argila.

A decantação da fração argila envolve a execução de outro processo de centrifugação, agora a 3000 rpm por cerca de 30 minutos, a 30°C. Caso ocorram amostras com um quantitativo considerável de silte, promovendo a não liberação da fração argila por estarem em estado floculado/agregado, estas, após o primeiro processo de centrifugação, deverão ser submetidas a ultrassom. Esta observação é evidenciada em casos onde o líquido sobrenadante parece limpo ou que não contenha material em suspensão. Assim descarta-se o líquido sobrenadante e transfere-se a amostra para outro becker no qual se adiciona água destilada ao tubo falcon e leva-se a amostra ao ultrassom por 10 minutos. Após esse processo, a amostra é submetida aos dois tipos de centrifugação.

Após estes procedimentos de preparação as lâminas são preparadas de forma semelhante à do laboratório de FURNAS por meio do uso da técnica do esfregão incluindo os devidos tratamentos e posterior realização de ensaio de DRX.

Os difratômetros utilizados nos dois laboratórios, o primeiro, da marca Siemens, foi utilizado no Laboratório de FURNAS e o segundo, da marca Rigaku no Laboratório de Difractometria de Raios-X do Instituto de Geociências da UnB, ambos controlados por softwares instalados em computadores exclusivos para os mesmos. Após os ensaios os laboratórios promoveram um tratamento dos dados resultante da procura automática por picos inerentes às espécies minerais, suavização de curva, correção de background, cálculo da largura a meia altura, identificação mineralógica e análise semi-quantitativa e qualitativa).

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A técnica permite se obter imagens de alta resolução da superfície dos materiais sólidos, gerando imagens de aparência tridimensional e são utilizadas para se obter a estrutura e topografia superficial das amostras. O MEV permite atingir faixas de ampliação de 30 X até 50.000 X de acordo com as necessidades de cada estudo e das condições de superfície da amostra.

Para a análise por MEV, optou-se por utilizar a técnica de baixo vácuo (LVSTD) por não ser destrutível e sendo que para amostras estruturalmente mais estáveis optou-se pelo uso da técnica de alto vácuo (HVSTD), promovendo-se, neste caso, a metalização prévia das amostras. As amostras ensaiadas compreendem as agregações/courças dos perfis Lago Sul 1 e Campus da UEG-Anápolis-GO e alguns torrões de solo.

Foi realizada a separação dos torrões os quais foram quebrados em planos espelhados, para posterior fixação nas placas e a quebra de alguns agregados/courças em iguais condições, lembrando que o ideal seriam amostras indeformadas para as quais se pudesse estabelecer a orientação do plano a ser observado. Houve a aplicação de uma espécie de “tinta de condução” nas arestas dos torrões para promover uma melhor condução elétrica nas amostras. As Figuras 3.7 a 3.9 a seguir demonstram as formas de fixação das amostras sendo, respectivamente, duas em estado natural para a técnica de baixo vácuo e uma metalizada para a técnica de alto vácuo,



Figura 3.7. Fixação das amostras de torrões de solo no porta-amostras por meio de cola.

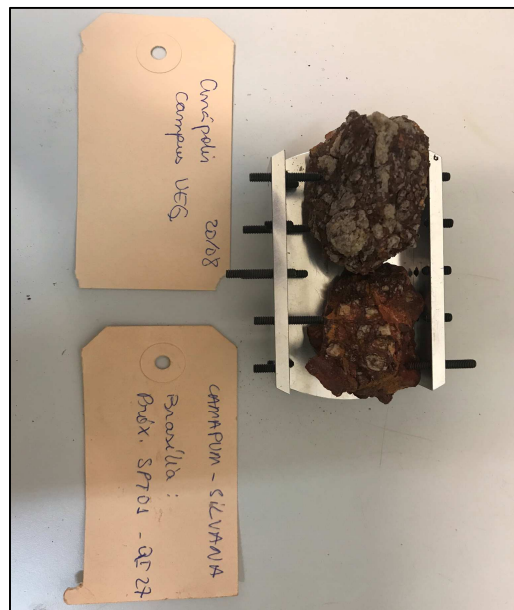


Figura 3.8. Fixação de Agregações em porta amostras por meio de pinos de fixação.



Figura 3.9. Amostra UEG-Anápolis fixada no porta amostras e em seguida metalizada para uso da técnica de alto vácuo.

Análise EDS

A análise EDS (Espectrometria de Energia Dispersiva), realizada enquanto a amostra encontra-se acondicionada no microscópio eletrônico, tem por objetivo determinar a composição química da amostra segundo os elementos da tabela periódica. A técnica permite analisar a química de microestruturas e executar uma identificação química das partículas/micropartículas na qual os raios do sensor “penetram na amostra”, logo abaixo de sua superfície, indicando a composição química desta, em pontos ou regiões selecionadas.

Esta técnica foi aplicada nas amostras dos perfis Lago Sul e UEG campus de Anápolis (BR 153) para uma identificação precisa dos cristais de quartzo, entre outros.

Análise BSE

Ainda com a amostra no microscópio eletrônico (MEV) pode ser realizada uma análise por meio do sensor de elétrons retroespalhados - BSE, detectando diferenças composicionais da região ionizada do mineral. Esta técnica evidencia o contraste de peso entre os minerais, podendo-se identificá-los com maior facilidade.

Esta análise por meio da técnica “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstra o contraste de peso entre os minerais, com a utilização de sensor EDS permitindo obter uma imagem que mostra a distribuição dos pesos atômicos por contraste de imagem.

Esta técnica foi aplicada nas amostras dos perfis Lago Sul e UEG campus de Anápolis (BR 153) para uma identificação dos elementos químicos constituintes do interior e partes externas dos agregados e confirmação da presença de minerais de quartzo no interior do agregado.

4. RESULTADOS DE DISCUSSÕES PARA OS PERFIS ESTUDADOS

4.1 Análises Físicas

Para as análises desta pesquisa, foram utilizados sete (7) perfis pedológicos, sendo três provenientes de sondagens SPT, mais profundos, um (1) de sondagem a trado, dois (2) de taludes abertos de duas obras no Distrito Federal e um (1) da abertura de uma trincheira no campus da UEG em Anápolis (acrescido de uma amostra de latossolo da base do relevo), todas as amostras deformadas.

Os solos encontrados nos dois primeiros perfis amostrados, Lago Sul 1 e 2, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa, 2018) respectivamente a Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho; e nos demais perfis do Distrito Federal como Latossolos Vermelhos. Já nos solos coletados no perfil UEG campus de Anápolis (BR 153) o solo é classificado como Plintossolo.

A descrição textural desses solos foi apresentada no item 3.3 Descrição das Amostras, constante no capítulo 3 - Materiais e Métodos.

4.1.1 Peso Específico dos Grãos

Os ensaios de massa específica dos grãos foram realizados apenas para os perfis Lago Sul 1 e Torre de Tv Digital, dadas as particularidades geomorfológicas das áreas que envolvem os dois perfis sendo o perfil 1 localizado mais próximo do bordo do platô e o perfil 2 em seu interior.

A partir dos dados obtidos neste ensaio, pôde-se observar a variação da massa específica dos grãos das amostras ao longo dos perfis de solo 1 (Figura 4.1a) e 2 (Figura 4.1b) e Torre de Tv (Figura 4.2). Embora os valores nos dois perfis não variem de modo muito significativo, situando-se predominantemente entre 2,7 e 2,9, observa-se na Figura 4.1a uma maior variação entre camadas apontando para maiores e menores concentrações de determinados minerais ao longo do perfil 1. Já o perfil 2 corresponde ao um perfil de intemperismos mais típico do cerrado com valores similares de massa específica dos grãos até a profundidade de 4 m passando a diminuir em seguida ao longo da profundidade. Os 4 m iniciais do perfil geralmente corresponde à zona mais ativa predominantemente rica em gibbsita e pobre em caulinita passando a primeira a diminuir e a segunda a aumentar a partir desta profundidade. Estes resultados indicam que os níveis e condições de intemperismo dos

perfis afetam diretamente a massa específica dos grãos desses solos. Um comportamento semelhante ao Perfil Lago Sul 1 ocorre no Perfil Torre de TV Digital.

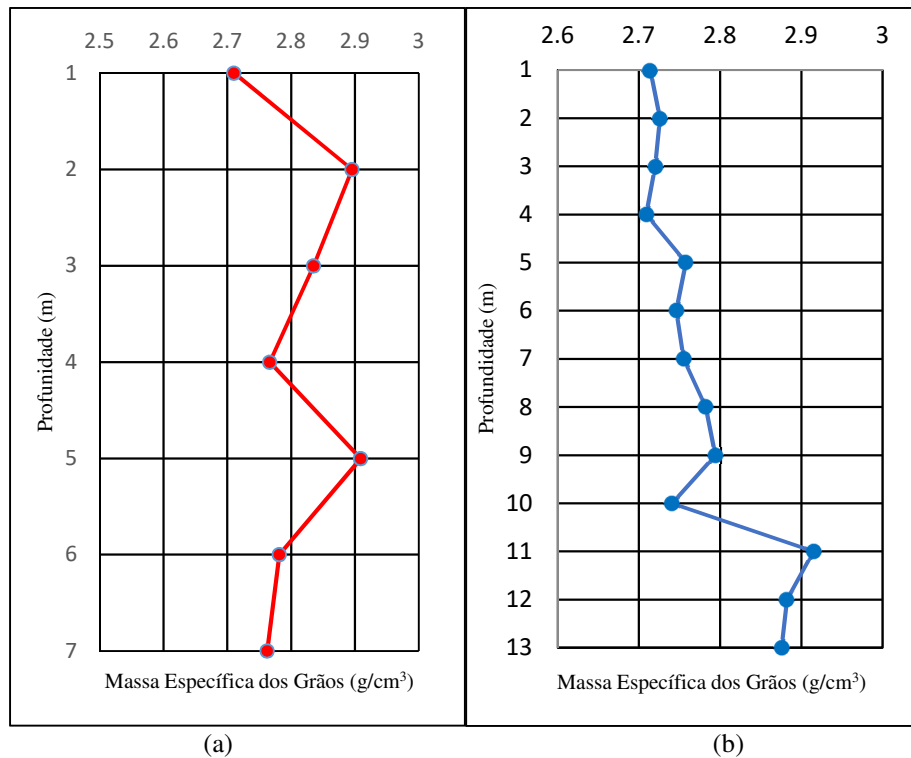


Figura 4.1. Massa específica dos grãos perfis de solo no - Lago Sul. a) Perfil 1; b) Perfil 2.

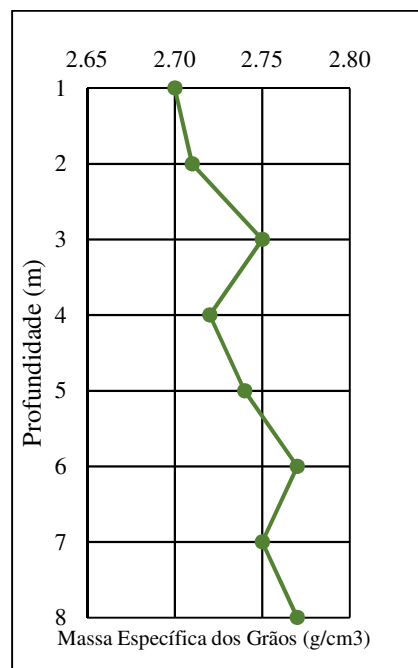


Figura 4.2. Massa específica dos grãos perfis de solo Torre de TV Digital.

Segundo Kiehl (1979), solos que apresentam valores de massa específica dos grãos em torno de $2,77 \text{ g/cm}^3$ a $2,88 \text{ g/cm}^3$ são solos já bastante intemperizados, apresentando percentuais de hematita/magnetita entre 9% e 17%, portanto observa-se que a presença desses minerais irá afetar diretamente a densidade desses solos. Seguindo esta linha de raciocínio, o perfil 2 aponta para zonas com maior e menor concentração de ferro ao longo da profundidade.

Nas Figuras 4.3 e 4.4 pode-se observar a relação entre o peso específico dos grãos em relação ao percentual de hematita/goethita e gibbsita onde é possível observar esta tendência entre estes minerais para o perfil Lago Sul 2.

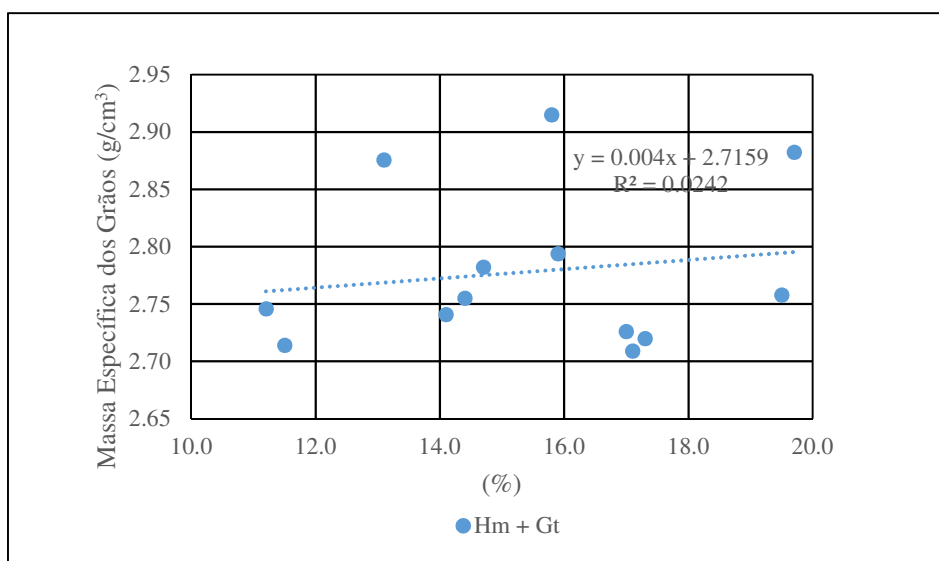


Figura 4.3. Relação entre densidade real do solo em função do percentual de hematita obtido pela semi-quantificação – Perfil Lago Sul 2.

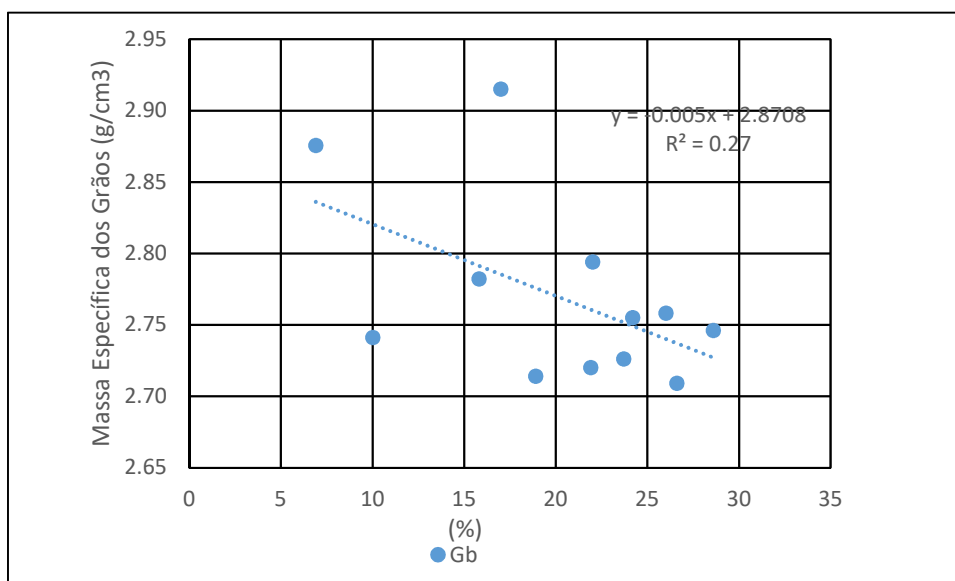


Figura 4.4. Relação entre densidade real do solo em função do percentual de gibbsita obtido pela semi-quantificação – Perfil Lago Sul 2.

Nas Figuras 4.5 e 4.6 pode-se observar a reação entre o peso específico dos grãos em relação ao percentual de hematita/goethita e gibbsita onde é possível observar esta tendência para estas análises no perfil Torre de TV Digital.

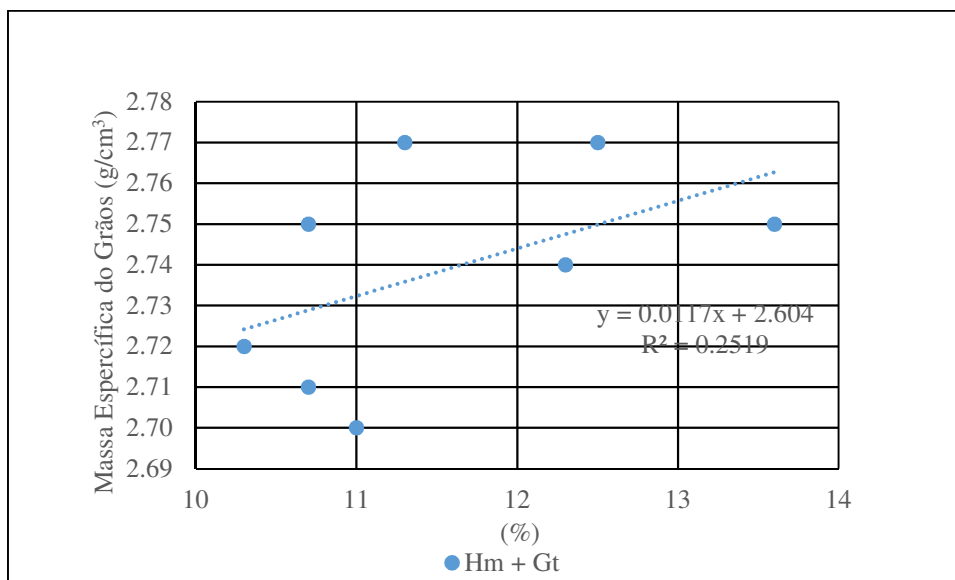


Figura 4.5. Relação entre densidade real do solo em função do percentual de hematita obtido pela semi-quantificação – Perfil Torre de TV Digital.

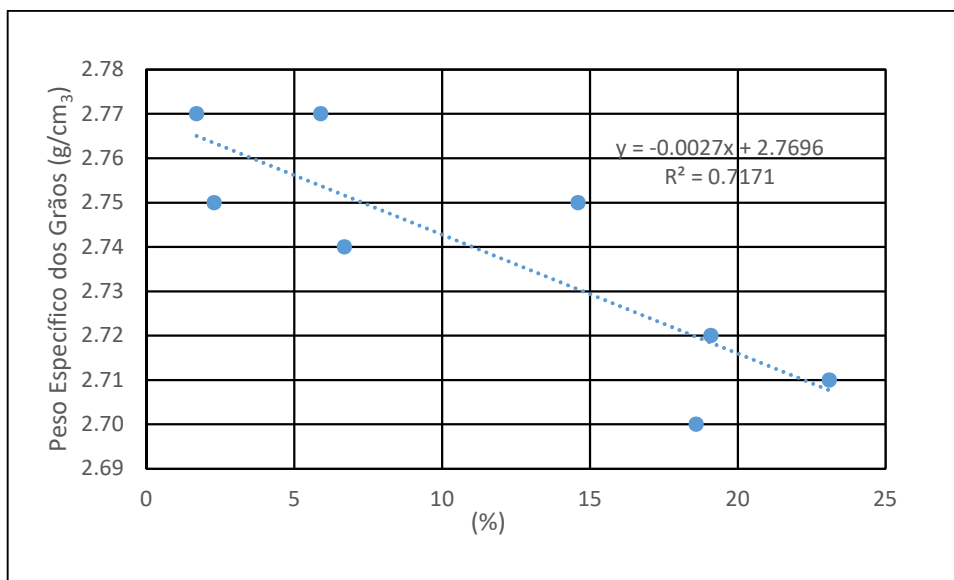


Figura 4.6. Relação entre densidade real do solo em função do percentual de gibbsita obtido pela semi-quantificação – Perfil Torre de TV Digital.

4.1.2 Umidade

A Figura 4.7 apresenta os resultados de teor de umidade obtidos para os perfis 1 e 2 do Lago Sul.

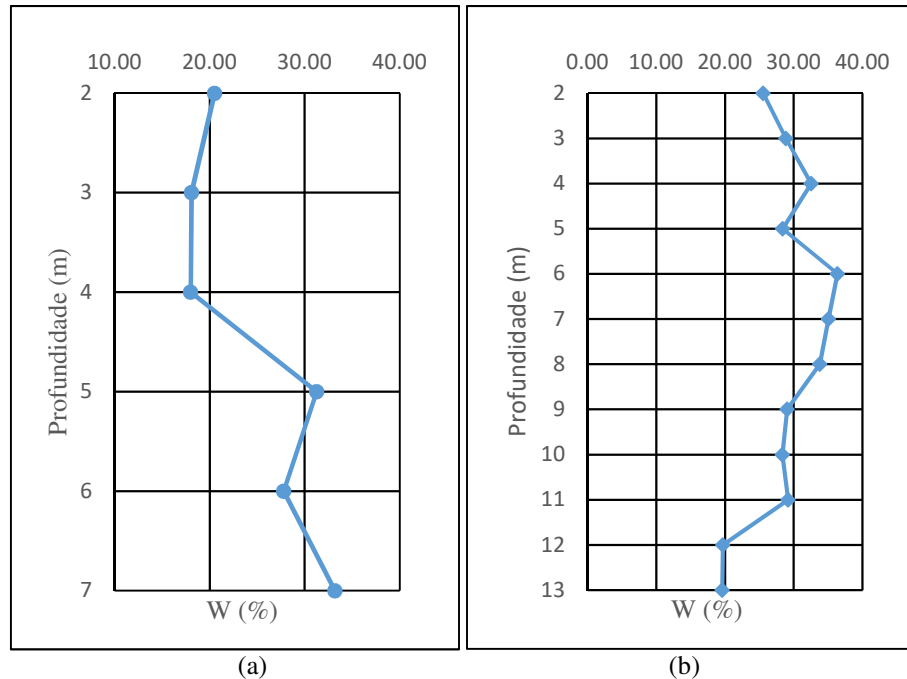


Figura 4.7. Perfil Lago Sul-1. Perfis de umidade Lago Sul. a) Perfil 1; b) Perfil 2.

O perfil Lago Sul 1, apresentou nível d'água próximo a quatro (4) metros de profundidade, ponto a partir do qual observa-se um ganho significativo de umidade passando de aproximadamente 20% para aproximadamente 30%. Já para o perfil Lago Sul 2 apesar do nível d'água não ser observado ele apresenta umidades superiores às observadas para o perfil 1 indicando a forte influência da intemperização do solo em sua umidade. Destaca-se que no perfil 2 o teor de umidade diminui a partir da profundidade de 12 m, ao se aproximar do saprólito da rocha de origem.

4.1.3 Análise Visual - LUPA

As análises visuais executadas com lupa eletrônica foram realizadas com aumentos de 50X, 100X e 200X para as amostras dos Perfis Lago Sul 1 e 2 e 50X e 100X para as amostras do Perfil da UEG campus de Anápolis-GO. O objetivo dessas análises era buscar informações visuais de caráter estrutural, de ocorrências minerais e do interior dos agregados, buscando-se um entendimento dos perfis.

a) Perfil Lago Sul 1: Morfologia Geral dos Agregados

A Figura 4.8 é representativa de um agregado retirado nas proximidades do perfil Lago Sul 1. Esta análise tem por objetivo ilustrar o arranjo desses agregados, observando-se a grande predominância de grãos de quartzo observados nos resultados de DRX que serão apresentados. Nota-se que mesmo obtendo um aumento de 200X o arranjo observado no interior do agregado continua demonstrando a característica de abundância de cristais de quartzo. Cabe lembrar que os grãos apresentam-se bastante angulosos e com tamanhos variados, desde cristais centimétricos a milimétricos, ou seja, não passaram por um processo de abrasão de superfície, o que torna pouco provável o seu transporte. Soma-se a isso o fato do perfil encontrar-se no topo do platô. Normalmente estes cristais estão imersos em matriz contendo oxi-hidróxidos de Fe e Al sendo as colorações mais avermelhadas relacionadas à presença de hematita e as mais amareladas a presença de goethita e gibbsita.

Voltando-se agora a análise para a hipótese de que o quartzo pode, pelo menos em parte, estar sendo formado pela liberação do silício na formação da caulinita e gibbsita, observa-se imagens, mas em especial nas B, C, E e F partículas de quartzo preenchidos por materiais com contornos bem definidos apontando para a possibilidade da formação de grãos de quartzo *in locu*. Este processo de formação se iniciaria pela presença dos compostos de silício em estado amorfo, portanto, com menor massa específica dos grãos, que ao passarem pelo processo de cristalização para formar o quartzo teria esta massa específica ampliada gerando espaço em torno do quartzo que seria progressivamente preenchido. Observa-se ainda que o preenchimento em torno do quartzo tem geralmente coloração distinta do restante da matriz o que reforça a hipótese levantada. É evidente que o grão de quartzo poderia originalmente se encontrar nesse estado, mas a hipótese levantada é algo que merece ser estudado.

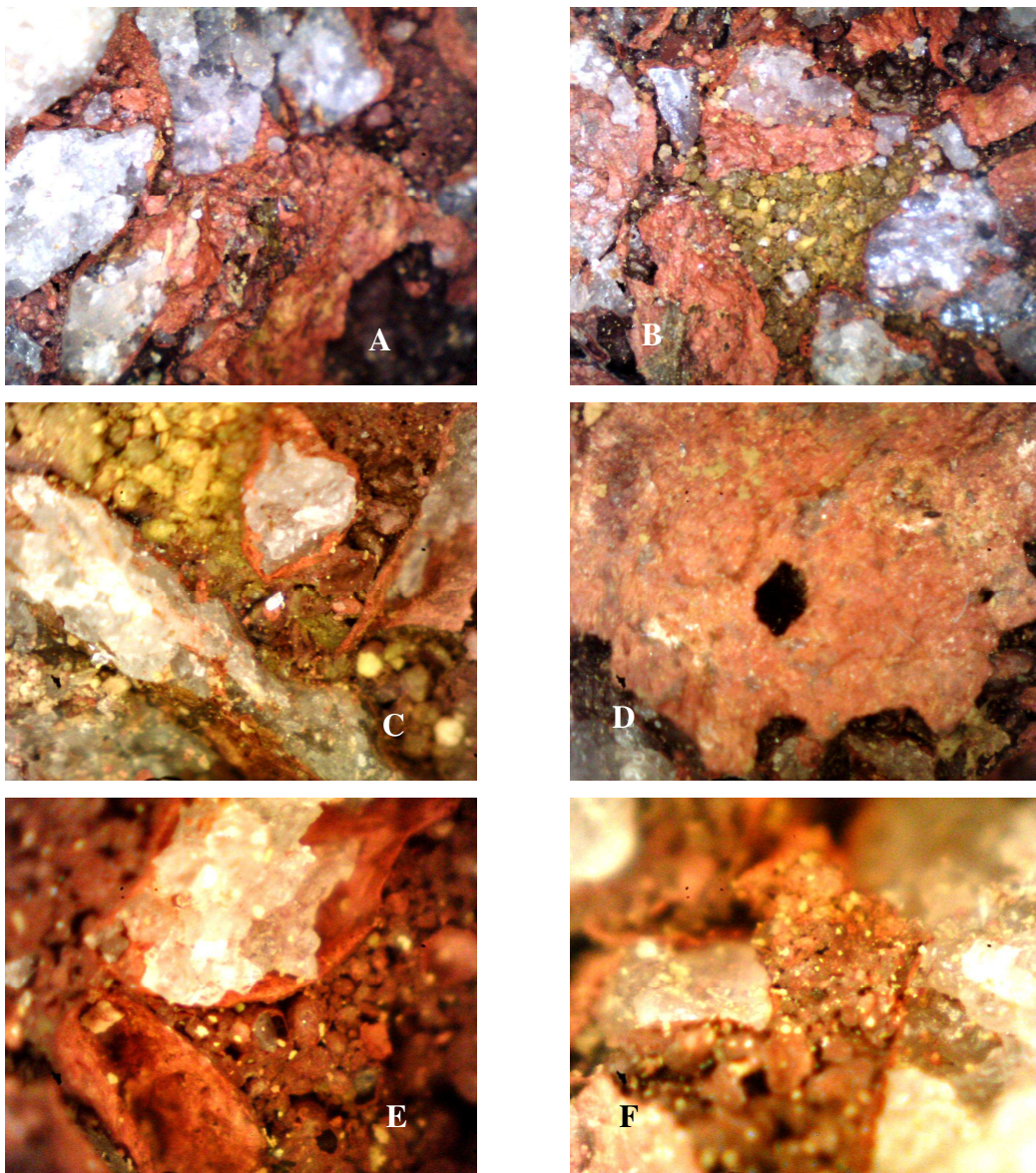


Figura 4.8. Imagem proveniente de Lupa Eletrônica em interior de agregados do perfil Lago Sul 1. A e B aumentos de 50X, C e D, aumentos de 100X e E e F, aumentos de 200X.

Corroborando com esta hipótese apresenta-se na Figura 4.9 duas imagens obtidas para duas jazidas do Distrito Federal (A3, aumento de 500 X e A4 aumento de 200 X) nas quais se observa grãos de quartzo livres no interior da matriz assim como cavidades antes preenchidas por quartzo e que se desprenderam quando da quebra das concreções lateríticas para que fossem observados os seus interiores. Estas imagens foram obtidas por Palocci *et al.* (1998) ao estudarem dois cascalhos lateríticos de Goiás e dois do Distrito Federal. Nas imagens do Perfil 1 estudado no âmbito desta dissertação estes vazios em torno do Quartzo teriam sido preenchidos. Aqui como naquele Perfil 1 os espaços em torno do quartzo, preenchidos ou não, seriam provenientes do aumento de densidade dos compostos de silício até a formação final do

quartzo. Por exemplo, a tridimita apresenta massa específica dos grãos igual a $2,27 \text{ g/cm}^3$, a cristobalita $2,3$ a $2,32 \text{ g/cm}^3$ e o quartzo $2,65 \text{ g/cm}^3$. Neste caso, considerando-se por sua maior simplicidade na análise uma forma esférica, a passagem de um grão de tridimita com 1 cm^3 para quartzo geraria uma redução de aproximadamente 5% no raio, ou seja, considerando-se que o composto inicial de silício poderá ter ainda menor densidade a hipótese levantada é perfeitamente cabível.

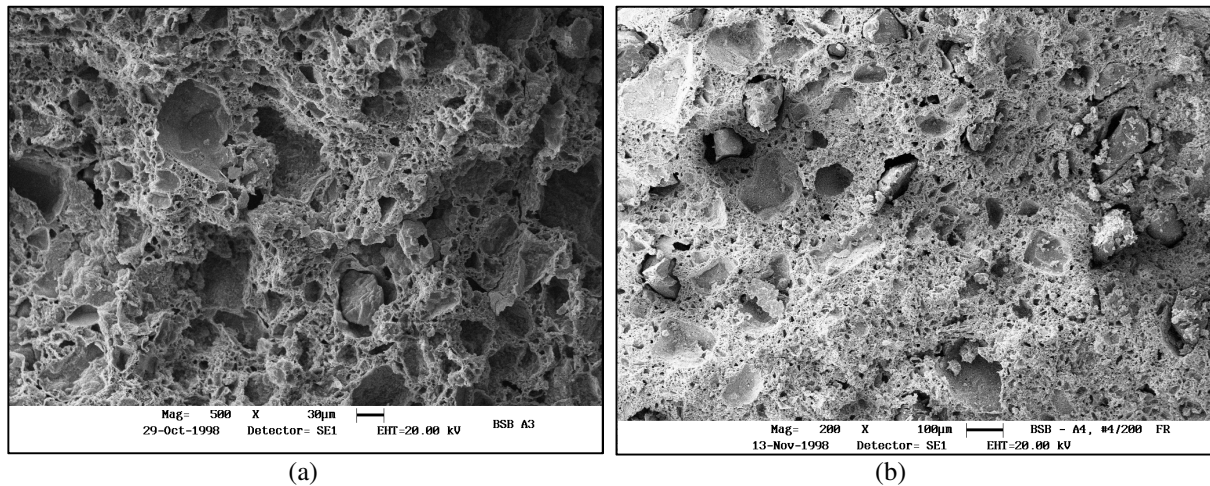


Figura 4.9. Microestruturas do interior de dois agregados lateríticos do Distrito Federal, amostras A3 (a) e A4 (b). Fonte: Palocci (1998).

b) Perfil Lago Sul 1: Matriz do Agregado

A Figura 4.10 apresenta o interior da matriz de um agregado retirado nas proximidades do perfil Lago Sul 1. Esta análise tem por objetivo ilustrar o arranjo desses agregados e observados a grande predominância de grãos de quartzo observados nos resultados de DRX. Em A se pode notar um grão de quartzo bastante euédrico (ou seja, com geometria bem definida) imerso no interior da matriz com certo envolvimento por outros minerais a exemplo, embora em menor grau, das análises anteriores. Nota-se no aumento de 200X a abundância de cristais de quartzo imersos na matriz e em alguns casos com fácil constatação de espaços vazios entre eles e o restante na matriz (E). Cabe lembrar que os grãos apresentam-se bastante angulosos e com tamanhos variados, desde cristais milimétricos a décimos ou centésimos de mm. Normalmente estes cristais estão imersos em matriz contendo oxi-hidróxidos de Fe e Al nos quais colorações mais avermelhadas identificam a presença de hematita e mais amarelados a presença de goethita.

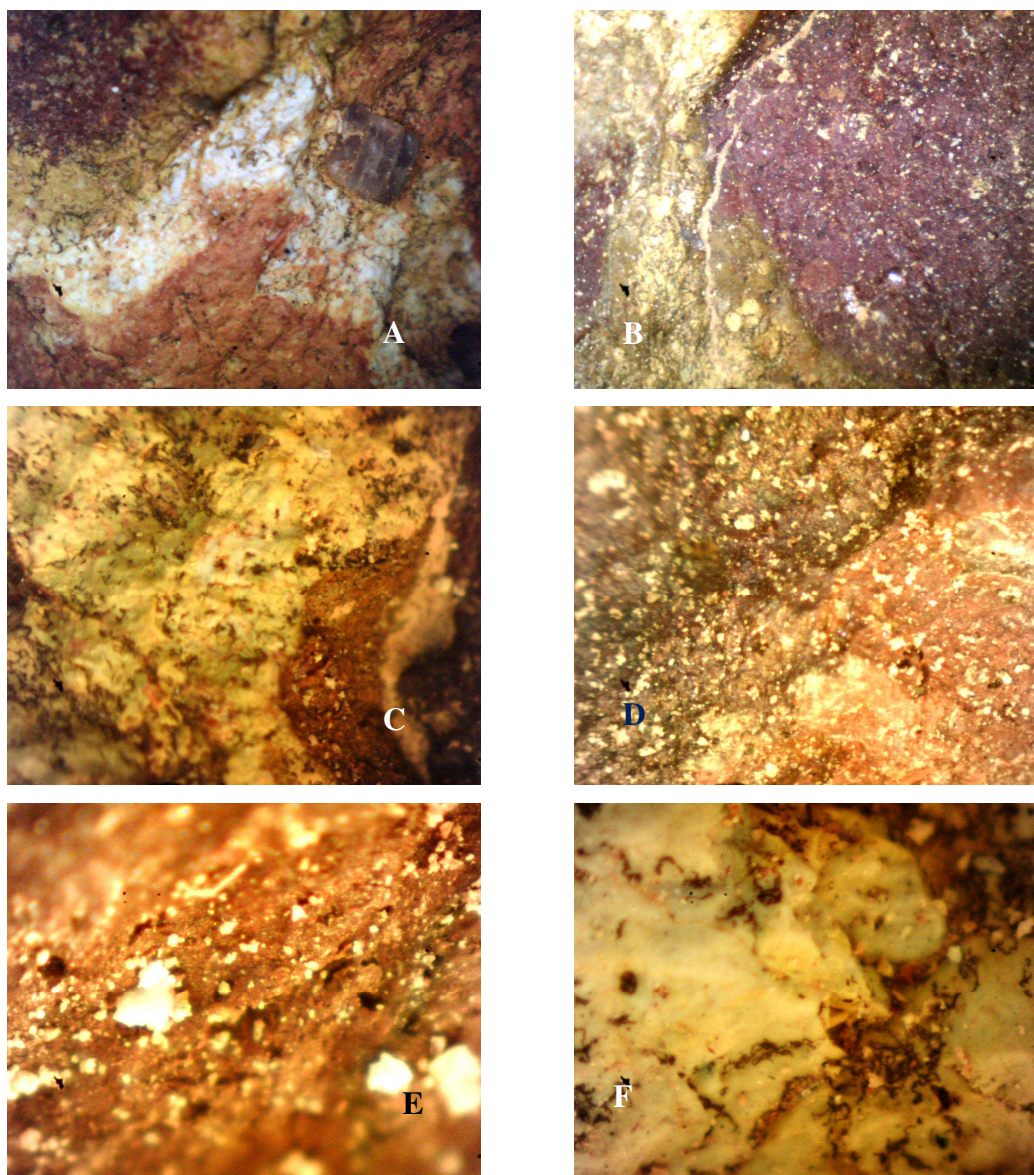


Figura 4.10. Imagem do interior da matriz de agregados para perfil Lago Sul 1 provenientes de observações em Lupa Eletrônica. A e B aumentos de 50X, C e D, aumentos de 100X e E e F, aumentos de 200X.

c) Perfil UEG campus de Anápolis-GO: Morfologia Geral dos Agregados

A Figura 4.11 apresenta o interior dos agregados das amostras provenientes do horizonte A do perfil da campus da UEG em Anápolis-GO. As observações foram executadas apenas nos aumentos 50X e 100X, pois não se observou muitas variações visuais.

As amostras apresentam normalmente o mesmo padrão de disposição, com cristais de quartzo milimétricos dentro da matriz composta por oxi-hidróxidos de Fe e Al. Embora a amostra apresente porções amareladas, indicativas da presença de minerais de goethita, os mesmos não foram identificados nas amostras. Remarca-se também aqui, a presença em muitos casos de

preenchimentos entre os grãos de quartzo e o restante da matriz o que corrobora com a hipótese apresentada de cristalização dos quartzo a partir de amorfos e compostos menos densos como a tridimita e a cristobalita.

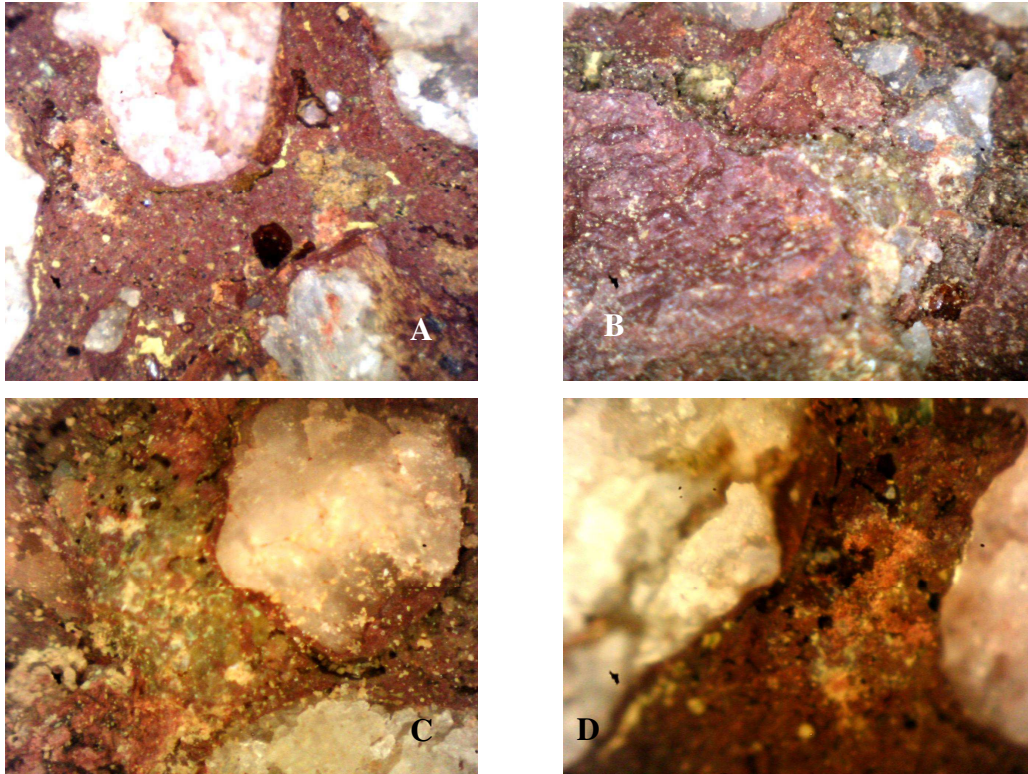


Figura 4.11. Imagem provenientes de Lupa Eletrônica em agregados do campus da UEG em Anápolis-GO. A e B aumentos de 50X, C e D, aumentos de 100X.

4.2 Análises Químicas:

As análises químicas desta pesquisa compreendem os ensaios de Fluorescência de Raios-X (FRX) e pH em H₂O e KCl. Os ensaios de FRX foram realizados apenas para as amostras Lago Sul 1 e 2 por representarem perfis de solo mais próximos da condição natural de um solo tropical proveniente do Centro Oeste Brasileiro.

4.2.1 Fluorescência de Raios-X

a) Perfil Lago Sul 1, QI-27 - SPT-01

Os dados apresentados na

Tabela 4-1 compreendem os resultados para o ensaio de FRX para o Perfil Lago Sul 1 - SPT-1, QI-27.

Tabela 4-1. Resultados de ensaio de Fluorescência de Raios-X – Sondagem SPT-01, QI-27 Lago Sul.

Elementos	Profundidade (m)						
	1	2	3	4	5	6	7
	Teores (%)						
SiO₂	49.69	37.37	54.88	56.08	58.48	65.93	69.63
TiO₂	1.49	1.45	1.03	1.18	1.12	1.04	0.84
Al₂O₃	21.49	23.17	17.78	18.31	19.34	16.94	13.71
Fe₂O₃	9.49	24.36	14.13	11.96	9.98	5.35	6.8
Cr₂O₃	-	0.05	-	-	-	-	-
MgO	0.65	0.84	1.22	0.91	1.05	1.41	1.23
CaO	0.07	0.03	0.02	0.04	0.02	0.04	0.03
Na₂O	0.14	0.2	0.18	0.2	0.2	0.21	0.2
K₂O	0.15	0.96	1.97	1.5	2.98	4.04	1.7
P₂O₅	-	-	0.07	0.05	-	0.06	-
Equivalente Alcalino	0.24	0.83	1.48	1.19	2.16	2.87	1.32
P.F.	16.48	11.71	7.56	8.74	5.91	3.77	5.51

P.F. – perda ao fogo (perda de peso por ignição).

O foco deste tipo de resultado se sustenta na relação entre a sílica, a gibbsita, a caulinita, a montmorilonita e os oxí-hidróxidos de ferro e alumínio, os quais estão associados devido à transformação dos minerais ocorrida durante as fases de intemperismo. Os óxidos de Al₂O₃ estão presentes nos três minerais, na gibbsita, na caulinita e na montmorilonita. Nota-se uma relação de dependência entre estes minerais nos resultados da semi-quantificação, observados nas seções posteriores deste texto; no entanto, nos resultados de fluorescência de raios-x para este perfil observa-se um certo equilíbrio do percentual de ocorrência destes devido a presença destes minerais, suas abundâncias e suas relações de aumento e diminuição em função do intemperismo. Tal fato, portanto, justifica a pouca variação em relação aos demais elementos analisados.

Os óxidos de titânio (TiO₂) que compõem minerais como rutilo e anatásio, embora apresentando percentuais pouco expressivos, apresentam-se mais abundantes em profundidades menores pois estes são considerados minerais resistentes, ou seja, estes se conservaram durante os processos de lixiação do perfil.

Os óxidos de ferro representados pelo elemento Fe₂O₃, demonstram que apesar de constituírem compostos mais solubilizáveis os teores formados tenderam a se manter até próximo ao solo menos intemperizado sendo que nessa zona o seu teor diminuiu para o Perfil 1 e aumentou como se verá mais adiante para o Perfil 2, o que é perfeitamente explicável, pois enquanto no

Perfil 1 o solo menos intemperizado se encontra abaixo do nível freático e em condições favoráveis ao fluxo por estar próximo ao bordo do platô enquanto o Perfil 2 encontra-se afastado deste e não atingiu o nível freático dificultando assim a lixiviação, ou seja, o ferro que lixiviou das camadas mais superficiais, mesmo que em pequena quantidade, se acumulou nesta zona mais profunda.

Quanto ao incipiente quantitativo de bases, representados por K_2O , Na_2O , CaO e MgO , observa-se que a significativa variação dos percentuais obtidos ao longo do perfil não evidenciam a ocorrência clara de processos de lixiviação do perfil provavelmente porque esta se estendeu para fora do perfil dada a proximidade do bordo do platô por serem considerados elementos bastante móveis na natureza.

No Perfil 1 pode ser observado, à exceção do ponto correspondente à profundidade de 2 m, que os teores de sílica (SiO_2) não variam muito em relação aos de alumínio (Al_2O_3). Já para as maiores profundidades se observa um aumento do teor de sílica enquanto o teor de alumínio diminui o que sinaliza para o seu acúmulo oriundo de lixiviações nas camadas superiores do perfil.

b) Perfil Lago Sul 2, QI-29 - SPT-02

Os apresentados na Tabela 4-2 compreendem os obtidos para o perfil Lago Sul 2 – SPT-02, QI-29.

Tabela 4-2. Resultados de ensaio de Fluorescência de Raios-X – Sondagem SPT-02, QI-29 Lago Sul.

Elementos	Profundidade (m)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Teores (%)												
SiO₂	29.18	29.26	28.61	27.67	27.54	29.05	28.63	34.21	29.05	37.40	31.67	51.59	49.83
TiO₂	2.13	2.17	2.19	2.23	2.23	2.19	2.17	2.14	2.12	1.79	2.06	1.08	1.15
Al₂O₃	35.21	36.35	36.53	37.24	37.40	36.84	36.79	34.45	36.17	31.09	35.18	17.92	20.38
Fe₂O₃	12.20	12.64	12.88	12.86	13.16	13.56	13.38	12.88	12.75	14.41	13.08	18.52	16.37
MgO	0.59	0.61	0.62	0.61	0.62	0.64	0.64	0.69	0.63	0.69	0.65	1.08	0.80
CaO	0.10	0.02	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03
Na₂O	0.14	0.14	0.17	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	0.14	0.14	0.15	0.13	0.14
K₂O	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.13	0.07	0.49	0.31
Equivalente Alcalino	0.18	0.18	0.21	0.17	0.18	0.19	0.19	0.20	0.18	0.23	0.20	0.45	0.34
P. F.	20.16	18.95	18.81	18.99	18.77	17.43	16.83	15.38	17.55	13.61	16.92	7.99	9.28

P.F. – perda ao fogo (perda de peso por ignição).

Semelhante as condições analisadas anteriormente no perfil de sondagem SPT-01, novamente será analisada a relação entre os minerais de sílica, a gibbsita, a caulinita, em função da ausência de minerais 2:1 e os oxí-hidróxidos de ferro e alumínio.

Os óxidos de Al_2O_3 estão presentes na caulinita, na gibbsita. Assim como no perfil anterior, observa-se pouca variação entre os percentuais, exceto a profundidades superiores a 11 metros. Isto se deve à relação de transformação mineral ao longo do processo de lixiviação e intemperismo do perfil.

Os óxidos de ferro e titânio não apresentam variações significativas, exceto à profundidades superiores a 11 metros. Estes teores estão diretamente relacionados a transformação mineral que compreende a formação de minerais de goethita, hematita, rutilo e anatásio, que se concentram em praticamente todas as profundidades do perfil.

Novamente observa-se um incipiente quantitativo de bases além de pequenas variações de teores em profundidade, demonstrando que houve uma forte lixiviação destas ao longo do perfil.

Os teores de sílica, de acordo com estes resultados, apresentam poucas variações, até a profundidade de 11 metros, passando a aumentar a partir desta profundidade em direção ao saprólito de rocha. Nota-se que, a exemplo da hipótese de transformação elencada no perfil anterior, uma associação entre as ocorrências de quartzo e de gibbsita na transformação da caulinita, e desta a partir dos minerais 2:1 como se verificará na semi-quantificação.

c) Análise conjunta dos Perfis 1 e 2

A junção dos dois perfis na Figura 4.13 permite uma análise mais conclusiva sobre a hipótese levantada de que o teor de silício (SiO_2) estaria associado ao teor de alumínio e mesmo de ferro (Fe_2O_3) (Figuras 4.12 e 4.13). Verifica-se na que não ocorre variação significativa do teor de silício em relação ao teor de alumínio (Al_2O_3) tanto no Perfil 1 até a profundidade de 5 m como no Perfil 2 até a profundidade de 11 m, ou seja, existiria um elo entre os dois. A partir destes limites de profundidade observa-se um aumento do teor de silício em relação ao de alumínio o que leva à possibilidade de acúmulo de silício oriundo da lixiviação das camadas superiores. A Figura 4.13 mostra que também o teor de ferro nos dois perfis não varia de modo significativo até as respectivas profundidades consideradas em relação ao teor de alumínio. Para

profundidades maiores ele diminui no Perfil 1 devido à lixiviação e aumenta no Perfil 2 devido ao aporte oriundo das camadas superiores.

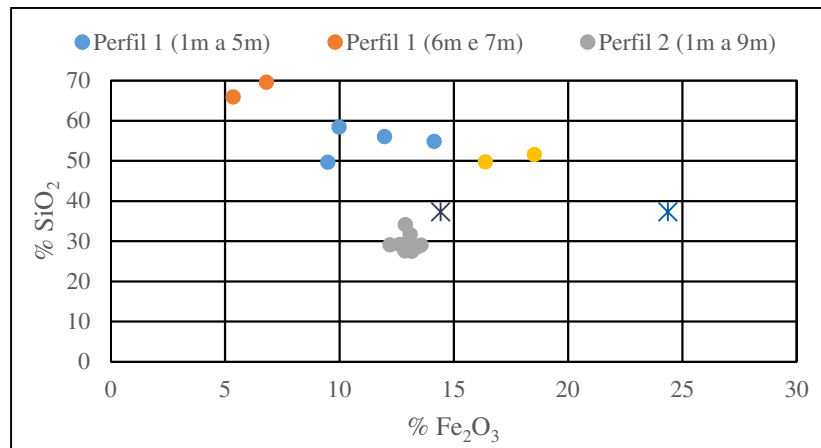


Figura 4.12. Relação entre os teores de Alumínio (Fe₂O₃) e Sílica (SiO₂).

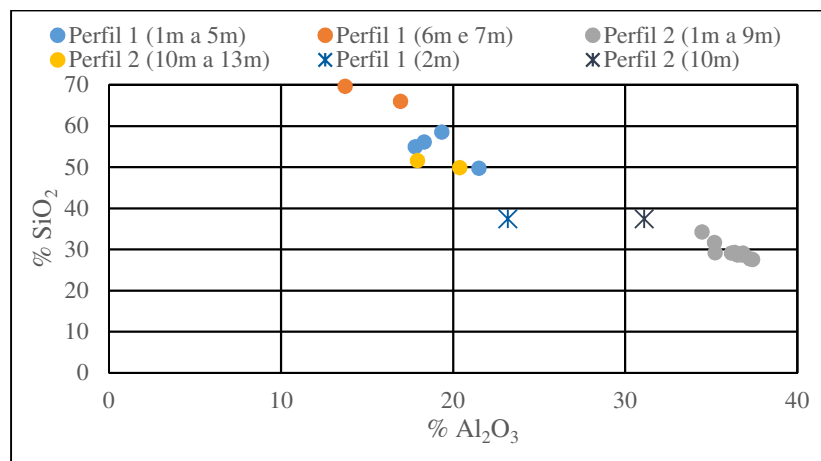


Figura 4.13. Relação entre os teores de Alumínio (Al₂O₃) e Sílica (SiO₂).

A Figura 4.14 mostra a plotagem dos resultados de FRX para os dois perfis Lago Sul, compreendendo uma análise dos teores de alumínio, sílica e ferro. Observa-se que os solos dos perfis apresentados podem ser classificados, em sua maioria, como laterito (solo laterítico), salvo algumas excessões nas quais o solo se apresenta como um laterito silicoso ou ferruginoso.

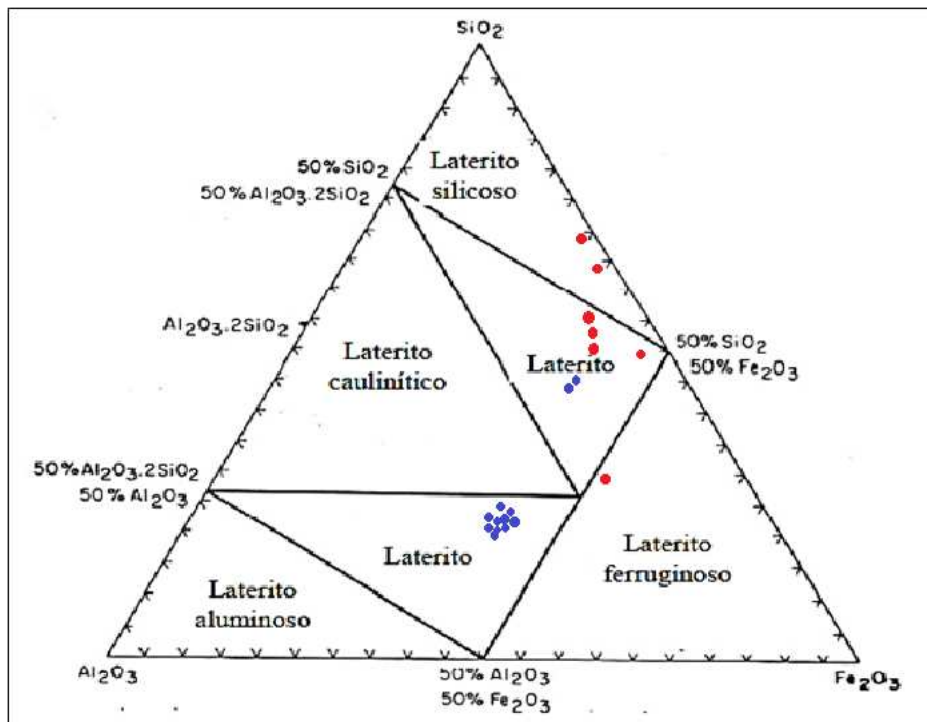


Figura 4.14. Diagrama Ternário para Classificação de Lateritos: relação entre os teores de Sílica (SiO_2), Alumínio (Al_2O_3) e Ferro (Fe_2O_3). Pontos em vermelhos amostras do Perfil Lago Sul 1 e pontos em azul, amostras do Perfil Lago Sul 2. Modificado de Melfi (1994).

4.2.2 Resultados de pH para os Perfis analisados

A Figura 4.15 apresenta os resultados dos ensaios de pH em água e KCl para os Perfis Lago Sul 1 e 2. Observa-se nesta Figura que o pH em água dos dois perfis é praticamente coincidente até a profundidade de 5 m. Ressalta-se que nos níveis mais intemperizados, ou seja, nas menores profundidades há o predomínio de ácidos fúlvicos, o que pode justificar a diminuição do pH a estas profundidades. Quando estes valores se modificam, invertendo-se como observado a partir de 5 m a 6m de profundidade, observa-se que a mineralogia do perfil prevalece.

A partir desta profundidade o pH do Perfil 1 se torna inferior ao do Perfil 2. Já para o pH em KCl nos dois primeiros metros os pH do Perfil 1 são superiores ao do perfil 2, à 3 m e 4 m eles são aproximadamente iguais e a partir desta profundidade o pH do Perfil 1 se torna inferior ao do Perfil 2. Cabe inicialmente destacar que apesar desta área ser relativamente preservada, anualmente é passa por processos de queimada no período de seca o que pode intervir no pH dos trechos mais superficiais, lembrando que no Distrito Federal o período de seca vai de abril/maio à setembro e as sondagens dos Perfis 1 e 2 foram realizadas em junho de 2018. Ainda

sobre esta figura cabe destacar que a partir de 6 m o pH em água tende a ser inferior ao pH em KCl e tendem também a variarem menos com a profundidade.

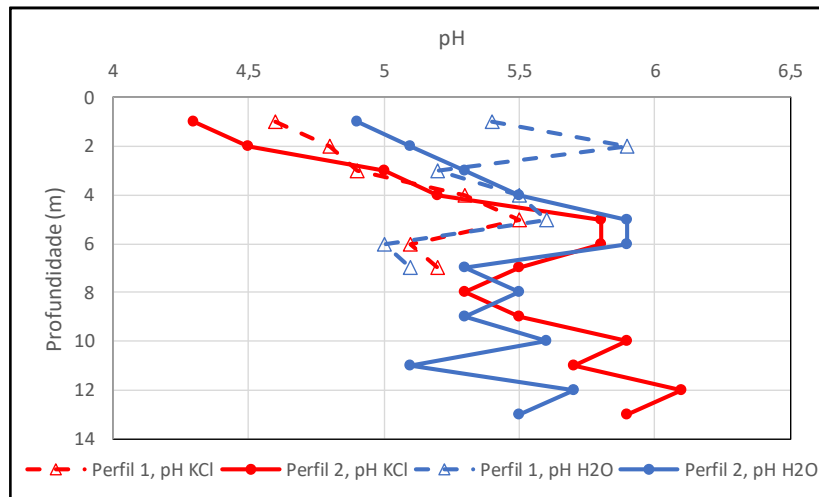


Figura 4.15. Evolução do pH em KCl e H₂O, em função da profundidade, para os Perfis Lago Sul 1 e 2.

A Figura 4.16a apresenta os resultados de Ponto de Carga Zero (PCZ = 2.pH_{KCl} – pH_{H2O}) e a Figura 4.16b os resultados da diferença entre o pH em KCl e o pH em água ($\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) obtidos para os Perfis 1 e 2. Observa-se nestas Figuras que o PCZ tende a aumentar com a profundidade sendo próximo ente os dois perfis. Já o ΔpH assume valores negativos até 5 m a 6 m passando em seguida a valores positivos o que sinaliza para a predominância dos oxihidróxidos de ferro e alumínio onde ele assume valores negativos e o predomínio dos valores positivos na zona com predominância dos filosilicatos.

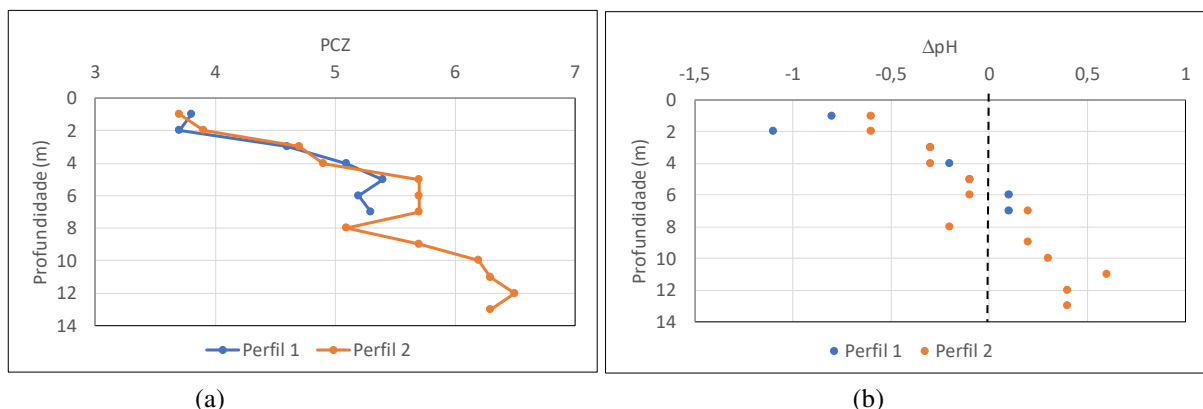


Figura 4.16. Resultados de Ponto de Carga Zero (PCZ) (a) e ΔpH (b) dos Perfis Lago Sul 1 e 2.

A Figura 4.17 apresenta os resultados dos ensaios de pH em água e KCl para o Perfil Park Sul. Observa-se que os valores neste perfil apresentam-se acidez maior nos primeiros metros devido as variações antrópicas/ambientais apontadas no parágrafo anterior, modificando-se esta tendência à partir de 7 m de profundidade. Embora as amostras tenham sido coletadas em novembro de 2018 (18/11/2018) observa-se um caráter mais ácido do solo.

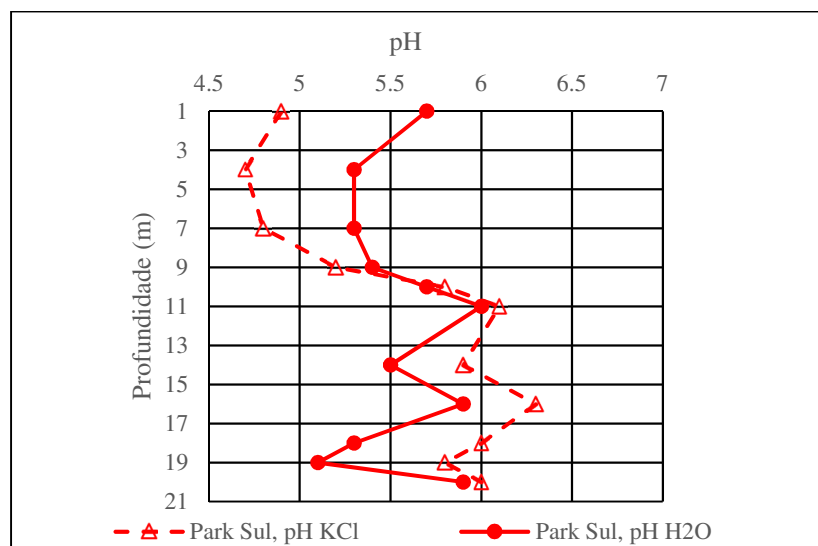


Figura 4.17. Evolução do pH em KCl e H₂O, em função da profundidade, para o Perfil Park Sul.

A Figura 4.18a apresenta os resultados de Ponto de Carga Zero (PCZ = 2.pH_{KCl} – pH_{H2O}) e a Figura 4.18b os resultados da diferença entre o pH em KCl e o pH em água ($\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) obtidos para o Perfil Park Sul. Nestas Figuras observa-se que o PCZ tende a aumentar com a profundidade, em contrapartida o ΔpH assume valores positivos até 9 m, evidenciando que há uma predominância de oxi-hidróxidos; a partir de 10 m observa-se que estes valores tornam-se positivos e, portanto indicam a predominância de filosilicatos.

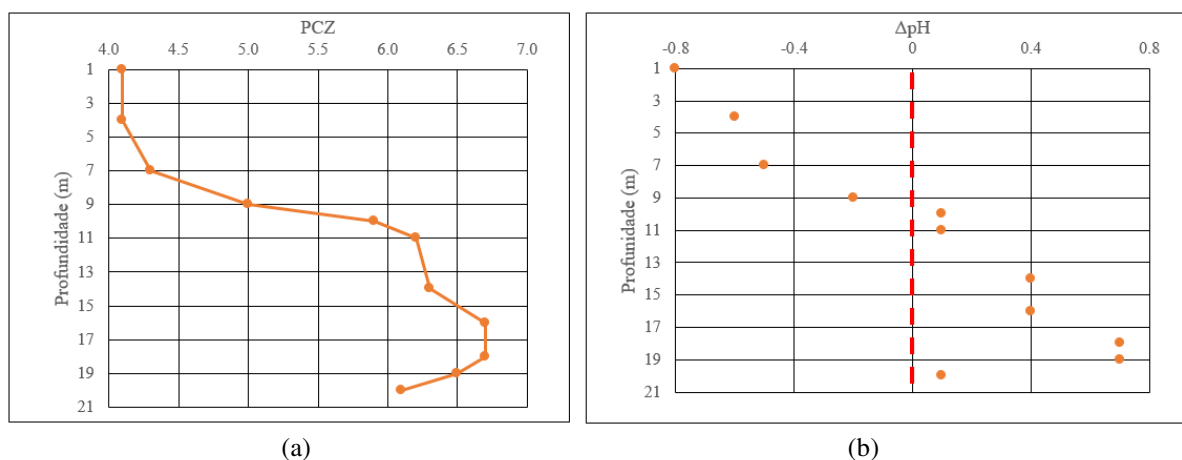


Figura 4.18. Resultados de Ponto de Carga Zero (PCZ) (a) e ΔpH (b) do Perfil Park Sul.

A Figura 4.19 apresenta os resultados dos ensaios de pH em água e KCl para o Perfil Clube do Exército. Como se trata de um perfil raso, observa-se que o comportamento quanto a disparidade tanto para valores de pH tanto para KCl quanto para H₂O apresenta a mesma tendência observada nos perfis anteriores a profundidades mais rasas.

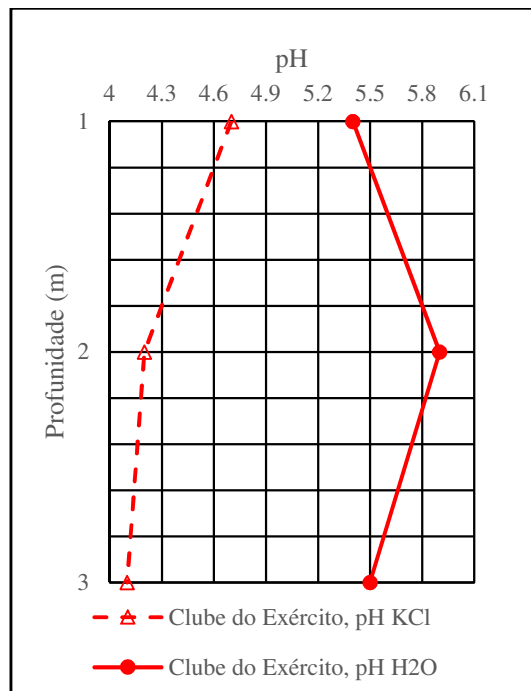


Figura 4.19. Evolução do pH em KCl e H₂O, em função da profundidade, para o Perfil Clube do Exército.

A Figura 4.20a apresenta os resultados de Ponto de Carga Zero ($PCZ = 2 \cdot pH_{KCl} - pH_{H_2O}$) e a Figura 4.20b os resultados da diferença entre o pH em KCl e o pH em água ($\Delta pH = pH_{KCl} - pH_{H_2O}$) obtidos para o Perfil Clube do Exército. Nesta Figura se observa que diferentemente dos demais perfis o PCZ tende a diminuir com a profundidade. Os valores de ΔpH assumem valores negativos, demonstrando que os solos encontram-se profundamente intemperizados, com predominância de oxi-hidróxidos.

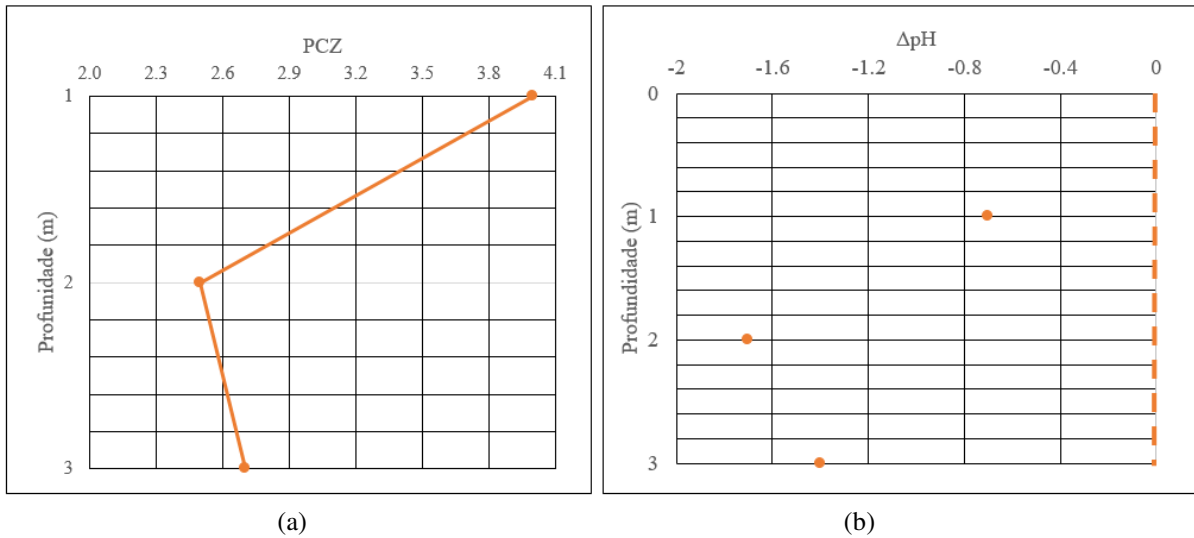


Figura 4.20. Resultados de Ponto de Carga Zero (PCZ) (a) e ΔpH (b) do Perfil Clube do Exército.

A Figura 4.21 apresenta os resultados dos ensaios de pH em água e KCl para o Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado. Este também se trata de um perfil raso, no entanto por se tratar de um solo saprolítico possui um comportamento quanto aos valores de pH condizentes com a heterogeneidade do perfil.

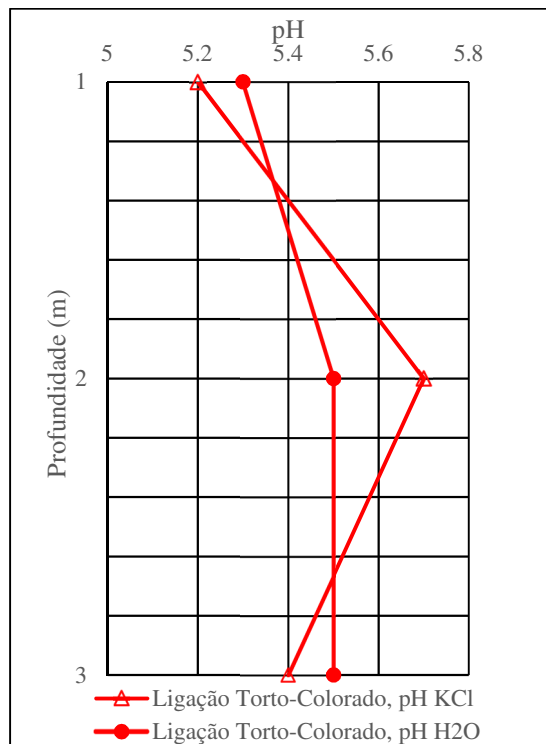


Figura 4.21. Evolução do pH em KCl e H₂O, em função da profundidade, para o Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado.

A Figura 4.22a apresenta os resultados de Ponto de Carga Zero (PCZ = $2 \cdot \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) e a Figura 4.22b os resultados da diferença entre o pH em KCl e o pH em água ($\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) obtidos para o Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado. Na Figura se observa um aumento do PCZ a 2 m de profundidade seguida de uma queda. Os valores de ΔpH demonstram comportamento semelhante observado para os valores PCZ. Esta peculiaridade pode ser explicada pela presença de “bolsões” de caulinita à profundidade de 2 m, resultando em um leve aumento do PCZ e no valor positivo de ΔpH para esta.

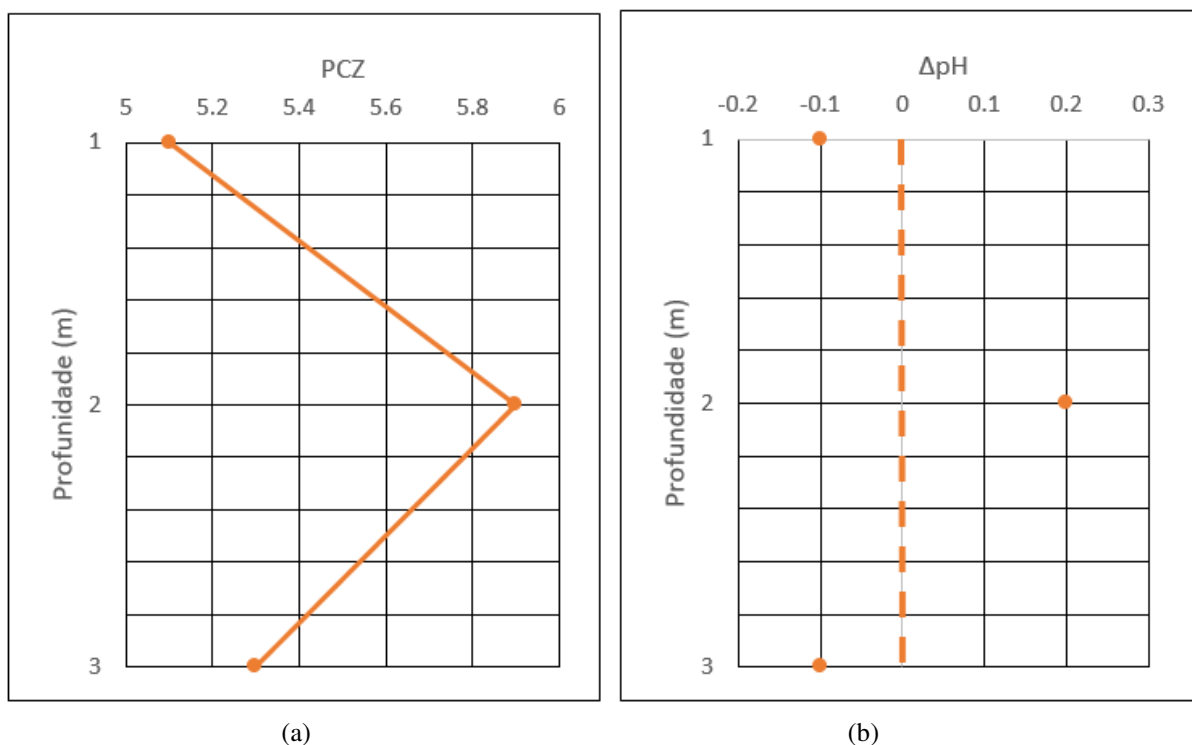


Figura 4.22. Resultados de Ponto de Carga Zero (PCZ) (a) e ΔpH (b) do Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado.

A Tabela 4-3 apresenta os valores obtidos para o Perfil do Campus da UEG de Anápolis-GO. Nestes resultados se observa que não há muita variação tanto em relação aos valores de pH em KCl e H₂O e valores de PCZ relativamente baixos; os valores ΔpH apresentam-se todos negativos, o que corrobora com as características mineralógicas do perfil rico em oxihidróxidos e empobrecidos em filossilicatos.

Tabela 4-3. Resultados de pH em H₂O e KCl para o perfil UEG Anápolis.

pH UEG - Anápolis				
Profundidade	pH em KCl	pH em H ₂ O	Δ pH	PCZ
A	4.4	5.1	-0.7	3.7
AB	4.2	5.3	-1.1	3.1
BW ₂	4.1	5.6	-1.5	2.6
BW ₂ (Lat.)	4.3	5.4	-1.1	3.2

Como observado nas tabelas acima, verifica-se que muitos dos perfis apresentaram valores com Δ pH negativos. Estes resultados corroboram com as fontes observadas na literatura, nos quais evidenciam a existência de regiões com perfis de solos intensamente intemperizados, ou seja, mais ácidos. O contrário também é observado ou seja, um aumento de pH em direção à maiores profundidades, denotando porções menos intemperizadas a medida que se aproxima do saprólito de rocha, com Δ pHs positivos. Segundo Delgado (2002), ao ocorrerem predominâncias de óxi-hidróxidos de ferro e alumínio no perfil também haveria uma diminuição de pH no mesmo, sendo portanto estas ocorrências, indicativas dessa condição.

Segundo Kiehl (1979) apud Lima (2003) há um outra discussão sobre a questão da variação dos valores de Δ pH – caso estes apresentem valores negativos estes indicariam uma predominância de argilas silicatadas. Assim este mesmo comportamento justificaria a presença de elevado alumínio trocável com valores negativos e baixo para valores positivos de Δ pH. Partindo-se de um raciocínio semelhante, segundo trabalho de Delgado (2002), e em trabalhos de outros autores como Camapum de Carvalho et al. (1996) e Cardoso (2002), conclui-se que o pH está intrinsecamente ligado à formação de agregados: pHs negativos estariam relacionados à formação de agregados, compostos por oxi-hidróxidos de Ferro e Alumínio, complementando as informações e as condições de formação dos solos tropicais analisados neste trabalho.

Farias (2012) também traz informações de grande valia em seu trabalho quando comenta sobre o controle do pH nas reações intempéricas; o pH da água percolante pode mobilizar tanto o alumínio quanto a sílica em variações de pH entre 5 e 6, favorecendo a formação de minerais secundários. Quanto à sílica, observa-se que sua solubilidade seria considerada baixa, em condições de pHs abaixo de 7.

A Figura 4.23 apresenta um comparativo entre os perfis do Distrito Federal nos quais foram realizados ensaios de pH. As discussões acima influem no entendimento do comportamento do

solo perante os valores de PCZ e ΔpH de todos os perfis do Distrito Federal. Na Figura 4.23a observa-se que o PCZ tende a aumentar em profundidade e em direção ao saprólito, com exceção do Perfil da obra de ligação Torto-Colorado, devido a sua particularidade. Figura 4.23b se pode observar uma distribuição interessante quando a variação do ΔpH de todas as amostras consideradas neste trabalho; Os perfis mostram-se intensamente intemperizados, atingindo profundidades em torno de 6 m a 8 m, evidenciando-se um predomínio de valores de ΔpH negativos, além do predomínio de argilas silicatadas (caulinita por exemplo) e oxihidróxidos, favorecendo a formação de minerais secundários e agregados.

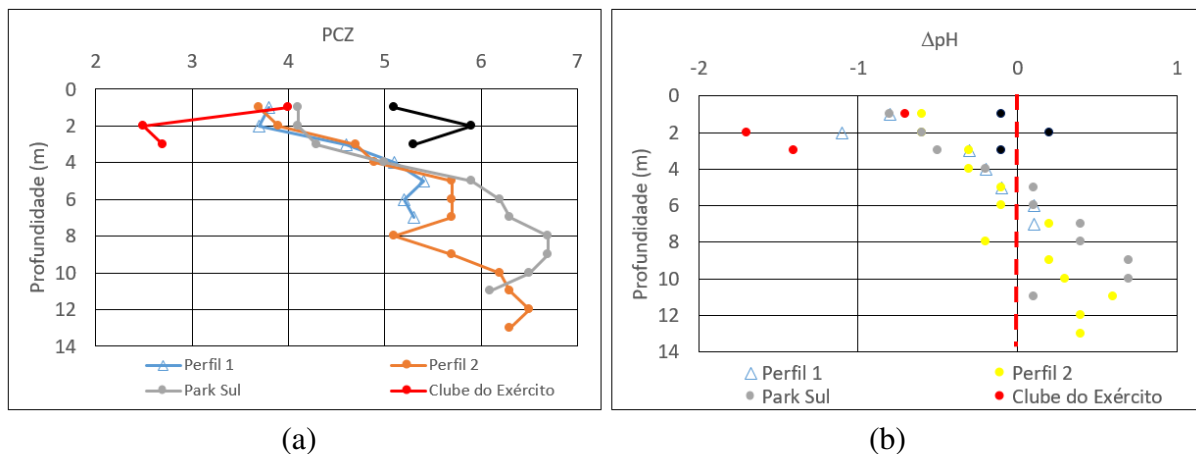


Figura 4.23. Evolução comparativa do pH em KCl e H₂O, em função da profundidade, para os Perfis Lago Sul 1 e 2, Park Sul, Clube do Exército e Ligação Torto-Colorado.

4.3 Análises Mineralógicas

a) Perfil 1: Lago Sul 1 – SPT-01

A Tabela 4-4 apresenta os resultados da análise semi-quantitativa do Perfil 1 do Lago Sul.

O perfil Lago Sul 1 - SPT-01 demonstrou-se bastante diferenciado, uma vez que se esperava um determinado comportamento da assembléia mineral considerada. A primeira evidência que chama a atenção para os resultados da semi-quantificação é o alto quantitativo de quartzo. Neste perfil praticamente foi identificado como mineral de maior ocorrência no perfil. Nota-se que o comportamento do quartzo em detrimento ao da gibbsita apresenta uma certa semelhança, podendo-se hipoteticamente associá-los. No entanto deve-se ater ao fato do desaparecimento da gibbsita a profundidades maiores que 4m.

Tabela 4-4. Análise Semi-Quantitativa do Perfil 1 – Lago Sul 1 – SPT-01.

Minerais	Profundidade (m)						
	1	2	3	4	5	6	7
Semi-Quantificação (%)							
Quartzo	50.6	38.7	45.6	46.4	38.8	48.8	59.2
Cristobalita	2.5	-	-	-	-	-	-
Gibbsita	20.9	13.3	9.4	9.6	-	-	-
Goethita	8.5	11.4	-	-	-	-	-
Hematita	-	8.6	6.4	3.7	-	-	-
Caulinita	-	12.0	10.1	10.5	20.2	8.3	9.4
Illita 2M1	-	14.8	-	-	-	-	-
Montmorillonita-clorita	17.5	-	20.2	25.1	17.9	22.9	25.2
Rutilo	-	1.2	-	-	-	0.7	1.0
Anatásio	-	-	-	-	2.3	0.9	0.3
Feldspatos	-	-	6.5	2.1	4.2	4.9	1.0
Carbonatos	-	-	-	-	3.1	3.1	0.6
Ilmenita	-	-	-	-	6.4	-	1.5

Quanto ao grande aparecimento de minerais de quartzo, a princípio pensou-se em mecanismos de transporte que pudessem sugerir tal acumulação. No entanto, ao serem verificados após a lavagem do solo, no laboratório de Furnas, e observação em lupas, observou que os grãos apresentam aspecto anguloso a subanguloso. Além disso, a presença de caulinita a baixas profundidades também é um indicativo de que não houve transporte, podendo-se assim inferir que a origem destes seja *in situ*, residual ou não. Assim, durante uma discussão a cerca do aparecimento desta assembléia mineral, inferiu-se que, durante o processo de evolução sedimentar, possa ter havido uma maior concentração de sedimentos do Grupo Paranoá antes da ocorrência do metamorfismo.

A hipótese de transporte para uma curta distância ainda não está descartada e, também, será necessário buscar o entendimento da interação do lençol freático com o perfil, uma vez que este está em área próxima de uma nascente. Pensou-se também na hipótese de uma alta lixiviação por parte da água subterrânea, que possa ter provocado tal concentração. Outro aspecto também interessante, que pode ser considerado nesta análise é a proximidade deste ponto ao bordo do relevo o que favorece a drenagem; “lembrando-se que a mesma rocha, quando exposta a condições de relevo, clima diferenciados, pode produzir perfis de solos totalmente distintos”.

Uma análise, nesse caso, poderia ser levada em consideração de acordo com a disponibilidade de sílica: se há muito mais sílica disponível no perfil, esta poderia ser liberada, a partir da caulinita ou dos minerais que lhe deram origem, formando assim quartzo microcristalino na fração argila, formando em menor quantidade a gibbsita, pois este géles não estaria em plena reação com a caulinita em sua gênese.

Na Tabela 4-5 são apresentados os valores de picos de N1 para a assembléia mineral observada na amostra. Os picos de N1 são aqueles característicos de cada mineral em seu plano de melhor reflexão. Estes valores foram utilizados para compor uma análise de correlação para as transformações minerais, entre caulinita, gibbsita, caulinita (Ct) + gibbsita (Gb) versus quartzo. O resultado pode ser observado na Figura 4.24.

Tabela 4-5. Intensidade de Contagem dos Picos N1 – Perfil Lago Sul
1

Minerais	Profundidade (m)						
	1	2	3	4	5	6	7
	Intensidade (counts)						
Quartzo	1337.5	775.0	1187.5	1375.0	1000.0	2075.0	1680.0
Cristobalita	25.0	-	-	-	-	-	-
Gibbsita	237.5	62.5	37.5	62.5	-	-	-
Goethita	37.5	37.5	-	-	-	-	-
Hematita	-	37.5	25.0	37.5	-	-	-
Caulinita	-	62.5	87.5	50.0	112.5	175.0	90.0
Illita 2M1	-	37.5	-	-	-	-	-
Montmorillonita-clorita	12.5	-	25.0	30.0	7.5	7.5	26.0
Rutilo	-	12.5	-	-	-	0.0	0.0
Anatásio	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0

Nessa figura observa-se que não há uma boa correlação entre esses quantitativos devido à presença anômala de quartzo, que pode estar sendo somado ao já contido no perfil devido a disponibilidade de sílica no perfil.

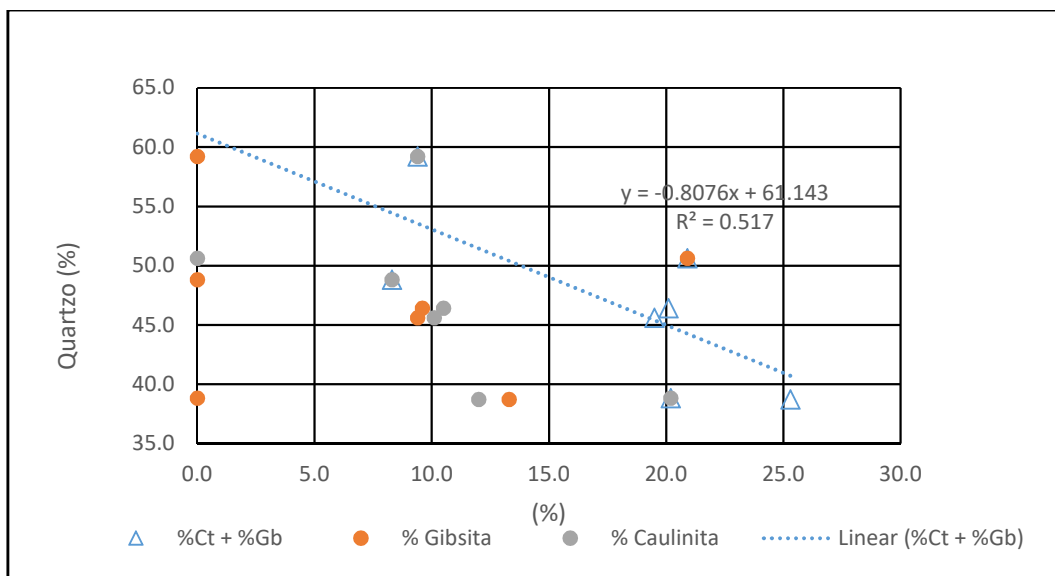


Figura 4.24. Correlação Caulinita/Gibbita e %Ct + %Gb em função de quartzo - Perfil Lago Sul 1.

Observa-se que na Figura 4.24, a correlação entre os dados não se apresenta muito adequada devido ao fato da condição anômala do quantitativo de quartzo nesse perfil nos quais as hipóteses para essas ocorrências gerem em torno de episódios de acúmulo e transporte de sedimentos do Grupo Paranoá; forte lixiviação do perfil, que se encontra na região de bordo do relevo, também provocando acúmulo do mineral e; a hipótese de disponibilidade de sílica à partir da transformação direta da caulinita.

Segundo Farias (2012) o cálculo das razões Hematita/Goethita e Caulinita/Gibbsita são de suma importância para a classificação das amostras (Figura 4.25) segundo a *Soil Taxonomy* para solos de característica oxidica/gibbsitica.

A Tabela 4-6 traz os resultados da semi-quantificação e o cálculo das razões hematita/goethita e caulinita/gibbsita.

Tabela 4-6. Quantificação mineralógica e razões RHmGt e RCtGb do Perfil Lago Sul 1.

Profundidade (m)	% Gibbsita	% Caulinita	% Hematita	% Goethita	RHmGt	RCtGb
1	0.21	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
2	0.13	0.12	0.09	0.11	0.43	0.47
3	0.09	0.10	0.09	0.00	1.00	0.52
4	0.09	0.10	0.04	0.00	1.00	0.52
5	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00
6	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00
7	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	1.00

Unidades em números decimais.

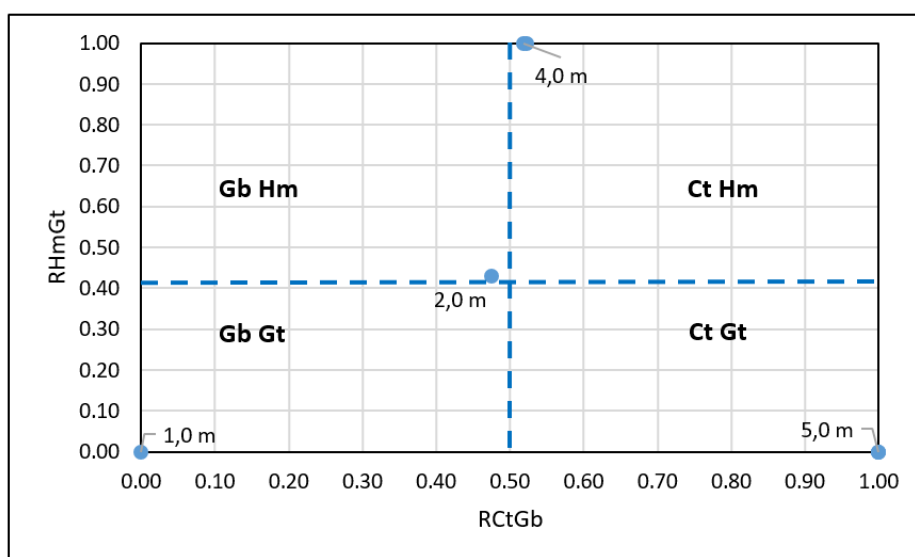


Figura 4.25. Gráfico RCTGb em função de RHmGt – Perfil Lago Sul 1.

A partir da análise do trabalho de Farias (2012) e observando o gráfico da Figura 4.25, observa-se que:

- a) A profundidade 1m o solo pode ser classificado como gibbsítico, pois já observa-se a presença de gibbsita em detrimento a de caulinita;
- b) A profundidade 2m o solo ainda pode ser classificado como gibbsítico, mas gradua para caulínítico, concluindo-se assim estar menos intemperizado em relação à profundidade de 1m.
- c) As profundidades em 3m e 4m e são coincidentes e os solos podem ser classificados como oxídicos-hematíticos;
- d) Nas profundidades 5m, 6m e 7m os solos são considerados caulíníticos segundo a análise, mesmo possuindo a presença dos minerais illita e montmorilonita;

Verifica-se que as profundidades 3 e 4 m são coincidentes, assim como as profundidades 5m, 6m e 7m, e em função desta informação, não estão representadas na Figura 4.25.

O gráfico de intensidade de contagens para N1 dos minerais envolvidos diretamente no aparecimento e transformação dos minerais secundários ou neoformados indicam uma boa relação entre o conjunto Caulinita + Gibbsita (Ct+2Gb) em função do quartzo: esta indica a possibilidade de que a transformação caulinita para gibbsita possa estar liberando sílica para o ambiente e formando quartzo que poderia estar se “somando” às quantidades já existentes no perfil. Esta análise é válida considerando que, na transformação de um mineral 2:1, são

liberados uma folha de tetraedro de sílica para formar a caulinita e duas folhas para a formação da gibbsita (Figura 4.26).

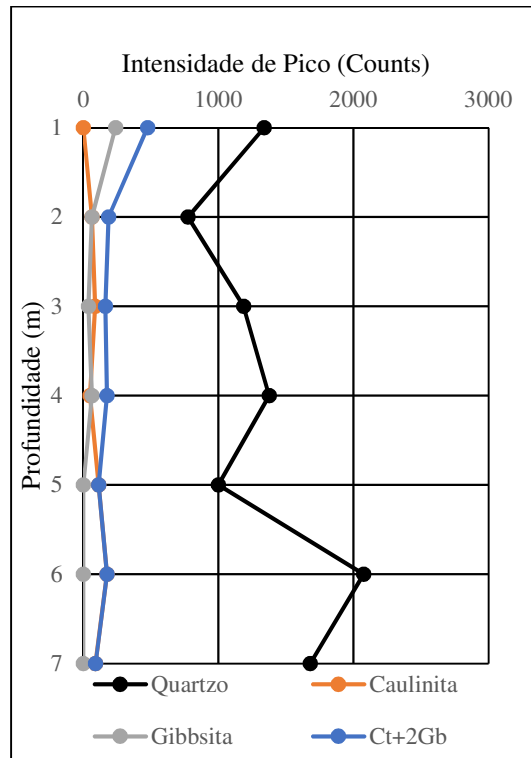


Figura 4.26. Intensidade de Picos de Caulinita, Gibbsita e Ct+Gb.

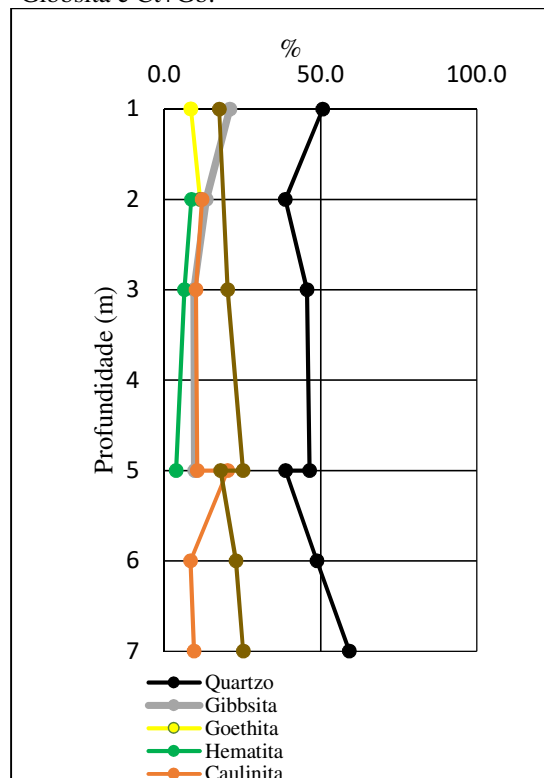


Figura 4.27. Assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para perfil Lago Sul 1.

A figura Figura 4.27 compreende a assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para o perfil Lago Sul 1. Observa-se a relação entre as ocorrências de montmorilonita e quartzo possuírem um comportamento semelhante, enquanto que o comportamento da caulinita em função do quartzo indica a ocorrência de uma transformação.

b) Perfil 2: Lago Sul 2 – SPT-02

A Tabela 4-7 apresenta os resultados das análises semi-quantitativas realizadas para o Perfil 2 do Lago Sul.

Tabela 4-7. Análise Semi-Quantitativa do Perfil 1 – Lago Sul 2 – SPT-02.

Minerais	Profundidade (m)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Semi-Quantificação (%)												
Quartzo	10.6	10.2	9.1	5.8	8.0	7.0	6.2	7.1	4.2	12.9	12.8	42.4	37.9
Cristobalita	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6
Gibbsita	18.9	23.7	21.9	26.6	26.0	28.6	24.2	15.8	22.0	10.0	17.0	-	6.9
Goethita	7.2	11.7	12.3	12.4	14.9	4.4	6.7	7.9	9.2	7.8	9.2	10.4	5.0
Hematita	4.3	5.3	5.0	4.7	4.6	6.8	7.7	6.8	6.7	6.3	6.6	9.3	8.1
Caulinita	47.7	43.0	43.1	42.9	45.3	51.7	48.9	54.0	49.6	61.6	45.6	35.3	38.4
Rutilo	4.0	-	-	-	1.2	1.5	2.1	1.0	0.9	1.4	2.3	2.5	1.0
Anatásio	5.3	6.1	8.6	7.6	-	-	4.2	7.3	7.6	-	6.5	-	-

No Perfil 2 do Lago Sul - SPT-02 (), nota-se que a caulinita se apresenta em maior quantidade se comparada ao perfil anterior. Quanto aos comportamentos tanto da gibbsita quanto do quartzo, verifica-se que os dois estão apresentando tendências levemente contrárias e este último aumenta significativamente à partir de 11m, na transição para o solo saprolítico; enquanto que a gibbsita aparece até esta profundidade e em seguida se faz presente na profundidade 13m.

A goethita e a hematita são pouco expressivas no perfil, mas irão ocorrer até a transição entre solo e solo saprolítico. Fato interessante observado até então, compreende a questão do comportamento da caulinita e do quartzo, sugerindo que possa estar ocorrendo uma transformação mais direta (transformação das folhas de caulinita – separação - liberação de sílica – quartzo), aspecto a ser observado com mais detalhes em estudo mais amplo e apurado).

Nota-se também que o front de intemperismo, para este perfil, apresenta-se bastante profundo, com um solo intensamente lixiviado e sem a presença de minerais resistatos.

Na Tabela 4-8 são apresentados os valores de picos de N1 para a assembléia mineral observada na amostra. Os picos de N1 são aqueles característicos de cada mineral em seu plano de melhor reflexão. Estes valores foram utilizados para compor uma análise de correlação para as transformações minerais, entre caulinita, gibbsita, caulinita (Ct) + gibbsita (Gb) versus quartzo. O resultado pode ser observado na Figura 4.28.

Tabela 4-8. Intensidade de Contagem dos Picos N1 – Perfil Lago Sul 2.

Minerais	Profundidade (m)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Intensidade (counts)												
Quartzo	170.0	210.0	170.0	100.0	145.0	120.0	145.0	110.0	110.0	215.0	325.0	785.0	655.0
Cristobalita	140.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.0
Gibbsita	110.0	105.0	110.0	115.0	120.0	105.0	110.0	80.0	90.0	45.0	75.0	-	20.0
Goethita	30.0	30.0	35.0	55.0	15.0	20.0	30.0	25.0	20.0	42.0	52.0	28.0	35.0
Hematita	40.0	40.0	55.0	50.0	45.0	50.0	55.0	55.0	40.0	55.0	49.0	55.0	25.0
Caulinita	125.0	135.0	150.0	120.0	140.0	135.0	160.0	205.0	150.0	175.0	180.0	120.0	105.0
Rutilo	40.0	-	-	-	20.0	15.0	10.0	15.0	25.0	20.0	25.0	15.0	10.0
Anatásio	25.0	35.0	30.0	35.0	-	-	40.0	30.0	15.0	-	40.0	-	-

Nota-se que os resultados se comparados aqueles provenientes da semi-quantificação e da contagem de picos de N1 apresentam diferenças de quantitativos uma vez que no segundo está sendo considerado apenas os picos de N1 da fração total e não da fração argila e seus demais espaçamentos de distâncias interplanares basais.

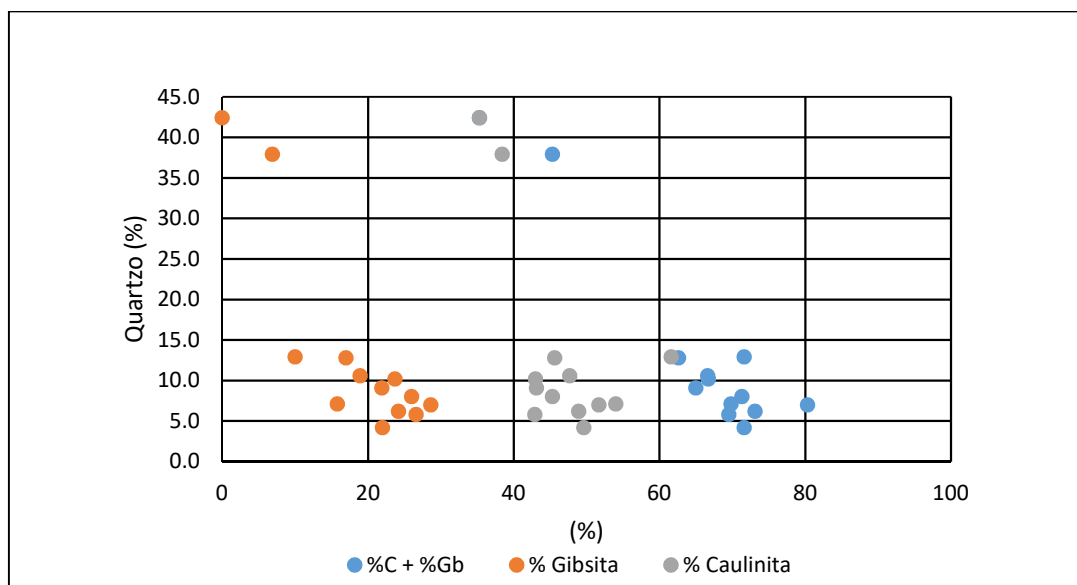


Figura 4.28. Correlação Caulinita/Gibbsita e %Ct + %Gb em função de quartzo - Perfil Lago Sul 2.

Observa-se que os resultados para cada profundidade apresentam um mesmo comportamento, mesmo somando-se os quantitativos desses dois minerais (caulinita e gibbsita), quando correlacionadas à presença de quartzo.

A Tabela 4-9 apresenta os resultados da semi-quantificação e o cálculo das razões hematita/goethita e caulinita/gibbsita para o Perfil 2 do Lago Sul.

Tabela 4-9. Quantificação mineralógica e razões RHmGt e RCtGb do Perfil Lago Sul 2.

Profundidade (m)	% Gibbsita	% Caulinita	% Hematita	% Goethita	RHmGt	RCtGb
1	0.19	0.48	0.04	0.07	0.37	0.72
2	0.24	0.43	0.05	0.12	0.31	0.64
3	0.22	0.43	0.05	0.12	0.29	0.66
4	0.27	0.43	0.05	0.12	0.27	0.62
5	0.26	0.45	0.05	0.15	0.24	0.64
6	0.29	0.52	0.07	0.04	0.61	0.64
7	0.24	0.49	0.08	0.07	0.53	0.67
8	0.16	0.54	0.07	0.08	0.46	0.77
9	0.22	0.50	0.07	0.09	0.42	0.69
10	0.10	0.62	0.06	0.08	0.45	0.86
11	0.17	0.46	0.07	0.09	0.42	0.73
12	0.00	0.35	0.09	0.10	0.47	1.00
13	0.07	0.38	0.08	0.05	0.62	0.85

Unidades em números decimais.

Na Figura 4.29 pode-se observar que as amostras dos perfil se concentraram nos quadrantes da direita, sendo que apenas as amostras pertencentes às profundidades 6m, 7m e 13m se apresentaram no quadrantes CtHm, resultando na classificação predominantemente caulínítico oxidíco por conterem um pequeno aumento nos percentuais de hematita, resultando na relação $RHmGt > 50\%$.

Já as demais profundidades de solo apresentam-se categorizados como predominantemente caulíníticos devido a seus altos percentuais de caulinita nas amostras.

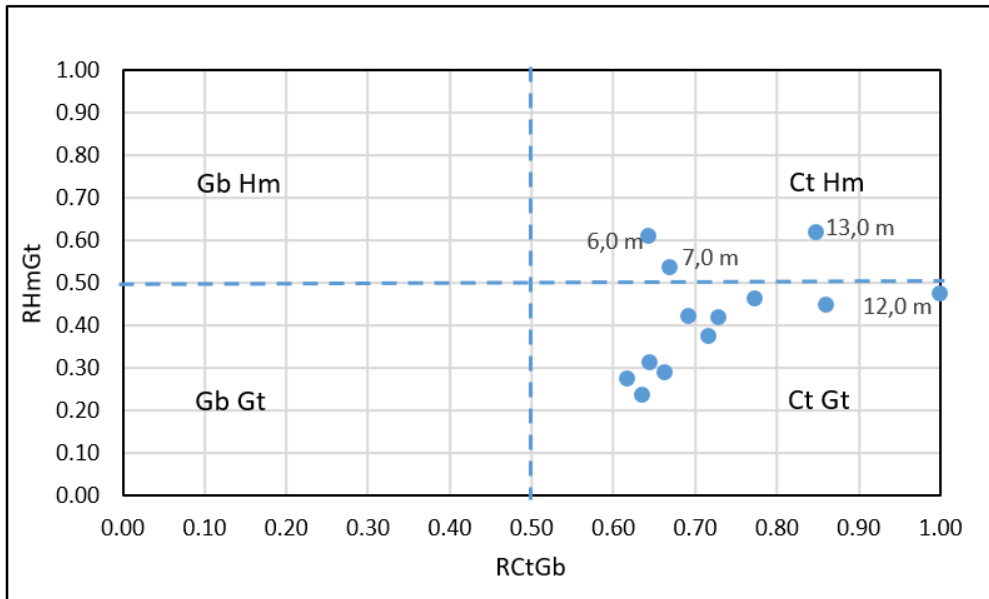


Figura 4.29. Gráfico RctGb em função de RmGt – Perfil Lago Sul 2.

Para o gráfico de intensidade de contagens para N1 dos minerais envolvidos diretamente no aparecimento e transformação dos minerais secundários ou neoformados indicam uma boa relação entre o conjunto Caulinita + Gibbsita (Ct+2Gb) em função do quartzo: os comportamentos indicam uma semelhança nesse quesito indicada pela transformação caulinita para gibbsita liberando sílica para o ambiente e formando quartzo que poderia estar somado às quantidades já existentes no perfil. Observa-se que, normalmente os perfis se invertem quando o mesmo se aproxima do solo saprolítico, menos intemperizado. Nota-se que o comportamento da gibbsita apresenta-se muito semelhante ao do quartzo, corroborando com a hipótese levantada até então (Figura 4.30).

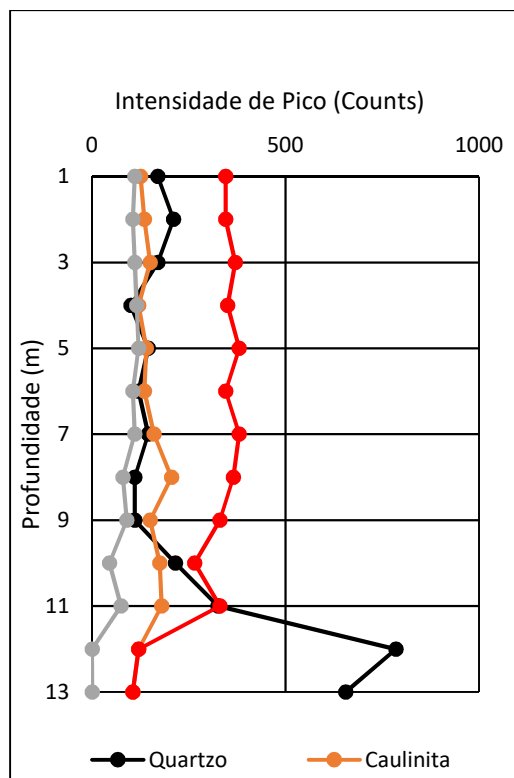


Figura 4.30. Intensidade de Picos de Caulinita, Gibbsita e Ct+Gb.

A Figura 4.31 compreende a assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para o perfil Lago Sul 2. Nesta figura pode-se observar que há uma relação entre as ocorrências de caulinita, gibbsita e quartzo, apresentando comportamentos semelhantes, mas chamando a atenção para o fato de que ao formar caulinita, estaria ocorrendo uma redução no teor de gibbsita, ou seja, pode estar ocorrendo um processo de caulinitização nesse perfil, em especial entre 8m e 12m de profundidade.

Em contrapartida, o contrário ocorre com relação ao quartzo e a gibbsita, indicando que, ao ocorrer um processo de caulinitização se dá a diminuição do teor de gibbsita sem que aumente o teor de quartzo, lembrando que no perfil o teor de gibbsita apesar do silício liberado ter contribuído para a formação do quartzo. Cabe lembrar que sempre se deve considerar que na possibilidade da formação de quartzo, este se soma ao já existente no perfil.

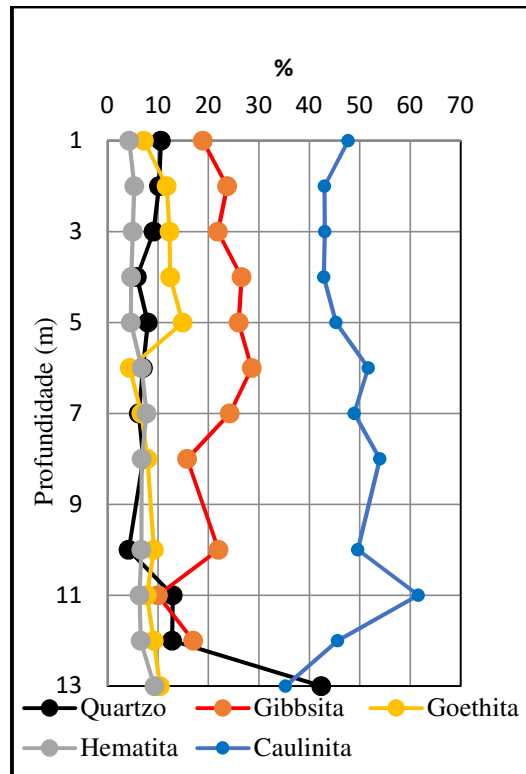


Figura 4.31. Assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para perfil Lago Sul 2.

Da análise dos Perfis Lago Sul 1 e 2 na Figura 4.32 pode-se supor que não esteja ocorrendo a formação de quartzo à partir da formação caulinita e da gibbsita. O Perfil Lago Sul 1 está sujeito às condições de intemperismo de bordo de relevo, ocasionando em condições diferenciadas e ocasionando em um acúmulo de quartzo no perfil. Já para o Perfil Lago Sul 2 indentifica-se um processo de caulinitização do mesmo, assim justificando a diminuição do teor de gibbsita no perfil. Para que houvesse uma relação de formação de quartzo secundário seria necessário ocorrer um aumento de quartzo acompanhando um aumento de gibbsita, o que não ocorre neste caso (Figura 4.31).

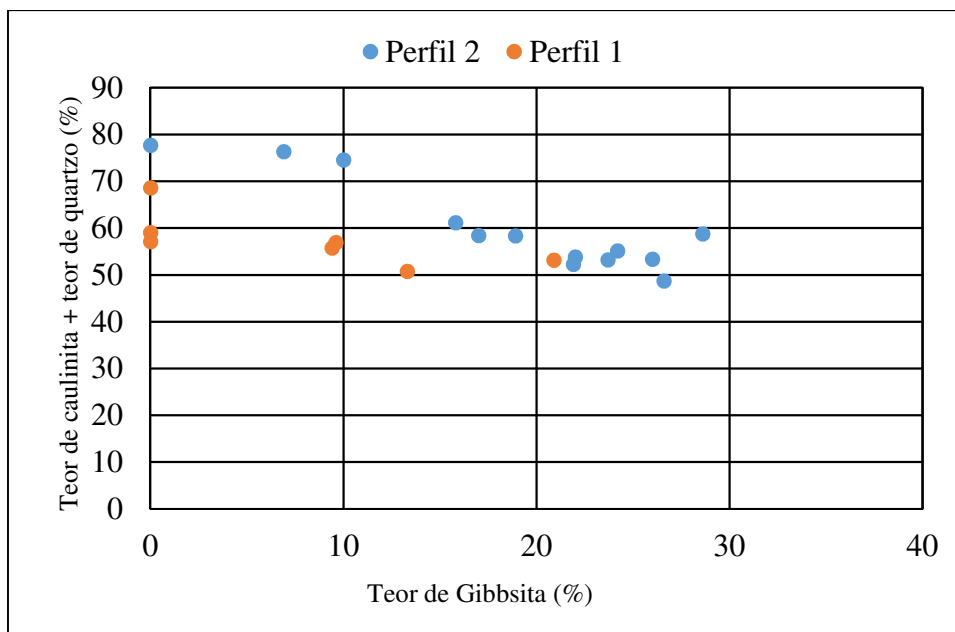


Figura 4.32. Relação entre os teores caulinita + quartzo versus gibbsita.

c) Perfil Park Sul

No perfil Park Sul (Tabela 4-10.) observa-se a presença de um maior quantitativo de gibbsita nos primeiros quatro (4) metros, decrescendo ou tornando-se inexistente ao longo da profundidade. Já a caulinita, nos primeiros metros não encontra-se tão expressiva, mas a medida que a profundidade aumenta, os teores também aumentam até 12m, quando começa a decrescer. Nos primeiros oito (8) metros o quantitativo de quartzo apresenta-se pouco expressivo, aumenta a nove (9) metros de profundidade e torna-se inexistente entre 10m e 12m.

Tabela 4-10. Análise Semi-Quantitativa do Perfil Park Sul.

Minerais	Profundidade										
	1	4	8	9	10	12	14	16	18	19	20
	%										
Quartzo	2.7	0.2	5.9	35.5	-	-	5.2	22.4	12.6	-	24.2
Gibbsita	62.5	52.2	9.3	7.4	7.5	-	-	-	1.8	1.6	-
Caulinita	26.3	35.2	16.4	51.0	65.4	84.5	63.6	34.2	50.1	21.2	24.1
Muscovita	-	9.9	40.0	-	9.2	12.2	12.3	40.6	33.2	54.5	50.0
Hematita	4.2	-	-	4.4	0.6	-	6.2	0.5	0.3	21.8	-
Rutilo	1.8	2.3	4.8	-	0.5	-	0.4	1.4	0.2	-	0.1
Anatásio	1.8	-	-	0.7	-	-	-	-	-	-	-
Ilita	0.5	-	-	0.8	-	-	-	-	-	-	-
Diásporo	0.1	0.1	13.3	0.2	15.7	1.6	8.7	0.5	0.9	0.5	1.6
Anidrita	-	0.1	10.2	-	1.1	1.7	3.6	0.4	0.9	0.5	-

Na Tabela 4-11 são apresentados os valores de picos de N1 para a assembléia mineral observada na amostra. Os picos de N1 são aqueles característicos de cada mineral em seu plano de melhor reflexão. Estes valores foram utilizados para compor uma análise de correlação para as transformações minerais, entre caulinita, gibbsita, caulinita (Ct) + gibbsita (Gb) versus quartzo. O resultado pode ser observado na Figura 4.33. Nota-se que os resultados se comparadas aqueles provenientes da semi-quantificação e da contagem de picos de N1 apresentam diferenças de quantitativos uma vez que no segundo está sendo considerado apenas os picos de N1 da fração total e não da fração argila e seus demais espaçamentos de distâncias interplanares basais.

Tabela 4-11. Intensidade de Contagem dos Picos N1 – Perfil Park Sul.

Minerais	Profundidade (m)										
	1	4	8	9	10	12	14	16	18	19	20
	Intensidade (Counts)										
Quartzo	1381.6	657.9	1052.6	7236.8	-	-	4342.1	2828.9	1907.9	-	6118.4
Gibbsita	7500.0	6118.4	328.9	723.7	131.6	-	-	-	263.2	197.4	-
Caulinita	1842.1	2302.6	2500.0	1842.1	5131.6	2368.4	5131.6	1842.1	6907.9	4078.9	5000.0
Muscovita	-	394.7	2368.4	-	12631.6	5131.6	8881.6	2763.2	9342.1	8157.9	12302.6
Hematita	526.3	-	394.7	328.9	131.6	-	131.6	65.8	263.2	65.8	-
Rutilo	263.2	263.2	131.6	131.6	986.8	-	197.4	131.6	197.4	-	65.8
Anatásio	460.5	-	-	65.8	-	-	-	-	-	-	-
Ilita	197.4	-	-	197.4	-	-	-	-	-	-	-
Diásporo	131.6	197.4	197.4	157.9	263.2	131.6	328.9	197.4	263.2	592.1	197.4
Anidrita	-	394.7	197.4	-	328.9	157.9	302.6	460.5	723.7	394.7	-

Observa-se na Figura 4.33 que os resultados obtidos para o perfil apresentam um comportamento semelhante na relação com o teor de quartzo, tanto com os minerais gibbsita e caulinita analisados separadamente como quando se soma os quantitativos destes dois minerais, mostrando que a questão da transformação de minerais 2:1 em 1:1 e do 1:1 em gibbsita, liberando quartzo/sílica, é coerente. Este perfil sinaliza para a confirmação da hipótese inicialmente levantada de que o silício liberado no processo de formação da caulinita e da gibbsita daria origem ao quartzo.

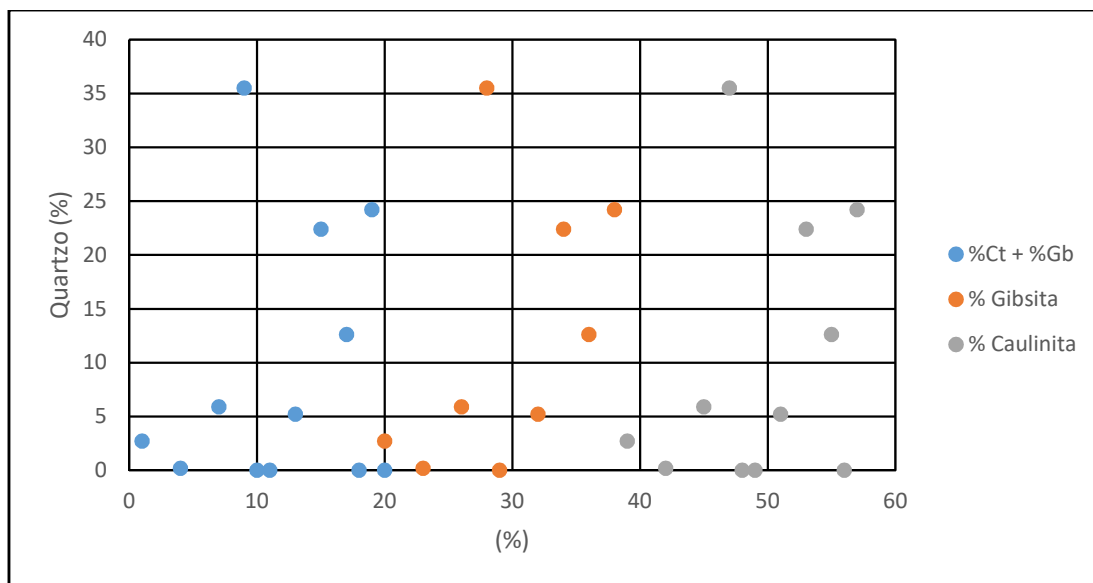


Figura 4.33. Correlação Caulinita/Gibbista e %Ct + %Gb em função de quartzo - Perfil Park Sul.

A

Tabela 4-12 apresenta os resultados da semi-quantificação e o cálculo das razões hematita/goethita e caulinita/gibbsita para o Perfil Park Sul.

Tabela 4-12. Quantificação mineralógica e razões RHmGt e RCtGb do Perfil Park Sul.

Profundidade (m)	% Gibbsita	% Caulinita	% Hematita	% Goethita	RHmGt	RCtGb
1	0.63	0.26	0.04	0.00	1.00	0.30
4	0.52	0.35	0.00	0.00	0.00	0.40
7	0.09	0.16	0.00	0.00	0.00	0.64
8	0.07	0.51	0.04	0.00	0.00	0.87
10	0.08	0.65	0.01	0.00	1.00	0.90
11	0.00	0.85	0.00	0.00	0.00	1.00
14	0.00	0.64	0.06	0.00	1.00	1.00
16	0.00	0.34	0.05	0.00	1.00	1.00
18	0.02	0.50	0.03	0.00	1.00	0.97
19	0.02	0.21	0.22	0.00	1.00	0.93
20	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	1.00

Unidades em números decimais.

Na Figura 4.34 pode-se observar que há uma predominância das amostras nos quadrantes da direita, Com os altos quantitativos de gibbsita entre 1m e 4m de profundidade, pode-se concluir por um estágio mais elevado de intemperismo nessas profundidades, podendo-se classificar esses solos como gibbsíticos. As demais profundidades podem ser classificadas como solos caulíníticos-oxídicos, por apresentam razões RCtGb > 0,5 (Tabela 4-12). Portanto, observa-se que os solos mais superficiais encontram-se mais intemperizados.

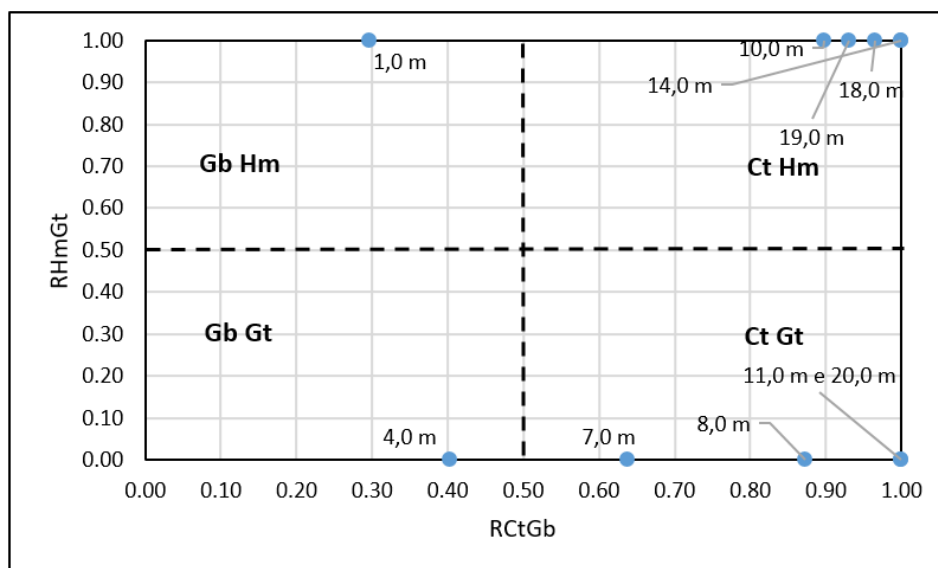


Figura 4.34. Gráfico RCtGb em função de RHmGt – Perfil Park Sul.

d) Perfil Torre de TV Digital

No Perfil Torre de TV Digital (Tabela 4-13) observa-se um crescente quantitativo de caulinita com o aumento da profundidade, enquanto que o quantitativo de gibbsita e quartzo são mais significativos até a profundidade de 4 m.

Tabela 4-13. Análise Semi-Quantitativa do Perfil Torre de TV Digital.

Minerais	Profundidade (m)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Intensidade Relativa (%)							
Caulinita	18.8	17.7	28.3	24.6	36.6	38.4	33.6	41.8
Gibbsita	18.6	23.1	14.6	19.1	6.7	5.9	2.3	1.7
Quartzo	18.3	9.8	12.3	12.5	7.6	9.3	7.3	2.6
Piroxênio	11.2	10.6	10.8	9.7	13.8	14.6	17.7	17.8
Goethita	6	7.1	6.9	6.3	8.2	8.1	9.2	8.4
Piropo	5.1	5.6	6	5.3	7.8	7	7.7	8.5
Hematita	5	3.6	3.8	4	4.1	3.2	4.4	4.1
Espinélio	4.9	8.4	6.8	7.1	4.6		5.2	4.5
Lime	4.5	4.8	4.2	4.3	3.7	4.3	4.1	4
Anatásio	3.6	2.4	2.2	2.2	3.5	3.5	3.4	2.3
Maghemita	2.9	2.7	2.9	3.7	2.1	4.7	4	2.7
Rutilo	1.2	4.2	1.2	1.3	1.3	1.1	1	1.6

Na Figura 4.35 e na Tabela 4-14 observa-se que praticamente todas as amostras situam-se dentro do campo CtGt característicos de solos caulínitos oxidicos, com razões RCtGb > 5 (Tabela 4-14); Já os valores para razão RHmGt apresenta-se inferiores a 0,5 no perfil.

Tabela 4-14. .Quantificação mineralógica e razões RHmGt e RCtGb do Perfil Torre de TV Digital.

Profundidade (m)	% Gibbsita	% Caulinita	% Hematita	% Goethita	RHmGt	RCtGb
1.00	0.19	0.19	0.05	0.06	0.45	0.50
2.00	0.23	0.18	0.04	0.07	0.34	0.43
3.00	0.15	0.28	0.04	0.07	0.36	0.66
4.00	0.19	0.25	0.04	0.06	0.39	0.56
5.00	0.07	0.37	0.04	0.08	0.33	0.85
6.00	0.06	0.38	0.03	0.08	0.28	0.87
7.00	0.02	0.34	0.04	0.09	0.32	0.94
8.00	0.02	0.42	0.04	0.08	0.33	0.96

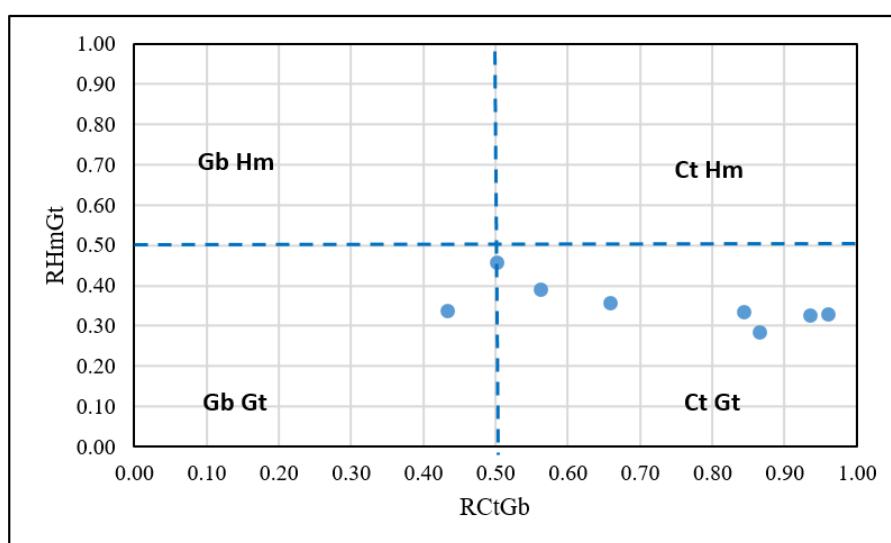


Figura 4.35. Gráfico RCtGb em função de RHmGt – Perfil Torre de TV Digital.

A Figura 4.36 compreende a assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neofornadas para o perfil Torre de TV; Neste se observa que há uma relação entre a caulinita, gibbsita e quartzo que poderiam indicar um fenômeno de neofornação mineral. Observe que a gibbsita e o quartzo possuem comportamentos semelhantes e se comparados ao comportamento da caulinita há um antagonismo, indicando que na geração da gibbsita, à partir da caulinita, poderia haver uma liberação de sílica no perfil.

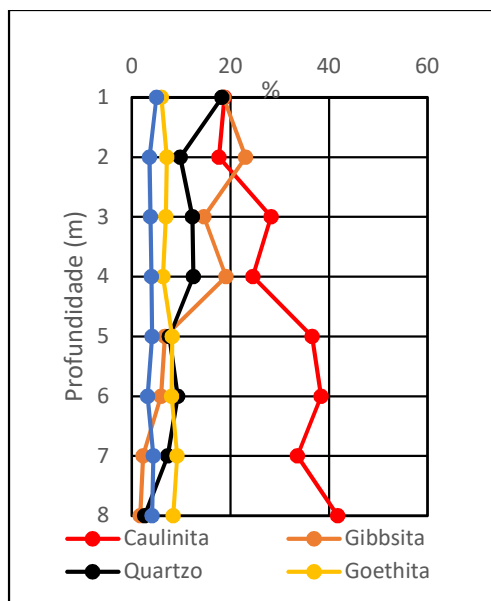


Figura 4.36. Assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para perfil Torre Digital de TV.

e) Perfil Clube do Exército

No perfil Clube do Exército (Tabela 4-15) observa-se a presença de um maior quantitativo de gibbsita para todas as profundidades consideradas, enquanto que o quantitativo de caulinita e quartzo em especial deste último é pequeno. A presença do mineral óxido de titânio (Anatásio) apresenta-se em um quantitativo considerável em um metro, isso mostra que a esta profundidade, o solo encontra-se bastante intemperizado e houve uma concentração do mesmo.

Tabela 4-15. Análise Semi-Quantitativa do Perfil Clube do Exército.

Minerais	Profundidade (m)		
	1.0	2.0	3.0
	%		
Quartzo	5.9	1.5	1.5
Gibbsita	41.5	55.4	55.1
Caulinita	29.1	28.9	26
Muscovita	-	12.3	9.2
Hematita	4.2	0.8	3.7
Rutilo	0.5	0.5	2.1
Anatásio	16.4	0.5	1.7
Ilita	2.5	-	-
Montmorilonita	-	0.2	0.8

Na Tabela 4-16 são apresentados os valores de picos de N1 para a assembléia mineral observada na amostra. Os picos de N1 são aqueles característicos de cada mineral em seu plano de melhor reflexão. Estes valores foram utilizados para compor uma análise de correlação para as transformações minerais, entre caulinita, gibbsita, caulinita (Ct) + gibbsita (Gb) versus quartzo. O resultado desta análise pode ser observado na Figura 4.38.

Tabela 4-16. Intensidade de Contagem dos Picos N1 – Perfil Clube do Exército.

Minerais	Profundidade (m)		
	1.0	2.0	3.0
	Intensidade (Counts)		
Quartzo	2808.2	3257.1	2187.5
Gibbsita	4726.0	7371.4	6812.5
Caulinita	1232.9	1200.0	1250.0
Muscovita	-	171.4	125.0
Hematita	753.4	514.3	562.5
Rutilo	342.5	400.0	375.0
Anatasio	205.5	171.4	443.8
Ilita	342.5	-	-
Montmorilonita	-	114.3	62.5

A correlação das espécies separadamente e somadas apresentam tendências semelhantes, mas observa-se que a soma apresenta uma contribuição maior da gibbsita em relação a caulinita.

Tabela 4-17. Quantificação mineralógica e razões RHmGt e RCtGb do Perfil Clube do Exército.

Profundidade (m)	% Gibbsita	% Caulinita	% Hematita	% Goethita	RHmGt	RCtGb
1.00	0.42	0.29	0.00	0.05	0.00	0.41
2.00	0.55	0.29	0.00	0.04	0.00	0.34
3.00	0.55	0.26	0.00	0.09	0.00	0.32

Unidades em números decimais.

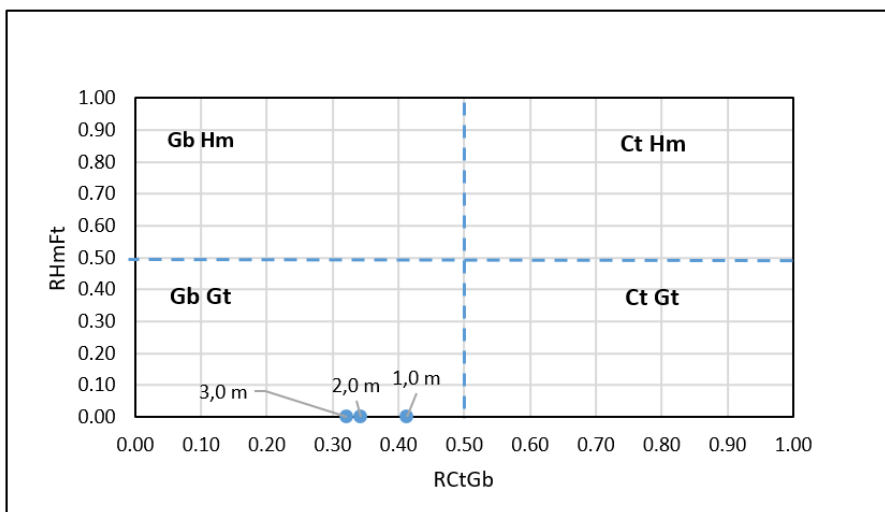


Figura 4.37. Gráfico RCTGb em função de RHmGt – Perfil Clube do Exército.

Na Figura 4.37 observa-se que todas as amostras estão dentro do campo GbGt, demonstrando que esses solos podem ser classificados como gibbsíticos pois apresentam quantitativos superiores a 40% desse mineral; A razão HmGt apresenta-se nula devido a inexistência de hematita no perfil.

Apesar do baixo teor de quartzo registrado no perfil observa-se na Figura 4.38 a similaridade nos formatos dos perfis obtidos para N1 considerando-se o quartzo, a gibbsita e a caulinita mais gibbsita. Em termos de teor semi-quantificado essa semelhança deixa de existir indicando neste caso a relevância de se considerar a amostra total.

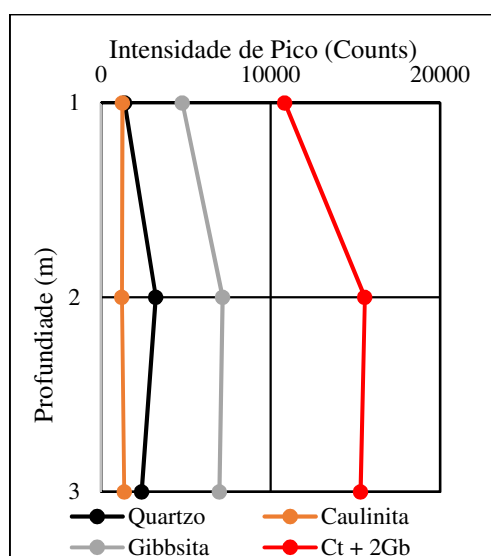


Figura 4.38. Intensidade de Picos de Caulinita, Gibbsita e Ct+Gb.

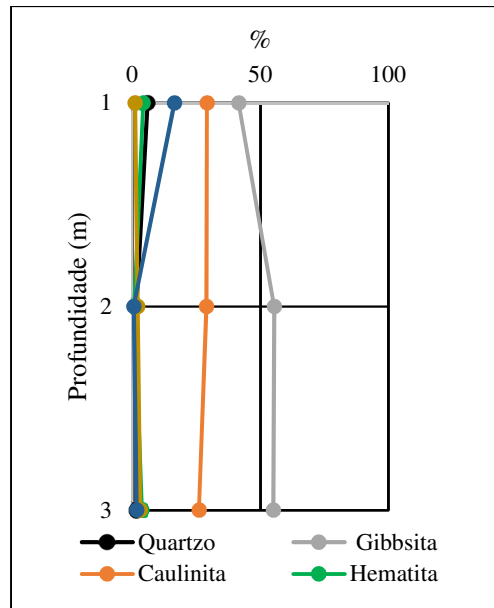


Figura 4.39. Assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para perfil Clube do Exército.

A Figura 4.39 compreende a assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para o perfil Clube do Exército. Pode-se observar que apenas os comportamentos da caulinita e da gibbsita são semelhantes, evidenciando-se a transformação 2:1 para 1:1 + gibbsita; no entanto, principalmente em função do quantitativo de quartzo, não se pode afirmar que esteja ocorrendo uma neoformação, pois existe a possibilidade deste ter sido lixiviado do perfil.

f) Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado

No perfil Obra de Ligação Torto-Colorado (Tabela 4-18) observa-se a presença de um maior quantitativo de quartzo em detrimento aos demais minerais. A gibbsita apresenta-se apenas no primeiro metro do perfil, tornando-se ausente nos demais. A caulinita apresenta uma certa abundância, principalmente a dois (2) metros de profundidade, onde em campo é possível observar bolsões de continuidade lateral no perfil.

Tabela 4-18. Análise Semi-Quantitativa do Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado.

Minerais	Profundidade (m)		
	1.0	2.0	3.0
	%		
Quartzo	40.6	45.0	26.6
Caulinita	25.0	49.0	26.7
Gibbsita	7.7	-	-
Goethita	4.7	3.7	0.9
Muscovita	11.6	1.4	43.4
Hematita	-	-	-
Rutilo	1.9	0.9	2.5
Anatasio	0.3	-	-
Rectorita	5.0	-	-
Saponita	3.7	-	-

Na Tabela 4-19 são apresentados os valores de picos de N1 para a assembléia mineral observada na amostra. Os picos de N1 são aqueles característicos de cada mineral em seu plano de melhor reflexão.

Tabela 4-19. Intensidade de Contagem dos Picos N1 – Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado.

Minerais	Profundidade (m)		
	1.0	2.0	3.0
	Intensidade (Counts)		
Quartzo	16481.5	22790.7	23111.1
Caulinita	6296.3	8604.7	4888.9
Gibbsita	370.4	-	-
Goethita	740.7	1162.8	222.2
Muscovita	5555.6	10930.2	11333.3
Hematita	0.0	-	-
Rutilo	370.4	232.6	444.4
Anatasio	0.0	-	-
Rectorita	37.0	-	-
Saponita	555.6	-	-

Nota-se que os resultados se comparadas aqueles provenientes da semi-quantificação com os oriundos da contagem de picos de N1 apresentam diferenças de quantitativos uma vez que no segundo está sendo considerado os picos de N1 da fração total e não da fração argila e seus demais espaçamentos de distâncias interplanares basais.

A Tabela 4-20 apresenta os resultados da semi-quantificação e o cálculo das razões hematita/goethita e caulinita/gibbsita para o Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado.

Tabela 4-20. Quantificação mineralógica e razões RHmGt e RCtGb do Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado.

Profundidade (m)	% Gibbsita	% Caulinita	% Hematita	% Goethita	RHmGt	RCtGb
1.00	0.08	0.30	0.00	0.05	0.00	0.76
2.00	0.00	0.50	0.00	0.05	0.00	1.00
3.00	0.00	0.30	0.00	0.09	0.00	1.00

Unidades em números decimais.

Na Figura 4.40 observa-se que todas as amostras estão dentro do campo RCtGt, demonstrando que esses solos são exclusivamente cauliniticos. A razão RHmGt apresenta-se nula devido a inexistência de hematita no perfil.

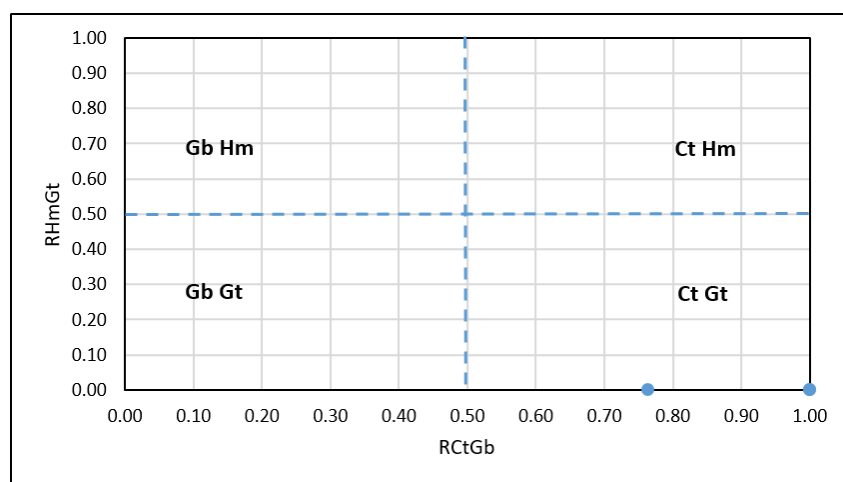


Figura 4.40. Gráfico RCtGb em função de RHmGt – Perfil Obra de Ligação Torto-Colorado.

Para o gráfico de intensidade de contagens para N1 dos minerais envolvidos diretamente no aparecimento e transformação dos minerais secundários ou neoformados observa-se uma boa relação entre a Caulinita e o conjunto Caulinita + Gibbsita (Ct+2Gb) em relação ao perfil de quartzo. O fato de apresentarem comportamentos semelhantes entre a caulinita e a soma Ct+Gb em relação ao quartzo demonstra que este perfil ainda está em evolução, por pertencer a um perfil saprolítico raso, que ainda não sofreu alitização completa. (Figura 4.41).

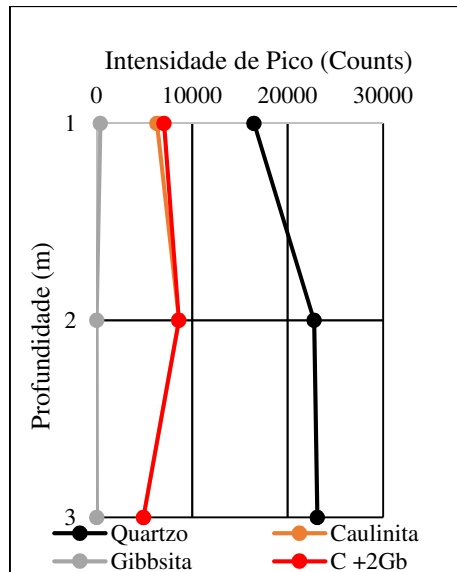


Figura 4.41. Intensidade de Picos de Caulinita, Gibbsita e Ct+Gb.

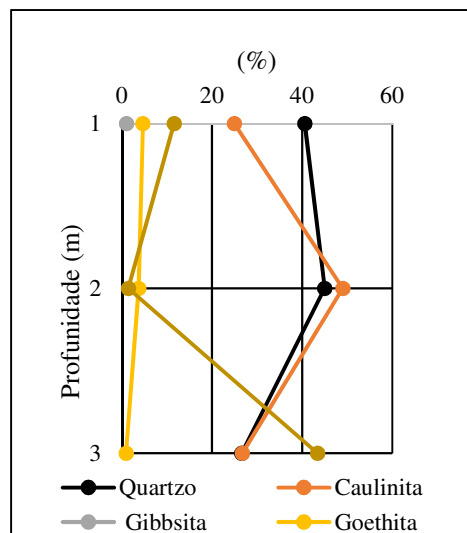


Figura 4.42. Assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para perfil Clube do Exército.

A Figura 4.42 compreende a assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para o perfil Obra de Ligação Torto Colorado. Ao observar o perfil nota-se que o mesmo se comporta como um perfil saprolítico, com oxi-hidróxidos de Fe e Al praticamente ausentes. Contudo, o perfil apresenta-se nos primeiros estágios de alteração, no qual pode-se destacar o comportamento da caulinita, abundante a cerca de 2m de profundidade. Além disso, a presença de muscovita evidencia a formação deste solo ainda.

g) Perfil do Campus da Universidade Estadual de Goiás – UFG – Anápolis-GO

No perfil do campus da UEG em Anápolis-GO (Tabela 4-21) identifica-se um maior quantitativo de caulinita e gibbsita, e uma aumento e diminuição de quartzo nos horizontes A, AB e BW₂. Para a amostra de latossolo do horizonte BW₂ verifica-se que o quantitativo é compatível. As profundidades das amostras são rasas comparadas as demais, sendo horizonte A com cerca de 0,5m, horizonte AB com cerca de 1,0m e horizonte BW₂ com 2,0m de profundidade; mesma apresentando esta proximidade, verifica-se uma diferença entre estes horizontes devido a heterogeneidade apresentada pelo perfil.

Tabela 4-21. Análise Semi-Quantitativa do Perfil campus da UEG de Anápolis- BR-153.

Minerais	Amostras			
	A	AB	BW ₂	Bw ₂ (Latossolo)
	%			
Quartzo	21	4.7	12	1.8
Caulinita	30.2	41	35.9	38.8
Ilita	8.4	-	6.4	-
Gibbsita	25.9	26.1	32.7	42.2
Tridimita	11.6	23.9	5.4	10.8
Anatásio	0.6	1.9	2.9	4.5
Rutilo	0.2	0.8	1.4	0.5
Hematita	2.1	1.7	2	1.4
Montmorilonita	-	-	1.2	-

Na Tabela 4-22 são apresentados os valores de picos de N1 para a assembléia mineral observada na amostra. Os picos de N1 são aqueles característicos de cada mineral em seu plano de melhor reflexão. Estes valores foram utilizados para compor uma análise de correlação para as transformações minerais, entre caulinita, gibbsita, caulinita (Ct) + gibbsita (Gb) versus quartzo.

O resultado pode ser observado na Figura 4.43. Nota-se que os resultados se comparados aqueles provenientes da semi-quantificação e da contagem de picos de N1 eles apresentam diferenças de quantitativos uma vez que no segundo está sendo considerado apenas os picos de N1 da fração total e não da fração argila e seus demais espaçamentos de distâncias interplanares basais. Os comportamentos observados são bastante semelhantes, evidenciando que há uma boa correlação entre os processos de transformação mineral.

Tabela 4-22. Intensidade de Contagem dos Picos N1 – Perfil campus da UEG de Anápolis- BR-153.

Minerais	Amostras			
	A	AB	BW ₂	Bw ₂ (Latossolo)
	Intensity (Counts)			
Quartzo	4000.0	2060.6	2545.5	7697.0
Caulinita	1636.4	1212.1	848.5	909.1
Ilita	60.6	-	66.7	-
Gibbsita	2484.8	2303.0	2424.2	2848.5
Tridimita	545.5	545.5	606.1	848.5
Anatásio	303.0	363.6	181.8	181.8
Rutilo	121.2	181.8	60.6	60.6
Hematita	181.8	60.6	60.6	66.7
Montmorilonita	-	-	48.5	-

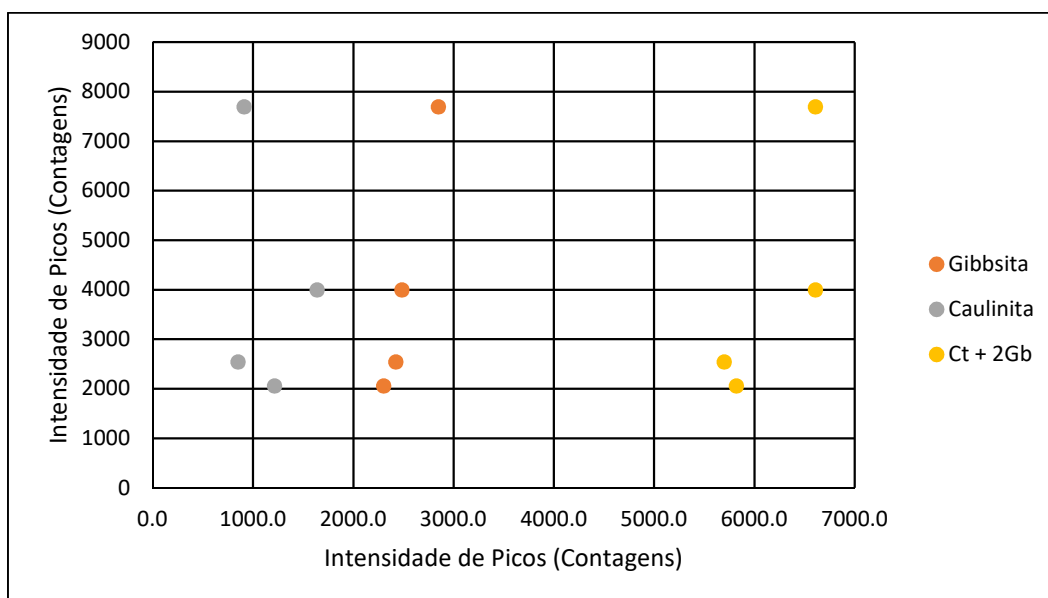


Figura 4.43. Correlação Caulinita/Gibbsita e %Ct + %Gb em função de quartzo - Perfil campus da UEG de Anápolis- BR-153.

Na Figura 4.44 semelhante a Figura 4.43, fez-se o mesmo tipo de análise, no entanto, somando-se as contagens de picos do quartzo e da tridimita, em função do polimorfismo entre eles. Observa-se que a correlação continua apresentando o mesmo comportamento, evidenciando a clara relação de transformação entre os minerais.

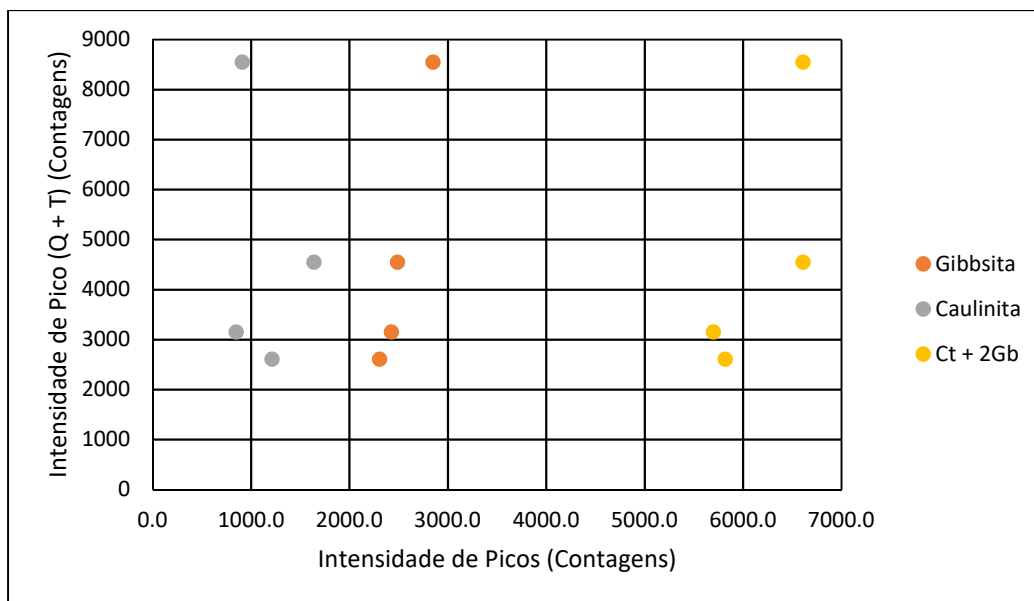


Figura 4.44. Correlação Caulinita/Gibbista e %Ct + %Gb em função de quartzo + tridimita - Perfil campus da UEG de Anápolis- BR-153.

Na Tabela 4-23 pode-se observar que todas as razões RHmGt foram iguais a 1 devido a ausência de goethita no perfil, no entanto, praticamente todas as amostras apresentaram as razões RCtGb > 0,5, indicando um caráter caulínítico do perfil.

Tabela 4-23. Quantificação mineralógica e razões RHmGt e RCtGb do Perfil campus UEG – Anápolis - BR-153.

Horizonte	% Gibbista	% Caulinita	% Hematita	% Goethita	RHmGt	RCtGb
A	0.26	0.30	0.02	0.00	1.00	0.54
AB	0.26	0.41	0.02	0.00	1.00	0.61
BW ₂	0.33	0.36	0.02	0.00	1.00	0.52
BW ₂ Latossolo	0.42	0.39	0.01	0.00	1.00	0.48

Na Figura 4.45 observa-se que todas as amostras da trincheira estão dentro do campo CtHm, indicando que estes solos são caulíníticos-oxídicos e; na amostra de latossolo, no campo GbHm, demonstrando ser este um solo gibbsítico em função de possuir mais de 40% de gibbista.

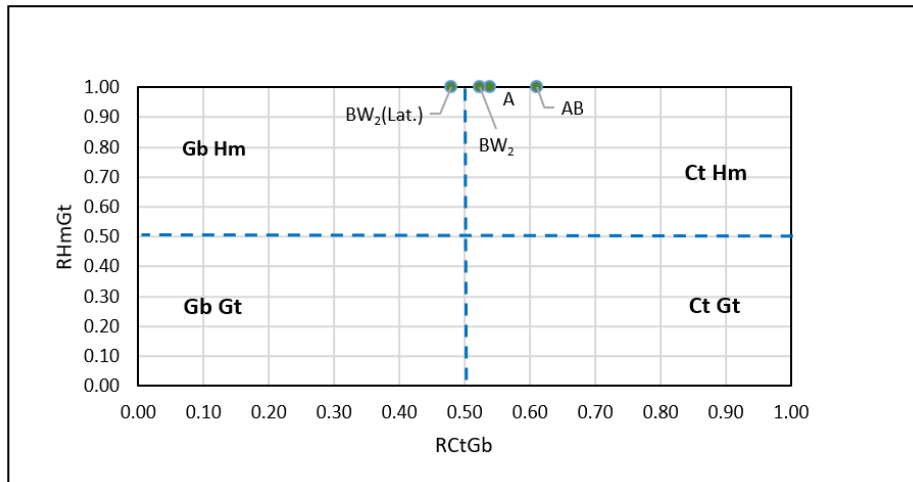


Figura 4.45. Gráfico RCTGb em função de RHmGt – Perfil campus da UEG de Anápolis- BR-153.

Para o gráfico de intensidade de contagens para N1 dos minerais envolvidos diretamente no aparecimento e transformação dos minerais secundários ou neoformados indicam uma boa relação entre o conjunto Caulinita + Gibbsita (Ct+2Gb) em função do quartzo. Na observação ficou clara a relação entre os somatórios de caulinita + gibbsita e quartzo + tridimita, indicando uma possível transformação. (Figura 4.46).

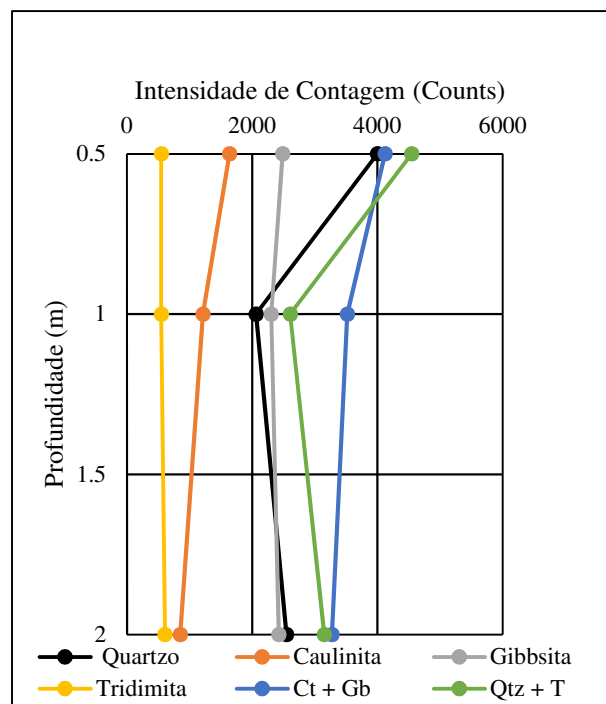


Figura 4.46. Intensidade de Picos de Caulinita, Gibbsita e Ct+Gb.

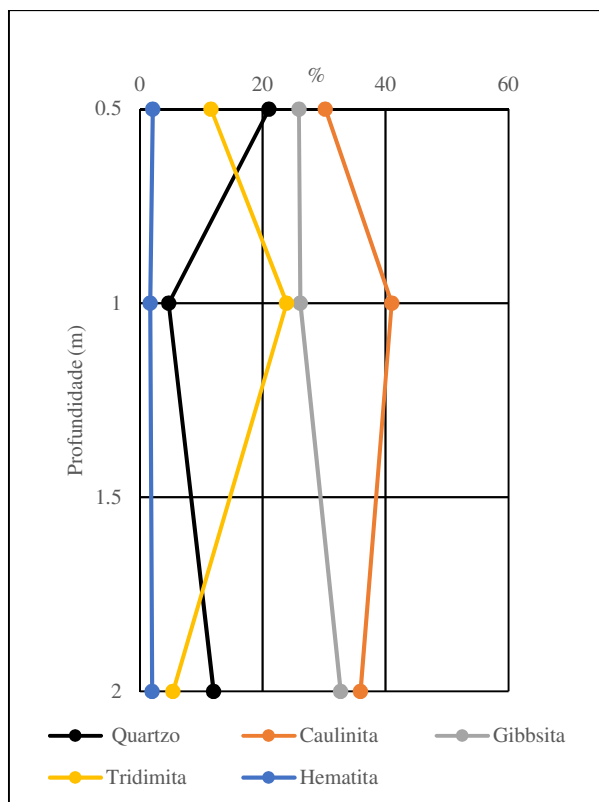


Figura 4.47. Assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para perfil Campus da UEG – Anápolis – BR-153.

A Figura 4.47 compreende a assembléia mineral global envolvida nas transformações secundárias e ou neoformadas para o perfil UEG campus de Anápolis. Observa-se que a gibbssita e o quartzo possuem comportamentos semelhantes, indicando uma transformação durante a liberação das folhas de tetraedros. No entanto, há outra relação interessante neste perfil, quando se observa o comportamento da caulinita e tridimita. Pode-se inferir que, provavelmente a sílica livre no sistema está formando tridimita, dadas as condições intempéricas e ambientais que o perfil vem sofrendo e por se tratar da formação de uma crosta laterítica/plintossolo.

4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para a análise por MEV, optou-se por utilizar a técnica de baixo vácuo (LVSTD), por dispensar a desidratação e metalização da amostra o que geralmente perturba a estrutura do solo.

Devido a técnica de amostragem adotada, embora o ideal fosse o uso amostras extraídas de blocos indeformadas, utilizou-se torrões que se mantiveram intactos quando da coleta. Esses

torrões foram quebrados em planos espelhados, para posterior fixação nas placas suporte por meio de cola comum. Houve a aplicação de “tinta de condução” nas arestas dos torrões para promover uma melhor condução elétrica nas amostras. Até o momento foram preparadas apenas amostras referentes à sondagem SPT-02 (QI 29 - Perfil Lago Sul 2) e analisadas apenas as amostras referentes às profundidades 1m a 2m e 12 m a -13 m.

As Figuras 4.48 e 4.49 obtidas respectivamente com aumentos de 295 e 1470 vezes, correspondem a imagens obtidas para a amostra coletada entre 1 m e 2 m de profundidade cujo aspecto é característico de solo laterítico. Observa-se a presença marcante de agregados com macroporos entre eles. As agregações geralmente possuem microporos em seu interiores. Morfologias características de fases não são observadas. Os grãos de quartzo raramente se apresentam isoladamente. Geralmente eles integram as agregações ou são recobertos por depósitos de argila e oxi-hidroxidos de ferro e alumínio. As Figuras 4.50 e 4.51 apresentam justamente um grão de quartzo envolto por oxi-hidróxidos e/ou argila. Cabe destacar que por uma questão de praticidade optou-se por descrever as imagens em seus respectivos títulos. A Figura 4.52 apresenta uma estrutura agregada sendo de difícil constatação os microporos nos agregados neste nível de ampliação de 1020 X embora seja clara a presença de macroporos entre eles.

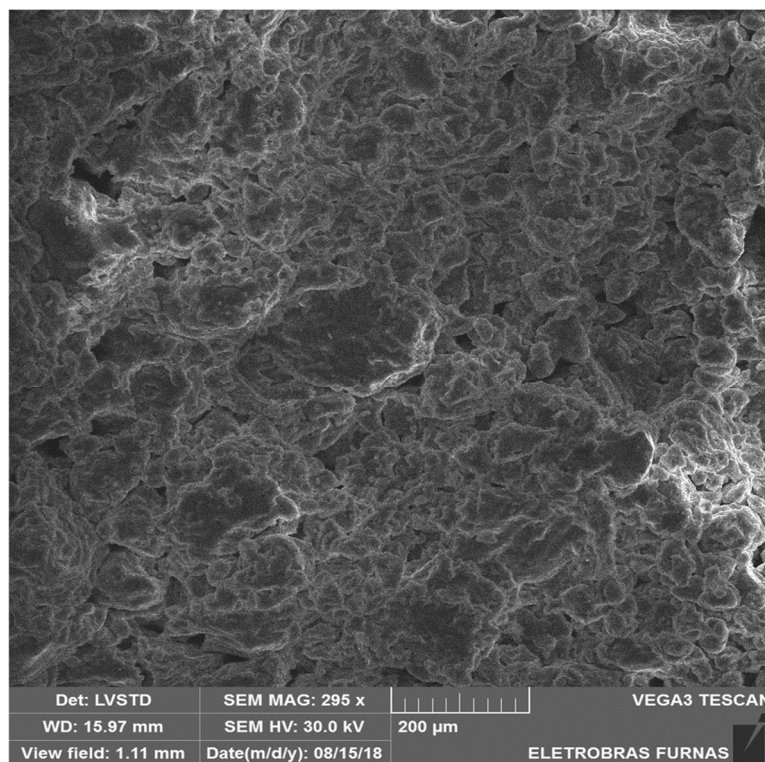


Figura 4.48. Visão geral de uma amostra coletada entre 1 m e 2 m de profundidade.

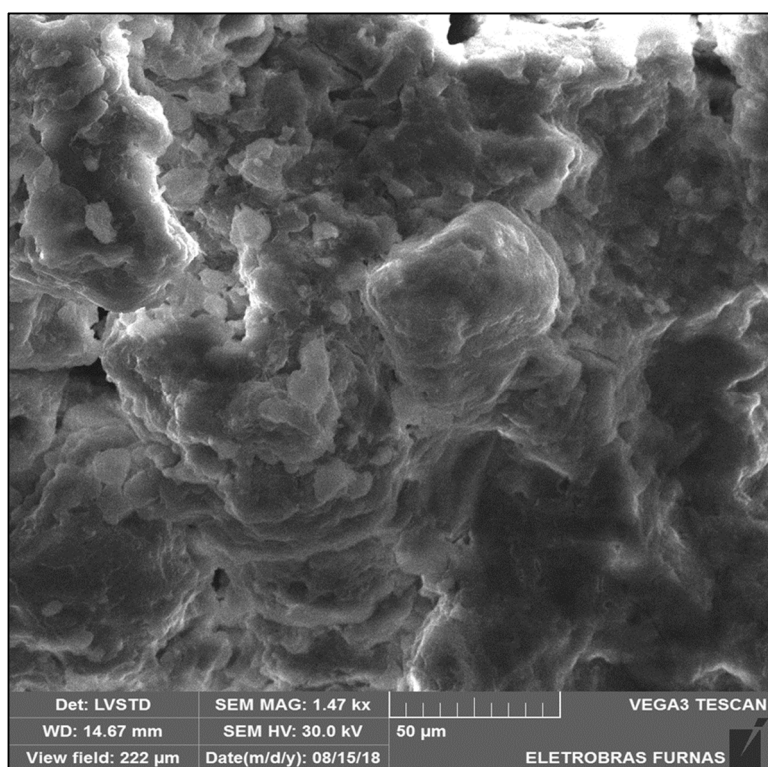


Figura 4.49. Amostra coletada entre 1 m e 2 m de profundidade. Grão sub angular no centro da imagem com fase contendo Zr envolto por agregações de argila e oxi-hidroxidos de ferro e/ ou alumínio.

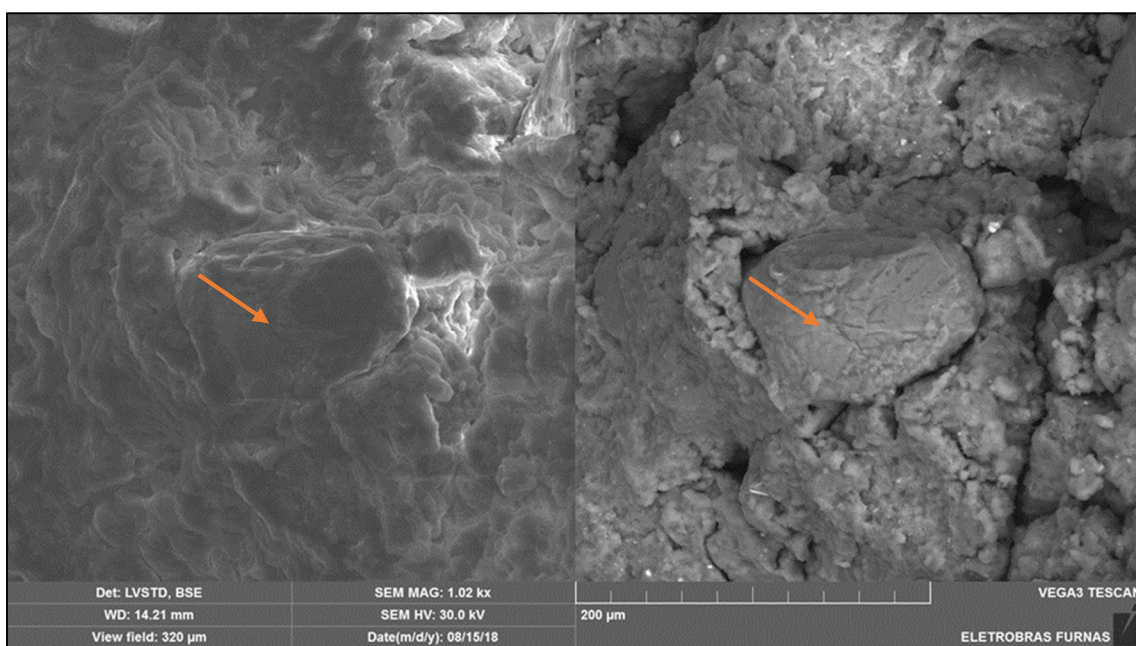


Figura 4.50. Grão de quartzo sub angular ao centro. Ao redor argilas e oxi-hidroxidos. Não se observam morfologias características das fases. À esquerda, imagem LVSTD e à direita imagem obtida por análise de EDS (ferramenta para obter a distribuição de peso atômico de determinado mineral identificado). (a) Imagem MEV; (b)

Imagem formada por “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstrando o contraste de peso entre os minerais.

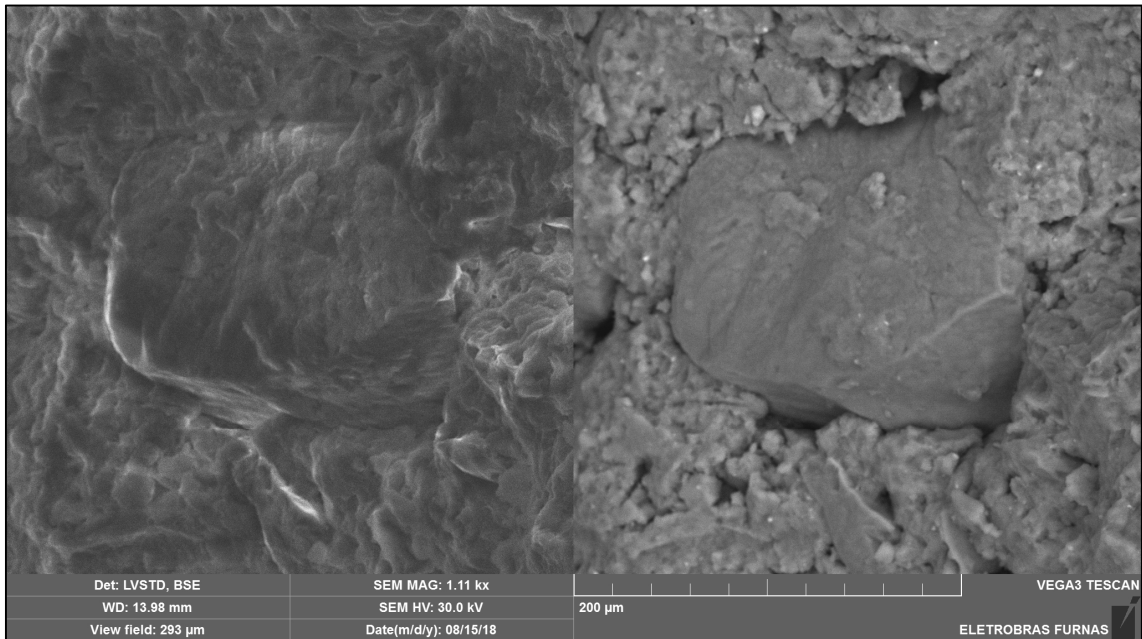


Figura 4.51. Grão de quartzo ao centro. À esquerda: Imagem MEV; à direita: Imagem formada por “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstrando o contraste de peso entre os minerais.

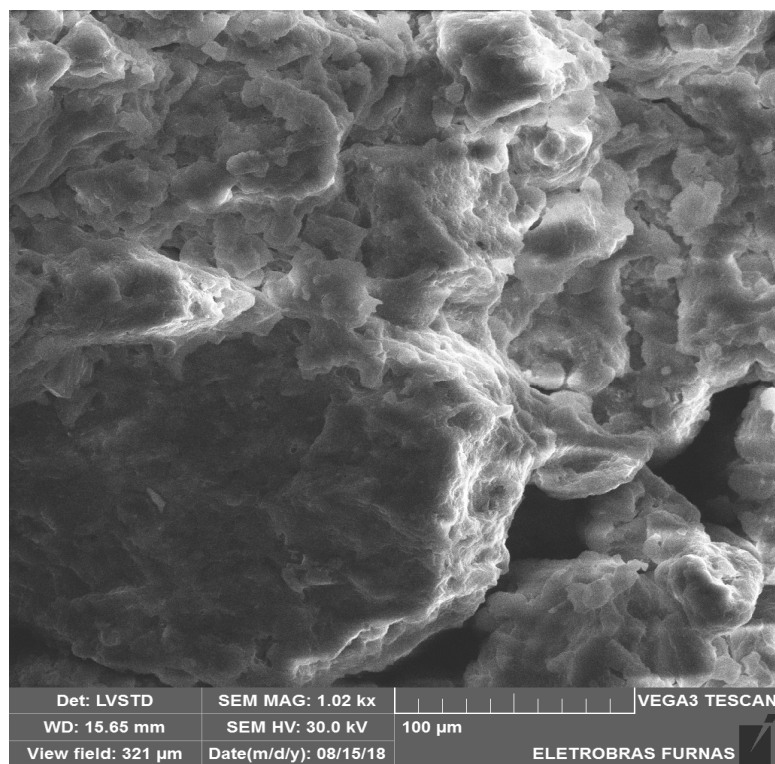


Figura 4.52. Detalhe em agregação com superfície sem microporos visualizáveis neste nível de ampliação. Macro poros ao redor dos agregados e disformes..

4.4 Análises por meio de EDS

(SPT-02 – profundidade 1-2 m)

Abaixo encontra-se a análise por EDS obtida durante a observação das morfologias e fases mineralógicas no MEV.

Os pontos e áreas analisados são indicados por meio de letras nas imagens obtidas no MEV.

A Figura 4.53 apresenta uma imagem EDS, baixo vácuo, demonstrando as características do solo tropical identificado no perfil Lago Sul 2 (1m a 2m de profundidade). Observa-se que apenas no ponto “a” indentificado na figura ocorre a presença de um grão de quartzo (Figura 4.54), nos demais pontos são identificados apenas oxi-hidróxidos de Fe/Al e óxidos de titânio (Figuras 4.55 a 4.57). É interessante observar que em termos de tamanho esses elementos analisados são semelhantes e vão impactar no comportamento hidromecânico dos solos de modo aproximadamente igual.

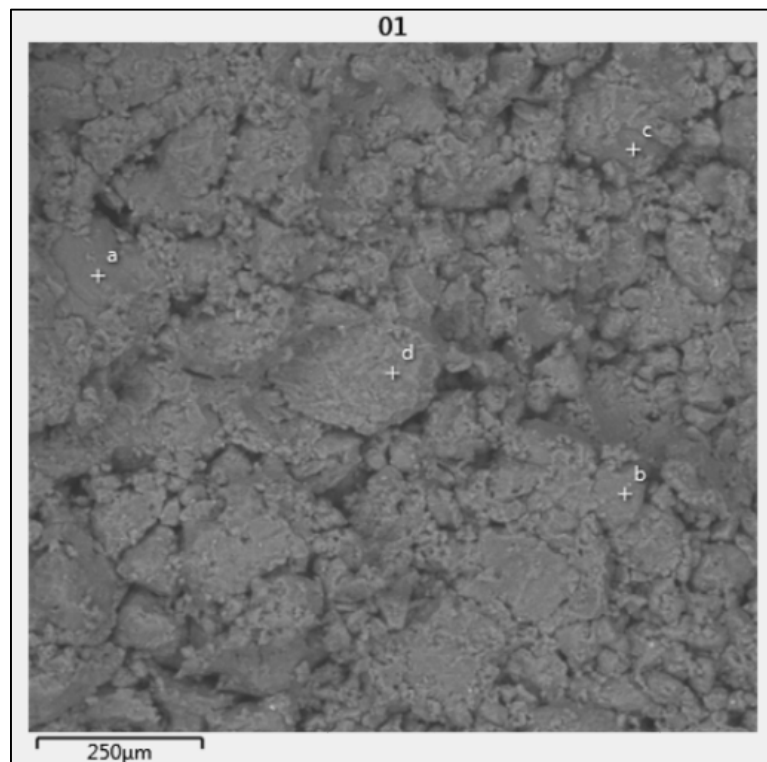


Figura 4.53. Imagem EDS. Perfil Lago Sul – 2, profundidade 1 m a 2m.

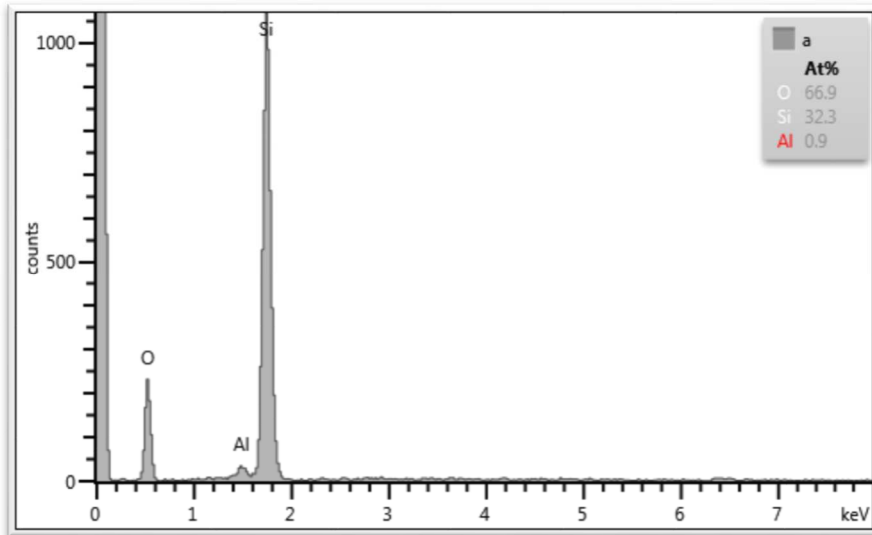


Figura 4.54. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-2, confirmando a presença de grão de quartzo no ponto a. 1 m a 2 m de profundidade.

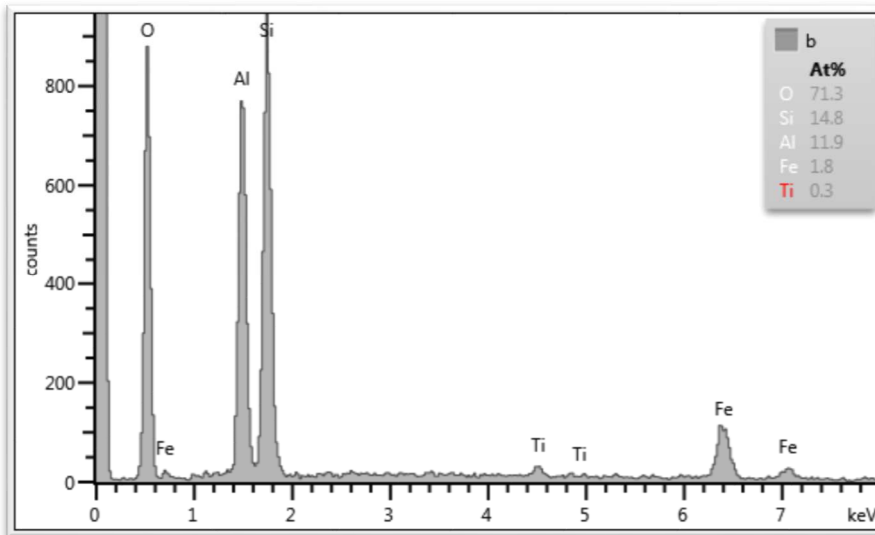


Figura 4.55. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-2 - a presença de Si, Al, oxihidróxidos de Fe e Ti – agregado, ponto b. (1 m a 2 m de profundidade).

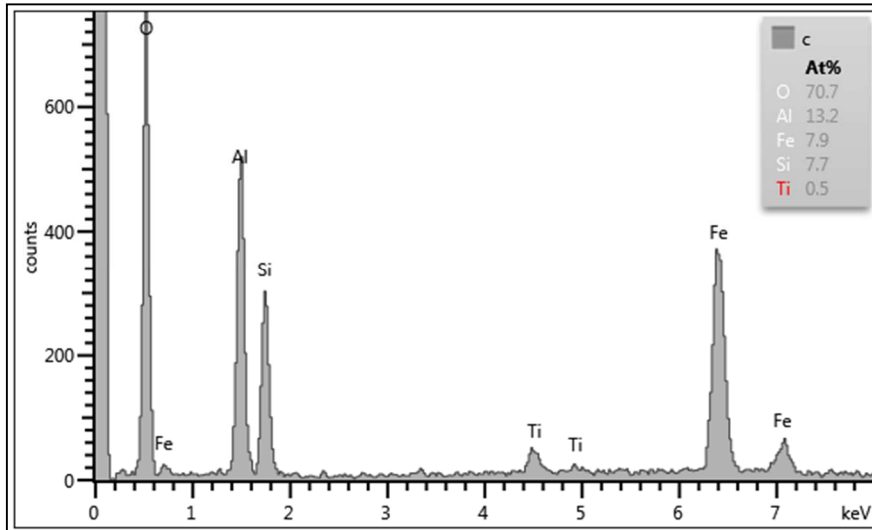


Figura 4.56. Resultado de Imagem EDS Perfil Lago Sul-2 – possível presença de caulinita e oxi-hidróxidos de Fe e Ti – agregado, ponto c. (1 m a 2 m de profundidade).

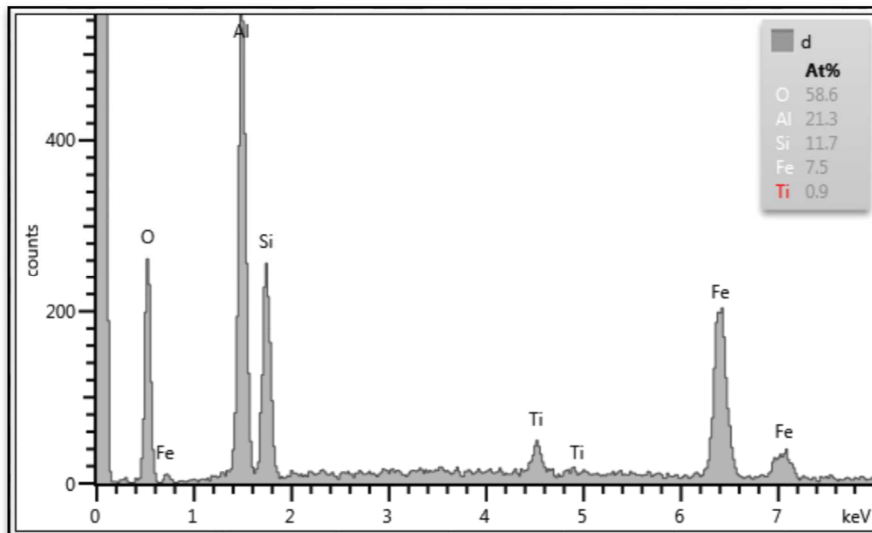


Figura 4.57. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-2 - possível presença de caulinita, oxi-hidróxidos de Fe e Ti – agregado, ponto d. (1 m a 2 m de profundidade).

Nas figuras subsequentes observa-se que os grãos de quartzo estão envolvidos por agregados, mesmo em se tratando de uma profundidade que corresponde a um solo saprolítico, indicando que a frente de intemperismo é bastante profunda (Figura 4.58). Podem ser visualizadas estruturas foliares que com base nas análises mineralógicas realizadas poderiam ser identificadas como caulinitas (Figuras 4.59 a 4.61 apresentam mais um detalhe das características estruturais do solo coletado nesta profundidade.).

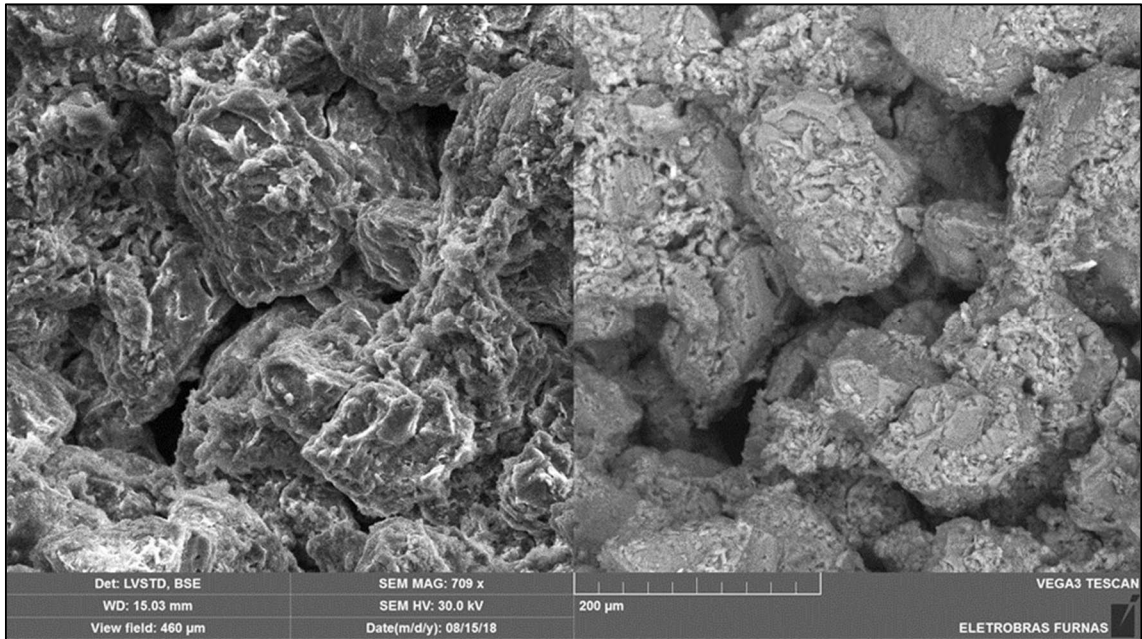


Figura 4.58. Concentração de grãos de quartzo, aparentando veio, em meio a matriz do solo. Os grãos estão envolvidos por partículas de argilas. Fragmento de filito em meio a massa homogênea de solo. À esquerda, imagem MEV; à direita imagem formada por “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstrando o contraste de peso entre os minerais.

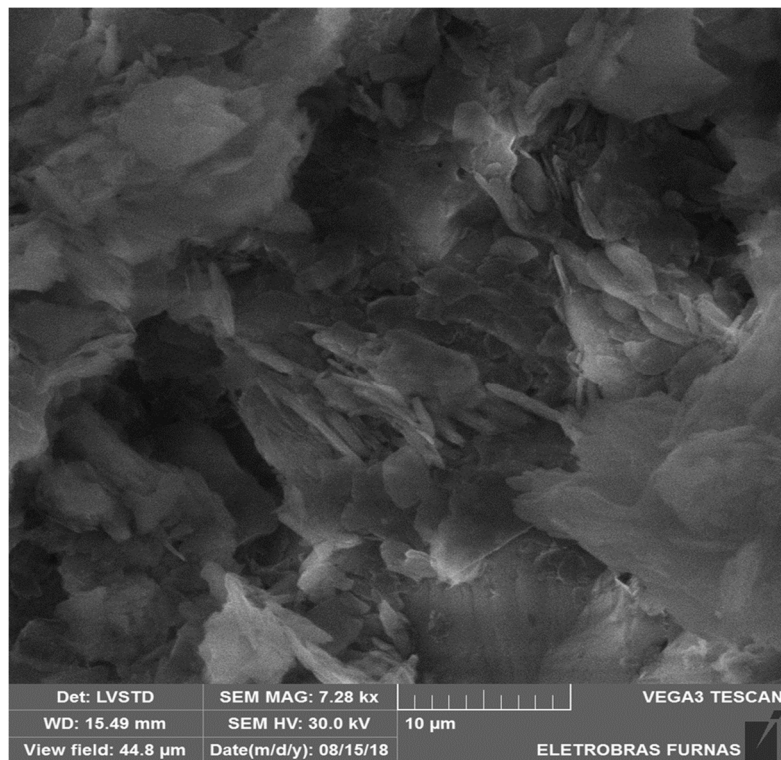


Figura 4.59. Perfil Lago Sul-2. Possíveis partículas de caulinita identificadas no solo saprolítico. (12 m a 13m de profundidade).

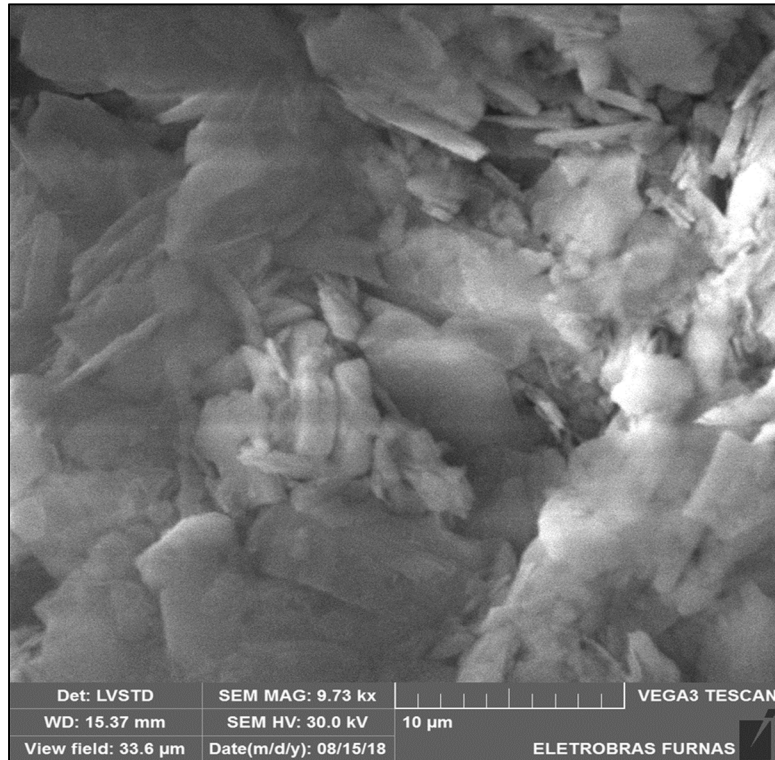


Figura 4.60. Imagem de MEV. Perfil Lago Sul-2. Possíveis caulinitas com morfologia pouco preservada em meio a concentração de grãos de quartzo. (12m a 13 m de profundidade).

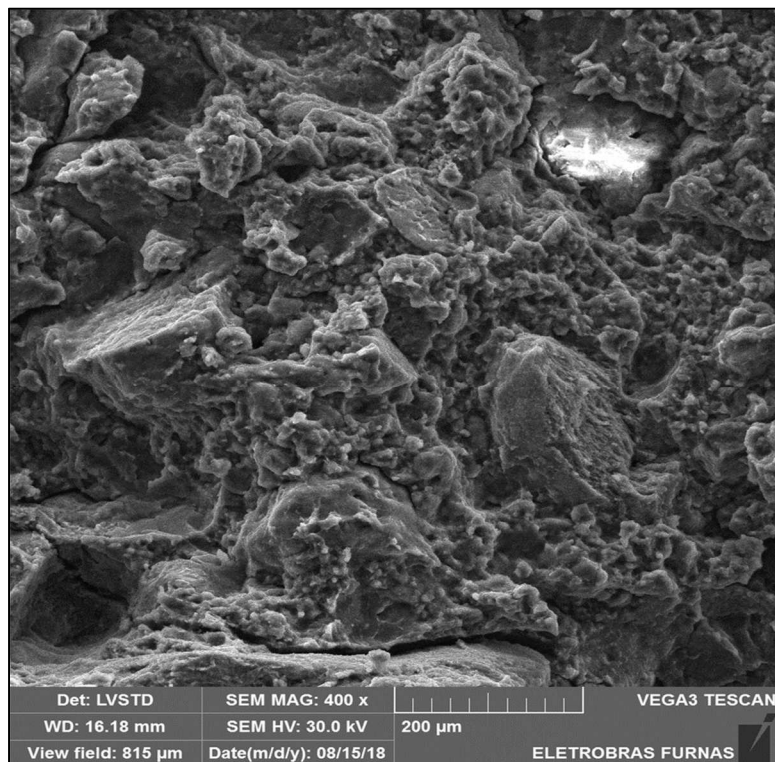


Figura 4.61. Imagem de MEV. Perfil Lago Sul-2. Matriz homogênea com agregações dispersas, raros grãos de quartzo (canto superior direito) em meio a matriz. Não observam se partículas preservadas. (12 m a 13 m de profundidade).

Ao se observar as imagens dessa profundidade, onde se esperava visualizar minerais mais conservados em relação às assembléias minerais mais superficiais, conclui-se que o front de intemperismo, indicado por este perfil, se apresenta bastante profundo. A esta profundidade se esperava observar minerais argilosos do tipo 2:1, caulinitas bem formadas, sem presença de K (potássio) confirmadas por EDS, sugerindo que possa ainda estar ocorrendo uma alteração das micas presentes na rocha de origem. O ponto “a” da Figura 4.62 sinaliza para a presença de um pacote de argila que segundo a análise mostrada na Figura 4.63 seriam neste caso minerais 2:1.

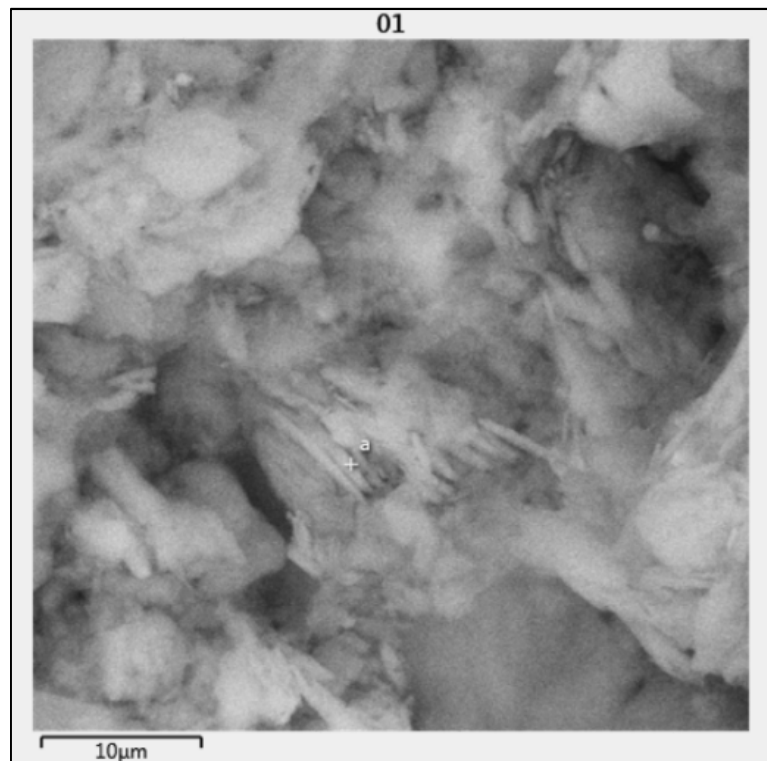


Figura 4.62. Imagem EDS. Perfil Lago Sul-2. (Profundidade 12m a 13m).

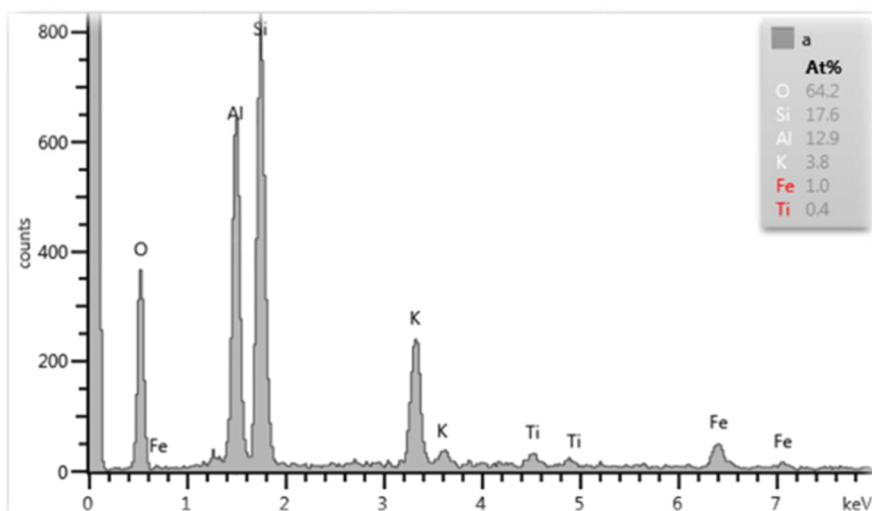


Figura 4.63. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-2. Possível presença de octaedros de Al (transformação mica em caulinita - presença de K) e tetraedros de Si, óxi-hidróxidos de Fe e Ti – matriz (a). (12m a13 m de profundidade).

No perfil intitulado Lago Sul 1 foram coletados agregados dispostos na superfície do solo nos quais foram realizados ensaios de MEV com foco na obtenção de dados de EDS, buscando-se identificar tanto a composição química da superfície observada quanto a utilização da ferramenta “Mapping” obtida durante as observações.

Na Figura 4.64 observa-se a disposição do grão de quartzo no interior do agregado. De acordo com a análise desta imagem levantou-se a hipótese de uma transformação envolvendo uma mudança de densidade do grão a passar de um mineral menos denso como a cristobalita presente no perfil para o mineral quartzo de maior densidade, promovendo assim a diminuição do volume do mesmo e acarretando o surgimento de “espaços vazios” ao seu redor. Neste caso a hipótese levantada compreende a transformação do silício liberado na transformação de um mineral 2:1 em caulinita e desta em gibbsita em espécie polimorfa de menor densidade, para só em seguida transformar-se em quartzo.

Na mesma figura a análise do interior da massa do agregado onde sobressai de modo predominante a presença dos óxi-hidróxidos de ferro e sinaliza para a presença de caulinita por meio da detecção da presença de silício e alumínio. Semelhante composição é apresentada na Figura 4.65. A Figura 4.66 apresenta a análise do grão correspondente ao ponto “b” mostrando pela análise química tratar-se de quartzo e a Figura 4.67 a análise do ponto “c”.

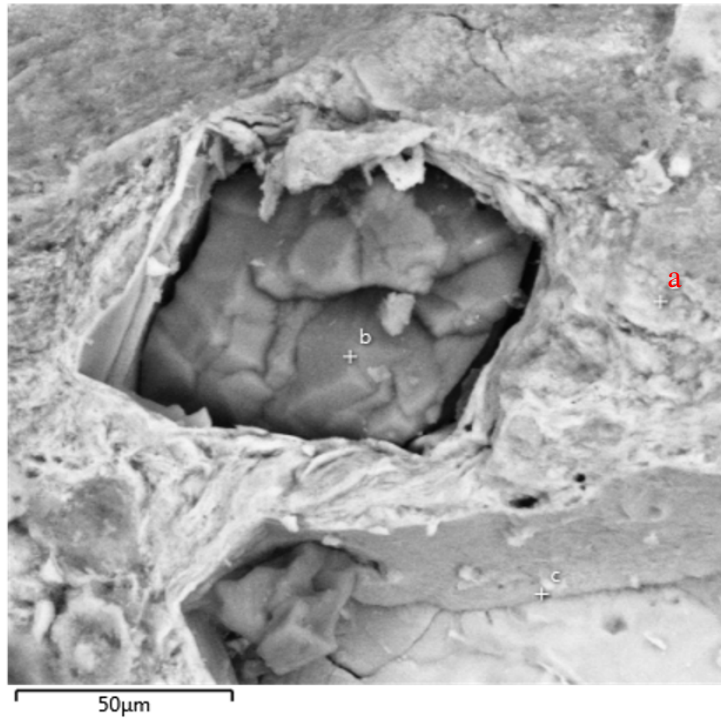


Figura 4.64. Imagem de MEV. Perfil Lago Sul-1. Interior de agregado contendo cristal de quartzo, ponto b.

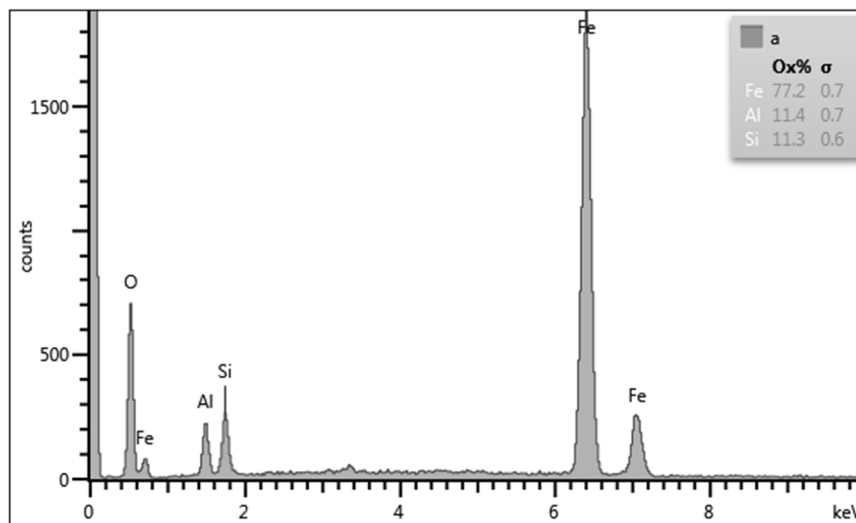


Figura 4.65. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-1. “Interior da massa de agregado” onde se observa uma predominância de óxi-hidróxidos de Fe, ponto a.

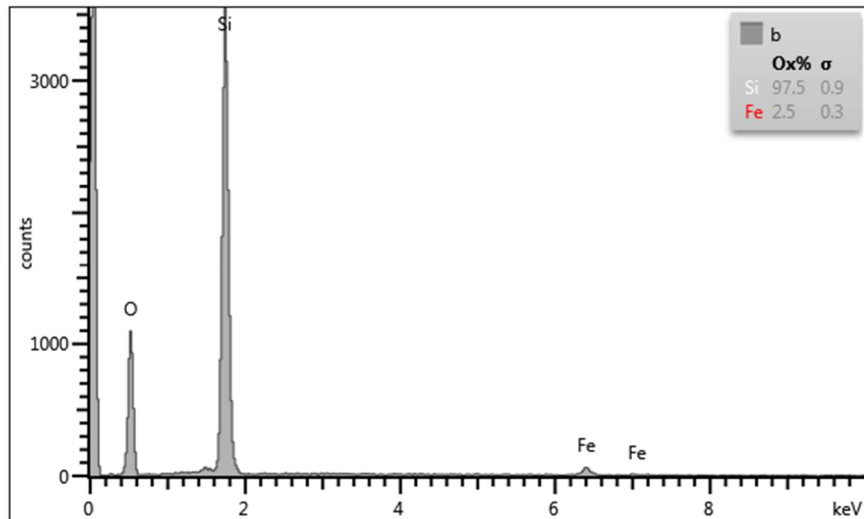


Figura 4.66. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-1. Superfície do grão de quartzo “aprisionado” dentro do agregado. O sensor EDS confirma a presença de SiO₂. Ponto b.

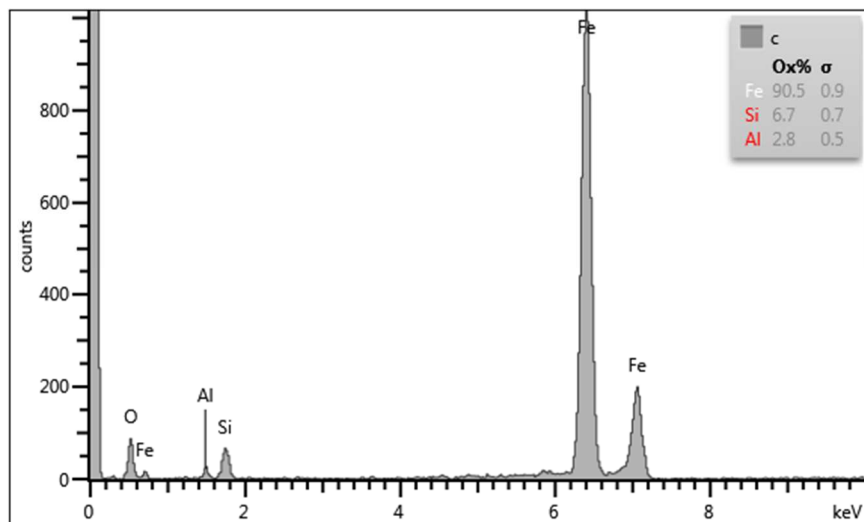


Figura 4.67. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-1. “Interior da massa de agregado” onde se observa uma predominância de óxi-hidróxidos de Fe. Ponto c.

O mapeamento global observado nas Figuras 4.68 a 4.71 para o solo proveniente da profundidade 1 m a 2m evidencia a presença de variados tipos de minerais secundários, mas também a presença de cristais de rutilo que são minerais em formas de espículas e é considerado resistato por se manter por mais tempo no perfil devido ao alto grau intempérico. Com exceção do Si e do Ti, os demais elementos ocorrem em relativa abundância, pois são constituintes de caulinitas/gibbsitas e óxi-hidróxidos de Fe e Ti. É interessante atentar para a presença de massas de alumínio e silício isoladas o que sinaliza para os óxi-hidróxidos de alumínio (gibbsita) e silício (amorfo, cristobalita ou quartzo).

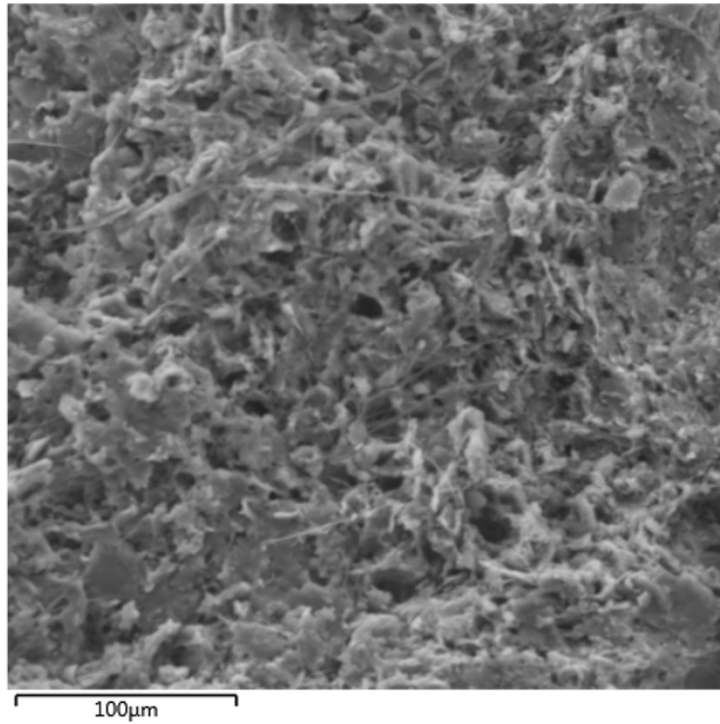


Figura 4.68. Imagem de MEV. Perfil Lago Sul-1. Interior de agregado. (1 m a 2 m de profundidade).

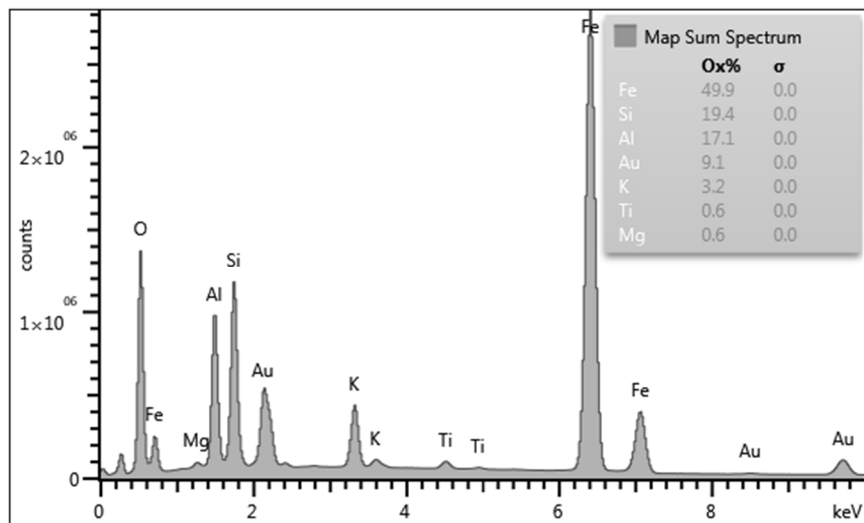


Figura 4.69. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-1. Mapeamento global da matriz de agregado.

EDS Layered

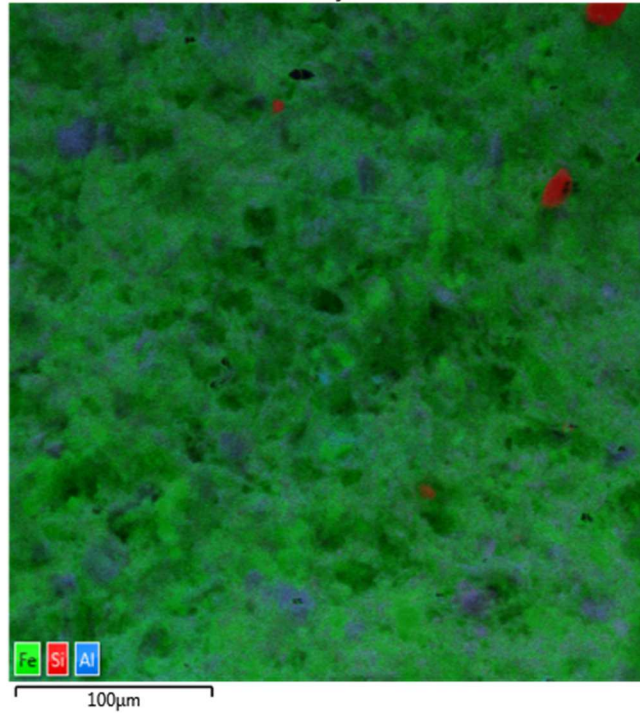


Figura 4.70. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul-1. Mapeamento global de “massa” de agregado demonstrando a presença de pontos onde predominam Fe (verde) e Si (vermelho) e Al (Azul).

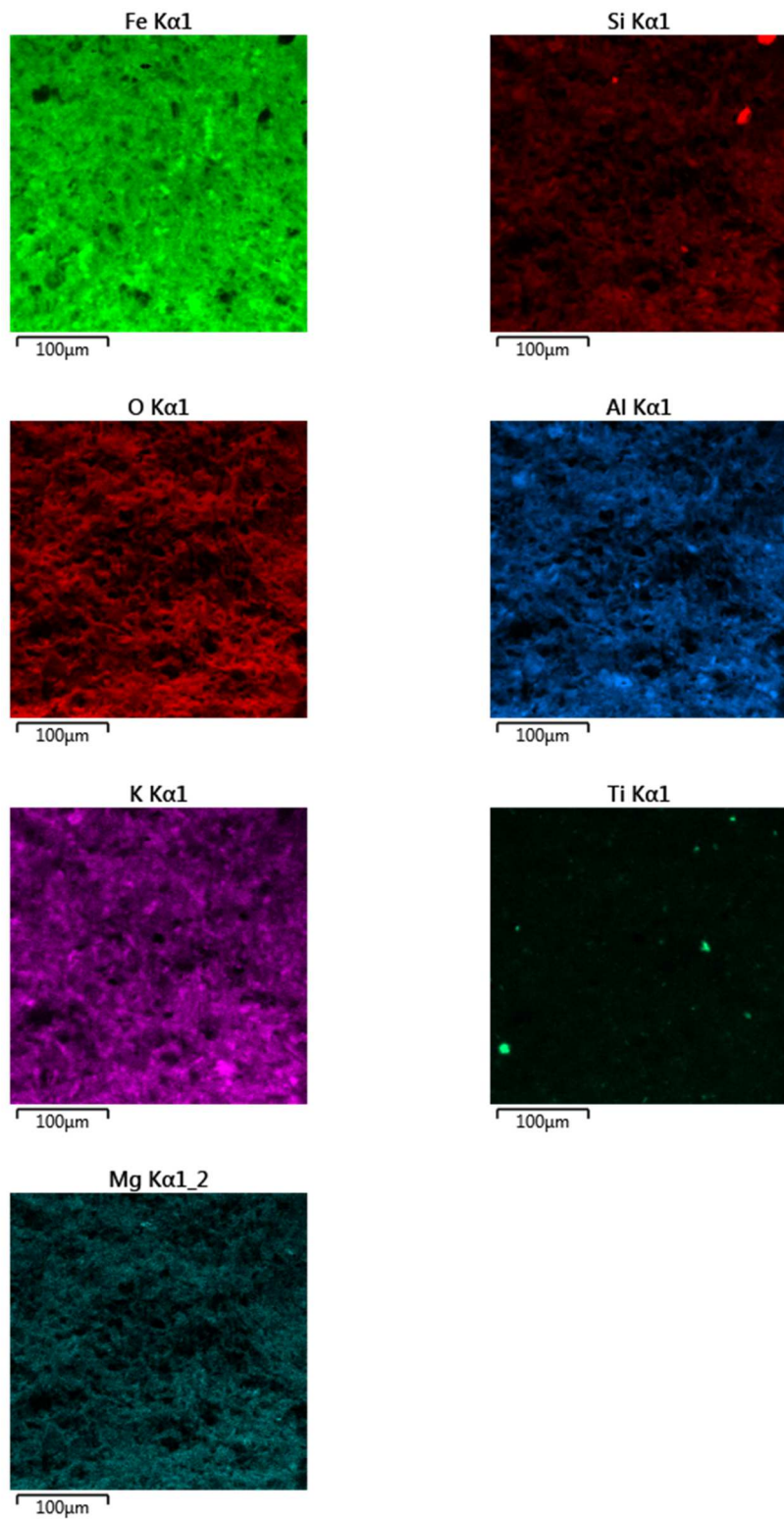


Figura 4.71. Resultado de Imagem EDS. Perfil Lago Sul 1. Mapeamento global de “massa” de agregado demonstrando, por tipo de elemento, a presença de pontos onde predominam Fe, Si, O, Al, Ti, K e Mg.

Perfil UEG – Anápolis-GO

As análises realizadas para o perfil UEG Campus de Anápolis (BR-153) foram executadas utilizando-se as técnicas de baixo e alto vácuo, devido a resistência e baixa deformabilidade das amostras (agregados centimétricas e duros).

a) Baixo Vácuo

Na Figura 4.72 observa-se um grão de quartzo no interior da matriz agregada. Nesta imagem repete-se a hipótese já levantada de uma transformação do mineral, com este reduzindo sua densidade e transitando para alguma espécie polimorfa do mesmo, tridimita, identificada nas análises de difração de raios-x e em seguida o quartzo. Já a Figura 4.73 também demonstra a ocorrência de um grão de quartzo envolto em matriz de óxi-hidróxidos de Fe e Al, porém, arredondado e sem a presença de espaço vazio entre ele e o seu entorno sinalizando assim para a correspondência a um grão residual que teria passado por processo a abrasivo o que reforça a hipótese apresentada de que os cristais de quartzo como o da Figura 4.74 seria neoformado.

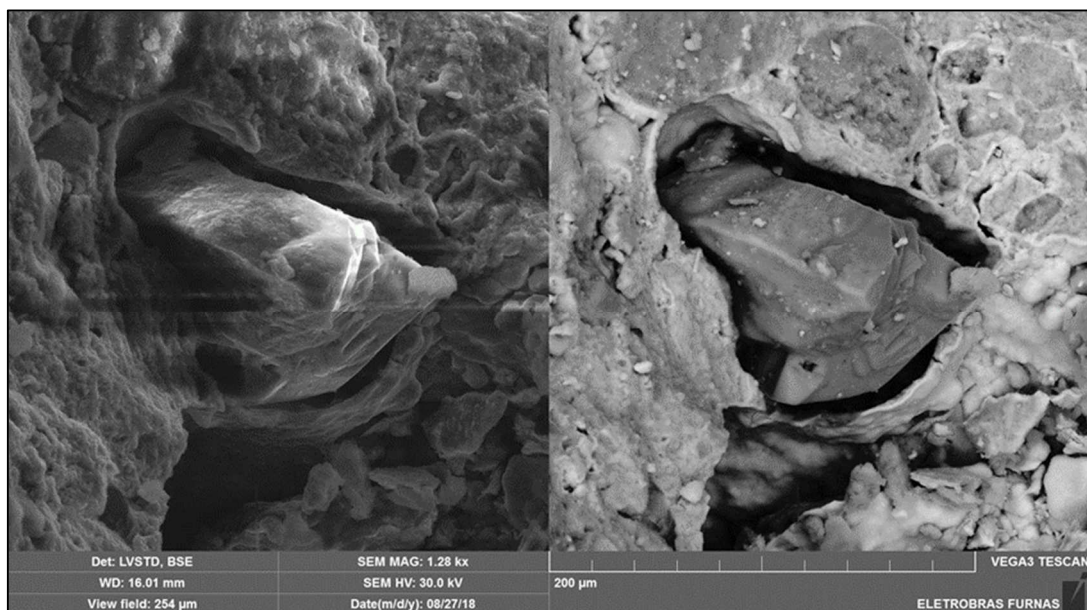


Figura 4.72. Imagem MEV. Perfil UEG- Anápolis-GO. Concreção laterítica e cristal de quartzo sendo envolvido. À esquerda imagem MEV; À direita imagem formada por “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstrando o contraste de peso entre os minerais.

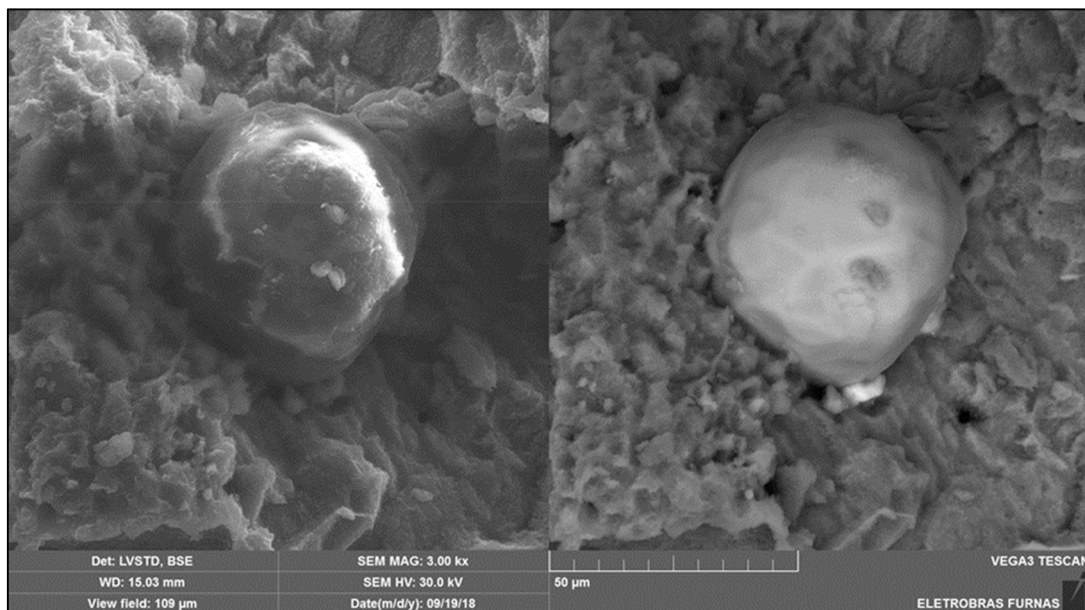


Figura 4.73. Imagem MEV. Perfil UEG- Anápolis-GO. Interior da Concreção Laterítica. Provável grão quartzo (Si), mas com identificação de Zr por análise de BSE em meio a matriz laterítica. (a) Imagem MEV; (b) Imagem formada por “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstrando o contraste de peso entre os minerais.

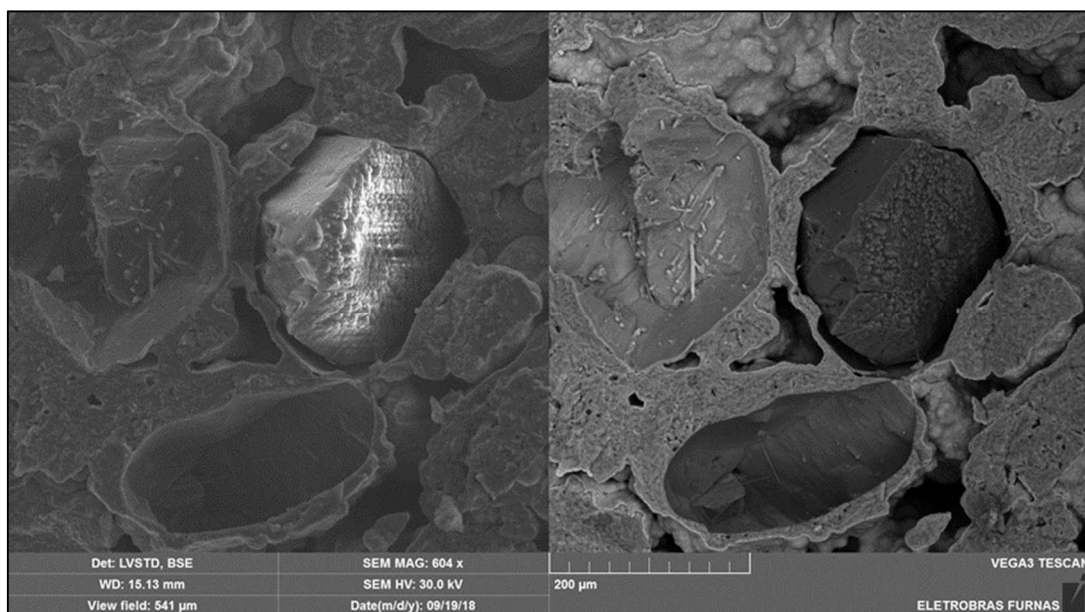


Figura 4.74. Imagem MEV. Perfil UEG- Anápolis-GO. Interior da Concreção Laterítica. Concreções lateríticas de textura botroidal em meio a matriz laterítica. Dentro das concreções/agregações são encontrados cristais de quartzo e outros. À esquerda imagem MEV; à direita imagem formada por “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstrando o contraste de peso entre os minerais.

b) Alto Vácuo

Os resultados provenientes de ensaios realizados à alto vácuo permitem obter um melhor detalhamento das superfícies analisadas pela técnica MEV.

Nas Figuras 4.75 e 4.76 observa-se que a superfície do grão de quartzo se encontra em estado de transformação intempérica. Neste caso, em se tratando de um perfil de crosta laterítica, se observa o início da construção de uma estrutura “box-work”, comuns nestes casos de transformação, mas que poderia também ser originária do próprio processo de densificação que deu origem ao cristal de quartzo.

Dessa forma, pode-se inferir que, neste nível intempérico os grãos de quartzo também podem eventualmente sofrerem intemperismo com provável disponibilização de sílica para o perfil de solo. A Figura 4.80 evidencia mais uma vez a possibilidade de ocorrência de um desses dois processos, podendo ser observadas irregularidades no grão de quartzo devido ao processo de intemperismo, seja formando o quartzo, seja degradando durante o processo de intemperização.



Figura 4.75. Grão de quartzo envolto por uma espécie de capa em meio a matriz ferruginosa do nódulo. À esquerda, Imagem MEV; à direita imagem formada por “backscattering electron”- BSE (retroespalhamento de elétrons), demonstrando o contraste de peso entre os minerais

A partir das Figura 4.75 apresenta o aspecto de um grão de quartzo isolado no interior do agregado. As figuras a seguir apresentam os resultados de BSE para o grão e para o entorno do agregado;

A textura observada no grão de quartzo confirma a hipótese de transformação do mineral levantada com uma possível redução na densidade e transição para alguma espécie polimorfa do mesmo, por exemplo, tridimita, identificada nas análises de difração de raios-x.

Os resultados provenientes de ensaios realizados à alto vácuo permitem obter um melhor detalhamento das superfícies analisadas pela técnica MEV. Um detalhamento por meio da técnica BSE, observada nas Figuras 4.76 a 4.79 nas quais a mesma superfície do grão de quartzo já se encontra em estado de transformação intempérica. Neste caso, em se tratando de um perfil de crosta laterítica, se observa o início do aparecimento de uma estrutura “box-work”, que demonstra uma “desconstrução” do grão de quartzo.

Pode-se inferir que neste nível intempérico os grãos de quartzo também estão sofrendo intemperismo e provavelmente estariam disponibilizando sílica para o perfil de solo evidenciando mais uma vez a ocorrência de transformação mineral, seja liberando sílica na transformação de um polimorfo. A Figura 4.80 abaixo evidencia justamente este processo, onde se pode observar a “destruição” do grão de quartzo devido ao alto intemperismo.

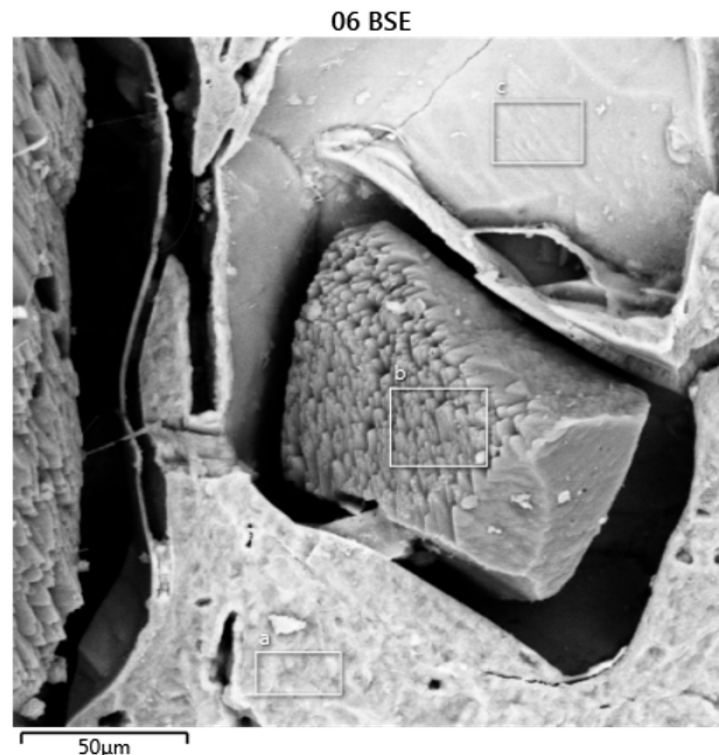


Figura 4.76. Detalhamento de resultado de Imagem EDS (Figura 4.75). Perfil UEG-Anápolis-GO. Grão de quartzo no interior de agregado.

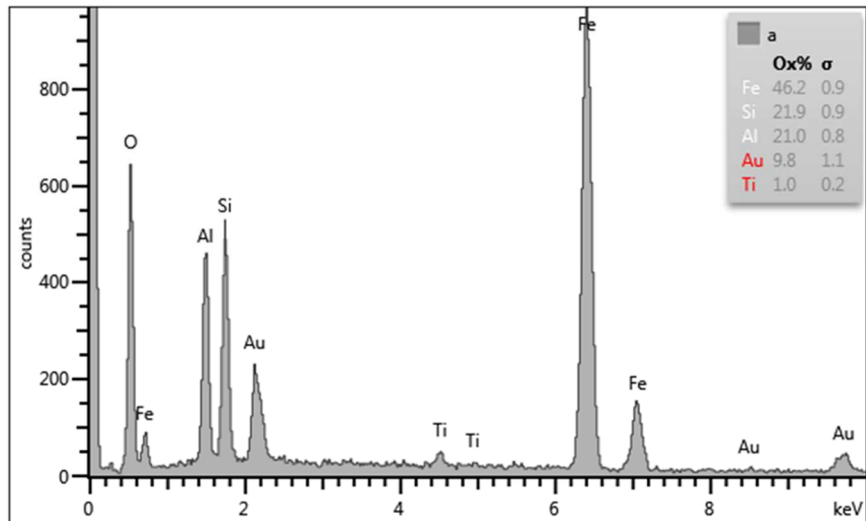


Figura 4.77. Detalhamento de resultado de Imagem EDS (Figura 4.75). Perfil UEG-Anápolis-GO. Composição da “massa” de agregado, composta por óxi-hidróxidos de Fe e Al e óxidos de Ti observados em concreção laterítica.

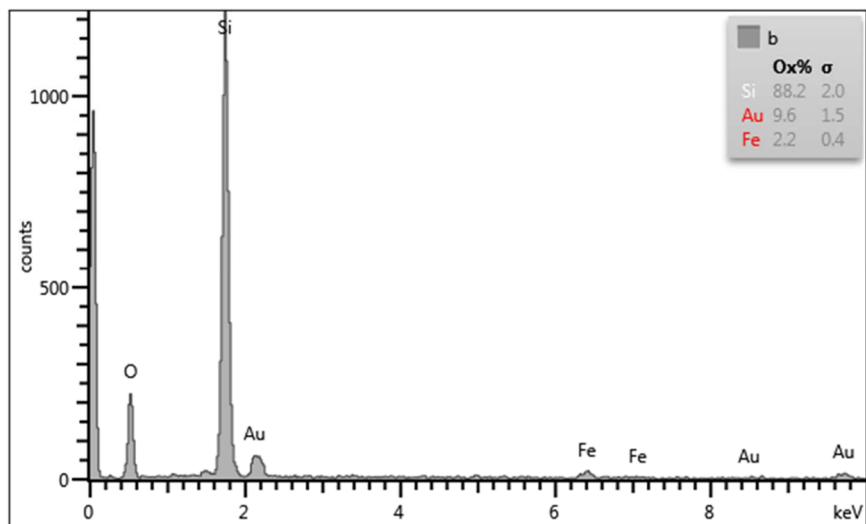


Figura 4.78. Detalhamento de resultado de Imagem EDS (Figura 4.75). Perfil UEG-Anápolis-GO. Superfície de grão de quartzo.

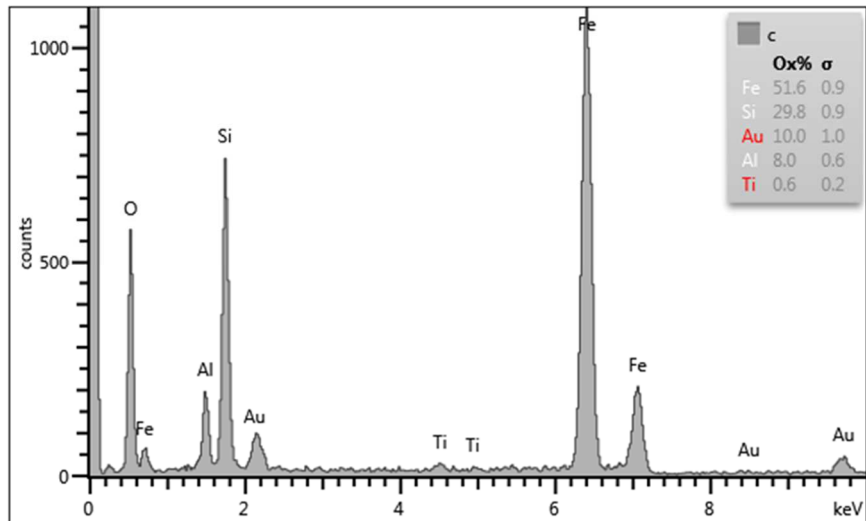


Figura 4.79. Detalhamento de resultado de Imagem EDS (Figura 4.75). Perfil UEG-Anápolis-GO. “Parede” de agregado, composta por óxi-hidróxidos de Fe e Al e óxidos de Ti, com possível presença de SiO_2 , observados em concreção laterítica.

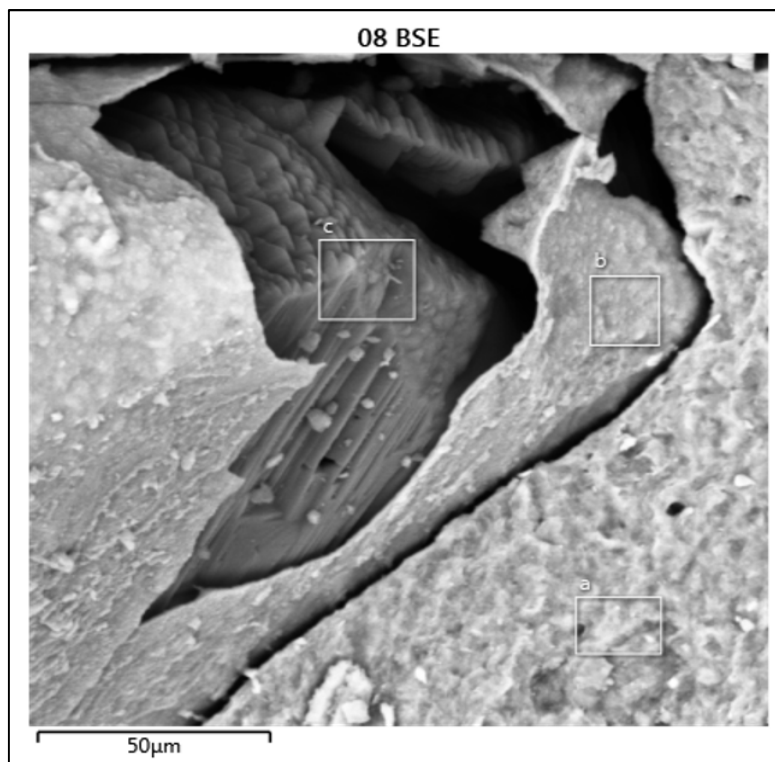


Figura 4.80. Detalhamento de resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Grão de quartzo no interior de agregado.

As Figuras 4.81 a 4.84 mostram outro grão de quartzo envolto por capa de matriz ferruginosa e os resultados que corroboram com as ocorrências minerais descritas nas legendas das mesmas.

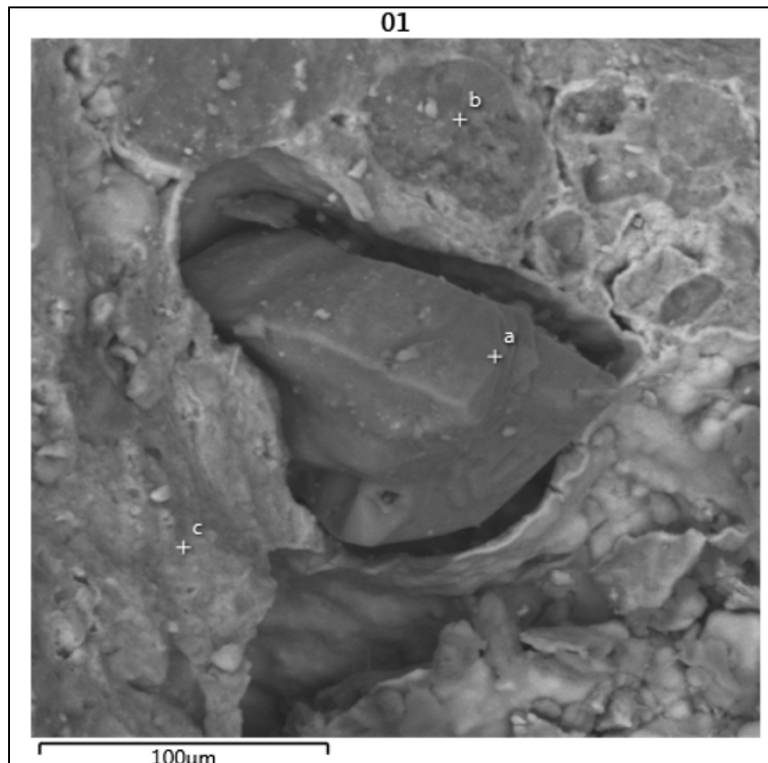


Figura 4.81. Grão de quartzo envolto por uma especie de capa em meio a matriz ferruginosa do nódulo.

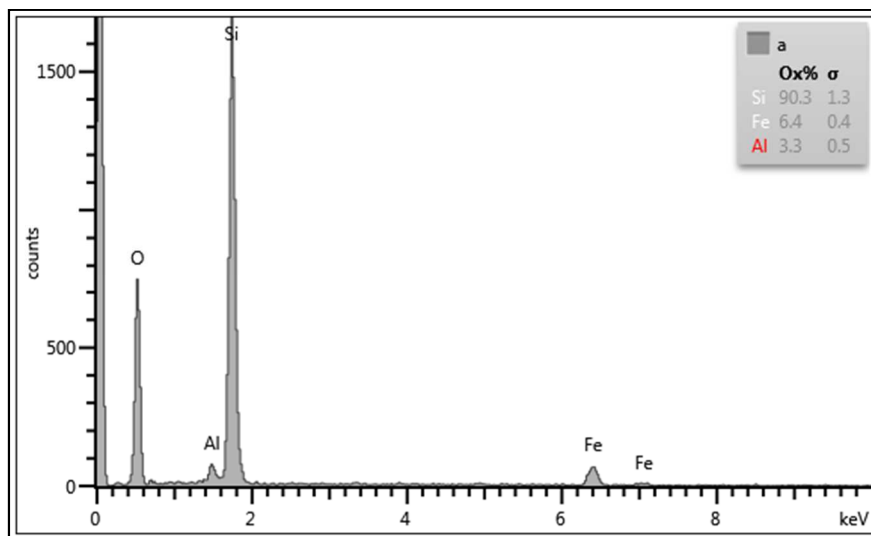


Figura 4.82. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Possível presença de SiO₂ e óxi-hidróxidos de Fe observados em concreção laterítica.

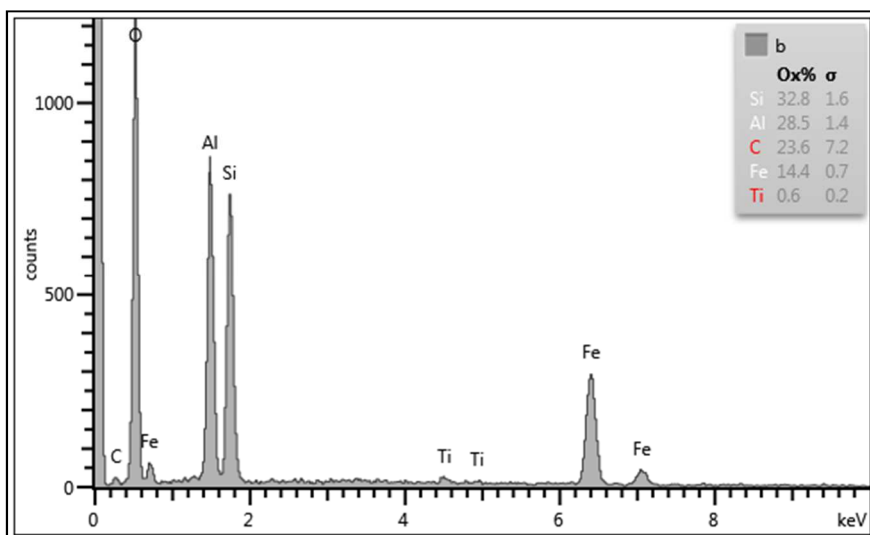


Figura 4.83. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Possível presença de SiO_2 , tetraedros de Al e óxi-hidróxidos de Fe e Ti observados em concreção laterítica.

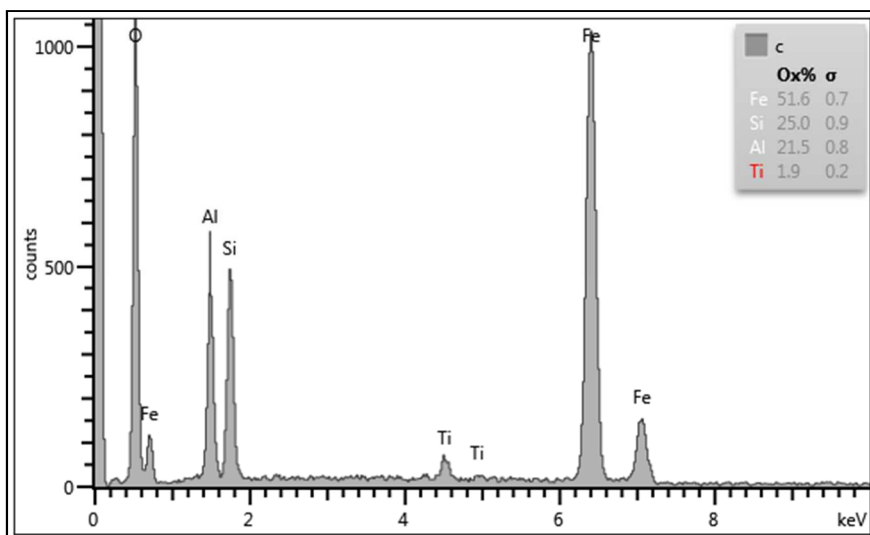


Figura 4.84. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Possível presença de SiO_2 , tetraedros de Al e óxi-hidróxidos de Fe e Ti observados em concreção laterítica.

Nas Figuras 4.85 a 4.88 são apresentadas mais evidências de grãos de quartzo no interior do agregado e antigas cavidades antes preenchidas. Observa-se que foram identificados componentes pertencentes a oxi-hidróxidos de Fe, Al e óxido de titânio (Ti) na superfície das cavidades, propondo uma saída seja mecânica ou química dos possíveis grãos de quartzo.

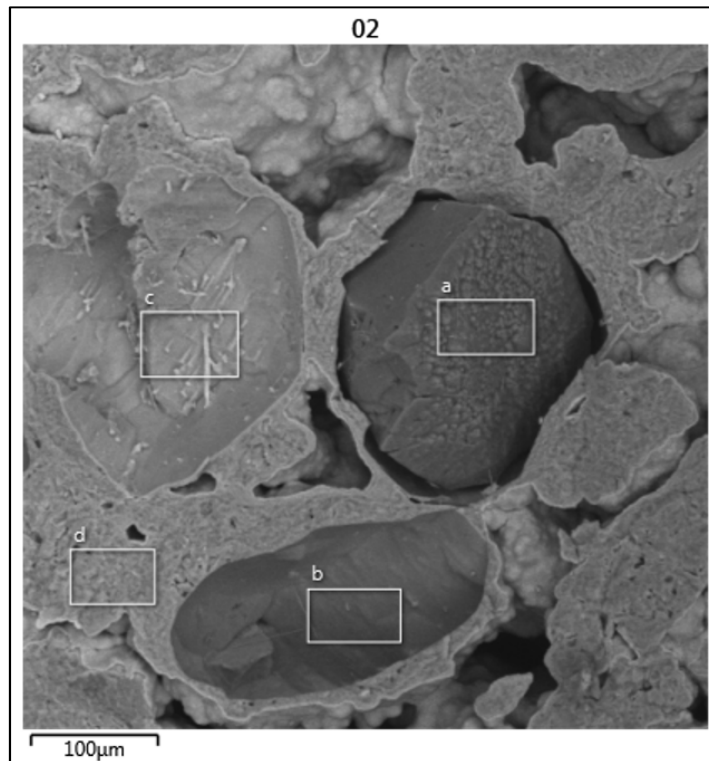


Figura 4.85. Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Grão de quartzo envolto por uma espécie de capa em meio a matriz ferruginosa do nódulo (a); e cavidades identificadas como interior de agregados (b) e (c).

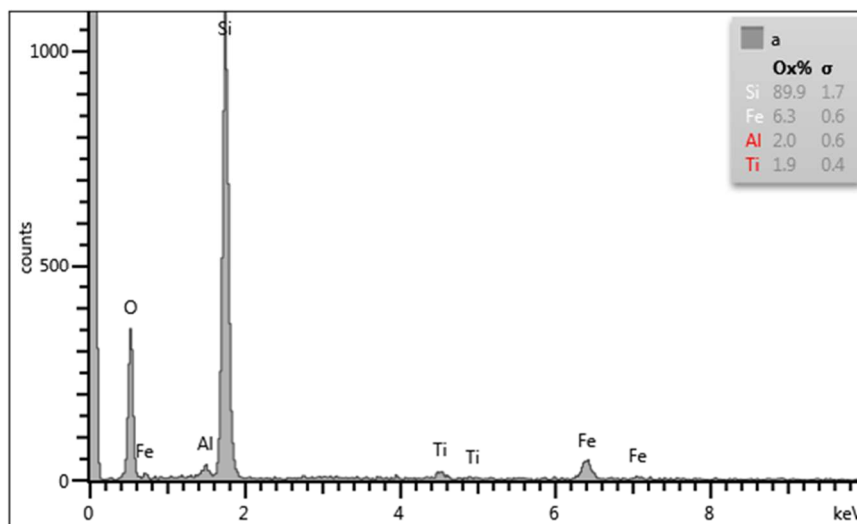


Figura 4.86. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Superfície de uma grão de quartz observado em concreção laterítica (a).

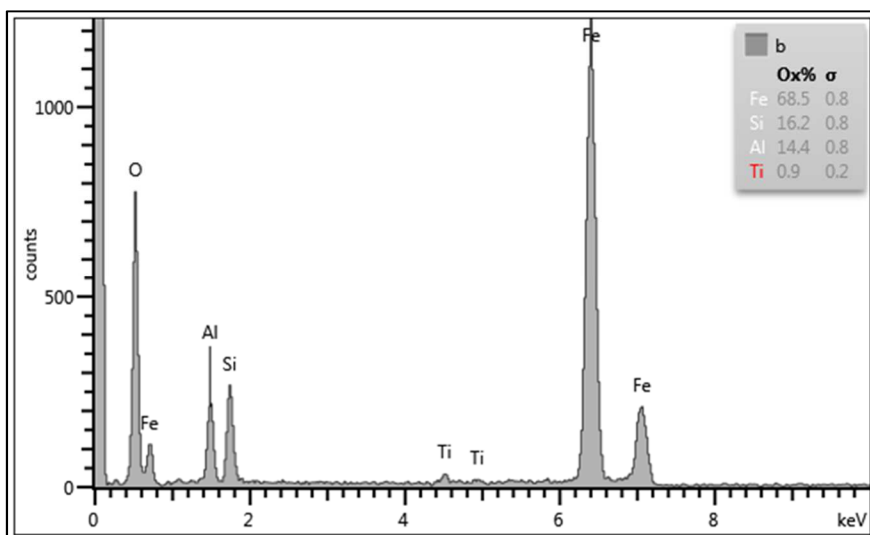


Figura 4.87. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Interior de agregado demonstrando resquícios de SiO_2 , tetraedros de Al e óxi-hidróxidos de Fe e Ti observados em concreção laterítica.

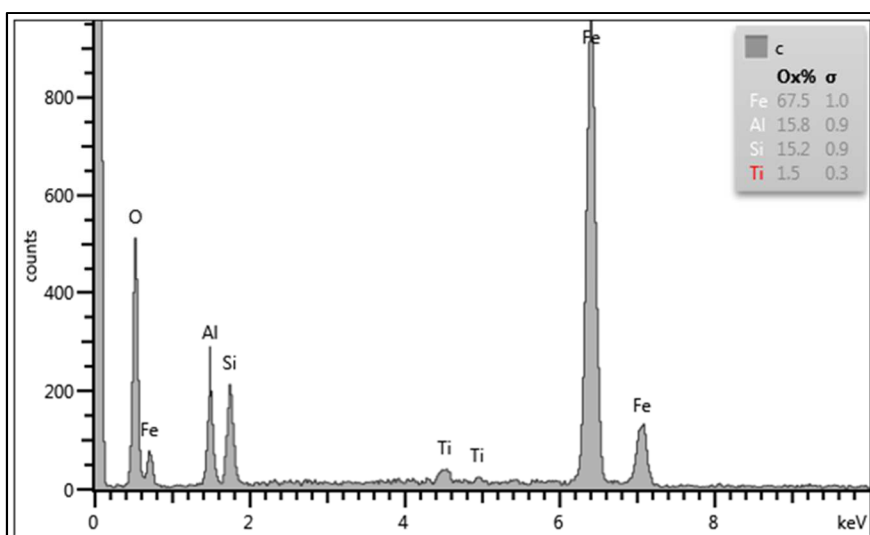


Figura 4.88. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Interior de agregado demonstrando resquícios de SiO_2 , tetraedros de Al e óxi-hidróxidos de Fe e Ti observados em concreção laterítica.

Tanto os resultados de imagens provenientes do EDS baixo como as de alto vácuo sugerem que os interiores dos agregados sejam compostos por oxi-hidróxidos de Fe e Al, e óxido de Ti, envolvendo com frequência cristais de quartzo que podem ter origem residual ou serem neoformados.

Utilizando-se das técnicas fornecidas pelo MEV, buscou-se utilizar a ferramenta “Mapping” à partir de imagens geradas pelo sensor EDS para buscar evidências da existência de grão de

quartzo microcristalino nas amostras do campus da UEG. As Figuras 4.89 a 4.93 apresentam os resultados obtidos nesta análise.

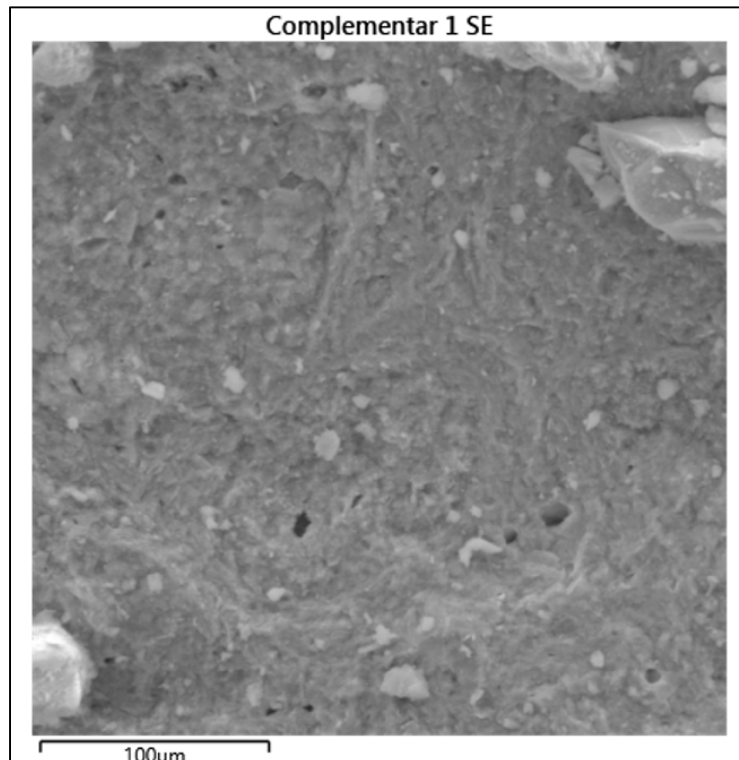


Figura 4.89. Imagem de MEV. Perfil UEG-Anápolis-GO. Matriz dispersa, com pequenos grãos de quartzo na “massa” de agregado.

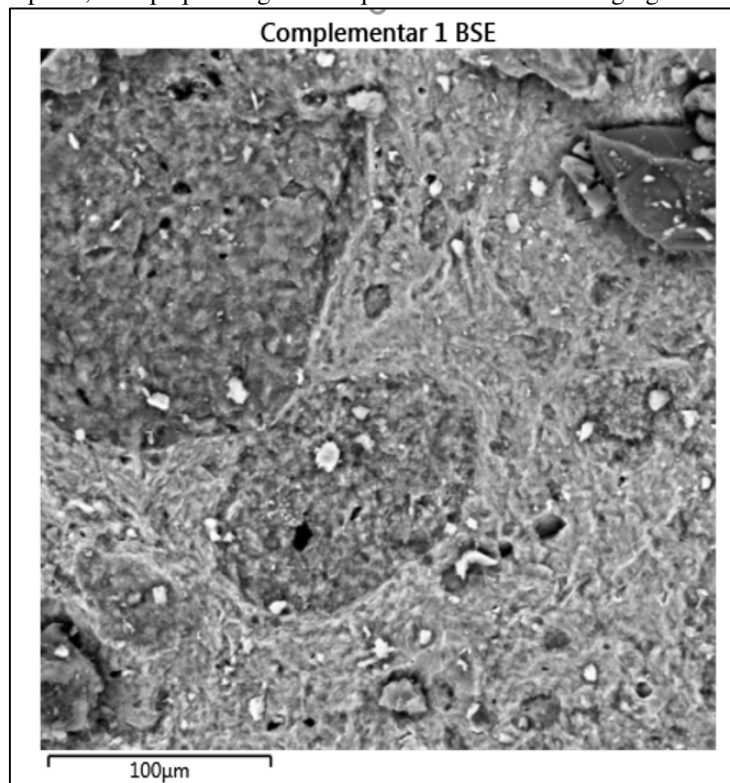


Figura 4.90. Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Matriz dispersas, com esparsos grãos de quartzo na “massa” de agregado.

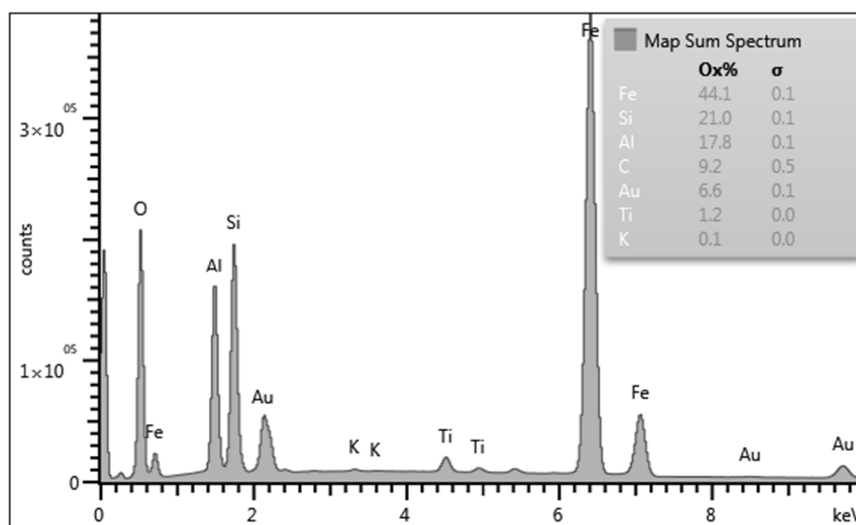


Figura 4.91. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Mapeamento global de “massa” de agregado demonstrando resquícios de SiO₂, tetraedros de Al e óxi-hidróxidos de Fe e Ti observados em concreção laterítica.

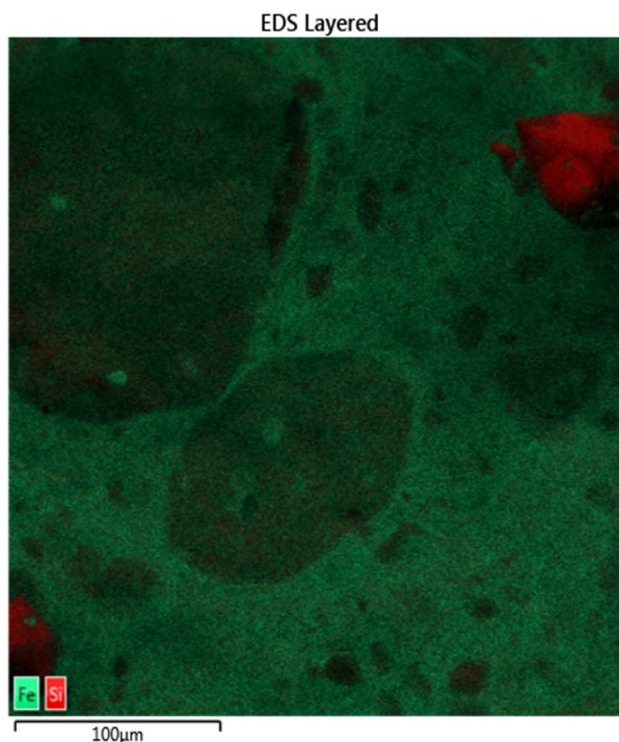


Figura 4.92. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Mapeamento global de “massa” de agregado demonstrando a presença de pontos onde predominam Fe (verde) e Si (vermelho).

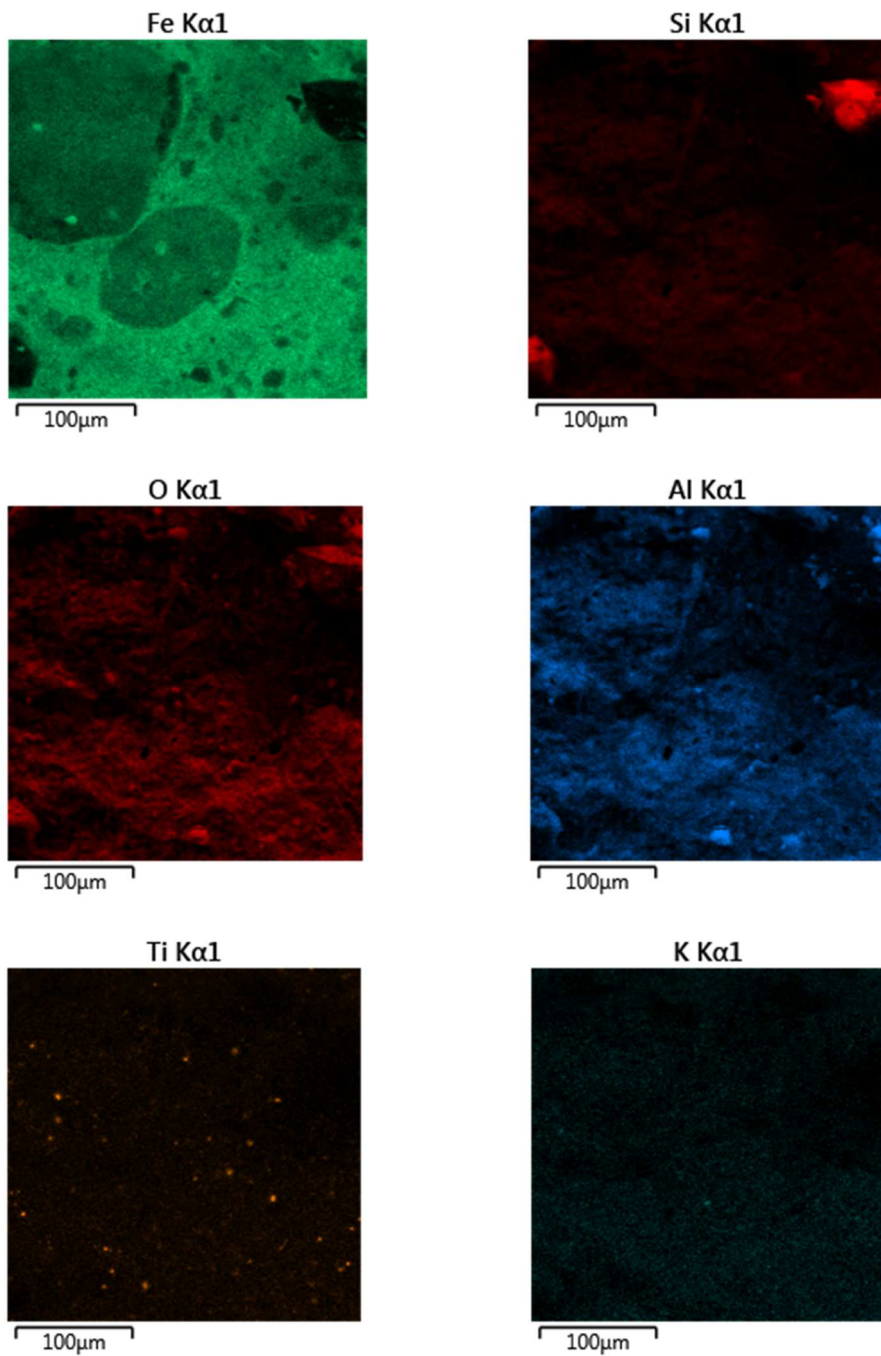


Figura 4.93. Resultado de Imagem EDS. Perfil UEG-Anápolis-GO. Mapeamento global de “massa” de agregado demonstrando, por tipo de elemento, a presença de pontos onde predominam Fe, Si, O, Al, Ti e K.

Estas imagens apresentadas demonstram a predominância de óxi-hidróxido de Fe na amostra, demonstrando-se que o perfil sofreu um alto grau de intemperismo, evidenciando a presença de maioria de minerais de origem secundária e esparsos grãos de quartzo nesta amostra alguns

deles com espaços para o restante da matriz confirmando a hipótese de quartzilização que ocorre no processo de impermeização tropical conforme defendido nesta pesquisa.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES DE PERFIS DA LITERATURA

5.1 Solos de Manaus (Gitirana 1999, Lima 1999)

Verificando alguns dados da literatura, observou-se que de acordo com os resultados apresentados, há uma boa correlação entre as informações que podem auxiliar na sustentação da hipótese de quartzilização em perfis estudados não só do Distrito Federal como de outras partes do país.

Para compor esta análise foram utilizados trabalhos de Borges (2019), Lima (1999), Gitirana Jr (1999), e Martins (2000) verificando-se os comportamentos dos perfis mineralógicos apresentados.

O seminário de Gitirana Jr, baseado no estudo de Lima (1999) fundamentou-se na análise de resultados de caracterização mineralógica e geotécnica dos solos de Manaus-AM. A Figura 5.1 mostra que existe uma certa correlação entre os dados relativos às intensidades de pico da caulinita e do quartzo. Nesta figura embora a correlação seja entre todos os dados são colocados em destaque os pontos oriundos de cada localidade.

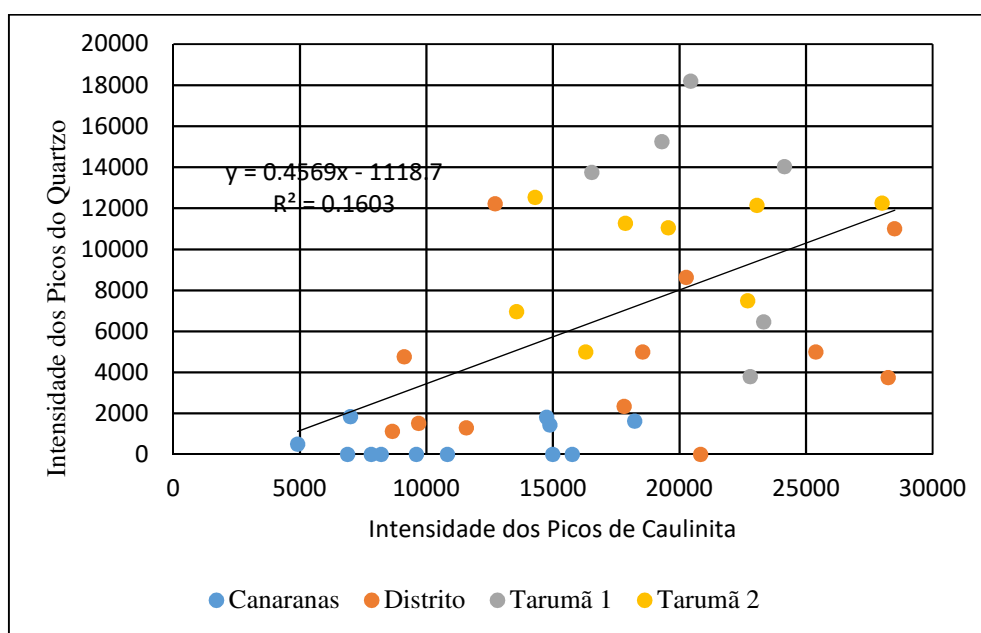


Figura 5.1. Intensidade de Picos de quartzo em função da intensidade dos picos de caulinita para solos de Manaus-AM.

Gitirana Jr (1999) também fez uma comparação entre os comportamentos no perfil da caulinita e do quartzo, Figura 5.2 e Figura 5.3. Nestas figuras observa-se que para o Distrito Industrial (Figura 5.2b) e para Tarumã 2 (Figura 5.3b) ocorre um certo paralelismo entre os perfis

cauliníticos e os perfis de quartzo sinalizando a existência de relação ente a formação da caulinita por meio da liberação do silício e a formação do quartzo.

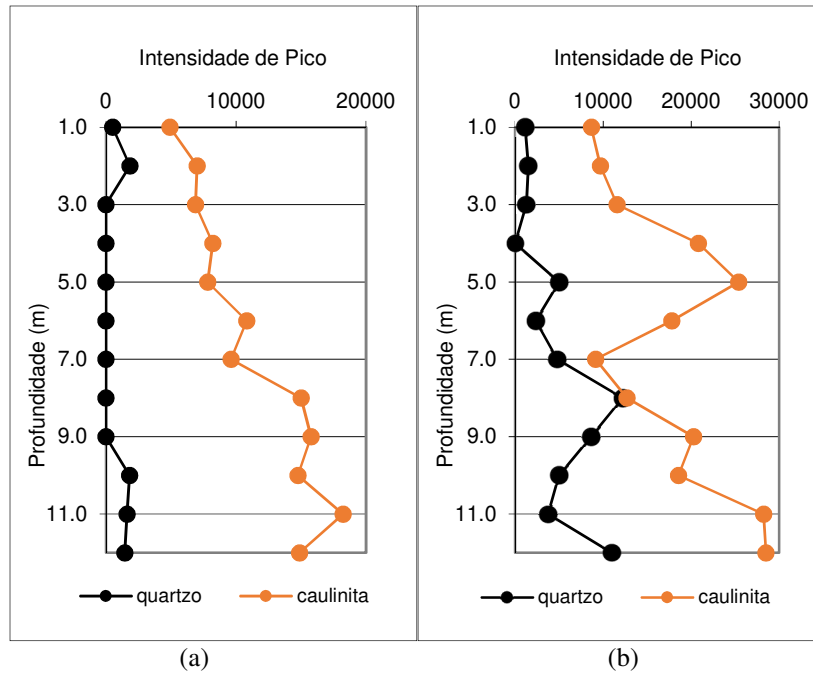


Figura 5.2. Gráficos de Intensidades de Picos de quartzo e caulinita nos perfis de solo Canaranas e Distrito Industrial.

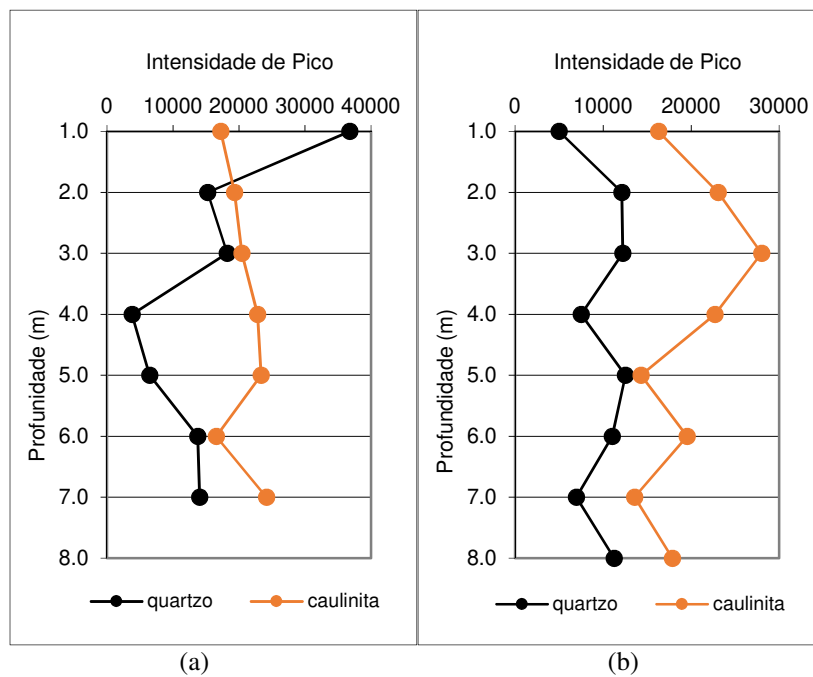


Figura 5.3. Gráficos de Intensidades de Picos de quartzo e caulinita nos perfis de solo Tarumã 1 e 2.

Considerando-se o fato das análises estruturais realizadas nesta pesquisa terem colocado em evidência a presença de grãos de quartzo no interior dos agregados formados, optou-se por analisar complementarmente a relação entre a intensidade dos picos de quartzo oriundos dos difratogramas de raios-x e o teores de agregados determinados pela diferença entre as curvas granulométricas obtidas por Lima (1999) com e sem o uso de defloculante. Destaca-se que as análises granulométricas foram realizadas para um menor número de amostras que os ensaios de raios-x, cobrindo-se, no entanto, toda a extensão dos perfis. A Figura 5.4 mostra uma ótima relação entre os dois parâmetros corroborando assim para a sustentação das hipóteses de que o quartzo presente nos perfis de solos tropicais é em grande parte neoformado e que tal formação se dá, pelo menos em parte, no interior dos agregados. Destaca-se que do conjunto de pontos foram desconsiderados o ponto de maior profundidade da erosão do Distrito Industrial, o ponto mais superficial da erosão Tarumã 1 e o ponto mais profundo da erosão Tarumã 2.

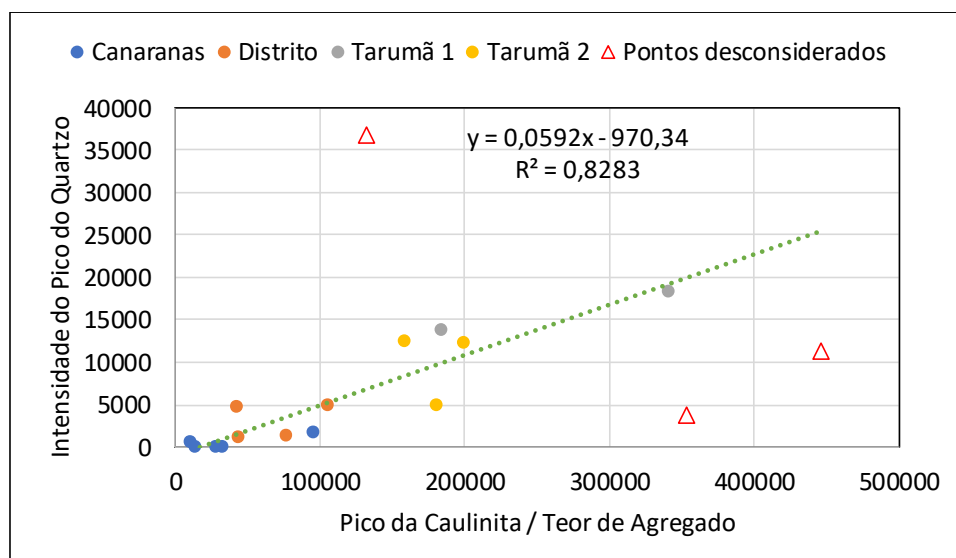


Figura 5.4. Relação entre Picos de Quartzo e Caulinita/Teor de Agregado dos solos de Manaus-AM.

5.2 Solos do Distrito Federal (Martins (2000) e Rodrigues (2017))

Martins (2000) estudou rególitos lateríticos oriundos de três localizações no Distrito Federal sendo duas em perfis verticais (São Sebastião e Capão da Onça) e uma em toposequencia (Águas Claras). Os resultados obtidos por Martins (2000) foram utilizados nesta pesquisa buscando-se associar o teor de quartzo aos teores de caulinita, gibbsita, e hematita mais goethita, sendo a associação com a goethita e hematita devido a a significativa influência destes minerais na formação dos agregados. Tal consideração foi realizada devido a não se dispor de

informações granulométricas que possibilitassem avaliar o teor de agregado dos solos estudados. As análises foram feitas dividindo-se o teor de caulinita, o teor de gibbsita e o teor de caulinita mais duas vezes o teor de gibbsita pelo teor de hematita mais goethita. Destaca-se ainda que a consideração do teor de gibbsita quando somado ao de caulinita foi multiplicado por 2 devido ao fato de que na passagem de um mineral 2:1 para gibbsita são eliminadas duas camadas tetraédricas de silício.

Os resultados mostrados nas Figuras 5.11 (São Sebastião), 5.12 (Capão da Onça) e 5.15 (Águas Claras) apontam para o fato de que o teor de quartzo aumenta com os teores de caulinita, gibbsita e caulinita mais duas vezes o teor de caulinita, todos divididos pelo teor de hematita somado ao de goethita. Observa-se ainda que ao se considerar conjuntamente a caulinita e a gibbsita se obtém uma melhor distribuição dos pontos. Cabe lembrar que não se está a defender que todo o quartzo presente no solo seja neoformado, mas sim que parte dele certamente o é.

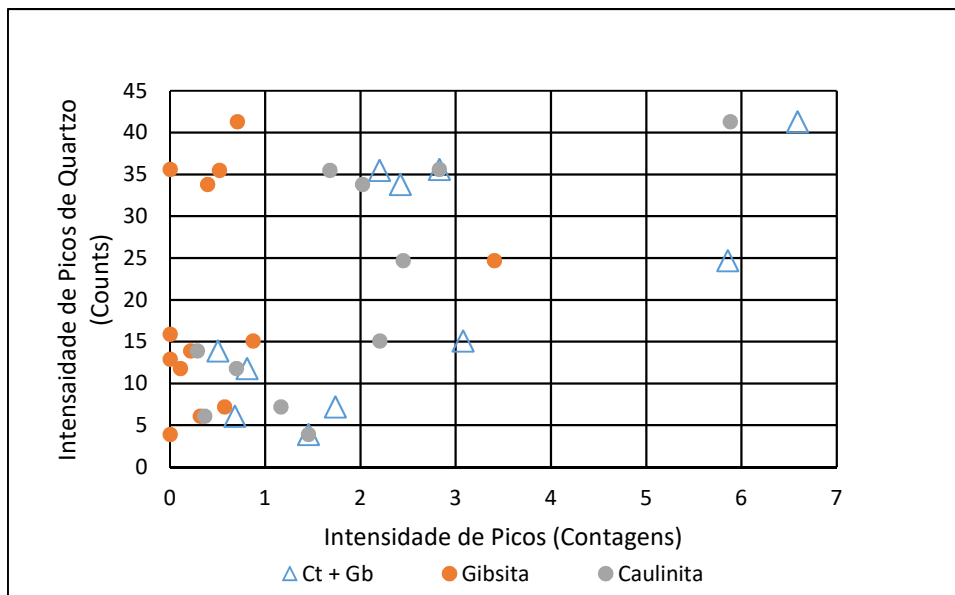


Figura 5.5. Gráfico de Intensidades de Picos de quartzo em função das intensidades de caulinita (Ct) / (intensidade de hematita (Hm) + goethita (Gt)), gibbsita / (Hm + Gt) e (Ct + 2.Gb) / (Hm + Gt) no perfil São Sebastião.

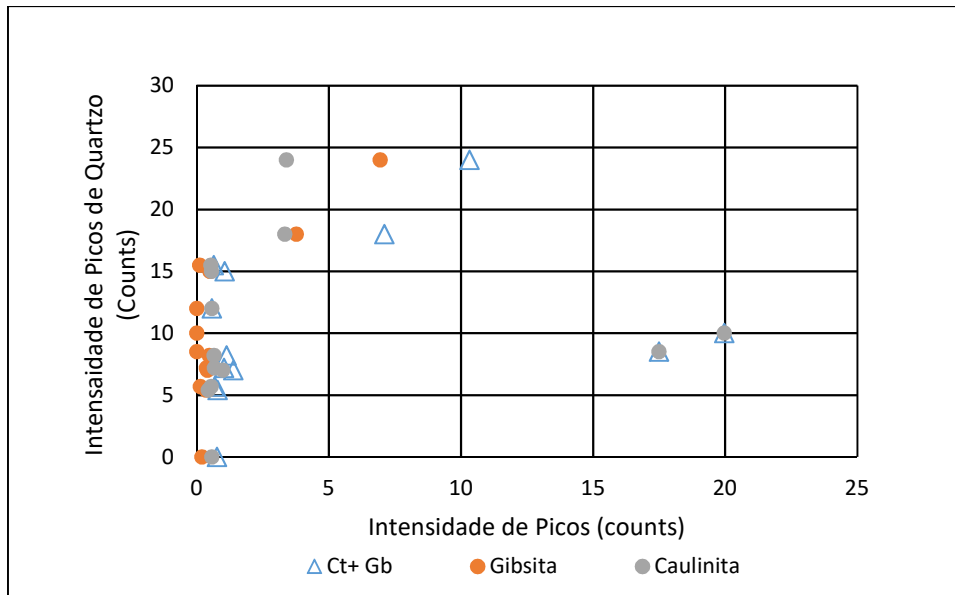


Figura 5.6. Gráfico de Intensidades de Picos de quartzo em função das intensidades de caulinita (Ct) / (intensidade de hematita (Hm) + goethita (Gt), gibbsita / (Hm + Gt) e (Ct + 2.Gb) / (Hm + Gt) no perfil Capão da Onça.

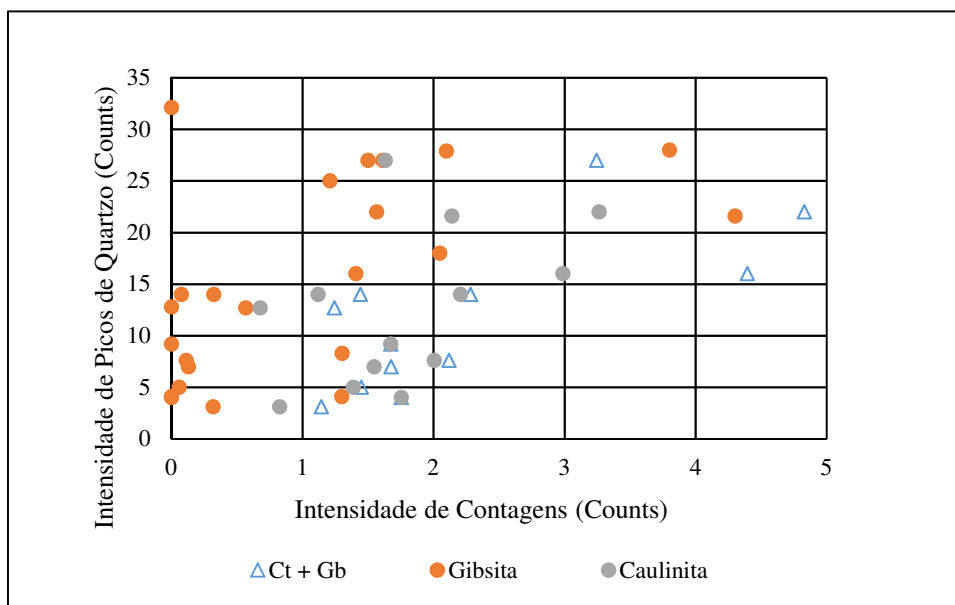


Figura 5.7. Gráfico de Intensidades de Picos de quartzo em função das intensidades de caulinita (Ct) / (intensidade de hematita (Hm) + goethita (Gt), gibbsita / (Hm + Gt) e (Ct + 2.Gb) / (Hm + Gt) no perfil Águas Claras.

Rodrigues (2017) estudou um perfil de solo do Campo Experimental da UnB, localizado no Campus Darcy Ribeiro em Brasília. Seus resultados chamaram a atenção para a hipótese levantada por este trabalho devido a associação entre os teores de quartzo, caulinita, gibbsita e hematita sugerindo a ocorrência de neoformações minerais. A Figura 5.8 apresenta o comportamento da assembléia mineral predominante.

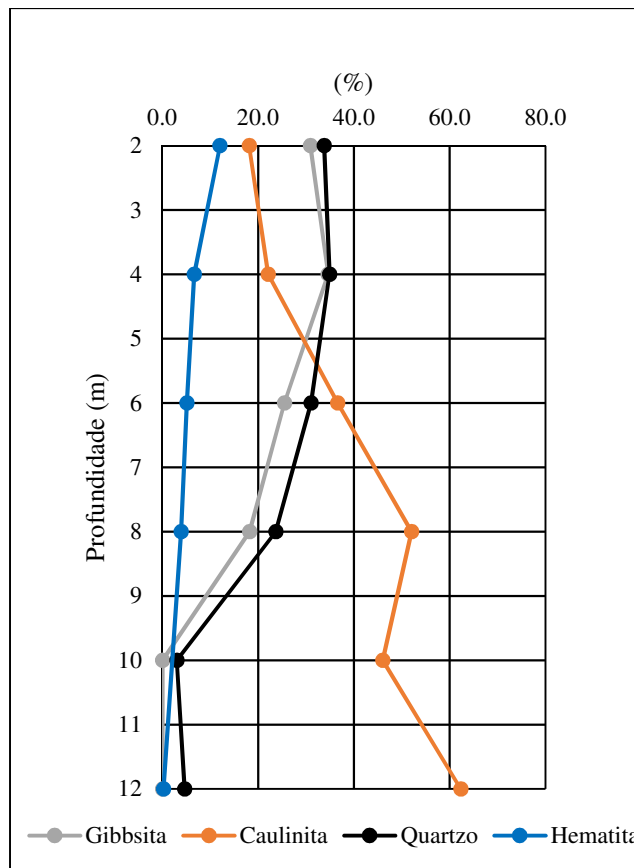


Figura 5.8. Distribuição dos Principais Minerais ao Longo da Profundidade do Campo Experimental da UnB.

Rodrigues afirma em seu trabalho que, a partir das análises realizadas os resultados apontam para a formação de quartzo de origem secundária a partir da liberação do silício quando da intemperização da caulinita passando a gibbssita. Se observa que esta tendência se apresenta na Figura 5.8, quando observamos o comportamento da gibbssita e do quartzo em comparação ao da caulinita.

Buscou-se analisar perfil, agora utilizando-se os dados de semi-quantificação, assim como nas análises dos dados de Martins (2000) associando-se o teor de quartzo aos teores de caulinita, gibbssita, e hematita mais goethita, sendo a associação com a goethita e hematita devida a significativa influência destes minerais na formação dos agregados. Estas análises também foram feitas dividindo-se o teor de caulinita, o teor de gibbssita e o teor de caulinita mais duas vezes o teor de gibbssita pelo teor de hematita mais goethita. Novamente se considerou o teor de gibbssita quando somado ao de caulinita foi multiplicado por 2 devido ao fato de que na passagem de um mineral 2:1 para gibbssita são eliminadas duas camadas tetraédricas de silício.

Os resultados observados na Figura 5.9 apresentam-se concordantes com a hipótese levantada para este perfil pelo fato do teor de quartzo aumentar com os teores de caulinita, gibbssita e

caulinita mais duas vezes o teor de caulinita, todos divididos pelo teor de hematita somado ao de goethita. Estas observações no entanto não estão considerando apenas as ocorrências de quartzo neoforado, uma vez que deve-se considerar a co-existência tanto deste quanto o de origem primária no perfil.

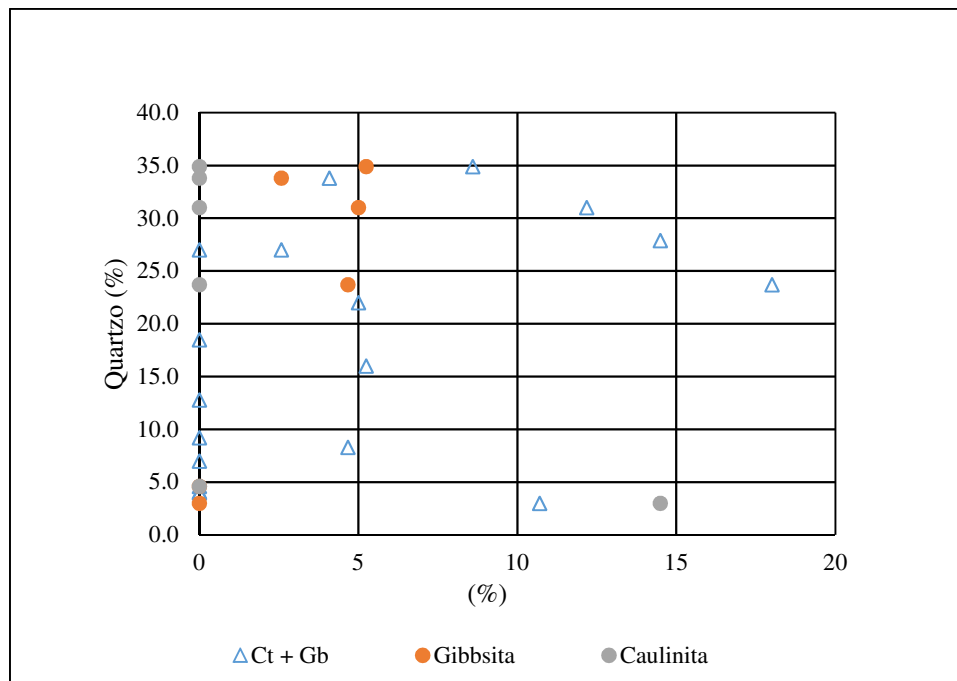


Figura 5.9. Gráfico de Intensidades de Picos de quartzo em função das intensidades de caulinita (Ct) / (intensidade de hematita (Hm) + goethita (Gt)), gibbsita / (Hm + Gt) e (Ct + 2.Gb) / (Hm + Gt) no perfil Campo Experimental (UnB).

6. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados e verificando-se que há uma divergência bastante interessante entre os perfis coletados serão discutidos resultados.

Os resultados de fluorescência de raios-x forneceram informações evidenciaram que os perfis, embora bastante intemperizados, demonstram que este aspecto sempre será mais expressivo à pequenas profundidades.

Os resultados de pH demonstraram que os solos apresentam características de solos levemente ácidos. Observa-se que estes valores apresentam-se ainda mais ácidos nas camadas mais superiores dos perfis de solos, provavelmente devido a presença de ácidos fúlvicos, passando a aumentar a partir de 4 m a 6 m e variando muito pouco com o aumento da profundidade. Os valores de Ponto de Carga Zero (PCZ) irão aumentar com a profundidade, basicamente em todos os perfis, no entanto, o Δ pH se apresenta negativo nas camadas mais intemperizadas (até cerca de 5 m a 6 m) resultando na predominância de óxi-hidróxidos de ferro e alumínio. Sobre o mesmo raciocínio, com o aumento da profundidade os valores de Δ pH tendem a se tornarem positivos, acarretando portanto no predomínio de filossilicatos. Tais fenômenos são melhores observados nos perfis mais profundos. Nos mais rasos como Clube do Exército e Obra de Ligação Torto-Colorado estes valores geralmente apresentar-se-ão negativos, como exceção apenas para o profundidade de 2 m do segundo, com valor maior de PCZ e Δ pH positivo devido ao acúmulo de filossilicatos (caulinita). O perfil de Anápolis (UEG), por se apresentar intensamente intemperizado e por ter sofrido um processo de alitização completa, apresenta menores valores de PCZ e Δ pH sempre negativos.

A presença de óxidos de titânio, por se apresentarem abundantes em superfície, demonstram que os perfis Lago Sul 1 e 2 estão sendo intensamente lixiviados, provocando a retenção desses minerais; assim como o baixo quantitativo de bases, também demonstrando a intensa lixiviação. A questão do óxido de silício, que está presente em todos os filossilicatos apresenta-se bastante interessante para o perfil Lago Sul 1, demonstrando que há um quantitativo anômalo deste, levantando várias hipóteses a cerca de seu acúmulo; o que já não ocorre no perfil Lago Sul 2.

O perfil Lago Sul 1, considerado entre todos o mais anômalo, trouxe grandes questões para discussões do ponto de vista da transformação mineralógica. Este apresentou três representações distintas ao compararmos as razões RHmGt e RCtGb, mostrando que há duas classes de solos: solos gibbsíticos-hematíticos (1m a 2m), oxídicos-hematíticos (3m a 4m)

(evidenciando que a maior oxidação possa ser advinda da presença do NA) e solos essencialmente caulíníticos no restante do perfil; esta evolução também evidencia uma diminuição do intemperismo em profundidade. Há um acúmulo muito expressivo de quartzo ao longo de todo perfil, normalizando apenas nas proximidades do saprólito – esta pode ser um evidência de que com percentuais acima de 50% no solo, além da hipótese de transformação, este quantitativo deve estar se “somando” ao quartzo já existente no perfil/rocha de origem ou de uma lente quartzítica. Outro aspecto interessante pode ser observado quando se analisa os picos de N1 dos minerais envolvidos nas transformações: o comportamento da soma Ct + 2Gb é semelhante ao de quartzo, indicando que há uma relevância para a formação desse último. Salienta-se que o mesmo esteja sujeito às condições de intemperismo de bordo de relevo, ocasionando em condições diferenciadas e ocasionando em um acúmulo de quartzo no perfil, tornando-se inclusive uma resposta para a ocorrência ou não do fenômeno de quartzilização.

O perfil Lago Sul 2 demonstra que a frente de intemperismo nesse perfil é bastante extenso. Ele apresenta uma quantidade de caulinita bastante superior e não apresenta nenhum mineral 2:1; além disso, a presença de gibbsita só inicia seu aumento entre as profundidades 3m a 6m; quando o mais frequente nos perfis de intemperismo tropical é o seu teor ser mais elevado e aproximadamente constante até 3 a 4 m de profundidade quando passa a diminuir acompanhado do aumento do teor de caulinita. A Particularidade de perfis como o do lago Sul 2 só ocorre em condições sedimentares ocorridas após intemperização (Santos, 1997) ou em situações de caulinitização como a apresentada por Faria et al. O solo é considerada essencialmente caulínítico, e a soma das intensidade de pico Ct + 2Gb evidencia que há uma relação com o comportamento dos picos de quartzo. De acordo com o estudo Faria *et al* (2015) e ao analisar os resultados da semiquantificação e dos picos de intensidade dos minerais, observou-se a ocorrência de fenômeno da caulinitização ou resilição, que demonstra que a sílica que se encontrava livre, somando-se à fração antes incorporada pela vegetação, estaria disponível para formar a caulinita durante a transformação da gibbsita. Este fenômeno demonstra que a sílica antes livre ou mesmo aquela incorporada pela vegetação, passa a tornar-se disponível para a formação da caulinita a partir da transformação da gibbsita, o que permite inferir que não ocorrendo o fenômeno da caulinitização pode ocorrer o da quartzilização pois o silício encontra-se disponível, reforçando assim a hipótese da quartzilização.

O perfil Park Sul não apresenta grandes variações no conteúdo de quartzo e este só aumenta em direção ao saprólito. Entretanto, quando analisamos os dados referentes as contagens de picos

do quartzo e da relação $Ct + 2Gb$ observa-se que há uma certa tendência favorável ao processo de neoformação mineral. Se comparado aos perfis Park Sul 1 e 2 este apresenta-se menos intemperizado, além disso, este perfil encontra-se em outras condições geomorfológicas seguindo o mesmo comparativo (áreas de dissecação intermediárias).

O perfil Torre de Tv Digital apresenta uma relação entre caulinita, gibbsita e quartzo, indicando a hipótese da ocorrência de neoformações de quartzo: gibbsita e quartzo apresentam comportamentos semelhantes e suas ocorrências são mais abundantes quando da diminuição da caulinita nas camadas mais intemperizadas; a recíproca é verdadeira com o aumento da profundidade. Os solos desse perfil apresentaram razões $RCtGb$, em sua grande maioria, superiores a 0,5, indicando que estes solos podem ser classificados como caulíníticos-oxídicos segundo a *Soil Taxonomy*.

O perfil Clube do Exército, analisado sem que se aprofundasse no perfil durante o processo de amostragem, apresenta um solo essencialmente gibbsítico. O quantitativo de quartzo apresenta-se insuficiente no perfil e já os de caulinita diminuem em profundidade. Uma explicação interessante pode ser abordada em função da localização do perfil: como este perfil encontra-se as margens do lago, a circulação de água possa estar afetando o mesmo, ocasionando em processos de lixiviação que inclui os minerais de quartzo e hematita, deixando o anatásio no perfil, considerado mineral resistato. Outra possibilidade a ser melhor analisada diz respeito a ocorrência do fenômeno da caulinitização nas camadas mais superficiais. Faz-se ainda necessário analisar se naquele local solo não teria caráter transportado geologicamente ou antropicamente o que resultaria em inversão no perfil mineralógico observado conforme ilustrado em Santos (1997) em uma das erosões que estudou para o município de Goiânia.

No perfil Obra de Ligação Torto-Colorado observa-se um quantitativo maior de quartzo, mas o quantitativo de gibbsita se extingue à partir de 2m de profundidade. Já a caulinita é o segundo maior quantitativo e há um acúmulo aos 2m. Portanto podemos classificá-lo como essencialmente caulínítico. Pode-se observar que, por se tratar de um perfil saprolítico, este ainda não sofreu alitização e que possivelmente o quantitativo de quartzo possa ser proveniente de uma lente quartzítica.

As amostras do Perfil da UEG campus de Anápolis não foram diretamente analisados segundo suas profundidades, mas sim tratados como horizontes de solo. Mesmo sendo um perfil de pouca profundidade apresenta variações significativas de um horizonte para outro e os resultados para o latossolo da base do perfil são semelhantes aos das trincheiras. Quando

comparados os resultados de intensidade de picos quanto da análise semi-quantitativa, observa-se que para as relações $Ct + Gb$ e $Qtz + T$ (tridimita) há indícios de uma transformação mineral, indicando que, em situações pretéritas, a sílica disponível pode ter se transformado em tridimita. Também há indícios da falta de hidratação do perfil, evidenciado pela ausência de goethita, formando diretamente a hematita. Os comportamentos da gibbsita e do quartzo são semelhantes, mostrando que há uma relação transformação destes, porém, a relação entre os comportamentos da caulinita e da tridimita também são semelhantes, indicando que a sílica livre do sistema poderia estar formando a tridimita. Estas evidências são corroboradas quando analisamos as imagens de MEV e percebemos que o quartzo está sendo consumido quando se observa texturas *boxwork* nos cristais de quartzo. As imagens geradas pelo MEV também podem estar indicando uma mudança na densidade do grão de quartzo, retratando um aspecto de “encolhimento” no processo de formação do mesmo no interior do agregado a partir de algum polimorfo de menor densidade destacando-se que em algumas análises de raios X constatou-se nos perfis de intemperismo a presença de tridimita, um polimorfo de quartzo. Neste perfil pode-se observar, a partir de informações obtidas pela técnica de retroespalhamento de elétrons, que o quartzo pode se apresentar livre no agregado, sustentando a hipótese apontada, além disso, o agregado cumpre com o papel de barreira contra a lixiviação da sílica no perfil.

Ao se analisar os resultados obtidos na literatura, observou-se que estudos nos solos de Manaus e nos solos do Distrito Federal, há comportamentos que corroboram com a hipótese apresentada nesta pesquisa, a de que os perfis de intemperismo possuem quartzo neoformado. Nos solos de Manaus, nos estudos de Gitirana Jr (1999) e Lima (1999), nos dados obtidos pela análise conjunta desses autores, observou-se que nos perfis Distrito Industrial e Tarumã, há um certo paralelismo entre os perfis mineralógicos da caulinita e do quartzo, sinalizando que há uma relação entre a formação da caulinita por meio da liberação de sílica e a formação do quartzo. Quando se observa a relação entre as intensidades de picos de quartzo e com as intensidades de picos de caulinita dividido pelo teor de agregados (hematita e goethita) verifica-se que grande parte do quartzo presente seria de origem neoformada (Figura 5.4).

Nos solos do Distrito Federal, segundo a pesquisa de Martins (2000) observa-se que nos perfis denominados São Sebastião, Capão da Onça e Águas Claras há um indicio de ocorrência de processo de quartzilização uma vez que o teor de quartzo aumenta com os teores de caulinita,

gibbsita e caulinita + gibbsita, lembrando-se que tanto o quartzo neoforado quanto o residual estariam coexistindo no perfil.

No perfil do Campo Experimental da Geotecnia, na Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, objeto do estudo de Rodrigues (2017) e ponto de partida para esta pesquisa, há a sugestão da ocorrência de quartzo neoforados sendo esta constatação realçada em Ferreira Sanaha et al. (2018). As análises apontam que a quartzilização ocorreria a partir da liberação de silício na transformação da caulinita para gibbsita. Ao se observar a relação entre os teores de quartzo da semi-quantificação com a caulinita, gibbsita e caulinita + 2gibbsita observa-se uma concordância com essa hipótese quando há um aumento no teor de quartzo quando o de caulinita diminui.

As análises dos dados apresentados nesta dissertação permitem concluir que o fenômeno da neoforção do quartzo poderia estar ocorrendo, de maneira acelerada em alguns casos, como no perfil de Anapólis ou mais lenta como no perfil da Obra de Ligação Torto-Colorado, embora em qualquer deles não se descarte a possibilidade de presença do quartzo residual. Para desvendar estas transformações provenientes do intemperismo e das neoforções seria necessário ampliar a ótica de investigação e aprofundá-las, partindo-se para observações na escala nanométrica, realizar ensaios de dissolução total e buscar por perfis, de acordo com os encontrados nessa pesquisa, que sejam representativos e mais favoráveis aos processos que levaram à hipótese ou tese da quartzilização.

Ao se analisar os resultados obtidos na literatura, observou-se que estudos nos solos de Manaus e nos solos do Distrito Federal, há comportamentos que corroboram com a hipótese apresentada nesta pesquisa, a de que os perfis de intemperismo possuem quartzo neoforado. Nos solos de Manaus, nos estudos de Gitirana Jr (1999) e Lima (1999), nos dados obtidos pela análise conjunta desses autores, observou-se que nos perfis Distrito Industrial e Tarumã, há um certo paralelismo entre os perfis mineralógicos da caulinita e do quartzo, sinalizando que há uma relação entre a formação da caulinita por meio da liberação de sílica e a formação do quartzo. Quando se observa a relação entre as intensidades de picos de quartzo e com as intensidades de picos de caulinita dividido pelo teor de agregados (hematita e goethita) verifica-se que grande parte do quartzo presente seria de origem neoforada (Figura 5.4).

Nos solos do Distrito Federal, segundo a pesquisa de Martins (2000) observa-se que nos perfis denominados São Sebastião, Capão da Onça e Águas Claras há um indicio de ocorrência de processo de quartzilização uma vez que o teor de quartzo aumenta com os teores de caulinita,

gibbsita e caulinita + gibbsita, lembrando-se que tanto o quartzo neoformado quanto o residual estariam coexistindo no perfil.

No perfil do Campo Experimental da Geotecnia, na Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, objeto do estudo de Rodrigues (2017) e ponto de partida para esta pesquisa, há a sugestão da ocorrência de quartzo neoformados sendo esta constatação realçada em Ferreira Sanaha et al. (2018). As análises apontam que a quartzilização ocorreria a partir da liberação de silício na transformação da caulinita para gibbsita. Ao se observar a relação entre os teores de quartzo da semi-quantificação com a caulinita, gibbsita e caulinita + 2gibbsita observa-se uma concordância com essa hipótese quando há um aumento no teor de quartzo quando o de caulinita diminui.

Deve-se salientar que mesmo atribuindo a disponibilidade da sílica à presença de matéria orgânica (como nos trabalhos de Farias et al (2015)) não se pode desprezar a sílica oriunda da própria transformação intempérica e diante de condições adequadas do ponto de vista geoquímico e biológico, ser dada uma nova origem a formação da caulinita. Tendo em vista esta análise observa-se que o fenômeno da caulinitização reforça a hipótese da quartzilização.

Quanto a mobilidade da sílica/quartzo neoformado no perfil salienta-se que estas ocorrências poderiam permanecer no solo caso houvessem barreiras físico-químicas, fato observado durante as análises de microscopia eletrônica de varredura aplicada às amostras de agregados do perfil UEG de Anápolis.

Outra importante fonte de sílica nos solos também está associada a presença de fitólitos nos solos, compreendendo a porção do mineral liberada pelas plantas, algumas destas específicas do bioma Cerrado e que ocorrem em conjunto com aquelas oriundas das neoformações minerais.

Do ponto de vista ambiental, o fenômeno pode ser interpretado como associado as condições químico-biológicas, climáticas e geomorfológicas merecendo estudos mais amplos e de maior profundidade para uma mais precisa definição de sua amplitude e importância ambiental, partindo-se, no entanto, com base no presente estudo, do entendimento que a quartzilização é passível de ocorrer em ambiente tropical.

7. PESQUISAS FUTURAS

Para pesquisas futuras, recomenda-se aprofundar na questões do intemperismo intenso dos perfis de solos, apoiando-se em mais resultados analíticos e massivos. Destaca-se a importância do uso de técnicas complementares mais refinadas e acuradas que possibilitem melhores respostas as questões levantadas nesta pesquisa como é o caso do uso da nanotecnologia.

Deve-se objetivar em um futuro que espera-se próximo, selecionar perfis de intemperismo que forneceram resultados orientativos, buscando-se a realização de ensaios de cunho geoquímico e de evidências na escala nanométrica. Considera-se relevante que esses estudos abranjam a análise das rochas de origem, pois isso permitirá uma análise mais conclusiva sobre a origem dos minerais presentes nos maciços. Além disso, se propõe que estudos futuros busquem aproximar as análises oriundas desta pesquisa de questões práticas, abordando suas consequências para a geotecnia, para a agricultura e para o meio ambiente como um todo, podendo-se associar a estes, a busca pelas características químicas, físicas das microestruturas dos solos.

REFERÊNCIAS

- ABNT (1986) Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização (método de ensaio) - NBR 6457/86. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 8 p.
- ABNT (2016). Solo – Análise granulométrica - NBR 7181/16. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 13p.
- ANDRADE, R. G.; TEIXEIRA, A. H. de C.; LEIVAS, J. F.; SILVA, G. B. S. da; NOGUEIRA, S.F.; VICTORIA, D. de C.; VICENTE, L. E.; BOLFE, E. L. Indicativo de pastagens plantadas em processo de degradação no bioma Cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. p. 1585-1592.
- AMARAL, P. A. C. do et al. (2017). Mapeamento Geológico no Distrito Federal com Auxílio do Método GPR. In: XV Simpósio de Geologia do Centro-Oeste – Avanços na Geologia do Brasil Central, Goiânia. **Anais...** . Goiânia: Xvsgco, 2017. v. 1, p. 1 - 5.
- BRINKMAN, R., JONGMANS, A.G., MIEDEMA, R. and MAASKANT, P., (1973). Clay decomposition in seasonally wet, acid soils: Micromorphological, chemical and mineralogical evidence from individual argillans. *Geoderma*, 10: 259-270.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J.; GITIRANA Jr, G. F. N.; MACHADO, S.L.; MASCARENHA, M.M.A.; SILVA FILHO, F.C. (2015). Solos não saturados no contexto geotécnico. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 759p.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J.; GITIRANA Jr, G. F. N.; CARVALHO, E.T.L. (2012) Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Brasília: Faculdade de Tecnologia, 644p.
- CAMPOS, J. E. G. et al. (2013). Geologia do Grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. *Brazilian Journal Of Geology*, [s.l.], v. 43, n. 3, p.461-476, 1 set. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.5327/z2317-48892013000300004>.
- CARDOSO, F.B.F.; MARTINS, E.S.; CAMAPUM DE CARVALHO, J. (1998 c) A evolução pedogeoquímica e sua influência nas propriedades físicas dos solos profundamente intemperizados do Distrito Federal. 11o Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Brasília, DF, 1:51-58.
- CARDOSO, F.B.F. (2002). Propriedades e Comportamento Mecânico de Solos do Planalto Central Brasileiro. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-009A/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 357 p.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE (2016). Land Degradation Neutrality: implications for Brazil. Brasília,DF, 28 p.
- CORNELIS, J., TOMBEUR, F., Benjamin TUNER, B., LALIBERTÉ, E., LAMBERS, H.. (2019). Pedogenic thresholds along a 2 million-year soil chronosequence affect dissolved silicon sources and concentrations. In: *Geophysical Research Abstracts Vol. 21, EGU2019-PREVIEW, General Assembly*.
- CREPANI, E., Medeiros, J. S., Azevedo, L. G, Duarte V., Hernandez, P., and Florenzano, T. (1996): Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico, INPE, São José dos Campos-SP.
- DELGADO, A.K.C. (2002). Influência da Sucção no Comportamento de um Perfil de Solo Tropical Compactado. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Universidade de Brasília. Brasília DF. 211 p.

- DOVE, P. M., HAN, N., WALLACE, A. F. and DE YOREO, J.J. (2008). Kinetics of amorphous silica dissolution and the paradox of the silica polymorphs. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (29), pp. 9903-9908.
- DOKUCHAEV, V.V (1883).Citado In: Basic soil science for agricultural, Cap. 1. Vil`Yams, V.R., Weathering of rocks and differentiation of the properties of soil-forming rocks. Translated from russian. Washington, D.C, USA, p. 25-42.
- EMBRAPA (Org.). Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 589 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1107206/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>>. Acesso em: 27 jan. 2019.
- ELSASS, F., DUBROUEUCQ, D., THIRY, M. (2000). Diagenesis of silica minerals from clay minerals in volcanic soils of Mexico. *Clay Minerals - CLAY MINER.* 35. 477-489.
- ESTADOS UNIDOS. (1992). Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. Keys to soil taxonomy. 5th ed. Washington, DC, 1992. 541 p.
- FALEIRO, F. G. et al (Org.). (2008). Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina-df: Embrapa Cerrados, 2008. 1198 p. Cerrados; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 1198 p. : il. color.
- FARIA, E. O., SILVA, F. S., MATEUS, A. C. C., OLIVEIRA, F. S., (2015). Caracterização mineralógica do processo de transformação de bauxita em solo na região de Espera Feliz, Minas Gerais, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, Natal-RN, Anais, 1582, 4 p.
- FARIAS, W. M. (2012). Processos Evolutivos de Intemperismo Químico e Sua Ação no Comportamento Hidromecânico de Solos do Planalto Central. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-077A/2012, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 263 p.
- FERREIRA SENAHA, S. C. F.(2018). Evidências do Fenômeno de quartzização nos perfis de solos do Distrito Federal. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano, Salvador, BA, 9p.
- FREIRE, O. (2006). Solos da regiões tropicais. Botucatu, SP: Fepaf. 271 p.
- FREITAS-SILVA, F.H; CAMPOS, J.E.G. (1998). Geologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal, Brasília, IEMA/SEMATEC/UnB, CD-ROM.
- GITIRANA JR, G. F. N.(1999). Seminários sobre as características mineralógicas e caracterização geotécnica de solos erosivos de Manaus – Disciplina de Solos Tropicais - UnB. Não publicado.
- HINRICHS, R.; VASCONCELLOS, M.A.Z. (2014). Microscopia eletrônica de varredura (MEV) em baixo vácuo. In: HINRICHS, R. (Org). Técnicas instrumentais não destrutivas aplicadas a gemas do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: IGEO/UFRGS. cap. 7.
- JACKSON, M. L., SHERMAN, G. D. (1953). Chemical Weathering of Minerals in Soils. *Adv. Agron.* 5: 219-318.
- JESUS, A.S. (2013). Investigação Multidisciplinar de Processos Erosivos Lineares: Estudo de Caso da Cidade de Anápolis - GO. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 087/2013, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 340 p.
- KELLER W.D. AND CLARKE, O.M.JR. (1984). Resilification of bauxite at the Alabama Street Mine, Saline County, Arkansas, illustrated by scanning electron micrographis. *Clays and Clay Minerals*, n.32, p.139–146.

- KRAUSKOPF, K.B. (1967) *Introduction to Geochemistry*. McGraw-Hill Book Co., New York, 721 p..
- KRAUSKOPF, K. B. (1956). – Dissolution and precipitation of sílica at low temperatures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 10, pp. 1-27.
- KO, TH. (2014). Nature and properties of Lateritic soils derived from different parent materials in Taiwan. *The Scientific World Journal*, 14, pp.1-4.
- GIDIGASU, M.D. (1976) *Laterite Soil Engineering, Pedogenesis and Engineering Principles*. Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam, Netherlands, 570 p.
- GUIMARÃES, R. C. (2002). Análise das propriedades e comportamento de um perfil de solo laterítico aplicada ao estudo do desempenho de estacas escavadas. Brasília: UnB. 183 fl. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília, Brasília, DF. G.DM – 090A/0.
- LEPSCH, I.F. *Formação e Conservação dos Solos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178p
- LIMA, M. C. (1999). Contribuições ao Estudo do Processo Evolutivo de Boçorocas na Área Urbana de Manaus. Dissertação de Mestrado, Publicação G.G.M. 057^a/99, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 150p..
- LUIZ, G.C. (2012). Influência da Relação Solo-Atmosfera no Comportamento Hidromecânico de Solos Tropicais Não Saturados: Estudo de Caso – Município de Goiânia. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-075/2012, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 246 p.
- MACEDO, M. C., EUCLIDES, V. P., OLIVEIRA, M. P. (1993). Seasonal changes in the chemical composition of cultivated tropical grasses in the savannas of Brazil. *INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS* (pp. 2001-2002). Rockhampton.: New Zeland Grasland association.
- MACEDO, J.M. & LEMOS, M.A.M. (1961) *Introdução ao Estudo da Génese dos Minerais da Argila*. Junta de Investigações do Ultramar. Estudos, Ensaios e Documentos No 85, Lisboa, Portugal, 81 p.
- MARTINS, E. S. et al. (2004). Evolução geomorfológica do Distrito Federal. Documentos, Planaltina, DF, n. 122, p. 1-57, jul. 2004. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/569549/1/doc122.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2018.
- MATALLO JÚNIOR, H. *Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas*. Brasília: UNESCO. 2001. 80p.
- MELFI, A.J. (1994). Lateritas e processos de laterização. Aula inaugural. Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP.
- MILLOT, G.. (1970) *Geology of Clays: Weathering, Sedimentology, Geochemistry*. Paris: Masson et Cie, Editeurs. 429 p.
- MILLOT, G.. (1964) *Geologie des argiles*. Paris: Masson et Cie, Editeurs. 499 p.
- MILLOT, G., LUCAS, J., WEY, R. (1961) *Research on evolution of clay minerals and argillaceous and siliceous neoformation* - Université de Strasbourg Laboratoire de Geologie et Laboratoire de Physico Chimie des Sols – Clays and clay minerals; vol. 10, issue 1, 399 – 412; 00/1961.
- MOREIRA, M. L. O. (Org.). (2008). *Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal - SIC-FUNMINERAL/GO*. Goiânia: CPRM/SIC, 2008. 143 p.
- NASCIMENTO, N. R. (1993) *Sistemas de transformação pedológica “solos lateríticos com couraça ferruginosa em silcrete e/ou planossolo”*: Aplicação à cartografia da pedo-morfologia do médio vale do Rio Paramirim –

- Bahia. São Paulo: UsP. 188 fl. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- NASCIMENTO, M. A. L. S. (1991). Geomorfologia do Estado de Goiás. Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 12, n. 1, p.1-22.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. (1995). Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo, SP: Villibor. 213 p.
- PALOCCI, A., CARVALHO, J.C., PEREIRA, J.H.F., SILVA, P.R. (1998). Considerações sobre a granulometria de alguns solos do Centro-Oeste. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 11, Brasília, Anais, 2:1001-1005.
- PARKS, G.A., BRUYN, P.L. (1962). The zero point of charge of oxides. *Journal of Physical Science*, 66:967-973.
- Valentim da Silva(2), Antonio Carlos Vargas Motta(3), Vander de Freitas Melo(3) & Valmiqui Costa Lima(3).
- PASTORE, E. L. (1992). Maciços de solos saprolíticos como fundação de barragens de concreto gravidade. São Carlos, SP: USP. 290 p. Tese (Doutorado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- PEDRO, G. (1966). Essai sur la caractérisation géochimique des différent processus zonaux résultant de l'alteration superficielle. *C.R.Ac. Sci., Paris, France*, 262(D):1828-1831.
- RESENDE, R. O. (2012). Estudo da espécie *Curatella Americana* L. (Dilleniaceae) utilizada como agente bioindicador em região aurífera do distrito de Cangas em Poconé/MT. Curso de pós-graduação Stricto Sensu em GEOCIÊNCIAS– 66 fls. Dissertação de Mestrado Acadêmico, UFMT, Cuiabá-MT.
- RODRIGUES, S. M. (2017) Caracterização Mineralógica e Microestrutural de um Perfil intemperizado de Brasília. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, 133p..
- SANTOS, R. M. M. (1997). Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no município de Goiânia. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 120 p.
- SCHELLMANN, W (1982): Some remarks on the dating of laterites. *Newsletter I.G.C.P. Project 129: Lateritisation Processes*, (4):40-42.
- SILVA, V., MOTTA, A. C. V., MELO, V. F., LIMA, V. C.. (2008). Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. In: *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 32:551-559.
- SOUZA, N.M., et al. Caracterização Ambiental. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M.M.; SOUZA, N.M.; MELO. M.T.S. (Org.). *Processos erosivos no centro oeste brasileiro*. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. p. 39-91.
- STRAVA CORRÊA, A.C.S. (2001). Avaliação da capacidade de confinamento dos solos tropicais: uma contribuição à escolha de novas áreas para disposição de Resíduos Sólidos Urbanos. Tese de Doutorado, publicação (G.TD-07/2001). Departamento de Engenharia Civil Universidade de Brasília, Brasília, DF, 221 p.
- THIRY, M., MILNES, A. R., RAYOT, V., SIMON-COINC, V. (2006). Interpretation of palaeoweathering features and successive silicifications in the Tertiary regolith of inland Australia. *Journal of the Geological Society*, London, Vol. 163, 2006, pp. 723–736.

- THOMAS, M. F. (1994). *Geomorphology in the Tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes*. United States: Wiley. 460 pag. Capítulo X.
- TRICART, J. (1977) : *Ecodinâmica*, IBGE-SUPREN (Recursos Naturais e Meio Ambiente), 91 pp.
- VOLKOFF, B., WOLINSK MOKLÓS, A. A., MAFRA, A., MELFI, A. (2002). Pedogênese numa seqüência Latossolo-Espodosolo na região do alto rio Negro, Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 26. 381-394.
- WEAVER, C. E., POLLARD, L. D. (1973). *The chemistry of clay minerals – Low-Temperatura Synthesis*. Capítulo 16.
- WHITE, W. M. (2005). *Geochemistry*. United States: Wiley-Blackwell. 668 pag. Capítulo 6.