



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

Estudo exploratório de areias pesadas da Guiné-Conakry

Tânia Filipa Batista Soares

Mestrado em Geociências
Recursos Geológicos

Orientação científica

Prof. Doutora Lúcia Maria Gil Catarino, Faculdade Ciências e Tecnologia Universidade de
Coimbra

Prof. Doutor Fernando Pedro Ortega de Oliveira Figueiredo, Faculdade Ciências e
Tecnologia Universidade de Coimbra

Setembro, 2014

*Por opção do autor, esta dissertação foi escrita segundo as regras anteriores ao novo acordo ortográfico.

Resumo

O presente trabalho apresenta o estudo da composição química e mineralógica de seis amostras de areias pesadas, recolhidas na costa de Guiné Conakry, com o primeiro objectivo de encontrar elementos de terras raras.

Numa primeira fase as amostras foram separadas gravimetricamente, por mesa vibratória Wifley, dando cada amostra origem a fracções estéreis, mistas e concentradas.

Numa segunda fase as amostras foram separadas magneticamente, começando pela separação por íman e de seguida por uma separação electromagnética, originando para cada amostra 3 fracções magnéticas (0,4 A; 0,8 A e 1,5 A) e uma não magnética a 1,5 A, que diz respeito aos grãos não atraídos na magnitude a 1,5 A.

De seguida procedeu-se a uma caracterização química e mineralógica. Para a caracterização química foram efectuadas análises de fluorescência de raios X e análises em SEM-EDS, no qual se ficou a saber quais os elementos presentes nas várias amostras. Para a caracterização mineralógica realizaram-se análises de difracção de raios X de cada parcela das amostras.

No geral as amostras apresentam na sua constituição minerais de quartzo, rútilo, ilmenite, magnetite, zircão e cromite.

De todas as amostras, a GK2 é a que apresenta resultados mais interessantes, uma vez que apresenta uma grande percentagem do elemento cromo, chegando a atingir pontualmente 40%. Além deste elemento a amostra apresenta percentagens significativas de ferro, titânio e zircónio, chegando a atingir pontualmente 76%, 69% e 47%, respectivamente. O conjunto de elementos detectados indica que esta amostra seja composta essencialmente por cromite, ilmenite, zircão e rútilo.

Pela análise de SEM-EDS, encontrou-se a presença de dois elementos químicos pertencentes ao grupo dos elementos pesados e associados a terras raras, que são o térbio (Tb) e o disprósio (Dy), mas em percentagens reduzidas e não é evidente o elemento tório (Th) considerado elemento indicativo de terras raras. No entanto a presença de crómio, titânio e hafnio em algumas amostras podem vir a revelar-se interessantes, necessitando de estudos mais detalhados.

Palavras-chave: Guiné Conakry; separador isodinâmico, fluorescência de raios X (XRF); difracção de raios X (DRX); cromite, ilmenite.

Abstract

This present work shows the study of the chemical and mineralogical composition of six samples of heavy mineral sands, collected on the coast of Guinea Conakry, with the first goal of finding rare earth elements.

In a first step the samples were separated gravimetrically by a Wifley vibrating table, giving for each sample the sterile fractions mixed and concentrated.

In a second step, the samples were separated magnetically, starting with the magnet separation and followed by electromagnetic separation, resulted for each sample 3 magnetic fractions (0,4 A; 0,8 A e 1,5 A) and a non-magnetic 1,5 A, with regard to the repelled grains in the magnitude 1,5 A.

A chemical and mineralogical characterization was also realised. For chemical characterization X-ray fluorescence and SEM-EDS analysis were made, in which we identified elements present in the various samples. For mineralogical characterization were performed X-ray diffraction analyzes, of each of the samples.

Generally the samples show minerals such quartz, rutile, ilmenite, magnetite, zircon and chromite.

From all samples, the GK2 shows interesting results, since it features a large percentage of the chromium element, reaching in single points 40%. Besides this element this sample shows significant percentages of iron, titanium and zirconium, occasionally reaching 76%, 69% and 47%, respectively. The set of elements detected indicates that this sample is essentially composed by chromite, ilmenite, zircon and rutile. By SEM-EDS analysis, we found the presence of two chemical elements belonging to the group of heavy elements and associated with rare earths elements, which is terbium (Tb) and dysprosium (Dy), but in small percentages and is not evident the element thorium (Th) considered indicative element of rare earth elements. However the presence of chromium, titanium and hafnium can be regarded with interest, but detailed studies must be performed.

Keywords: Guinea Conakry; isodynamic separator; X-ray fluorescence (XRF); X-ray diffraction (DRX); chromite; ilmenite.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a contribuição e o apoio de várias pessoas e instituições sem as quais este trabalho não teria sido realizado.

A Professora Doutora Lídia Catarino por toda a atenção e ensinamentos, pelas dicas e sugestões que deu durante a realização deste trabalho e pela disponibilidade que sempre teve para tirar as minhas dúvidas e ajudar quando precisava.

Ao Professor Doutor Fernando Figueiredo pelos ensinamentos ao longo do mestrado, pelas dicas no início para avançar com o trabalho.

Ao professor Doutor Alcides Pereira, na qualidade de director do Departamento Ciências da Terra, pela cedência do material necessário para a elaboração do presente trabalho.

A todos os professores, que ao longo destes anos contribuíram para a minha formação académica e a todos os funcionários do Departamento de Ciências da Terra, em particular à Dr^a Cristina Brojo e à Dona Conceição pela disponibilidade e ajuda de pesquisa bibliográfica.

Ao Laboratório de Ensaios e Desgaste & Materiais, integrante do Instituto Pedro Nunes (IPN), especialmente ao Eng. António Fonseca, pelo tempo disponibilizado para efectuar as análises de SEM-EDS.

Ao Senhor Carlos Maia, pelo tempo disponibilizado para a realização das análise de difracção de raios X.

A todos os meus amigos e colegas de curso pelo companheirismo e pelo incentivo que me deram para a realização deste trabalho, em particular à Joana Campos, Marta Reis, Marta Mateus, Adriana Gomes, João Carreira, Igor Morais e Ana Oliveira.

Um especial agradecimento ao Alexandre Figueiredo, pelo apoio condicional, pelas palavras certas na altura certa, pela companhia há noite enquanto realizava o presente trabalho e principalmente pela ajuda fundamental nos documentos em francês.

À Andreia Castro por todo o apoio e pela ajuda na formatação dos textos.

À minha família, em particular aos meus pais, Carlos Soares e Maria Cremilde, e à minha irmã Patrícia Soares, por todo o apoio ao longo dos anos, por nunca me faltarem com nada e por me darem sempre força em todos os momentos e nunca me deixarem desistir.

A todos muito obrigada!

Índice

Resumo	III
Abstract	IV
Agradecimentos	V
Capítulo I – Introdução	1
1.1. Importância e enquadramento do tema em estudo	1
1.2. Objectivos	10
1.3. Estrutura do trabalho	11
Capítulo II – Enquadramento geral	12
2.1. Enquadramento Topográfico	14
2.2. Enquadramento hidrográfico e climatológico	15
2.3. Enquadramento geológico	18
2.3.1. Geologia geral	18
2.3.2. Geologia da zona em estudo	18
2.4. Economia da zona em estudo	21
Capítulo III Metodologias	25
3.1. Técnicas utilizadas	25
3.1.1. Separação gravimétrica	25
3.1.2. Separação magnética	26
3.1.3. Análise química	29
3.1.4. Análise mineralógica	32
Capítulo IV – Resultados e Discussão	35
4.1. Amostra GK 1	38
4.1.1. Misto	38
4.1.2. Concentrado	39
4.2. Amostra GK 2	43
4.3. Amostra GK 3	48
4.3.1. Misto	48

4.3.2. Concentrado	49
4.4. Amostra GK 4	52
4.4.1. Misto.....	52
4.4.2. Concentrado	54
4.5. Amostra GK 5	56
4.6. Amostra GK 6 Concentrado	59
Capítulo V – Considerações finais.....	64
Bibliografia.....	66
Anexos.....	70

Índice de figuras

Figura I.1 – Elementos das Terras Raras na Tabela Periódica	2
Figura I.2: Evolução da produção de terras-raras desde 1960 até 2010	8
Figura I.3: Produção Mundial, Reservas e Importações EUA de terras raras.....	9
Figura I.4: Gráfico com a demanda de terras-raras, por aplicação	10
Figura II.1: Localização geográfica Guiné Conakry e suas limitações	12
Figura II.2: Localização das regiões administrativas da República da Guiné (a vermelho) e da capital – Conakry (a azul).	13
Figura II.3: Mapa com as classes de relevo (m) da região em estudo.	15
Figura II.4: Mapa hidrográfico da Guiné-Conakry	16
Figura II.5: Mapa geológico da zona em estudo	20
Figura II.6: Explorações mineiras na Guiné-Conakry.....	23
Figura III.1: Esquematização da mesa vibratória de Wilfley (A) e da vista plana da mesa (B)	26
Figura III.2: Separador electromagnético - Isodinamico Frantz	28
Figura III.3: Espectrometria por Fluorescência de Raios-X (XRF).....	29
Figura III.4: Microscópio electrónico de varrimento (SEM) equipado com detector de energia dispersiva de raios X (EDS).....	31
Figura III.5: Esquematização do processo de preparação das amostras até poderem ser analisadas pelo SEM/EDS.	32
Figura III.6: Tubo de raios X	33
Figura III.7: Difracção de raios X e a equação de Bragg	33
Figura III.8: Difractómetro de raios-X.....	34
Figura IV.1: Fotografia da fracção não magnética da amostra GK 2, com a análise ao mineral zircão	46
Figura IV.3: Fotografia da fracção magnética obtida por íman da amostra GK 2, com a análise ao mineral cromite	47
Figura IV.2: Fotografia da fracção magnética obtida por íman da amostra GK 2, com a análise ao mineral ilmenite	47
Figura IV.4: Fotografia por SEM-EDS da fracção não magnética da amostra GK5	57

Figura IV.5: Fotografia por SEM-EDS da fracção magnética obtida por íman da amostra GK5	57
Figura IV.6: Fotografia por SEM-EDS do pormenor do mineral magnetite (amostra GK5) ...	58
Figura IV.7: Fotografia por SEM-EDS da fracção não magnética da amostra GK6	60
Figura IV.8: Fotografia por SEM-EDS da fracção magnética obtida por íman da amostra GK6	60
Figura IV.9: Fotografia por SEM-EDS do pormenor do mineral cromite (amostra GK6)	61

Índice de tabelas

Tabela I.1: Classificação dos elementos de terras raras	2
Tabela I.2 – Descoberta de elementos de terras raras adaptado.....	4
Tabela I.3: Produção e reservas mundiais de terras raras – 2011	8
Tabela II.1: Os principais dados sobre as bacias hidrográficas de Guiné Conakry	17
Tabela III.1: Minerais possíveis encontrar nas magnitudes de 0.4 A; 0.8A; 1.5A e a 1.5A não magnético	28
Tabela IV.1: Percentagem de cada fracção das amostras após a separação gravimétrica e separação magnética (Íman e Separador)	37
Tabela IV.2: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK1 Misto	38
Tabela IV.3: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 1 Misto – fracção não magnética	39
Tabela IV.4: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK1 Concentrado.....	40
Tabela IV.5: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 1 Concentrado – íman.....	41
Tabela IV.6: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 1 Concentrado – 0.4 A	41
Tabela IV.7: Resumo da constituição da amostra geral GK 1	42
Tabela IV.8: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK 2 Concentrado.....	43
Tabela IV.9: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 2 Concentrado – fracção não magnética.....	44
Tabela IV.10: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 2 Concentrado– íman.....	44
Tabela IV.11: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 2 Concentrado – 0.4 A.	45
Tabela IV.12: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 2 Concentrado – 0.8 A.	45
Tabela IV.13: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 2 – 1.5 A.	46
Tabela IV.14: Resumo da constituição da amostra geral GK 2	46
Tabela IV.15: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK 3 Misto	48
Tabela IV.16: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK 3 Concentrado.....	49

Tabela IV.17 Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 3 Concentrado – fracção não magnético.....	50
Tabela IV.18 Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 3 Concentrado – íman.....	50
Tabela IV.19 Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 3 Concentrado – 0.4 A	50
Tabela IV.20: Resumo da constituição da amostra geral GK 3	51
Tabela IV.21: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK 4 Misto	52
Tabela IV.22: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 4 Misto – Não Magnético.	53
Tabela IV.23: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK 4 Concentrado.....	54
Tabela IV.24: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 4 Concentrado – Total Magnético.....	55
Tabela IV.25: Resumo da constituição da amostra geral GK 4	55
Tabela IV.26: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK 5.....	56
Tabela IV.27: Resumo da constituição da amostra geral GK 5	58
Tabela IV.28: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK 6 Concentrado.....	59
Tabela IV.29: Resumo da constituição da amostra geral GK 6 Concentrado	61
Tabela IV.30: Vestígio do elemento de bário em grãos das amostras GK1, GK2, GK3 e GK4	62
Tabela IV.31: Tabela resumo dos minerais obtidos das análises efectuadas e suas fórmulas químicas	63

Capítulo I – Introdução

As amostras de areia em estudo foram recolhidas em zonas aluvionares próximas da cidade de Conakry, localizada no país da Guiné Conakry que pertence á África Ocidental, e enviadas para o Departamento de Ciências da Terra, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, para serem analisadas e estudadas, a fim de verificar a presença de terras raras.

1.1. Importância e enquadramento do tema em estudo

As terras raras têm merecido amplo destaque nos meios relacionados com as actividades mineiras de pesquisa, exploração, produção, assim como de comercialização e aplicação desses elementos metálicos, com importantes reflexos para os sectores económicos específicos da indústria e do comércio. Assim sendo, as terras raras são elementos químicos de grande importância para a sociedade actual e no futuro devem-se tornar ainda mais importantes.

“Ao contrário do que o termo “terras raras” possa significar, elas não são terras e muito menos raras. Esses metais foram designados como “terras” pois era a denominação genérica dos óxidos da maioria dos elementos metálicos e “raros” por serem de difícil separação na época dos estudos iniciais” (Sturari, 2012).

Segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada, os Elementos de Terras Raras pertencem ao grupo III-B, da tabela periódica (figura I.1), que constituem o grupo de elementos químicos da série dos lantanídeos (número atómico entre 57 a 71), acrescidos do escândio (número atómico 21) e o ítrio (número atómico 39) que apresentam comportamentos químicos similares (Andrade, 2010; Bleiwas & Gambogi, 2013).

Segundo as diferenças nas propriedades químicas, as terras raras, são classificadas em dois grupos (Viera & Lins, 1997; Humphries, 2013): o primeiro, designado por elementos leves ou grupo do cério (número atómico entre 57 e 63), e o segundo designado por elementos pesados ou grupo do ítrio (número atómico entre 64 e 71). O ítrio e o escândio, pertencem ao grupo dos elementos pesados, uma vez que possuem propriedades químicas semelhantes às dos outros elementos do grupo, e também por ocorrerem na natureza associados às terras-raras (tabela I.1).

Legenda de propriedades físicas e químicas:

- Metals alcalinos (laranja)
- Metals alcalino-terrosos (amarelo)
- Metals de transição (marrom)
- Lantanídeos (roxo claro)
- Actinídeos (roxo escuro)
- Metals representativos (verde claro)
- Semi-metals (verde médio)
- Não-metals (verde escuro)
- Halogênios (azul claro)
- Gases nobres (azul escuro)
- Sólido (C)
- Líquido (Hg)
- Gasoso (H)
- Desconhecido (Rf)
- Elementos Terras Raras (caixa vermelha)

Caixa vermelha destacando os elementos das terras raras:

3B: 21 Sc (Escândio), 39 Y (Ítrio)

57-71 (*): 57 La (Lantânio), 58 Ce (Cério), 59 Pr (Praseodímio), 60 Nd (Neodímio), 61 Pm (Promécio), 62 Sm (Samário), 63 Eu (Európio), 64 Gd (Gadolínio), 65 Tb (Térbio), 66 Dy (Disprósio), 67 Ho (Hólmio), 68 Er (Érbio), 69 Tm (Túlio), 70 Yb (Ítérbio), 71 Lu (Lutécio)

89-103 (**): 89 Ac (Actínio), 90 Th (Tório), 91 Pa (Protactínio), 92 U (Urânio), 93 Np (Neptúnio), 94 Pu (Plutónio), 95 Am (Americio), 96 Cm (Cúrio), 97 Bk (Berquélio), 98 Cf (Califórnio), 99 Es (Einsténio), 100 Fm (Férmio), 101 Md (Mendeléev), 102 No (Nobélio), 103 Lr (Lauréncio)

Figura I.1 – Elementos das Terras Raras na Tabela Periódica
(Fonte: www.tabelaperiodicacompleta.com)

Tabela I.1: Classificação dos elementos de terras raras

(Adaptado: Viera & Lins, 1997)

	Elementos de terras raras	Símbolo	Número atómico
Leves	Lantânio	La	57
	Cério	Ce	58
	Praseodímio	Pr	59
	Neodímio	Nd	60
	Promécio	Pm	61
	Samário	Sm	62
	Európio	Eu	63
Pesados	Gadolínio	Gd	64
	Térbio	Tb	65
	Disprósio	Dy	66
	Hólmio	Ho	67
	Érbio	Er	68
	Túlio	Tm	69
	Ítérbio	Yb	70
	Lutécio	Lu	71
Ítrio	Y	39	
Escândio	Sc	21	

A descoberta de elementos de terras raras durou cerca de 160 anos sendo concluída em 1947 (Gupta & Krishnamurthy, 2005).

O primeiro elemento das terras raras foi descoberto em 1751, pelo mineralogista suíço Cronstedt, quando obteve um mineral pesado, a cerite, com a fórmula química $(\text{Ce,La,Ca})_9(\text{Fe}^{3+},\text{Mg})[(\text{OH})_3\text{SiO}_3(\text{OH})(\text{SiO}_4)_6]$. Porém, existem controvérsias e atribui-se o ano de 1787, como o início da história das terras raras, quando Carl Axel Arrhenius, tenente do Exército Real Sueco e também um mineralogista amador, encontrou um mineral preto, em uma pequena vila, Ytterby, próxima a Estocolmo (Suécia) (Martins & Isolani, 2005). O mineral foi analisado pelo químico finlandês Johan Gadolin em 1794, tendo encontrado ferro e silica como constituintes do mineral e também uma "nova terra", que correspondeu a 30% do mineral. A descoberta desta "nova terra" foi confirmada pelo químico sueco Anders Gustaf Ekeberg durante o ano seguinte. O mineral encontrado por Arrhenius acabou por ser um ferro-berílio-silicato a que Ekeberg deu o nome de "iterbita" também conhecido como gadolinite (Gupta & Krishnamurthy, 2005).

Desde os meados do século XVIII até 1840, só cinco terras raras teriam sido identificadas, com algumas impurezas: os óxidos de ítrio, de cério, de térbio, de érbio e de lantânio, graças aos trabalhos de Klaproth, Berzelius, Hisinger, Gadoloin e Mosander, respectivamente. Nesta época, os elementos eram separados através de análise de pequenas diferenças na solubilidade e peso molecular dos vários compostos (Gomes, 2008).

A dificuldade da separação dos elementos das terras raras, reside no facto de possuírem propriedades químicas muito similares, o que implica uma separação muito difícil. Um avanço decisivo nesta longa marcha ocorreu entre 1880 e 1890 graças a uma nova técnica de análise, a espectroscopia, que veio permitir observar a evolução dos fracionamentos das misturas naturais contendo estes elementos (Gomes, 2008).

Com este avanço e através dos trabalhos de Georges Urbain, químico francês do início do século XX, permitiram isolar o lutécio, o itérbio e, segundo Urbain, o céltio. A separação dos elementos das terras raras, permitiu-lhe ainda descrever as características do európio, do gadolínio, do disprósio e do térbio e simultaneamente medir os pesos atómicos desses elementos com muita precisão (Gomes, 2008).

A tabela seguinte é uma síntese da descoberta de todos os elementos de terras raras (tabela I.2).

Tabela I.2 – Descoberta de elementos de terras raras

(Adaptado: Gupta & Krishnamurthy, 2005)

Ano	Mineral*/ Elemento	Descoberto por:	Nomeado por:	Confirmado por:	Origem do nome
1784	Gadolinite*	C.A. Arrhenius	A.G. Ekeberg		Pessoa: J. Gadolin
1794	Ítrio	J. Gadolin	A.G. Ekeberg	M. Delafontaine	Local: Ytterby
1751	Cerite*	A.F. Cronstedt	J.J. Berzelius, W. Hisinger		Asteroide: Ceres
1804	Cério	J.J. Berzelius, W. Hisinger	J.J. Berzelius, W. Hisinger		Asteroide: Ceres
1839	Samarskite*	M.H. Klaproth, G. Rose			Pessoa: Col. Samarsky
1839	Lantânio	C.G. Mosander	J.J. Berzelius		Comportamento químico: passar despercebido
1842	Didímio	C.G. Mosander	C.G. Mosander		Comportamento químico: gêmeos
1843	Érbio (conhecido como térbio após 1864)	C.G. Mosander	C.G. Mosander	M. Delafontaine, J.L. Soret, H.E. Roscoe, A.J. Schuster, J.G. Marignac, J.L. Smith	Local: Ytterby
1843	Térbio (conhecido como érbio antes 1864)	C.G. Mosander	C.G. Mosander	M. Delafontaine, J.L. Smith	Local: Ytterby
1878	Itérbio	J.C. Marignac	J.C. Marignac	M. Delafontaine, L.F. Nilson	Comportamento químico entre: érbio e itérbio
1879	Samário	P.E.L. De	Boisbaudran	P.T. Cleve	Mineral: Samarskite
1879	Escândio	L.F. Nilson	L.F. Nilson		Local: Escandinávia
1879	Túlio	P.T. Cleve	P.T. Cleve		Local: Escandinávia ("Thule" é o nome antigo)
1879	Hólmio	P.T. Cleve	P.T. Cleve	J.L. Soret, P.E.L. De Boisbaudran	Local: Estocolmo (nome medieval)
1886	Disprósio	P.E.L. De	Boisbaudran		Comportamento químico: de difícil acesso
1886	Gadolínio	J.C. Marignac	J.C. Marignac	M. Delafontaine, J.L. Soret	Pessoa: J. Gadolin
1886	Praseodímio	C.A. von Welsbach	C.A. von Welsbach	A. Bettendorf	Comportamento químico: novo gêmeo
1886	Neodímio	C.A. von Welsbach	C.A. von Welsbach	A. Bettendorf	Comportamento químico: novo gêmeo

Tabela I.2: Descoberta de elementos de terras raras (cont.)

(Adaptado: Gupta & Krishnamurthy, 2005)

Ano	Mineral*/ Elemento	Descoberto por	Nomeado por	Confirmado por	Origem do nome
1901	Európio	E. Demarcay	E. Demarcay	G. Urbain	Local: Europa
1907	Lutécio	G. Urbain, C.A. von Welsbach	G. Urbain		Local: Paris (Nome romano de Paris)
1947	Promécio	J.A. Marinsky, L.E. Glendenin, C.D. Coryell	J.A. Marinsky, L.E. Glendenin, C.D. Coryell		Lenda: Prometeus

As principais concentrações de elementos de terras raras estão associados a rochas ígneas, como rochas alcalinas e carbonatitos. Também podem ser encontrados em depósitos de placer, depósitos residuais formados a partir da desagregação das rochas ígneas, em pegmatitos, depósitos de cobre-ouro e fosfatos marinhos. Os sedimentos, resultantes da erosão, são depositados em uma ampla variedade de ambientes, tais como rios, linhas costeiras, leques aluviais e deltas (Long et al., 2010).

Entre os minerais de terras-raras que apresentam interesse econômico/comercial podem ser mencionados a monazite, a bastnasite, o xenotímio, a gadolinite, a allanite, a euxenite e a apatite (USGS, 2013). Outros minerais, tais como a perovskite, fluorite e o zircão, poderão vir a transformar-se em fontes importantes de terras raras, os quais já são processados para o aproveitamento de outros elementos podendo ser recuperadas como subproduto (Abrão, 1994):

A **monazite** é um dos minerais mais comuns das terras raras (60-62%) e contem na sua composição tório e urânio. Com a composição química $(Ce,La,Nd,Th)PO_4$, é um fosfato que ocorre, geralmente, na forma de pequenos cristais isolados e apresenta uma cor castanho avermelhado. Cristaliza no sistema monoclinico. É uma fonte importante de tório, lantânio e cério e devido à presença do tório, na sua composição, pode ser considerada radioactiva. É um mineral acessório em granito, gnaisse, aplito e pegmatito, pode ser encontrado em depósitos sedimentares (areias), depósitos de plácer e em territórios que geologicamente já foram praias (paleopraia) (Long et al., 2010; Klein&Dutrow, 2012)

A **bastnasite** é um dos outros minerais mais comum das terras raras com a composição química $(\text{Ce,La,Y})\text{CO}_3\text{F}$. Pode ser transparente, apresentar cor amarelada ou castanha, com uma forma pequena hexagonal arredondada ou curtos cristais prismáticos, mas também pode formar rosetas e esferas. Está relacionado com o mineral parasite $\text{Ca}(\text{Ce,La})_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$ (Long et al., 2010).

A **euxenite** é um mineral preto com um hábito tabular prismático, tornando-se indistinguível do rútilo, um óxido de titânio comum, quando encontrado em forma maciça. No entanto, a euxenite não possui planos de clivagem e, ao contrário do rútilo, tem uma fractura concoidal. É normalmente encontrado em pegmatitos, e associado ao quartzo, feldspato, columbite–tantalite e monazite. A sua composição química é: $(\text{Y,Er,Ce,U,Pb,Ca})(\text{Nb, Ta, Ti})_2(\text{S, OH})_6$ (Long et al., 2010).

O **xenotímio** é um mineral raro composto de fosfato de ítrio, com fórmula química $\text{Y}(\text{YPO}_4)$ e pode ser castanho, amarelado ou avermelhado com um brilho vítreo a resinoso. É normalmente um mineral acessório de todas as rochas, embora tenha sido observado em micaxistos e gnaisses ricos em quartzo; ele também pode ser um mineral detrítico. O xenotímio pode ser facilmente confundido com o zircão, devido à semelhança do hábito cristalino e a aparência global, no entanto, não é tão duro como o zircão e demonstra uma clivagem perfeita (Long et al., 2010).

A **allanite**, com a formula química $\text{Ca}(\text{Ce,La,Y,Ca})\text{Al}_2(\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+})(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$, que pertence ao grupo do epidoto, tem uma fractura concoidal e é um mineral acessório habitual em muitas rochas ígneas ou rochas metamórficas, é ligeiramente radioativa e costuma associar-se com outros minerais que contenham elementos terras raras. Os cristais podem ser prismáticos ou tabulares, podendo ocorrer também na forma de grãos incrustados em rochas. Podem ser translúcidos para opacos, de cores que variam desde o preto, castanho-avermelhado e castanho, e seu brilho é considerado vítreo-gorduroso (Klein&Dutrow, 2012)

A **gadolinite** é formada principalmente de silicatos de cério, lantânio, neodímio, ítrio, berílio, e ferro, com fórmula $(\text{Ce,La,Nd,Y})_2\text{FeBe}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$. É bastante rara e geralmente ocorre como cristais bem formados. É um mineral de coloração quase preta com brilho vítreo, com fraturas padrão concoidal. (Long et al., 2010).

A **apatite** é um mineral do grupo dos fosfatos com a fórmula química $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F,OH,Cl})$. Apresenta uma forma de prismas alongados, por vezes aciculares, cristais tabulares ou elipsoidais e é um mineral usualmente incolor, podendo ser branco leitoso, azulado, esverdeado, amarelo, castanho ou cinzento com brilho vítreo a mate. Ocorre em rochas magmáticas, metamórficas e hidrotermais como mineral acessório e pode também ocorrer

em rochas sedimentares. Encontra-se associada ao quartzo, feldspato, turmalinas, moscovite, berilo, entre outros (Pratas, 1997).

A **perovskite** é um óxido de cálcio e titânio CaTiO_3 , que é um mineral relativamente raro ocorrendo na forma de cristais ortorrômbicos (pseudocúbicos) com um brilho metálico. Encontra-se nas cores preta, vermelha ou amarela e contém de 38 a 58% de titânio (TiO_2). A perovskite ocorre em rochas metamórficas e associada a intrusões máficas, a sienitos nefelínicos e raramente a carbonatitos (Maia, 2001).

A **fluorite** é um composto basicamente de fluoreto de cálcio, CaF_2 . Usualmente encontrada em cristais cúbicos, sendo também frequente o hábito octaédrico, transparentes a translúcidos, de cor muito variável, como incolor, branca, violeta, azul violáceo, esverdeada, verde, amarela ou rosa, e com uma clivagem perfeita. Apresenta brilho vítreo, fractura concoidal ou em escada e inclusões de óxidos de ferro, minerais das terras raras, substâncias betuminosas e hélio. Pode ocorrer em veios hidrotermais juntamente com minerais metálicos, como a esfalerite, galena, barite, quartzo e calcite. Pode estar presente em granitos e calcários (Pratas, 1997).

O **zircão** é um silicato de zircónio de fórmula química ZrSiO_4 . A estrutura cristalina do zircão é tetragonal com um hábito prismático, brilho vítreo e fractura concoidal. A coloração natural do zircão varia desde incolor passando pelo rosa, lilás, esverdeado, amarelado, acinzentado, acastanhado, amarelo-alaranjado, vermelho, castanho, castanho-escuro, amarelo escuro, cinzento-escuro ou branco leitoso. Ocorre como mineral acessório de rochas plutónicas, principalmente rochas ricas em sódio, em granitos e pegmatitos, também em rochas sedimentares, como arenitos (Pratas, 1997).

As maiores reservas de bastnasite estão na China (Baotou), que detém cerca de 50% e nos Estados Unidos da América (Mountain Pass), com cerca de 13%, de acordo com a estimativa do USGS, (tabela I.2), o que faz com que a China seja um país extremamente dominante nas terras raras (Humphris, 2013).

No Brasil, Austrália, Índia, África do Sul, Tailândia e Sri Lanka, as terras raras ocorrem na monazite e em areias com outros minerais pesados (ilmenite, zircão e rútilo) (Andrade, 2010).

Tabela I.3: Produção e reservas mundiais de terras raras – 2011

(Adaptado: Humphris, 2013)

País	Produção Mina (toneladas)	% Total	Reservas (milhões de toneladas)	% Total
Estados Unidos da América	-		13,0	13
China	105.000	95	55,0	50
Rússia (e outros, antiga União Soviética, Países da União)			19,0	17
Austrália	2.200	2,0	1,6	1,5
Índia	2.800	2,5	3,1	2,8
Brasil	250	0,22	Baixo	
Malásia	280	0,25	Baixo	
África do Sul e Canadá	NA		22,0	20
Total	111.000		110,0	

Ao longo das últimas décadas, o perfil da produção dos elementos de terras raras, passou por uma profunda transformação. Houve um decréscimo da produção nos Estados Unidos e em outros países, e um aumento da produção da China (figura. I.2).

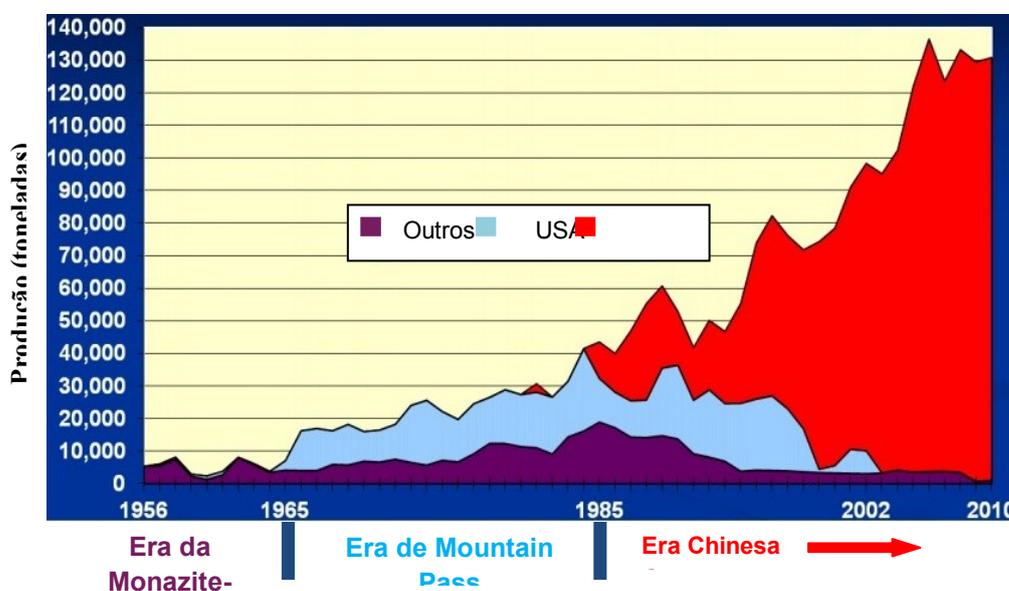
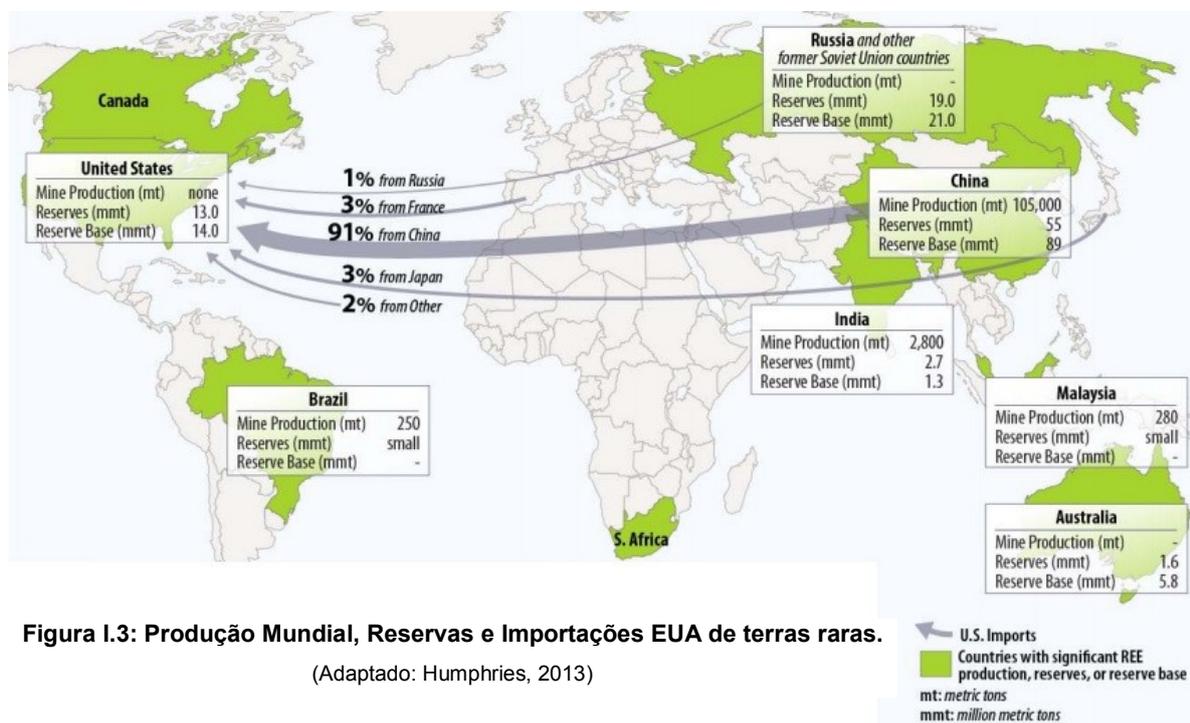


Figura I.2: Evolução da produção de terras-raras desde 1960 até 2010

(adaptado:Tse, 2011)

É de registar que os Estados Unidos já foram autossuficientes na produção destes elementos, mas ao longo dos últimos anos o país tornou-se totalmente dependente de importações, principalmente da China (Humphries, 2013) (figura. I.3).



A China controla as exportações de terras raras de uma forma apertada, e é também conhecida por ter o armazenamento de terras raras para o seu próprio consumo. Além disso, introduziu um imposto de exportação em 2006, com o efeito de aumentar os preços da matéria-prima de terras raras em 31% (Wilburn, 2012). Existe a preocupação que a China pode em breve restringir significativamente ou proibir a exportação de determinados elementos de terras raras, a fim de garantir o abastecimento para a sua própria produção (European Commission, 2010).

Estima-se que no ano de 2011 o mercado global dos elementos de terras raras foi de 158,2 mil toneladas (Lima, 2012) e em 2012 tenha sido de 134 mil toneladas (Cardoso et al., 2012). Para 2014, a estimativa da procura mundial é de 190 mil toneladas (Schüler, 2011) e para 2016, esse mercado, deverá ser de aproximadamente 258 mil toneladas (Lima, 2012).

As aplicações mais comuns das terras raras, no geral, são: os ímãs, circuitos eletrônicos, catalisadores, equipamentos de laser, telemóveis, e ligas metálicas. Porém também são usados na indústria do vidro, em pigmentos, na metalurgia de ferro e aço, metalurgia de ligas de alumínio (Al) e magnésio (Mg), metalurgia de baterias, indústria química e polímeros (figura I.4).

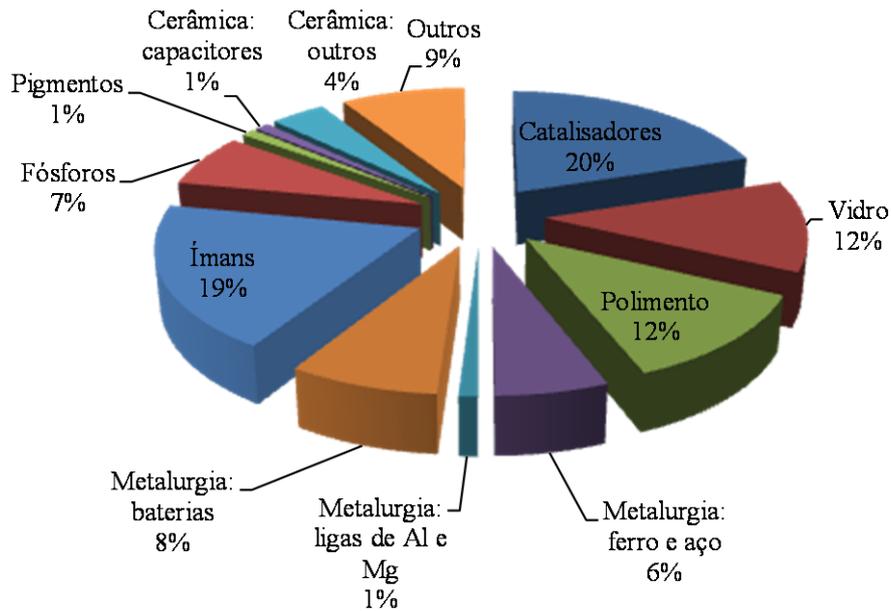


Figura I.4: Gráfico com a demanda de terras-raras, por aplicação
(adaptado: European Commission, 2010)

Em relação ao mercado mundial de terras raras, estima-se em valor, que entre 2009 e 2011 tenha aumentado de 1 mil milhão US\$ para cerca de 11 mil milhões US\$. Apesar desse crescimento, o mercado de terras-raras ainda é muito pequeno quando comparado com o do petróleo, de cerca de 3 bilhões US\$, e com o do minério de ferro, cerca de 200 mil milhões US\$ (Lima, 2012).

1.2. Objectivos

Esta dissertação teve como objectivo geral:

- Analisar as amostras de areia, provenientes de Guiné-Conakry com a finalidade de encontrar elementos pertencentes ao grupo das terras raras ou que indicassem que poderiam existir.

Como objectivos específicos, teve:

- A avaliação da percentagem de elementos presentes nas amostras e, demonstrar quais são os elementos importantes e que poderão ser explorados;
- Identificar os vários minerais pertencentes nas amostras.

1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho encontra-se dividido em 5 capítulos.

Neste **capítulo** foi realizada uma breve introdução sobre o tema de terras raras. Dentro deste tema foi explicado o que se entendia por terras raras, quais os elementos químicos, em que minerais e ambientes estão associados, onde se situam as maiores reservas e as suas aplicações.

No **segundo capítulo** diz respeito ao enquadramento do local em estudo, ou seja a localização da Guiné-Conakry e como se encontra classificada. É referido ainda o enquadramento topográfico, hidrográfico, climatológico e geológico. Além destes tópicos apresenta-se ainda a economia da zona em estudo.

No **terceiro capítulo** serão mencionadas as várias técnicas utilizadas e uma breve explicação em que consistem cada uma.

No **quarto capítulo** serão apresentados os resultados obtidos após a realização das análises mencionadas no capítulo anterior e a respectiva discussão.

No **quinto capítulo** diz respeito às conclusões retidas do presente trabalho e as algumas perspectivas para futuros trabalhos.

Capítulo II – Enquadramento geral

A República da Guiné, também designada por Guiné ou por Guiné-Conakry, para diferenciar de Guiné-Bissau e Guiné Equatorial, é um país da África Ocidental. Apresenta uma área de 245.860 km² e é limitado, a Norte pela Guiné-Bissau e o Senegal, a Sul pela Serra Leoa e a Libéria, a Norte e Leste pelo Mali, a Leste pela Costa do Marfim, e a Oeste pelo Oceano Atlântico (figura.II.1).

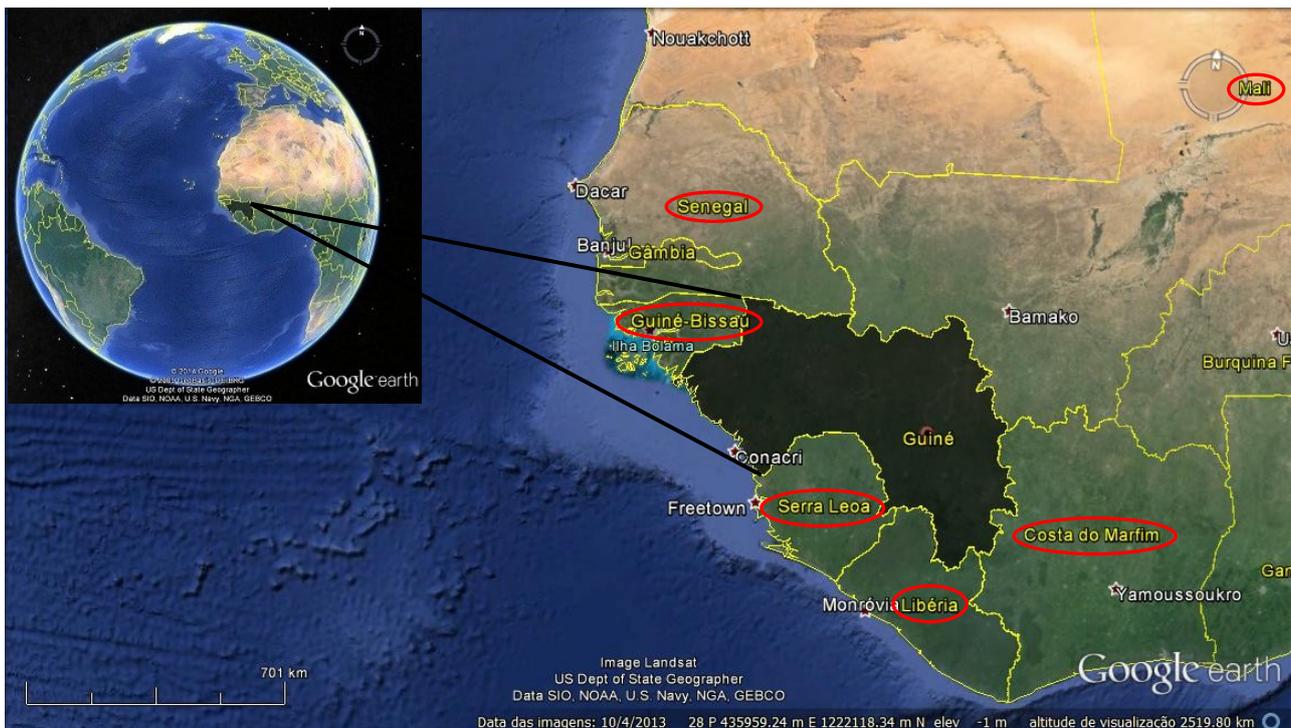


Figura II.1: Localização geográfica Guiné Conakry e suas limitações
(Google earth, 2014).

Administrativamente a Guiné Conakry divide-se em 4 regiões: Guiné Marítima, Média Guiné, Alta Guiné e Guiné Florestal (figura II.2) (ONU/DI, 2004; Aquastat, 2005):

- A **Guiné Marítima** ou Baixa Guiné é a faixa costeira, com cerca de cerca de 300 km, ao longo do Oceano Atlântico, entre a Guiné-Bissau (Norte) e a Serra Leoa (Sul). Esta região corresponde a 15% da área total do país;
- A **Média Guiné** abrange 26% da área total do país e 25% da sua população e situa-se entre a Guiné Marítima e a Alta Guiné;

- A **Alta Guiné** ocupa 40% da área total do país, com menor densidade populacional (18%) e situa-se entre a Guiné florestal e a Média Guiné, na borda ocidental da grande bacia do Níger.
- A **Guiné Florestal** cobre 20% da área total do país, com um relevo acidentado e como o próprio nome indica, é uma área florestal.

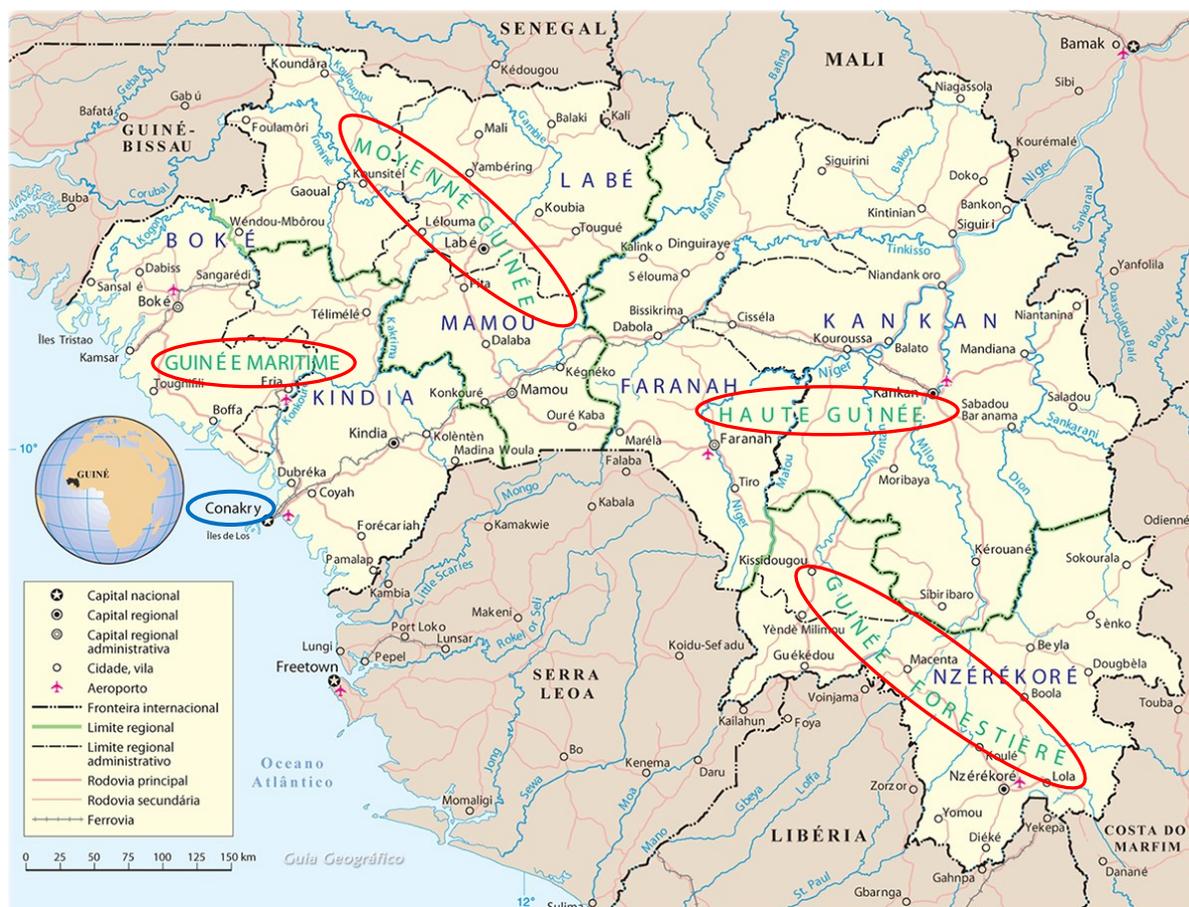


Figura II.2: Localização das regiões administrativas da República da Guiné (a vermelho) e da capital – Conakry (a azul).

(Fonte: <http://www.ikuska.com/>)

A população total é aproximadamente de 8,6 milhões de habitantes (2004), sendo 64% uma população rural. A densidade média é de 35 habitantes por quilómetro quadrado, variando entre 16 habitantes por quilómetro quadrado em Beyla, na Guiné Florestal, 106 habitantes por quilómetro quadrado em Labé na Média Guiné, e 2.429 habitantes por quilómetro quadrado na capital Conakry. Esta cidade está localizada a sudoeste do país e caracteriza-se por ser uma cidade portuária no Oceano Atlântico que funciona como o centro económico, financeiro e cultural da Guiné (Aquastat, 2005).

A taxa de mortalidade à nascença é de 109 por cada 1000 nascimentos com sucesso, e a taxa de mortalidade para as crianças com menos de 5 anos é de 169 por cada 1000 crianças. A população activa é estimada em 49% da população total e 82% da população activa trabalha na agricultura. A taxa de êxodo rural é estimada em 2,1% e a taxa de pobreza no meio rural é de 53%, quase 8 vezes mais que a de Conakry, que é de 7%. Apenas 51% da população total tem acesso a água potável (Aquastat, 2005).

2.1. Enquadramento topográfico

É um país com três regiões naturais (figura II.3): as planícies costeiras pantanosas à beira do Oceano Atlântico; o maciço montanhoso do Fouta Djalon, no qual nascem os principais rios da sub-região (Níger, Gâmbia, Bafing-Senegal, Tominé) e que divide a parte ocidental marítima do interior, a terceira região de planaltos cuja altitude se vai elevando até ao Monte Nimba (Aquastat, 2005).

A região mais montanhosa, situada na Média Guiné, é designada pelo maciço de Fouta-Djalon, com planaltos de altitude superior a 750 metros e ultrapassando os 1200 metros em algumas zonas do eixo Dalaba-Mali, cortados por vales profundos e íngremes. O pico mais alto diz respeito ao Monte Loura, situado a Norte da cidade de Mali, com 1515 metros e o segundo pico mais alto localiza-se a Sul de Dalaba, em Kavendou e é designado por Monte Diaguissa, com 1425 metros. A outra região montanhosa, situa-se na Guiné Florestal, com montanhas com mais de 1500 metros, sendo a mais alta, com 1752 metros o monte de Nimba (Aquastat, 2005).

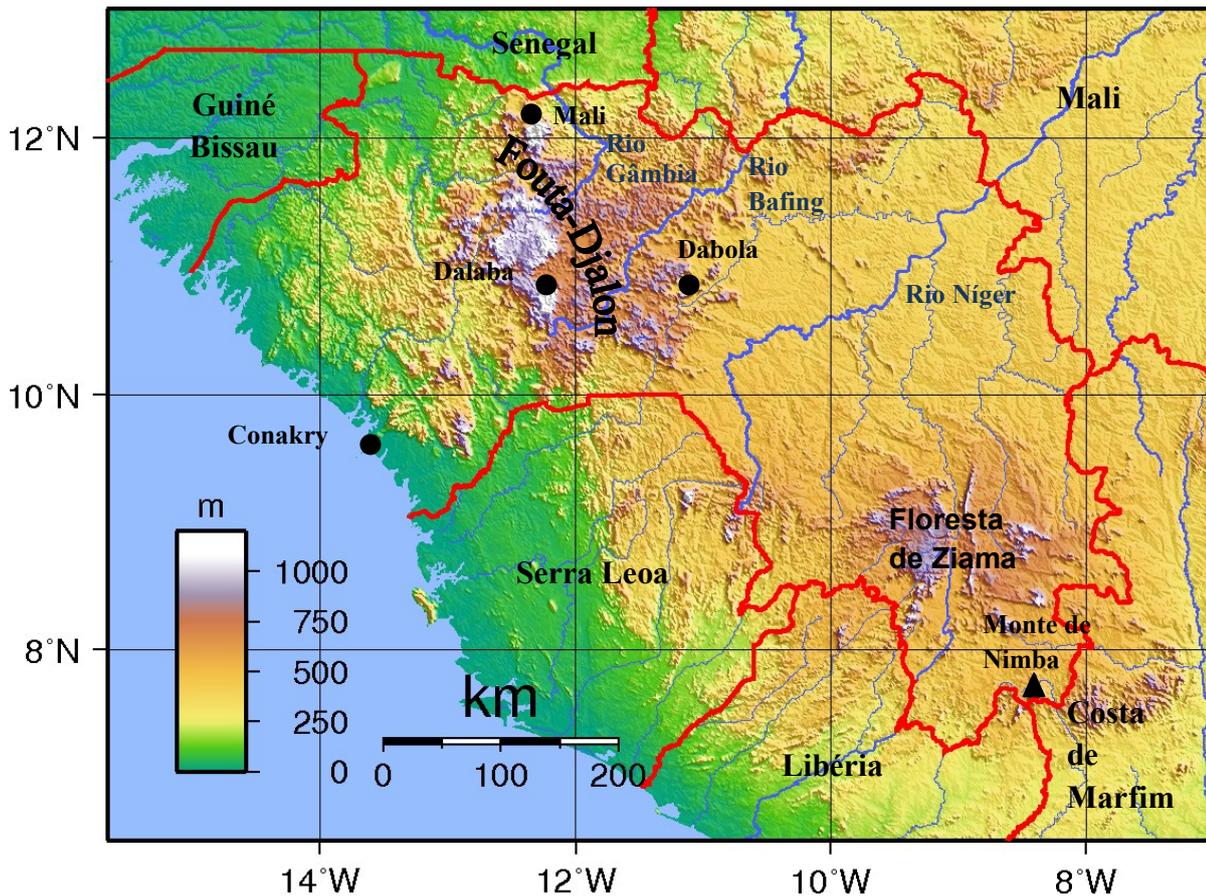


Figura II.3: Mapa com as classes de relevo (m) da região em estudo.
(adaptado: Sadalmelik, 2007)

2.2. Enquadramento hidrográfico e climatológico

Guiné Conakry, é considerada como o “Castelo de água” da África Ocidental, pois os principais rios desta região têm origem no maciço do Fouta-Djalón (Média Guiné). A Norte tem-se o rio do Senegal e o Gâmbia, a Sul os rios Kaba e Kolenté, a Oeste os rios de Koliba, Rio Grande, Fatala e Konkouré, e a Este o rio Níger (Aquastat, 2005).

A área das bacias hidrográficas varia entre 10 e 97 168 km² (Barry, 2009) tendo sido inventariado um total de 1 161 cursos de água (figura II.4). Esta rede hidrográfica encontra a sua origem em duas cadeias montanhosas: Fouta Djalon e a dorsal guineense (Guiné Florestal), e é compreendida entre 23 bacias hidrográficas, das quais 14 são internacionais, ou seja compartilhadas com países vizinhos na sub-região Oeste Africano (tabela II.1) (Aquastat, 2005).

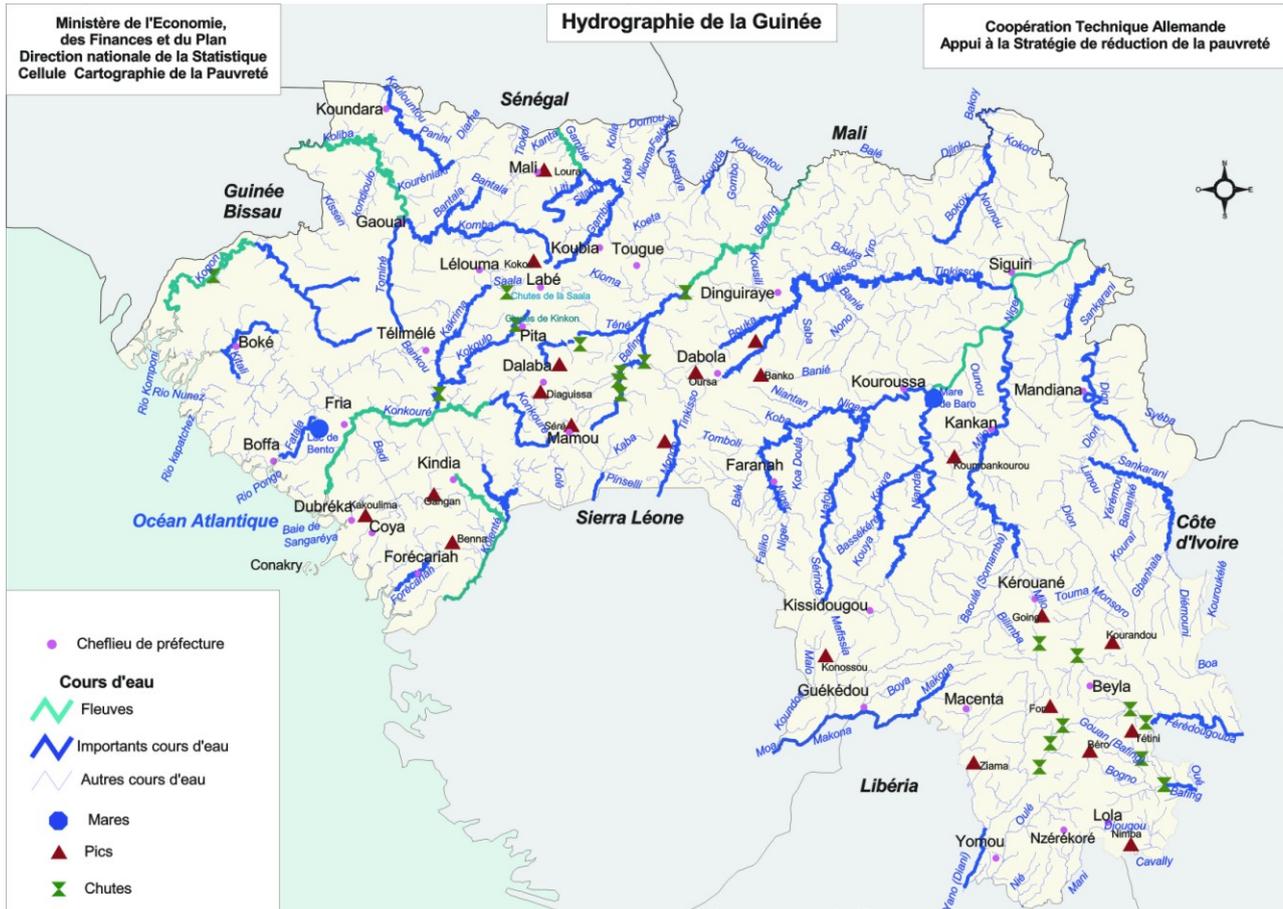


Figura II.4: Mapa hidrográfico da Guiné-Conakry
(Fonte: <http://www.srp-guinee.org/>)

Cerca de 12% da superfície total do país encontra-se na bacia hidrográfica do rio Senegal, 39% na bacia hidrográfica do rio Níger e 49% nas bacias costeiras.

A precipitação média anual é estimada em 1651 milímetros para a área do país que é de 245 860 km², fazendo com que o volume de precipitação seja aproximadamente de 406 km³/ano. Deste volume a evapotranspiração consome 180 km³ o que perfaz um total de recursos hídricos superficiais renováveis de 226 km³/ano. Os recursos hídricos subterrâneos são poucos e mal conhecidos e são avaliados em 72 km³, dos quais 38 km³ são renováveis durante a época de precipitação média (Aquastat, 2005).

Tabela II.1: Os principais dados sobre as bacias hidrográficas de Guiné Conakry

(adaptado: Barry, 2009)

As bacias hidrográficas	Área de bacias hidrográficas (km ²)	Volume anual de 10 ⁶ m ³	Bacias transfronteiriças e os países ribeirinhos a jusante
Kogon	8 502	9 682	
Tinguilinta	5 031	6 276	
Kapatchez	2 906	1 356	
Fatala	6 092	7 884	
Konkouré	1 8692	22 044	
Sumba	392	1 200	
Killy	300	1 323	
Forécariah / Bofon	2 226	378	
Mellakouré	1 049	315	
Kolenté	5 178	6 686	Serra Leoa
Koliba / Corubal	18 122	12 961	Guiné-Bissau
Gâmbia	12 038	3 599	Senegal
Senegal	18 672	13 500	Mali
Kaba	5 427	3 437	Serra Leoa
Níger	97 168	46 899	Mali
Sassandra	10 839	7 032	Cote d'Ivoire
Cavally	2 116	1 293	Cote d'Ivoire
Mani	2 506	2 144	Libéria
Diani	9 333	7 947	Libéria
Loffa	1 684	1 419	Libéria
Makona	8 384	7 127	Serra Leoa
Mano	10	5	Libéria
Kayanga-Geba	20	6	Senegal
Total geral	236 690	164 503	

O clima, do tipo tropical, é caracterizado por uma época seca que dura quatro a sete meses e uma época de precipitação, de cinco a oito meses conforme as regiões. A precipitação média anual é igual a 1651 mm e varia de 1200 mm na Alta Guiné a 4200 mm na Baixa Guiné (Conakry). As temperaturas médias anuais são compreendidas entre 21°C e 27°C. A humidade média relativa anual do ar é superior a 60%, com um mínimo de 29% na Média Guiné (Labé) e um máximo de 98% na Baixa Guiné (Conakry). A evapotranspiração média anual vai de 1500 mm a 1650 mm. Os ventos dominantes sopram do sudeste da Ásia (Sahara) e do Oceano Atlântico (Aquistat, 2005).

2.3. Enquadramento geológico

2.3.1. Geologia geral

A Guiné-Conakry é caracterizada pela grande diversidade da sua estrutura geológica com relevos e morfologias de muito contraste. Distingue-se 4 grandes unidades geomorfológicas principais, bem diferenciadas de Oeste para Este, que vai desde formações mais recente às mais antigas (Aquastat, 2005):

- Planícies costeiras constituídas por formações deltaicas recentes, com base em um substrato Paleozóico;
- Maciço de Fouta-Djalón com formações cristalinas do Paleozóico, constituído por arenitos micáceos, conglomerados, gnaisses, micaxistos e algumas intrusões de dioritos;
- As planícies da Alta Guiné constituídas por formações cristalinas e cristalofílicas (metamórficas) de Burimien (xisto-quartzito-gnaisse);
- Maciços graníticos e gnaisses cobertos por floresta densa, separados por vales mais ou menos largos. Estes maciços graníticos constituem a base mais antiga das formações geológicas.

2.3.2. Geologia da zona em estudo

As amostras em estudo foram colhidas ao longo da costa atlântica pelo que refere-se em mais pormenor à geologia dessa zona e da zona a montante (figura II.5)

A geologia é então constituída por depósitos de várias idades, pertencentes ao Arqueano Superior, Proterozoico Superior, Paleozoico, Mesozoico e Cenozoico. A geologia encontra-se da formação mais antiga para a mais recente. Sendo assim a zona em estudo (percurso dos rios) é constituída por:

- Depósitos não diferenciados pertencentes à **Série de Kasil**, constituída por gnaisse, composto por biotite, silimanite – 2 micas e xistos compostos por hornblenda – hiperstena, hornblenda – clinopiroxena;

- Granitos e granodioritos gneissoides e maciços, raramente porfiroblástico; migmatitos de diversos tipos morfológicos, pertencentes à fase **Eburnéenne**
- Depressão de Bowé, Tougue:
 - Sucessão de Faro constituída por siltito, argilitos, arenitos
 - Sucessão de Télimélé constituída por argilitos, siltito
 - Sucessão de Pita constituída por quartzarenito oligomífticos, muitas vezes por camadas oblíquas, de grão fino, gravelitos e conglomerados
- Doleritos, gabro-doleritos, “konga-diabases”; raramente granóftiro, e dioritos (soleira, diques, intrusões através de fracturas)
- Depósito não diferenciados constituídos por areias argilosas e silto arenosas aluvionares a cascalho, seixos e cascalho. Areias argilosas e silto arenosas e seixos angulosos, deluvio-proluvionar. Siltos marinhos, argilas, areias argilosas e areias.

Destes todos o que tem interesse mineiro são os que são considerados depósitos não diferenciados que pertencem aos depósitos costeiros e marinhos, peridotitos e dunitos, anfíbolitos, grés, siltstone e argilito (pertencentes ao Silúrico – Devoniano e ao Devoniano) e os doloritos, gabro e diortos).

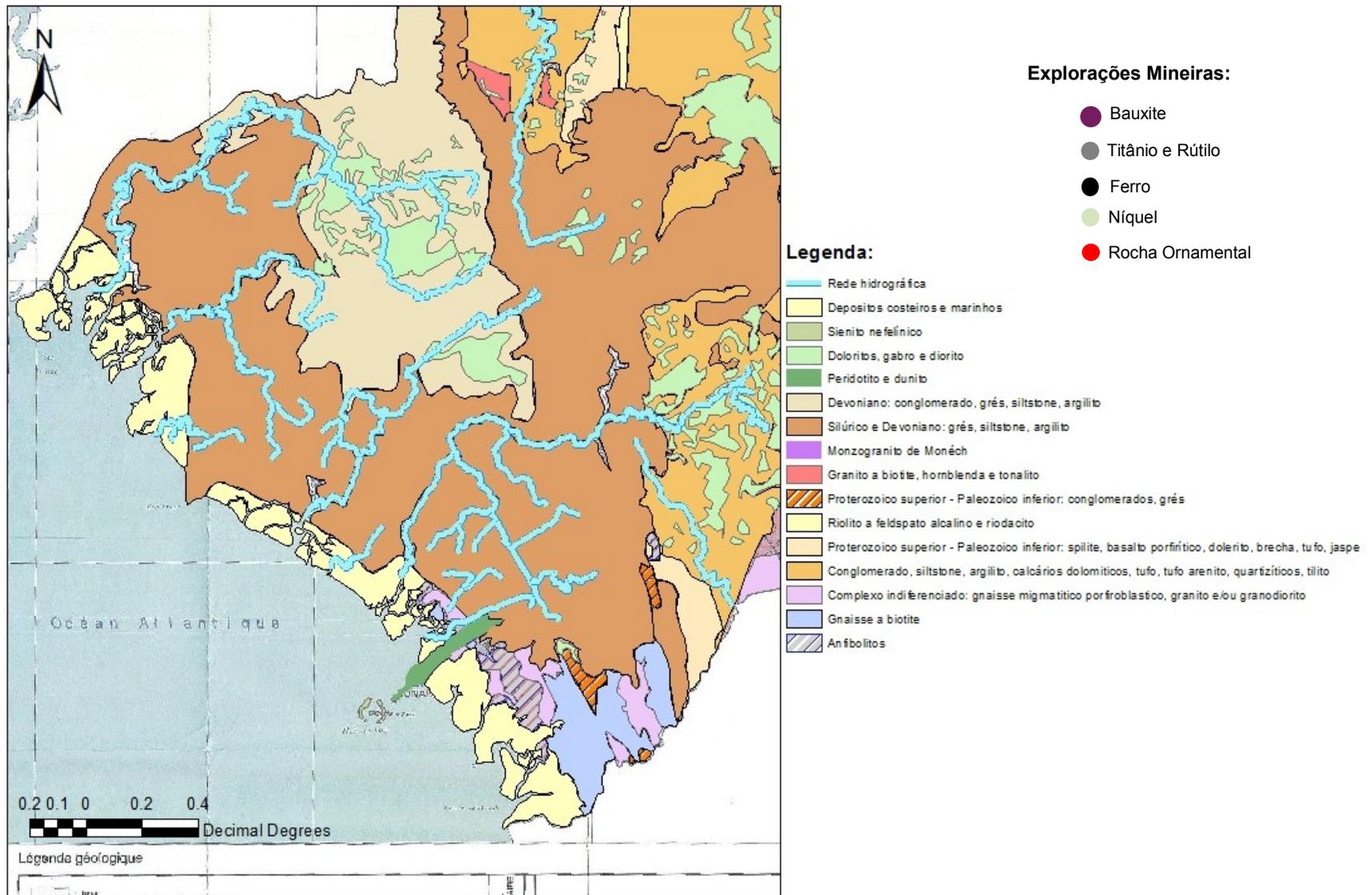


Figura II.5: Mapa geológico da zona em estudo
(construído a partir da Carta Geológica e Mineralizações da Republica da Guiné, na escala 1:1. 000.000)

2.4. Economia da zona em estudo

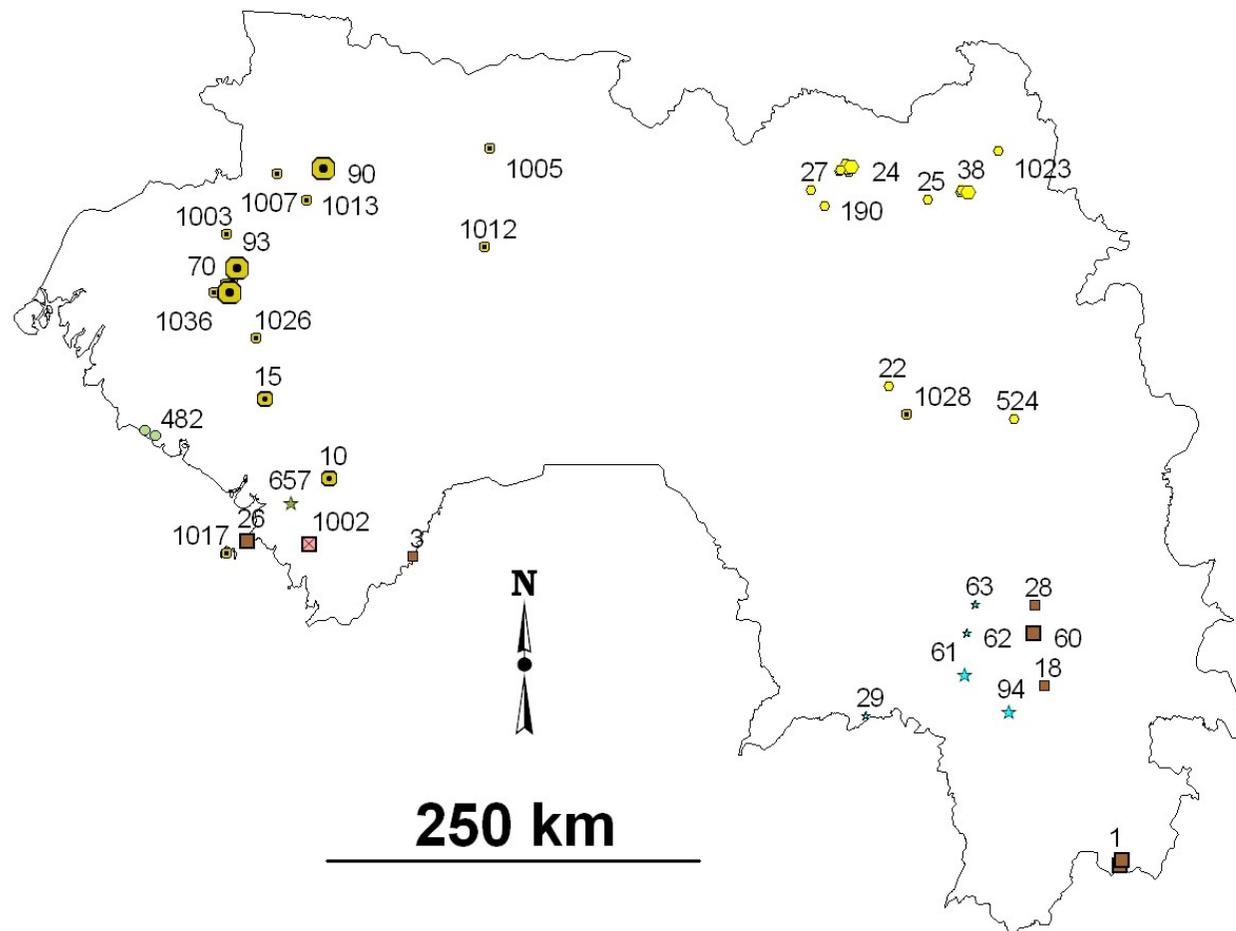
A economia da Guiné é diretamente beneficiada pela grande quantidade de minerais presentes em seu território, possuindo um terço das reservas de bauxite já descobertas no planeta, 1,8 bilhão de toneladas de minério de ferro, alumina, grandes depósitos de diamante e de ouro e quantidades ainda indeterminadas de urânio (figura II.6). Actualmente, este sector sozinho responde por quase 77% das receitas de exportação e 29% da receita do Estado. A Guiné tem também um potencial de crescimento considerável para os setores como a agricultura e pesca. A terra, a água e as condições climáticas favorecem a agricultura e a agroindústria em grande escala (Aquastat, 2005).

Os principais recursos que contribuem para a economia do país são a pesca, a agricultura, o desenvolvimento hidroeléctrico, a exploração mineira, a indústria, a construção e obras públicas, o turismo, a produção artesanal, artes e ofícios, o comércio e serviços e o sector informal (ONUDI, 2004):

- **Pesca:** dotado de 300 km de costa, a Guiné procura melhorar a exploração dos seus recursos de pesca. A forma artesanal desta actividade continua a ser a regra comum, mas a pesca industrial, durante muitos anos esteve a ser explorado por empresas estrangeiras. A pesca fluvial contribui com um grande esforço para auto-suficiência alimentar, perto de 100.000 t/ano, que assegura à população um importante rendimento de proteínas alimentar.
- **Agricultura:** estima-se que 60% da população guineense se dedica a agricultura. A cultura de mandioca, amendoins, arroz, citrinos, frutos tropicais e o café assegura 24% do PIB, apesar da baixa taxa de crescimento (em 2001 foi de 0,1%). A superfície das terras aráveis é estimada em 7,5 milhões de hectares com uma área cultivável de 3 milhões de hectares
- **Pecuária:** a produção de carne é estimada em 30.000 toneladas e mal consegue satisfazer a população. A melhoria do quadro de vigilância sanitária e a introdução de novas raças bovinas estão, actualmente, a ser estabelecidas.
- **Desenvolvimento hidroeléctrico:** a Guiné tem as maiores reservas hidroeléctricas (6.600MW) de toda a África Oeste. O fornecimento de electricidade, que foi melhorado com a construção da barragem de Garafiri (potência de 75MW), finalizada em 2000. A central de Samou alimenta igualmente Conakry com uma potência de 50 MW. Adicionando a potência térmica instalada de 85 MW, a produção anual de electricidade atinge 760GWh (2001). O potencial hidroeléctrico é impressionante na Guiné, incluindo o complexo hidroeléctrico Souapiti (600MW) – Kaleta (150MW)

utilizada para alimentar a fábrica de alumínio de Fria, de alumina de Sangarédi (75 MW) e de Fomi (150MW) bem como para o fornecimento da Alta Guiné e da Guiné Florestal.

- **Exploração mineira:** é o sector mais activo da economia. A Guiné possui os maiores depósitos comprovados de bauxite do mundo, com 5,6 milhares de toneladas, e suas exportações elevam-se a 17 milhões de toneladas por ano. Em 2005 a Guiné exportava 550.000 toneladas de alumina, produto intermédio para o alumínio. Os outros recursos minerais identificados são o diamante com reservas estimadas em 300 milhões de quilates, controladas pelo Estado; o ferro com 750 milhões de toneladas e o ouro com 1000 toneladas. O conjunto deste sector assegura 80% das receitas de exportação da Guiné.
- **Indústria:** os investimentos mais significativos estão concentrados na indústria alimentar, cerveja, limonada e moagem de farinha, assim como os ramos de materiais de construção, tabaco e transformação de metal. As sociedades industriais convivem com um pequeno sector de pequenas e médias empresas (PME), estando 80% localizadas na capital e dedicando-se, exclusivamente, ao mercado interno não contribuindo para as exportações.
- **Construção e Obras Públicas:** a actividade tem uma grande expansão. Os empresários começam a encontrar no terreno potencial de produtos intermediários, que vão desde madeira contraplacada, tintas, tijolos e cimento.
- **Turismo:** é um sector em desenvolvimento, rico de potencialidades num país com paisagens variadas e tradições preservadas. Foram criadas condições mínimas para acolhimento de turistas, havendo assim 2000 camas em hotéis aceitáveis e meios de transportes e infraestruturas rodoviárias permitindo as deslocações.
- **Produção artesanal:** ocupa uma grande parte da população guineense que retira deste recurso a grande parte das suas receitas. O valor acrescentado por este sector é de 48% do PIB havendo assim mais de 200 mil postos de trabalho.
- **Artes e ofícios:** dependente do turismo para o seu desenvolvimento, é principalmente representada pela escultura em madeira.



Legenda:

Metais		Al	Alumínio (mineiro de Bauxite)
		Au	Ouro
		Fe	Ferro
		Ni	Níquel
		TiRt	Titânio, Rútilo
Rochas ornamentais		Gran	Granito, sienito, etc.
Pedras preciosas		Diam	Diamante industrial e pedras preciosas

Figura II.6: Explorações mineiras na Guiné-Conakry
(Fonte: <http://mines.acp.int>)

Sector informal: diz respeito a todos os trabalhadores não declarados, como por exemplo vendedores de rua. Como em muitos países africanos, o sector informal desempenha um papel importante na actividade económica geral da Guiné. A avaliação de todos os dados deve necessariamente ter em conta esta realidade

Capítulo III – Metodologias

Neste capítulo apresentam-se os procedimentos utilizados na realização do presente estudo, que inclui análises laboratoriais realizados no laboratório de Geotecnia e de Tratamento de Minérios e no laboratório de difracção de raios X, pertencentes ao Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra e no Laboratório de Ensaios e Desgaste & Materiais do Instituto Pedro Nunes.

3.1. Técnicas utilizadas

3.1.1. Separação gravimétrica

A concentração gravítica tem por objectivo a separação de minerais com base nas suas diferentes densidades e é um dos processos mais antigos de concentração de minérios utilizada pelo homem e permanece ainda como um importante método de concentração física (Almeida et al.; 2004).

As mesas vibratórias (figura III.1A) são equipamentos de concentração que agem através de superfícies com movimentos assimétricos, combinados muitas vezes com o princípio de escoamento laminar. Este princípio de concentração foi introduzido através da mesa de Rittinger, mesa com superfície lisa, que exercia movimentos transversais ao escoamento do material, deslocando lateralmente as partículas pesadas desse material. Desde 1895 a mesa de Wilfley, desenvolvida por Arthur R. Wilfley, é um dos equipamentos de concentração gravimétrica mais utilizado no tratamento de minérios, e dos mais importantes na concentração de areias em leitos oscilatórios, operando sobre o material mais fino (Engendrar, 2010).

A separação é obtida pela aplicação de um movimento oscilatório numa mesa rectangular, em posição quase horizontal cuja superfície é quase toda coberta por “*riffles*” que se orientam paralelamente ou ligeiramente oblíquos à direcção dos impulsos, (figura III.1A e B). O material a ser concentrado é colocado no alimentador e por meio de uma caixa de distribuição, com a agitação produzida pelas oscilações e pelo escoamento da água de lavagem, espalha-se ao longo da mesa. As partículas que atingem a extremidade da parte coberta pelos “*riffles*” são descarregadas por uma superfície lisa, onde são submetidas à acção da película de água em escoamento; as partículas densas são, então, descarregadas na extremidade oposta ao mecanismo de acionamento, onde um desviador ajustável é normalmente usado para separá-las em um produto de alto teor de minerais densos e um misto; as partículas leves, por outro lado, são descarregadas ao longo do lado oposto da alimentação, denominadas por estéril (Pita, 2004).

Assim com esta separação as várias amostras são separadas originando parcelas das amostras em estéril, mistos e concentrados.

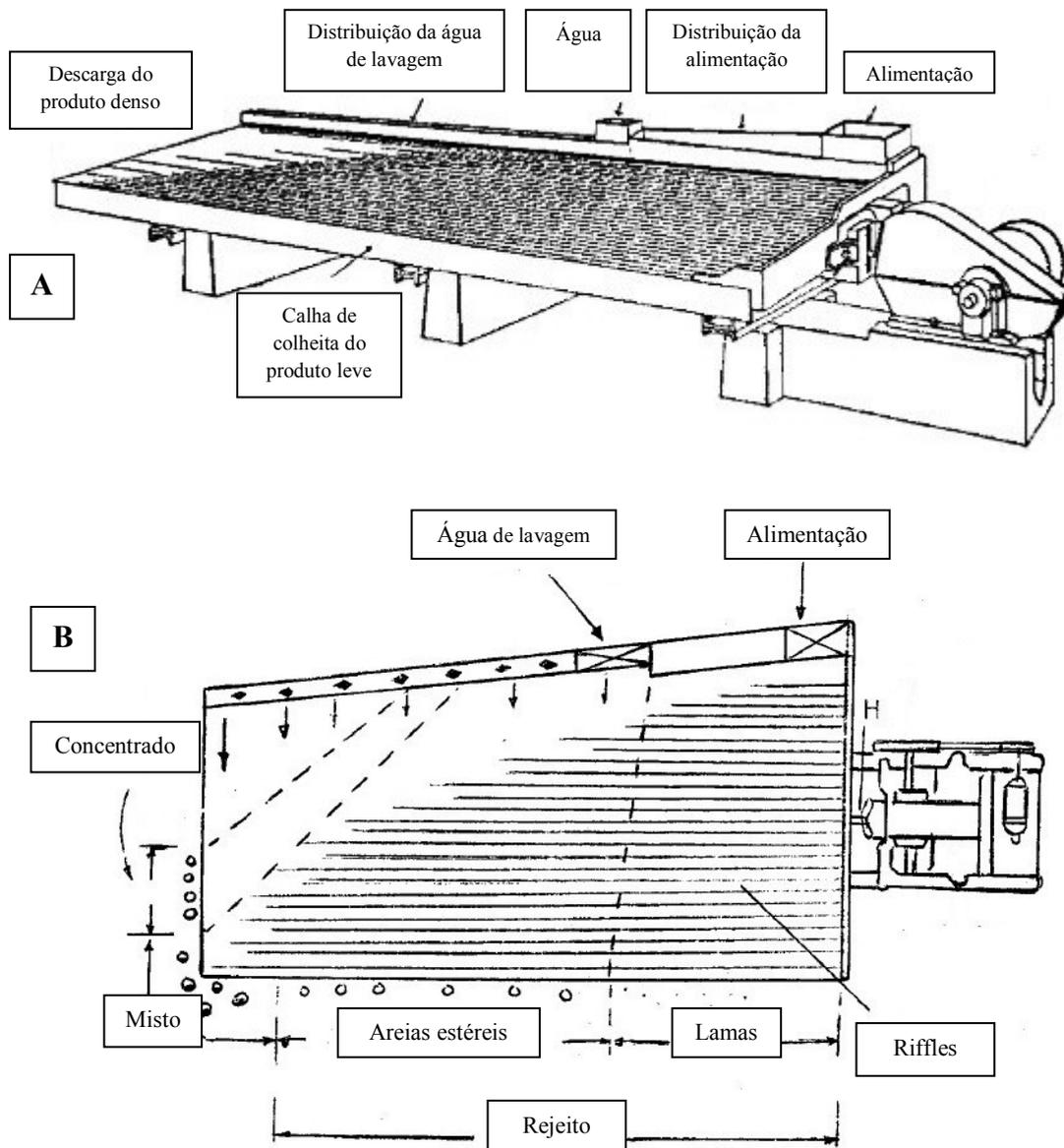


Figura III.1: Esquematização da mesa vibratória de Wilfley (A) e da vista plana da mesa (B)

(Adaptado: Pita, 2004)

3.1.2. Separação magnética

A separação magnética é um método consagrado na área de processamento de minérios para concentração e/ou purificação de muitas substâncias minerais (Pita, 2004).

A propriedade do mineral que determina sua resposta a um campo magnético, é chamada de susceptibilidade magnética. Com base nessa propriedade os minerais são

classificados em duas categorias: aqueles que são atraídos pelo campo magnético e os que são repelidos por ele. No primeiro caso tem-se os minerais ferromagnéticos, que são atraídos fortemente pelo campo (ímã comum), sendo o exemplo mais conhecido a magnetite, e os paramagnéticos, que são fracamente atraídos cujo exemplo clássico é a hematite. Aqueles que possuem susceptibilidade magnética negativa e, portanto, são repelidos quando submetidos a um campo magnético, denominam-se de diamagnéticos, como por exemplo o quartzo, calcite, barite, fluorite, entre outros (Almeida et al.; 2004).

No presente estudo a separação magnética efectuou-se por dois processos distintos: primeiro utilizou-se um íman de mão, retirando os minerais com características mais magnéticas; depois fez-se uma separação electromagnética da fracção magnética que não foi atraída pela passagem do íman de mão.

a. Íman

De modo a separar os minerais que apresentavam magnetismo mais intenso, foi efectuada uma separação magnética utilizando um íman de mão, que foi previamente embrulhado em papel, para remover os minerais ferromagnéticos (magnetite) da amostra. Esta separação prévia evita a colmatação da régua do separador electromagnético utilizado no passo seguinte.

b. Separção electromagnética

Após a separação inicial pelo íman, as amostras foram submetidos a separação electromagnética, utilizando o separador Isodinamico Frantz (figura. III.2).

Esta separação consiste na passagem contínua dos minerais num campo magnético, começando por se colocar a amostra no funil de alimentação que com a vibração faz com que as partículas deslizem por meio de uma régua vibradora inclinada, situada entre os ferros do electroíman. Esta régua está dividida, aproximadamente ao meio, em dois canais terminais (Neto et al.; 2002). Os grãos ferromagnéticos atraídos pelo campo vão pelo canal exterior, e os grãos não atraídos passam no outro canal, ou seja, no canal interior, e as duas fracções resultantes são recolhidos na extremidade da régua em dois recipientes distintos, com fracções denominadas por magnético e não magnético, respectivos à magnitude aplicada.

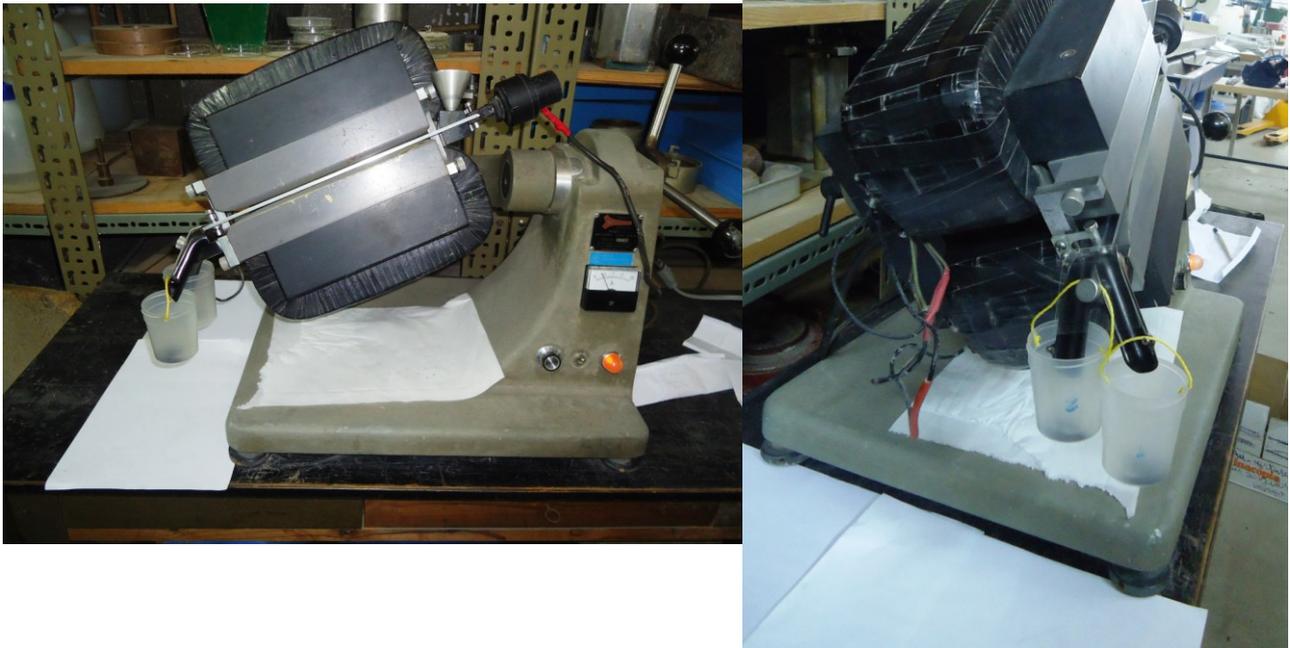


Figura III.2: Separador electromagnético - Isodinamico Frantz

Neste equipamento pode variar-se o pendor longitudinal e a inclinação lateral. O primeiro movimento actua sobre a velocidade de passagem dos grãos no campo magnético e o segundo actua sobre a régua, dando a possibilidade de separar os minerais de susceptibilidade magnética idêntica (Pratas, 1997).

No presente trabalho, foi utilizado um declive de 20° e um inclinação de 25°, e as seguintes magnitudes: 0,4 A; 0,8 A e 1,5 A. A tabela seguinte (tabela III.1) mostra os minerais que se podem encontrar nas várias magnitudes utilizadas.

Tabela III.1: Minerais possíveis encontrar nas magnitudes de 0,4 A; 0,8A; 1,5A e a 1,5A não magnético
(adaptado: Eby, s.d.)

<u>Magnético a 0,4 A</u>	<u>Magnético a 0,8 A</u>	<u>Magnético a 1,5 A</u>	<u>Não magnético a 1,5 A</u>
Granada Ilmenite Cromite Clorite Olivina	Biotite Horneblenda Hiperstena Augite Actinolite Estaurolite Epídoto Clorite	Moscovite Espinela Enstatite Turmalina Clinozoisite Diópsido Tremolite	Quartzo Zircão Rútilo Titanite Leucoxena Apatite Corindo Barite Fluorite Silimanite Cianite

3.1.3. Análise química

a. Fluorescência de Raios X

A Espectrometria por Fluorescência de raios X (XRF) é uma técnica de análise não destrutiva para determinação quantitativa e qualitativa da concentração de elementos numa ampla variedade de tipos de amostras (figura III.3) (Arezki, s. d.).

A amostra é irradiada por um feixe intenso de raios X que causa a emissão de fluorescência. O espectro da fluorescência emitida é detectado utilizando um sensor que faz a separação por energia ou por comprimento de onda. Os elementos na amostra, são identificados pelo comprimento de onda da fluorescência emitida e as concentrações pela intensidade desta radiação. Os elementos não detectados devido ao numero atómico baixo, estão no intervalo entre o Sódio e o Lítio. Analisadores multicanal computadorizados são utilizados para adquirir e mostrar o espectro dos dados (Oliveira, 2000).

A análise foi realizada com o equipamento ThermoFisher Scientific Niton XL-3t GOLDD+, no Departamento Ciências da Terra, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra



Figura III.3: Espectrometria por Fluorescência de Raios-X (XRF)

b. Análise em SEM – EDS

A microscopia electrónica de varrimento (SEM) é um dos instrumentos mais versáteis disponíveis para a observação e análise das características microestruturais de materias

sólidos. A sua grande vantagem consiste na observação directa da superfície de grãos e, em secções polidas na caracterização de porosidade inter e intragranular (Reed, 2005).

O princípio da microscopia electrónica de varrimento consiste em utilizar um feixe de electrões de pequeno diâmetro para explorar a superfície da amostra, ponto a ponto, por linhas sucessivas e transmitir o sinal do detector a uma tela catódica cujo varrimento está perfeitamente sincronizada com a do feixe incidente. Por um sistema de bobines de reflexão, o feixe pode ser guiado de modo a varrer a superfície da amostra segundo uma malha regular. O sinal de imagem resulta da interação do feixe incidente com a superfície da amostra e é recolhida pelo detector, que é utilizada para modular o brilho do monitor, permitindo a observação. A maioria dos instrumentos usa como fonte de electrões um filamento de tungstênio (W) aquecido, operando numa faixa de tensões de aceleração de 1 a 50 kV (Dedavid et al., 2007).

O SEM convencional apresenta uma coluna óptica electrónica adaptada a uma câmara com porta-amostra, sistema electrónico, detectores e sistema de vácuo (Kestenbach & Bota, 1994).

Os SEMs equipados com detectores de energia dispersiva de raios X (EDS) (figura III.5) são importantes na determinação da composição dos minerais. A técnica de EDS considera o princípio de que a energia de um fóton (E) está relacionada com a frequência electromagnética (ν) pela relação

$$E = h\nu,$$

onde “h” é a constante de Planck (Dedavid et al., 2007).

A zona analisada é aquela que é percorrida pelo feixe. Se o trabalho a ser realizado for no modo de varrimento, ou seja, havendo formação de uma imagem, então a análise será realizada em toda a superfície da imagem. Também é possível parar a varrimento e analisar um ponto (spot), área ou linha seleccionada na imagem. Desta análise é possível traçar um histograma, em que a abcissa é a energia dos fótons (keV) e a ordenada o número de fótons recebidos (contagens). O tempo necessário para adquirir um espectro de boa qualidade, fica em torno dos 2 minutos.



Figura III.4: Microscópio electrónico de varrimento (SEM) equipado com detector de energia dispersiva de raios X (EDS).

(Fonte: <http://www.ncl.ac.uk/acma/services/electron/semhitachi.htm>)

As amostras antes de serem analisadas são colocadas num suporte metálico, sendo o material fixado, por uma fita cola de dupla face de carbono e de seguida revestido a ouro, para tornar as amostras condutoras de modo a gerar imagens com boa resolução. Neste ultimo processo, o suporte metálico com as amostras são colocadas numa câmara com pressão em torno de 0,1 a 0,05 mbar e o suporte metálico é bombardeado com átomos de gás inerte que se depositam sobre a amostra (Dedavid et al., 2007). Após este processo as amostras estão prontas para serem analisadas pelo SEM/EDS (figura III.6).

Este método permite determinar os elementos químicos presentes e as respectivas percentagens. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Ensaios e Desgaste & Materiais, pertencente ao Instituto Pedro Nunes (IPN), com um equipamento JEOL JSM5310 Scanning Electron MicroscopE com EDS.

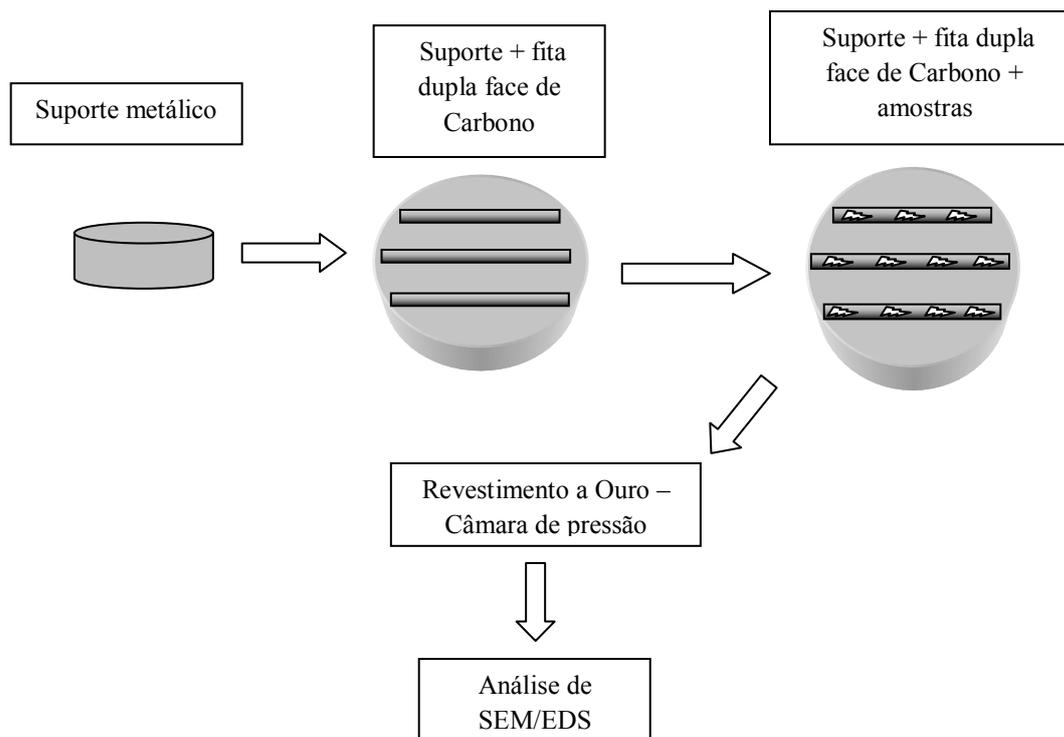


Figura III.5: Esquemática do processo de preparação das amostras até poderem ser analisadas pelo SEM/EDS.

3.1.4. Análise mineralógica

a. Difração de Raios X

Os raios X foram descobertos, acidentalmente, em 1895, na Universidade de Vurtzburgo por Wilhelm Conrad Röntgen, quando procedia a experiências com raios catódicos, mas somente em 1912, Max von Laue utilizou este tipo de radiação no estudo de cristais (Borges, 1980).

A difração de raios X (DRX) permite medir a distância entre os planos atômicos sucessivos e localizar as posições dos vários átomos ou iões nos cristais. A difratometria de raios X corresponde a uma das principais técnicas de caracterização microestrutural de materiais cristalinos, encontrando aplicações em diversos campos do conhecimento, como em engenharias metalúrgica, química e de minas, geociências, entre outros.

Nos difractómetros convencionais de raios X, estes são gerados num tubo de raios catódicos (figura III.7), em condições de vácuo. O tubo possui um filamento de tungsténio, como cátodo, que proporciona a fonte de electrões. Uma fonte de alta voltagem estabelece uma queda de tensão entre o cátodo e o ânodo ou anticátodo (“alvo”) e acelera os electrões

que chocam com o ânodo. Os raios X são produzidos no ponto de impacto e irradiam em todas as direcções. A maior parte desta energia é convertida em calor (Borges, 1980).

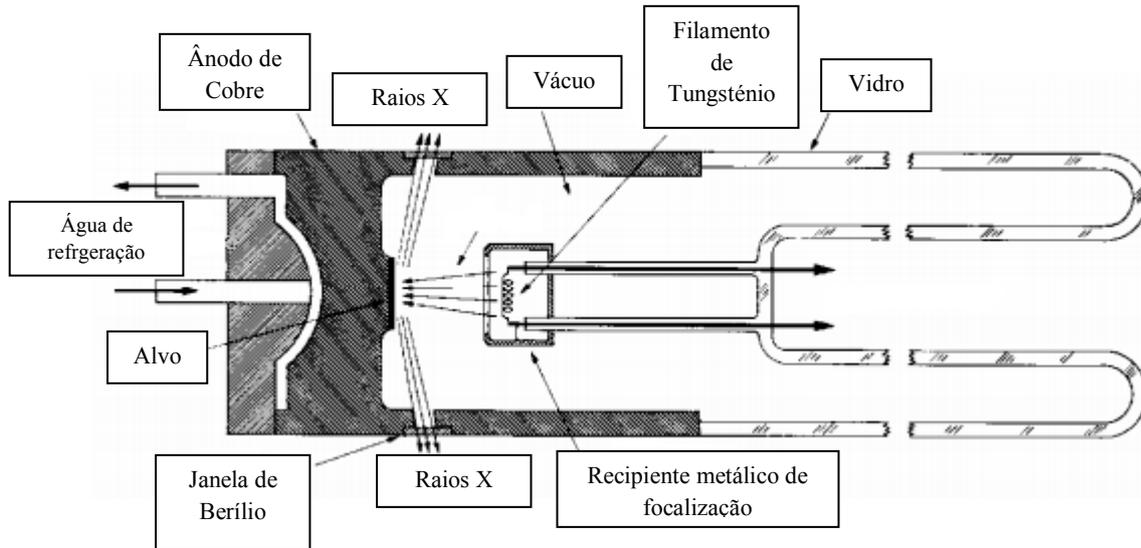


Figura III.6: Tubo de raios X
(Adaptado: Kahn, 2010)

Bragg explicou a difracção dos raios X como se fosse uma simples reflexão numa série de planos paralelos distanciados uniformemente.

Considerando-se dois ou mais planos de uma estrutura cristalina, as condições para que ocorra a difracção de raios X vão depender da diferença do caminho percorrido pelos raios X e o comprimento de onda da radiação incidente. Esta condição é expressa pela lei de Bragg (figura III.8),

$$n\lambda = 2d \sin\theta,$$

em que “ λ ” corresponde ao comprimento de onda da radiação incidente, “ n ” um número inteiro (ordem de difracção), “ d ” á distância interplanar para o conjunto de planos hkl (índice de Miller) da estrutura cristalina e “ θ ” ao ângulo de incidência dos raios X que é medido entre o feixe incidente e os planos cristalinos (Gomes, 2007).

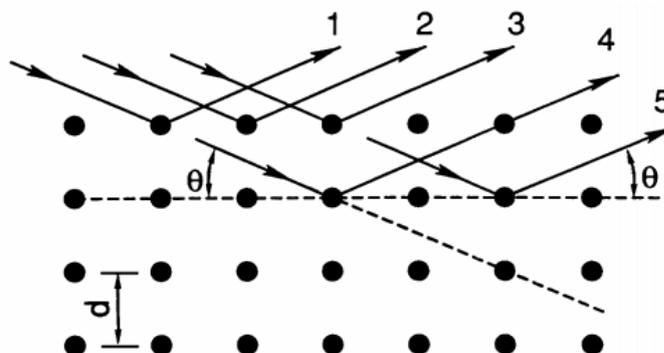


Figura III.7: Difracção de raios X e a equação de Bragg
(Adaptado: Kahn, 2010)

O método das poeiras é uma técnica muito importante para a identificação dos minerais. Os planos reticulares dos fragmentos da matéria cristalina encontram-se caoticamente distribuídos, mas, entre eles, alguns deverão orientar-se de forma a observar-se difracção. Assim a amostra é moída até se obter um pó muito fino que é colocada no porta amostras. A amostra é colocada no difractómetro de raios X (figura III.9) de forma a poder girar relativamente ao tubo de raios X permitindo que o ângulo de incidência θ do feixe de raios X varie de 0° até cerca de 90° . A intensidade dos raios X reflectidos é continuamente registada numa folha de papel e/ou electronicamente num computador. Um pico na intensidade dos raios X difractados indica que o mineral possui planos atómicos cujo espaçamento d é apropriado para reflectir raios X para esse ângulo θ particular (Gomes, 2007).



Figura III.8: Difractómetro de raios-X
(PhilipsPW3710 BASED)

Os dados de difracção de raios X para minerais e outros compostos estão compilados pelo International Centre for Diffraction Data (ICDD) e estão disponíveis sob a forma de cartões, fichas, microfichas ou em formato digital (Gomes, 2007).

Esta análise mineralógica foi realizada no laboratório de raios X com recurso a um difractómetro PW3710 BASED, marca Philips, do Departamento Ciências da Terra, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, com a finalidade de saber quais os minerais constituintes das várias amostras em estudo.

a. Observação com microscópio estereoscópico

A observação em microscópio estereoscópico permite a análise das amostras em grão, sem necessidade de se montar secções polidas ou delgadas, onde os minerais são identificados por cor, brilho, forma e clivagens (Pratas, 1997).

Esta análise é praticamente padrão numa análise preliminar de uma amostra, para identificação de minerais mais comuns, avaliação do tamanho dos cristais e estimativa visual de tamanho de libertação. A caracterização de alguns minerais, como por exemplo de minerais pesados de areias de praia ou fluviais, pode ser feita exclusivamente por microscópio estereoscópico, uma vez que os cristais são grandes, limpos e bem libertados, e a identificação é segura; quando associada a fracionamentos magnético e eletrostático prévio, a quantificação estimada dos minerais por produto é bastante eficaz (Neto, et al.; 2002).

Capítulo IV – Resultados e Discussão

As amostras iniciais, num total de 6 (GK 1 a GK 6) foram sujeitas a separação gravimétrica da qual se obteve fracções estéreis, concentradas e mistas, perfazendo um total de 15 amostras distintas. Algumas deram apenas origem a fracções de concentrado e estéril por não existir representatividade da fracção mista.

Os resultados obtidos da separação gravimétrica e magnética estão apresentados na tabela IV.1. É de salientar que de todas as amostras a fracção do concentrado da GK 4 Concentrado é a que apresenta maior percentagem, sendo de, aproximadamente 82% e a amostra GK 2 é a segunda amostra que apresenta maior percentagem, aproximadamente 10%. As amostras GK 5 e GK 6 apresentam uma grande percentagem relativamente à fracção não magnética, sendo ambas de aproximadamente 95%.

Na análise por fluorescência de raios X foram utilizados dois métodos de teste existentes no equipamento. O “Test Mining Ta/Hf” foi utilizado para a maioria dos elementos porque apresenta uma maior precisão, mas alguns dos elementos presentes apenas foram detectados no método “Test All Geo”, estando estes últimos assinalados nas tabelas ao longo deste capítulo com asterisco (*).

Na difracção de raios X foram analisados num total de 16 difratogramas no qual 4 pertencem à amostra GK1, 2 ao GK2, 4 ao GK3, 4 ao GK4, 1 ao Gk5 e 1 ao Gk6 (Anexo 1-16).

Em relação à análise de SEM–EDS foram observados num total de 305 espectros (Anexo 17-41), do qual 40 pertencem à amostra GK 1, 141 à amostra GK2, 27 à amostra GK 3, 26 à amostra GK 4, 37 à amostra GK 5 e 34 à amostra GK 6. Alguns espectros apresentam valores para o carbono (C), que não foi contabilizado para as conclusões dos resultados, uma vez que faz parte da montagem da amostra. Com base nos espectros pontuais de SEM–EDS, realizados em grãos que evidenciavam características superficiais distintas, foi realizado, com base nos elementos químicos mais significativos, uma extrapolação do mineral a que poderiam corresponder. É de salientar que a estequiometria da fórmula química nem sempre apresentava uma boa correspondência, mas o resultado obtido apresentava coerência mineralógica.

Tabela IV.1: Percentagem de cada fracção das amostras após a separação gravimétrica e separação magnética (Íman e Separador)

Amostra	GK 1			GK 2		GK 3			GK 4		GK 5		GK 6		
	Estéril	Misto	Concen- trado	Estéril	Concen- trado	Estéril	Misto	Concen- trado	Misto	Concen- trado	Estéril	Concen- trado	Estéril fino (Lamas)	Estéril grosseiro (areias)	Concen- trado
Peso Total (g)	753,4			492,4		731,7			224,7		482,6		516,5		
Percentagem de cada fracção (%)	80,53	10,15	9,32	90,11	9,89	88,89	4,21	6,90	17,53	82,47	97,18	2,82	56,15	42,59	1,26
Fracção não Magnético (%)		93,42	78,85		72,22		96,43	63,17	95,61	59,42		95,10			95,11
Fracção Magnética (%)	Íman	0,20	1,28		8,33		0,95	11,44	1,20	10,95		1,66			1,43
	0,4 A	0,53	4,36		9,22		1,40	16,85	1,82	24,02		2,60			1,66
	0,8 A	5,83	15,39		10,13		1,15	8,34	1,33	5,37		0,60			1,71
	1,5 A	0,02	0,12		0,10		0,07	0,20	0,05	0,24		0,04			0,10
Total da fracção magnética		7,60	21,87		29,74		3,78	37,92	4,55	43,20		5,07			5,18

4.1. Amostra GK 1

4.1.1. Misto

As análises pertencentes as fracções 1,5 A não foi realizado uma vez que apresentava quantidades reduzidas, e que pelas características do equipamento não era possível realizar a leitura/análise.

Com base nos resultados obtidos por XRF (tabela IV.2), pode-se concluir que a fracção não magnética é rica em sílica sendo os restantes elementos residuais. A fracção magnética é constituída essencialmente por óxido de ferro, sílica em percentagens variáveis, mas na fracção 0,8 A a alumina está presente com cerca de 7%.

Tabela IV.2: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK1 Misto

GK1 - Misto					
Test Mining Ta/Hf e Test All Geo*					
(%)					
	Não Magnético	Íman	0,4 A	0,8 A	1,5 A não magnético
Ag ₂ O	0,001	nd	nd	0,002	*1,093
Al ₂ O ₃	0,743	3,372	6,261	7,734	*0,002
As ₂ O ₃	0,001	0,003	0,005	0,023	*0,092
CaO	0,099	0,543	0,766	0,769	nd
CdO	0,002	0,005	nd	nd	nd
Cl	nd	0,141	0,066	0,092	*0,035
CoO	nd	nd	nd	nd	nd
Cr ₂ O ₃	nd	0,274	0,228	0,159	*0,004
CuO	nd	nd	nd	*0,010	*2,508
Fe ₂ O ₃	0,860	29,318	54,773	58,077	nd
HfO ₂	nd	nd	0,048	0,060	*0,078
K ₂ O	*0,098	0,472	0,815	0,713	nd
MgO	nd	nd	3,633	1,900	nd
MnO	nd	0,148	0,667	0,509	*0,001
MoO ₃	0,001	nd	nd	nd	*0,001
Nb ₂ O ₅	0,001	nd	nd	0,003	*0,705
P ₂ O ₅	0,356	0,653	0,786	0,928	nd
PbO	*0,001	nd	nd	*0,003	nd
PdO	0,001	nd	nd	*0,001	*0,000
Rb ₂ O	*< 0,001	nd	nd	0,001	nd
SO ₃	0,049	0,260	0,473	0,248	*94,969
SiO ₂	97,660	62,990	29,271	27,919	nd
SnO ₂	nd	nd	nd	0,007	*0,002
SrO	< 0,001	0,001	0,003	0,007	nd
TiO ₂	0,111	1,737	2,081	0,683	*0,451
V ₂ O ₅	nd	0,072	0,064	0,087	nd
WO ₃	nd	nd	0,051	nd	nd
ZnO	*0,002	nd	nd	*0,035	*0,001
ZrO ₂	0,013	0,010	0,009	0,028	*0,056
Total	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000

Após a análise dos difratogramas obtidos pela difracção de raios X (Anexo 1 e 2), pode-se concluir que a fracção não magnética e a magnética são constituídas essencialmente por quartzo (pico de maior intensidade) e argilas, apresentando a fracção magnética vestígios de material amorfo. No caso da fracção GK1 Misto o resultado obtido apresenta um reduzido número de contagens mas não foi possível repetir a análise.

Da análise dos espectros de SEM – EDS, pertencentes ao GK 1 Misto (Espectros 314 a 320), pode-se concluir que a fracção não magnética é constituída essencialmente por quartzo (tabela IV.3) o que confirma os resultados obtidos por XRF e XRD.

Tabela IV.3: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 1 Misto – fracção não magnética

	C	O	Si	Total	Mineral
	(%)				
Espectro 315	nd	56,62	43,38	100,00	Quartzo
Espectro 316	23,07	51,84	25,09	100,00	Quartzo

4.1.2. Concentrado

Com base nos resultados obtidos por XRF, pode-se concluir que a fracção não magnética é constituída essencialmente por sílica mas contém uma pequena percentagem de óxido de titânio. A fracção magnética é constituída por óxido de ferro, sílica e óxido de titânio e alumínio, com maior quantidade nas fracções 0,4 A e 0,8 A (tabela IV.4).

Tabela IV.4: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK1 Concentrado

GK1 - Concentrado						
Mining Ta/Hf e Test All Geo* (%)						
	Não Magnético	Íman	0,4 A	0,8 A	1,5 A	1,5 A não magnético
Ag ₂ O	0,001	nd	0,002	nd	nd	0,003
Al ₂ O ₃	1,114	3,078	6,041	7,394	3,772	0,969
As ₂ O ₃	0,012	0,009	0,013	0,026	0,004	nd
Bi ₂ O ₅	0,001	0,007	nd	0,003	0,005	nd
CaO	0,137	0,111	0,414	0,629	0,386	1,307
CdO	0,002	nd	nd	nd	nd	nd
Cl	nd	0,056	0,066	0,075	0,050	nd
Cr ₂ O ₃	nd	1,286	0,282	0,174	0,276	nd
CuO	*0,021	nd	nd	nd	nd	nd
Fe ₂ O ₃	0,636	35,266	52,000	55,728	5,639	0,744
HfO ₂	0,095	0,053	0,043	0,050	0,132	0,225
K ₂ O	*0,066	0,092	0,520	0,581	0,099	nd
MgO	nd	2,913	3,926	4,427	1,986	nd
MnO	nd	0,742	0,724	0,538	nd	nd
MoO ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nb ₂ O ₅	0,005	0,036	0,013	0,010	0,011	0,004
P ₂ O ₅	nd	1,910	0,565	1,265	0,003	nd
PbO	*0,002	nd	nd	*0,004	nd	nd
PdO	0,001	nd	0,001	nd	nd	nd
Rb ₂ O	nd	nd	0,001	0,001	nd	< 0,001
SO ₃	0,275	0,323	0,184	0,231	0,392	nd
Sb ₂ O ₃	0,015	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	92,308	2,048	17,917	21,299	67,432	91,260
SnO ₂	nd	0,010	*0,004	Nd	Nd	0,043
SrO	0,001	0,002	0,005	0,007	0,006	0,001
Ta ₂ O ₅	nd	nd	nd	nd	0,024	nd
ThO ₂	*0,001	nd	nd	nd	nd	nd
TiO ₂	*0,001	51,506	17,056	7,321	19,411	4,647
U ₃ O ₈	4,653	nd	nd	nd	nd	nd
V ₂ O ₅	0,001	0,292	0,153	0,140	nd	nd
WO ₃	0,011	nd	nd	nd	nd	0,036
ZnO	0,013	nd	*0,034	*0,032	nd	nd
ZrO ₂	0,010	0,262	0,035	0,066	0,371	0,759
Total	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000

Após a análise dos difratogramas obtidos pela difracção de raios X (Anexo 3 e 4), pode-se concluir que tanto a fracção não magnética e a magnética são constituídas essencialmente por quartzo e por alguns vestígios de argilas. A fracção magnética,

apresenta vestígio de material amorfo mas devido à pequena quantidade de material o difractograma não apresenta boa resolução.

Da análise dos espectros de SEM – EDS, pertencentes ao GK 1 Concentrado pode-se concluir que a fracção magnética resultante da separação pelo íman de mão (Espectros 321 a 348) é constituída por ilmenite e magnetite, podendo também encontrar-se olivina, cordierite e quartzo (tabela IV.5).

Tabela IV.5: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 1 Concentrado – íman

	C	O	Mg	Al	Si	P	Ca	Ti	Cr	Fe	Br	Total	Mineral
	(%)												
Espectro 324	14,42	52,45	2,35	3,30	2,47	0,76	0,30	0,72	nd	23,23		100,00	Magnetite
Espectro 328	nd	42,56	2,11	nd	32,69	nd	nd	nd	nd	17,85	4,78	100,00	Olivina
Espectro 329	nd	49,62	nd	nd	50,38	nd	nd	nd	nd	nd	nd	100,00	Quartzo
Espectro 337	nd	49,48	6,50	4,81	9,93	nd	nd	2,65	nd	26,64	nd	100,00	Cordierite
Espectro 341	nd	38,44	nd	nd	nd	nd	nd	46,64	1,14	13,78	nd	100,00	Ilmenite

Para a fracção resultante da separação electromagnética (separador Isodinamico Frantz), com magnitude 0,4 A (Espectros 305 a 313), pode-se concluir que é constituída por cordierite, olivina, ilmenite, almandina e magnetite – alumínio (tabela IV.6).

Tabela IV.6: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 1 Concentrado – 0,4 A

	O	Mg	Al	Si	P	Ti	Mn	Fe	Total	Mineral
	(%)									
Espectro 306	53,72	9,21	6,54	15,24	nd	nd	nd	15,29	100,00	Cordierite
Espectro 307	50,57	2,76	3,17	33,05	nd	nd	nd	10,46	100,00	Olivina
Espectro 309	39,99	2,27	4,81	3,99	1,42	0,59	nd	46,92	100,00	Magnetite
Espectro 312	34,95	nd	1,29	0,86	nd	38,84	1,04	23,02	100,00	Ilmenite
Espectro 313	39,01	nd	6,40	15,19	nd	nd	nd	39,40	100,00	Almandina

Para ser mais fácil perceber as conclusões que se retiram após estas análises, elaborou-se uma tabela onde se juntou os dados obtidos do XRF, SEM-EDS e raios X, para a amostra geral (tabela IV.7).

Tabela IV.7: Resumo da constituição da amostra geral GK 1

Amostra	Minerais
Gk 1	<p><u>quartzo</u>, magnetite, <u>ilmenite</u>, olivina, cordierite</p> <p>De todos estes minerais a ilmenite é mais frequente além do quartzo</p>

4.2. Amostra GK 2

As análises pertencentes as fracções 1,5 A magnética, não foi realizado uma vez que apresentava quantidades reduzidas, e que pelas definições do equipamento não era possível realizar a leitura/análise.

Dos resultados obtidos por XRF, pode-se concluir que a fracção concentrada da amostra GK 2 não magnética é constituída essencialmente por sílica mas contém também zircónio e titânio, a fracção magnética é constituída por constituídas por óxidos de ferro, titânio, crómio. A fracção não magnética obtida a 1,5 A é constituída essencialmente por sílica, mas contém uma pequena percentagem de óxidos de zircónio e titânio (tabela IV.8).

Tabela IV.8: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK 2 Concentrado

	GK 2				
	Mining Ta/Hf e Test All Geo* (%)				
	Não Magnético	Íman	0,4 A	0,8 A	1,5 A não magnético
Ag ₂ O	nd	*0,002	*0,002	0,001	nd
Al ₂ O ₃	1,103	7,133	6,429	6,416	0,977
As ₂ O ₃	0,037	0,005	0,006	0,016	0,027
BaO	nd	*0,022	Nd	0,025	nd
Bi ₂ O ₅	0,008	0,008	0,002	0,136	nd
CaO	0,134	0,121	0,124	0,331	0,179
Cl	nd	0,085	0,058	0,054	nd
CoO	nd	0,072	nd	nd	nd
Cr ₂ O ₃	*0,003	16,473	14,266	7,422	0,108
CuO	*0,018	*0,014	*0,009	*0,043	nd
Fe ₂ O ₃	0,352	42,996	38,975	34,252	0,533
HfO ₂	0,220	0,116	0,098	0,149	0,874
K ₂ O	*0,103	0,073	0,081	nd	nd
MgO	nd	4,454	5,206	7,289	nd
MnO	nd	0,589	0,736	0,531	nd
Nb ₂ O ₅	0,036	0,025	0,037	0,117	0,027
NiO	nd	0,070	0,061	0,146	nd
P ₂ O ₅	nd	nd	nd	3,039	nd
PbO	*0,033	*0,003	*0,004	*0,013	nd
ReO	nd	nd	nd	0,017	nd
SO ₃	0,525	0,216	0,241	0,299	nd
Sb ₂ O ₃	nd	*0,004	nd	nd	nd
Sc ₂ O ₃	*0,005	Nd	nd	nd	nd
SiO ₂	75,952	1,845	2,027	5,798	78,283
SnO ₂	nd	0,006	nd	0,005	nd
SrO	0,002	0,001	0,002	0,007	0,004
TiO ₂	10,615	24,651	30,835	32,658	7,988
V ₂ O ₅	0,045	0,510	0,508	0,518	nd
WO ₃	nd	0,089	0,039	0,034	nd
ZnO	*0,023	*0,123	*0,091	*0,088	nd
ZrO ₂	10,785	0,293	0,164	0,594	11,000
Total	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000

Da análise dos difratogramas de difracção de raios X (Anexo 5 e 6), pode-se concluir que a fracção não magnética é constituída por quartzo, zircão, rútilo, háfnio, vestígio de

ilmenite e argilas. Para a fracção magnética, concluiu-se que é constituída por rútilo, maghemite (óxido de ferro), ilmenite e vestígios de quartzo.

Da análise dos espectros de SEM–EDS, verifica-se que a fracção não magnética (Espectros 86 a 123) é constituída essencialmente por quartzo e zircão, podendo-se também encontrar vestígios de ilmenite e rútilo (tabela IV.9).

Tabela IV.9: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 2 Concentrado – fracção não magnética

	O	Al	Si	Ti	Fe	Cu	Zr	Total	Mineral
	(%)								
Espectro 91	29,37	nd	14,90	nd	nd	8,33	47,40	100,00	Zircão
Espectro 92	38,43	2,40	2,85	48,05	nd	8,26	nd	100,00	Rútilo
Espectro 105	54,19	nd	45,81	nd	nd	nd	nd	100,00	Quartzo
Espectro 111	6,69	nd	0,90	68,73	23,69	nd	nd	100,00	Ilmenite

Para a fracção magnética resultante da separação pelo íman de mão (Espectros 264 a 271) pode-se concluir que é constituída essencialmente por cromite e ilmenite, podendo também encontrar-se cromite – aluminosa (tabela IV.10).

Tabela IV.10: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 2 Concentrado– íman

	O	Al	Ti	Cr	Fe	Total	Mineral
	(%)						
Espectro 267	50,20	nd	27,01	nd	22,79	100,00	Ilmenite
Espectro 269	36,56	7,34	nd	21,14	34,96	100,00	Cromite - aluminosa
Espectro 270	15,44	nd	10,62	34,41	39,53	100,00	Cromite

Para as fracções resultantes da separação electromagnética (separador Isodinamico Frantz), pode-se concluir que a fracção resultante da magnitude a 0,4 A (Espectros 230 a 263) é constituída por ilmenite, cromite – aluminosa e magnetite-alumíniosa (tabela IV.11).

Tabela IV.11: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 2 Concentrado – 0,4 A.

	O	Mg	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Total	Mineral
	(%)										
Espectro 231	46,55	nd	nd	nd	30,56	nd	nd	22,89	nd	100,00	Ilmenite
Espectro 234	33,57	nd	5,77	nd	1,56	3,39	nd	53,44	2,27	100,00	Magnetite
Espectro 259	19,23	1,75	7,40	0,82	2,88	28,55	nd	36,69	2,68	100,00	Cromite – aluminosa

A fracção resultante da magnitude a 0,8 A (Espectros 198 a 229) é constituída por ilmenite, magnetite, silimanite, enstatite, almandina e rútilo. Nesta fracção também foram detectados dois elementos químicos, pertencentes ao grupo dos elementos pesados das terras raras, o térbio (Tb) e o disprósio (Dy), aproximadamente com 3% e 9%, respectivamente (espectros 220 e 226), mas não foram consideradas viáveis por não estar presente o elemento tório (Th), visto que este elemento é um indicativo de terras raras (tabela IV.12).

Tabela IV.12: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 2 Concentrado – 0,8 A.

	O	Na	Mg	Al	Si	Ti	Cr	Fe	Tb	Dy	Total	Mineral
	(%)											
Espectro 200	52,89	2,78	4,47	16,91	17,73	nd	nd	5,22	nd	nd	100,00	Silimanite
Espectro 210	42,87	nd	21,39	nd	27,50	nd	nd	8,24	nd	nd	100,00	Enstatite
Espectro 213	44,62	nd	nd	nd	nd	36,32	nd	19,06	nd	nd	100,00	Ilmenite
Espectro 215	44,76	nd	nd	20,24	24,42	nd	nd	10,58	nd	nd	100,00	Almandina
Espectro 220	44,91	nd	nd	7,50	13,85	nd	nd	30,54	3.21	nd	100,00	Almandina
Espectro 226	49,76	nd	nd	3,28	3,89	22,64	nd	11,93	nd	8.50	100,00	Rútilo
Espectro 227	14,39	nd	nd	1,83	1,21	3,23	2,95	76,40	nd	nd	100,00	Magnetite
Espectro 228	66,41	nd	nd	nd	nd	33,59	nd	nd	nd	nd	100,00	Rútilo

A fracção resultante da magnitude a 1.5 A (Espectros 166 a 197) é constituída por ilmenite, zircão, quartzo, rútilo e magnetite. A tabela IV.13 apresenta uma síntese desses resultados.

Tabela IV.13: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 2 – 1,5 A.

	O	Al	Si	P	Ca	Ti	Fe	Zr	Total	Mineral
	(%)									
Espectro 166	45,57	0,71	0,44	nd	nd	32,54	20,74	nd	100,00	Ilmenite
Espectro 167	38,37	nd	16,41	nd	nd	nd	nd	45,21	100,00	Zircão
Espectro 168	68,98	nd	31,02	nd	nd	nd	nd	nd	100,00	Quartzo
Espectro 170	44,48	1,84	nd	nd	nd	49,25	4,44	nd	100,00	Rútilo
Espectro 186	34,82	3,78	7,73	1,19	1,54	nd	50,94	nd	100,00	Magnetite
Espectro 192	29,06	6,08	16,81	nd	nd	nd	48,04	nd	100,00	Almandina

Para ser mais fácil perceber as conclusões que se retiram após estas análises, elaborou-se uma tabela onde se juntou os dados retirados das análises de XRF, SEM-EDS e difracção de raios X (tabela IV.14), e para completar essa informação as imagens seguintes demonstram os minerais mais frequentes (Figura IV.1 à IV.3).

Tabela IV.14: Resumo da constituição da amostra geral GK 2

Amostra	Minerais
Gk 2	quartzo, <u>zircão</u> , <u>rútilo</u> , <u>ilmenite</u> , cromite, cromite-Al, magnetite, silimanite, enstatite, almandina, maghemite De todos estes minerais o zircão, ilmenite e cromite são os mais frequentes na amostra concentrada

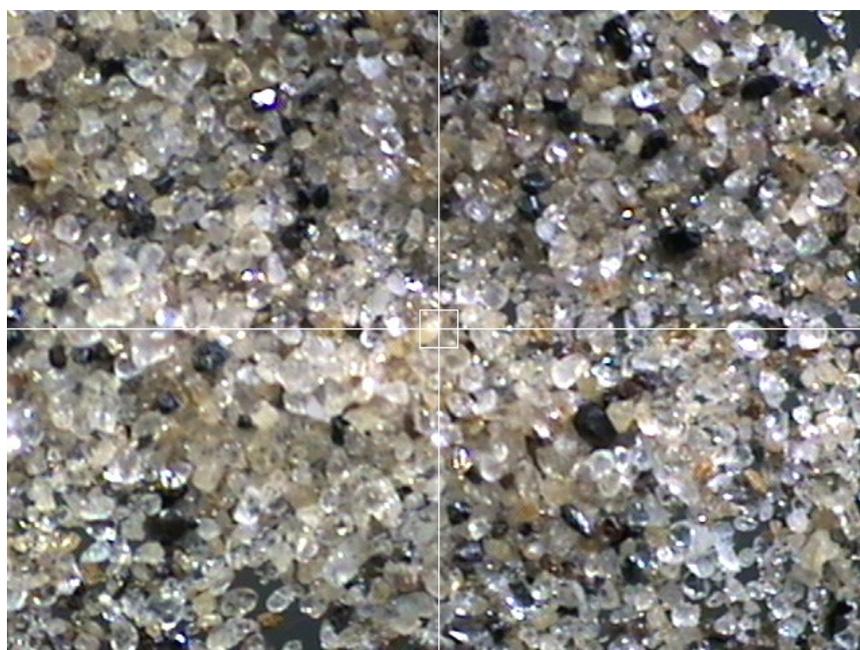


Figura IV.1: Fotografia da fracção não magnética da amostra GK 2, com a análise ao mineral zircão (SEA6000VX)

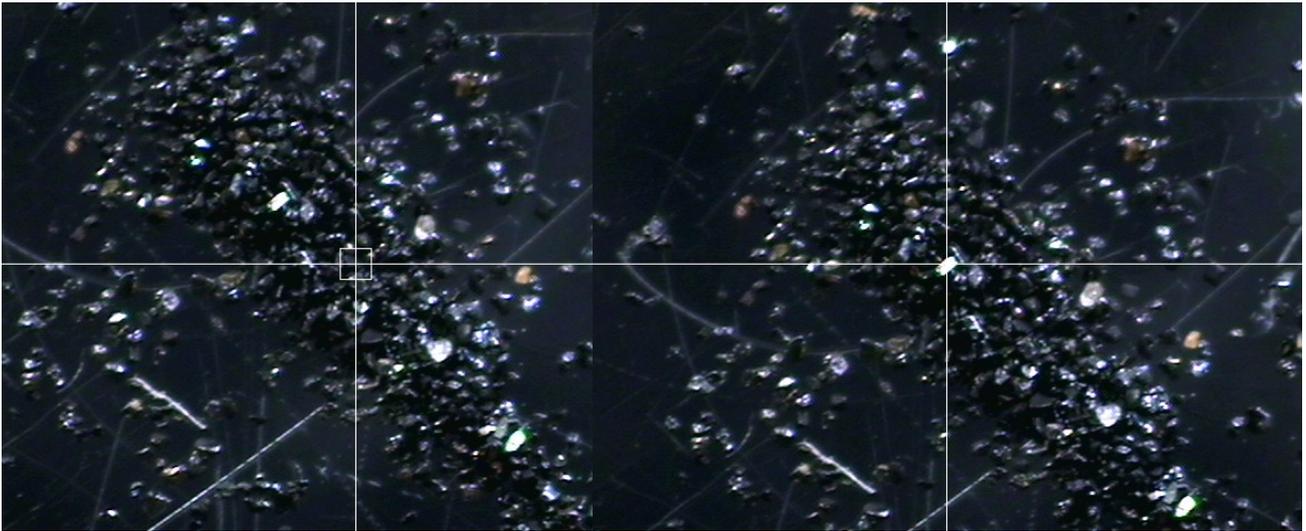


Figura IV.3: Fotografia da fracção magnética obtida por íman da amostra GK 2, com a análise ao mineral ilmenite (SEA6000VX)

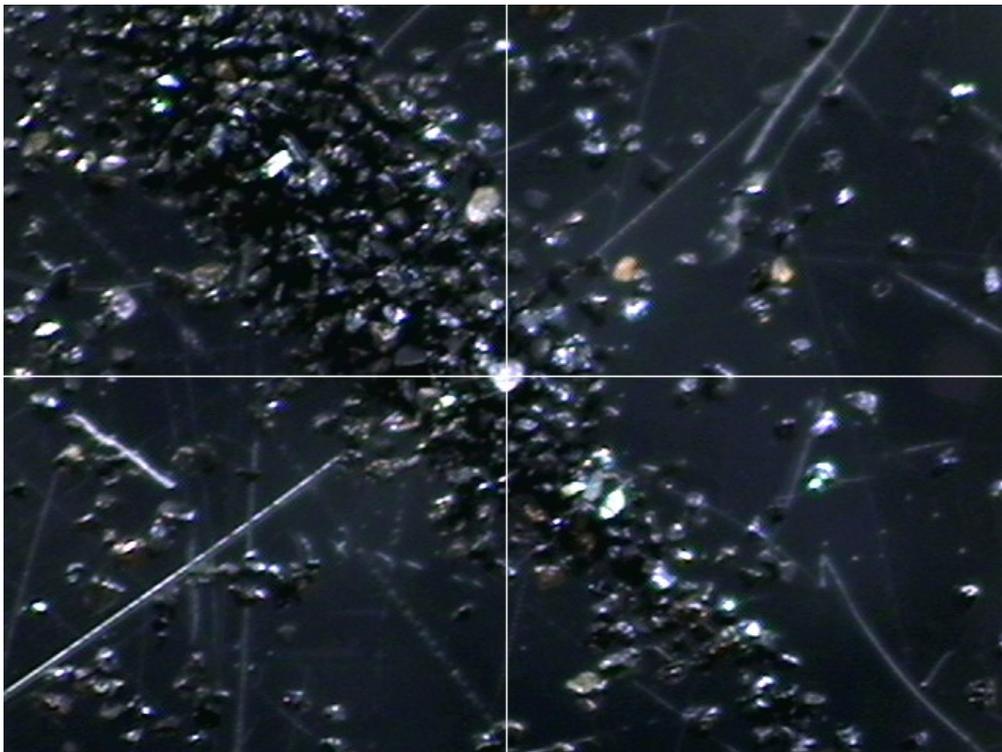


Figura IV.2: Fotografia da fracção magnética obtida por íman da amostra GK 2, com a análise ao mineral cromite (SEA6000VX)

4.3. Amostra GK 3

4.3.1. Misto

Após a análise dos resultados obtidos pelo XRF, pode-se concluir que a fracção não magnética é constituída essencialmente por sílica e a fracção magnética por óxidos de titânio, ferro e sílica (tabela IV.15). Também apresenta vestígios de nióbio tanto na fracção não magnética como para a magnética, e vestígios e tântalo nas fracções magnéticas.

Tabela IV.15: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK 3 Misto

GK 3 – Misto				
Mining Ta/Hf e Test All Geo*				
(%)				
	Não Magnético	Íman	0,4 A	0,8 A
Ag ₂ O	0,001	0,003	nd	nd
Al ₂ O ₃	0,542	3,393	2,991	9,405
As ₂ O ₃	*0,001	0,013	0,006	0,012
Bi ₂ O ₅	nd	0,006	nd	0,007
CaO	0,098	0,273	0,273	0,651
CdO	0,002	nd	nd	nd
Cl	nd	0,022	0,071	nd
Cr ₂ O ₃	nd	0,368	0,158	0,183
Fe ₂ O ₃	0,080	26,311	29,645	20,949
HfO ₂	nd	nd	0,047	0,088
K ₂ O	*0,063	0,087	0,123	0,153
MgO	nd	2,658	3,707	2,886
MnO	nd	0,374	0,608	0,150
Nb ₂ O ₅	0,003	0,041	0,029	0,016
P ₂ O ₅	1,549	nd	0,878	0,832
PdO	0,001	nd	nd	Nd
SO ₃	0,125	0,245	0,296	0,258
SiO ₂	96,405	14,997	11,095	30,759
SnO ₂	nd	0,041	0,061	0,019
SrO	< 0,001	0,002	0,002	0,009
Ta ₂ O ₅	nd	0,052	0,039	0,036
TiO ₂	0,922	50,730	49,558	33,255
V ₂ O ₅	nd	0,286	0,291	0,183
ZrO ₂	0,209	0,094	0,123	0,148
Total	100,000	100,000	100,000	100,000

Da análise dos difratogramas de raios X (Anexo 7 e 8), pode-se concluir que a fracção não magnética é constituída por quartzo, óxidos de nióbio e tântalo, zircão e vestígio de ilmenite e argilas.

4.3.2. Concentrado

Após a análise dos resultados obtidos por XRF, pode-se concluir que a fracção não magnética é constituída por sílica, óxidos de zircónio e titânio. As fracções magnéticas são constituídas por óxidos de titânio e ferro essencialmente. A fracção não magnética obtida a 1.5 A é constituída essencialmente por sílica e óxidos de zircónio (tabela IV.16).

Tabela IV.16: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK 3 Concentrado

GK 3 – Concentrado						
Mining Ta/Hf e Test All Geo* (%)						
	Não Magnético	Íman	0,4 A	0,8 A	1,5 A	1,5 A não magnético
Ag ₂ O	nd	0,001	0,001	*0,001	nd	nd
Al ₂ O ₃	1,296	3,929	4,372	5,315	3,196	0,688
As ₂ O ₃	0,008	0,011	0,008	0,017	0,017	0,006
Au ₂ O	nd	nd	*0,004	nd	nd	nd
BaO	nd	0,016	0,014	nd	nd	nd
Bi ₂ O ₅	0,009	0,004	nd	0,016	0,061	nd
CaO	0,177	0,148	0,146	0,245	0,461	0,086
Cl	nd	0,027	0,029	0,040	0,083	0,010
Cr ₂ O ₃	nd	0,446	0,202	0,461	0,253	nd
CuO	*0,056	*0,011	*0,012	*0,018	nd	nd
Fe ₂ O ₃	0,166	36,064	38,709	27,857	5,943	0,147
HfO ₂	0,624	nd	0,019	0,030	2,114	0,440
K ₂ O	nd	0,062	0,066	0,060	0,136	nd
MgO	nd	6,237	4,194	6,513	nd	nd
MnO	nd	0,654	0,976	0,485	nd	nd
MoO ₃	nd	nd	*0,001	nd	nd	nd
Nb ₂ O ₅	0,052	0,046	0,049	0,089	0,143	0,039
NiO	nd	*0,021	nd	0,014	0,050	nd
P ₂ O ₅	nd	nd	nd	*0,927	nd	nd
PbO	nd	0,008	0,005	*0,013	nd	nd
Rb ₂ O	nd	nd	nd	nd	0,002	0,001
ReO	nd	nd	nd	0,009	nd	nd
SO ₃	0,621	0,252	0,213	0,200	2,147	nd
Sc ₂ O ₃	*0,008	*0,014	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	58,861	1,913	2,159	3,356	35,833	79,067
SnO ₂	nd	0,008	0,006	0,007	nd	nd
SrO	0,003	0,002	0,002	0,005	0,011	0,004
Ta ₂ O ₅	nd	0,013	nd	0,040	nd	nd
TiO ₂	15,854	49,087	48,066	53,043	29,762	5,763
V ₂ O ₅	0,067	0,627	0,597	0,574	nd	nd
WO ₃	nd	nd	nd	nd	0,184	nd
ZnO	*0,014	*0,024	*0,020	*0,028	nd	nd
ZrO ₂	22,183	0,376	0,129	0,638	19,603	13,749
Total	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000

Da análise dos difratogramas de raios X (Anexo 9 e 10), pode-se concluir que a fracção não magnética é constituída por quartzo, zircão, háfnio, rútilo, anatase e vestígio de argila.

Para a fracção magnética, conclui-se que é constituída por ilmenite, rútilo, óxido de tântalo e de titânio e vestígios de quartzo.

Da análise dos espectros de SEM – EDS, pode-se concluir que a fracção não magnética (Espectros 282 a 289) é constituído essencialmente por zircão, podendo-se também encontrar quartzo e rútilo (tabela IV.17).

Tabela IV.17 Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 3 Concentrado – fracção não magnético.

	O	Al	Si	Ti	Cu	Zr	Total	Mineral
	(%)							
Espectro 284	37,42	nd	15,28	nd	1,51	45,79	100,00	Zircão
Espectro 287	47,52	0,56	0,71	49,99	1,21	nd	100,00	Rútilo
Espectro 289	56,00	nd	42,38	nd	1,62	nd	100,00	Quartzo

Para a fracção magnética resultante da separação pelo íman de mão (Espectros 272 a 281) pode-se concluir que é constituído essencialmente por ilmenite (tabela IV.18).

Tabela IV.18 Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 3 Concentrado – íman

	O	Mg	Ti	Fe	Total	Mineral
	(%)					
Espectro 276	50,17	nd	28,03	21,80	100,00	Ilmenite

Para as fracções resultantes da separação electromagnética (separador Isodinamico Frantz), pode-se concluir que a fracção resultante da magnitude a 0,4 A (Espectros 290 a 304) é constituída essencialmente por ilmenite (tabela IV.19).

Tabela IV.19 Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 3 Concentrado – 0,4 A

	O	Al	Ti	Fe	Total	Mineral
	(%)					
Espectro 292	24,83	0,68	41,16	33,32	100,00	Ilmenite
Espectro 304	49,31	nd	25,96	24,72	100,00	Ilmenite

Para ser mais fácil perceber as conclusões que se retiram após estas análises, elaborou-se uma tabela onde se juntou os dados retirados do XRF, SEM-EDS e difracção de raios X, para a amostra geral (tabela IV.20).

Tabela IV.20: Resumo da constituição da amostra geral GK 3

Amostra	Minerais
Gk 3	<u>quartzo</u> , <u>zircão</u> , <u>rútilo</u> , <u>ilmenite</u> De todos estes minerais quartzo, zircão e ilmenite são os que se apresentam em maior quantidade

4.4. Amostra GK 4

4.4.1. Misto

As análises pertencentes às fracções 1,5 A e 1,5 A não magnética não foram realizadas uma vez que apresentavam quantidades reduzidas, e que pelas definições do equipamento não era possível realizar a leitura/análise.

Após a análise dos resultados obtidos por XRF, pode-se concluir que a fracção não magnética é constituída essencialmente por sílica e uma pequena percentagem de óxido de titânio. As fracções magnéticas são constituídas essencialmente por óxidos de titânio e ferro e sílica. (tabela IV. 21). Nesta amostra também aparece o elemento fósforo apresentando 1%, que poderá estar associado à monazite, visto que este é um fosfato mas não se encontra mais nenhum elemento pertencente a esse mineral, que apresenta a formula química (Ce,La,Nd,Th)PO₄.

Tabela IV.21: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK 4 Misto

GK 4 – Misto				
Mining Ta/Hf e Test All Geo* (%)				
	Não Magnético	Iman	0,4 A	0,8 A
Ag ₂ O	0,001	nd	nd	0,004
Al ₂ O ₃	0,738	3,208	4,301	7,052
As ₂ O ₃	*0,002	0,034	0,006	0,017
Au ₂ O	nd	nd	nd	nd
Bi ₂ O ₅	nd	0,004	nd	0,012
CaO	0,240	0,299	0,166	0,593
CdO	0,001	nd	nd	nd
Cl	nd	0,243	0,049	0,067
Cr ₂ O ₃	0,009	0,418	0,260	0,336
CuO	*0,013	nd	nd	nd
Fe ₂ O ₃	0,285	31,242	36,732	33,556
HfO ₂	nd	0,041	nd	0,068
K ₂ O	*0,086	0,126	0,116	0,283
MgO	nd	3,494	4,216	4,623
MnO	nd	0,513	0,867	0,461
Nb ₂ O ₅	0,065	0,037	0,047	0,046
P ₂ O ₅	*1,573	nd	nd	nd
PbO	nd	nd	nd	nd
PdO	0,001	nd	nd	nd
SO ₃	0,258	0,481	0,318	0,480
Sc ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	93,496	7,139	2,988	14,901
SnO ₂	nd	0,015	nd	0,016
SrO	0,001	0,002	0,002	0,008
Ta ₂ O ₅	nd	0,044	0,037	0,035
TiO ₂	2,621	51,998	49,317	36,314
U ₃ O ₈	*0,001	nd	nd	nd
V ₂ O ₅	0,012	0,454	0,489	0,363
ZnO	nd	nd	nd	nd
ZrO ₂	0,654	0,209	0,089	0,766
Total	100,000	100,000	100,000	100,000

Da análise dos difratogramas de raios X (Anexo 11 e 12), da fracção total da amostra, conclui-se que é constituída por quartzo, ilmenite e vestígios de argila.

Da análise dos espectros de SEM–EDS, pode-se concluir que a fracção não magnética (Espectros 74 a 85) é constituída essencialmente por quartzo e podendo-se também encontrar silimanite (tabela IV.22).

Tabela IV.22: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 4 Misto – Não Magnético.

	O	Mg	Al	Si	Ti	Cu	Total	Mineral
	(%)							
Espectro 83	53,69	1,16	18,82	20,62	2,35	3,37	100,00	Silimanite

4.4.2. Concentrado

As análises pertencentes à fracção 1,5 A não foram realizadas uma vez que apresentava uma quantidade reduzida, e que pelas definições do equipamento não era possível realizar a leitura/análise.

Após a análise dos resultados obtidos por XRF, pode-se concluir que a fracção não magnética é constituída por zircónio, sílica e titânio. As fracções magnéticas são constituídas por óxidos de titânio e ferro. A fracção não magnética obtida com magnitude 1,5 A é constituída por zircónio, sílica e titânio (tabela IV.23).

Tabela IV.23: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK 4 Concentrado

GK 4 – Concentrado					
Mining Ta/Hf e Test All Geo* (%)					
	Não Magnético	Íman	0,4 A	0,8 A	1,5 A não magnético
Ag ₂ O	nd	nd	*0,001	0,001	nd
Al ₂ O ₃	1,424	4,085	3,937	4,558	nd
As ₂ O ₃	0,020	0,008	0,005	0,014	0,012
Au ₂ O	nd	nd	nd	nd	nd
BaO	nd	*0,019	0,026	nd	nd
Bi ₂ O ₅	*0,019	0,002	nd	0,028	nd
CaO	0,117	0,141	0,112	0,192	nd
Cl	0,037	0,045	0,039	0,023	0,016
CoO	*0,053	nd	nd	nd	nd
Cr ₂ O ₃	nd	0,416	0,221	0,664	0,063
CuO	nd	*0,007	*0,008	*0,035	nd
Fe ₂ O ₃	0,131	37,368	38,738	28,298	0,192
HfO ₂	1,661	nd	nd	nd	1,725
K ₂ O	nd	0,078	0,081	0,061	nd
MgO	nd	5,447	6,686	5,342	nd
MnO	nd	0,647	0,903	0,533	nd
Nb ₂ O ₅	0,084	0,046	0,047	0,118	0,078
NiO	nd	*0,023	nd	0,024	nd
PbO	nd	*0,004	*0,004	*0,015	nd
SO ₃	*0,855	0,242	0,243	0,271	nd
Sc ₂ O ₃	*0,015	nd	nd	*0,019	nd
SiO ₂	27,404	1,860	1,720	3,119	27,649
SnO ₂	nd	0,006	nd	0,006	nd
SrO	nd	0,002	0,001	*0,005	0,008
Ta ₂ O ₅	nd	nd	nd	0,041	nd
TiO ₂	20,386	48,500	46,399	53,767	20,766
V ₂ O ₅	0,112	0,620	0,541	0,663	nd
ZnO	nd	*0,023	*0,018	*0,031	nd
ZrO ₂	47,683	0,412	0,269	2,173	49,491
Total	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000

Da análise dos difratogramas de difracção de raios X (Anexo 13 e 14), pode-se concluir que a fracção não magnética é constituída por zircão, silicato de háfnio, quartzo, rútilo, vestígio de argila, óxido de nióbio e óxido de tântalo. Para a fracção magnética, conclui-se que é constituída por ilmenite e algum vestígio de quartzo.

Da análise dos espectros de SEM – EDS, pode-se concluir que a fracção magnética (Espectros 150 a 165) é constituída por quartzo, silimanite, enstatite, cordierite, hiperstena e ilmenite (tabela IV.24).

Tabela IV.24: Resumo dos resultados da análise SEM – EDS para a amostra GK 4 Concentrado – Total Magnético.

	O	Mg	Al	Si	P	Ca	Ti	Fe	Cu	Total	Mineral
	(%)										
Espectro 153	44,54	nd	nd	55,46	nd	nd	nd	nd	nd	100,00	Quartzo
Espectro 155	47,65	1,65	18,02	17,26	nd	nd	nd	7,84	7,57	100,00	Silimanite
Espectro 159	43,51	18,22	nd	24,60	nd	1,43	nd	6,40	5,83	100,00	Enstatite
Espectro 160	40,68	4,26	7,67	11,71	0,97	nd	nd	25,29	9,43	100,00	Cordierite
Espectro 161	24,15	12,51	nd	28,07	nd	3,68	nd	23,44	8,15	100,00	Hiperstena
Espectro 163	29,60	nd	1,50	1,92	nd	nd	50,51	16,46	nd	100,00	Ilmenite

Para ser mais fácil perceber as conclusões que se retiram após estas análises, elaborou-se uma tabela onde se juntou os dados retirados do XRF, SEM-EDS e difracção de raios X, para a amostra geral (tabela IV.25).

Tabela IV.25: Resumo da constituição da amostra geral GK 4

Amostra	Minerais
Gk 4	<p><u>quartzo</u>, <u>ilmenite</u>, silimanite, magnetite, enstatite, cordierite, hiperstena, zircão, rútilo</p> <p>De todos estes minerais o quartzo e a ilmenite são as que se apresentam em maior quantidade</p>

4.5. Amostra GK 5

Na amostra GK 5 as reduzidas quantidades de cada fracção fizeram com que fossem analisadas em conjunto.

As análises pertencentes a fracção 1,5 A não foram realizadas uma vez que apresentavam quantidades reduzidas, e que pelas definições do equipamento não era possível realizar a leitura/análise.

Após a análise dos resultados obtidos pelo XRF, pode-se concluir que a amostra total é constituída por sílica e óxidos de titânio e a fracção não magnética constituída essencialmente por sílica. A fracção obtida com magnitude de 0,4 A é constituída por óxidos de titânio e ferro (tabela IV.26).

Tabela IV.26: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK 5

GK 5				
Mining Ta/Hf e Test All Geo* (%)				
	Total	Não Magnético	0,4 A	0,8 A
Ag ₂ O	0,001	0,001	nd	nd
Al ₂ O ₃	2,785	1,021	6,331	8,055
As ₂ O ₃	0,002	nd	0,007	0,018
Bi ₂ O ₅	nd	nd	nd	0,008
CaO	0,192	0,111	0,066	1,057
CdO	0,002	0,002	nd	nd
Cl	nd	nd	0,032	0,063
Cr ₂ O ₃	0,069	nd	0,348	0,375
CuO	*0,005	*0,007	nd	nd
Fe ₂ O ₃	3,132	0,367	39,256	31,000
HfO ₂	0,086	nd	0,023	0,088
K ₂ O	0,047	*0,092	0,097	0,202
MgO	nd	nd	5,539	4,735
MnO	nd	nd	0,952	0,540
MoO ₃	nd	nd	nd	0,003
Nb ₂ O ₅	0,004	0,003	0,044	0,034
NiO	nd	nd	nd	0,038
P ₂ O ₅	nd	nd	nd	2,513
PbO	*0,001	nd	nd	nd
PdO	0,001	0,001	nd	nd
Rb ₂ O	*< 0,001	nd	nd	nd
SO ₃	0,170	*0,172	0,185	0,316
SiO ₂	86,452	95,342	3,387	20,904
SrO	0,002	0,001	nd	0,008
Ta ₂ O ₅	nd	nd	nd	0,033
TiO ₂	6,601	1,499	43,133	29,419
U ₃ O ₈	*0,001	*0,001	nd	nd
V ₂ O ₅	0,035	*0,008	0,471	0,328
WO ₃	0,012	nd	nd	0,044
ZnO	0,030	nd	nd	nd
ZrO ₂	0,368	0,373	0,130	0,217
Total	100,000	100,000	100,000	100,000

Da análise dos difratogramas de difracção de raios X (Anexo 15), pode-se concluir que a fracção total da amostra é constituída por quartzo, zircão, ilmenite, rútilo e argila.

Os espectros de SEM – EDS, apresentam grandes percentagens de oxigénio que juntamente com as percentagens dos outros elementos não apresentam resultados muito coerentes, porém no geral é constituída por quartzo, magnetite, cromite, almandina, ilmenite, como se pode observar pelas seguintes imagens (Figura IV.4 à IV.6).

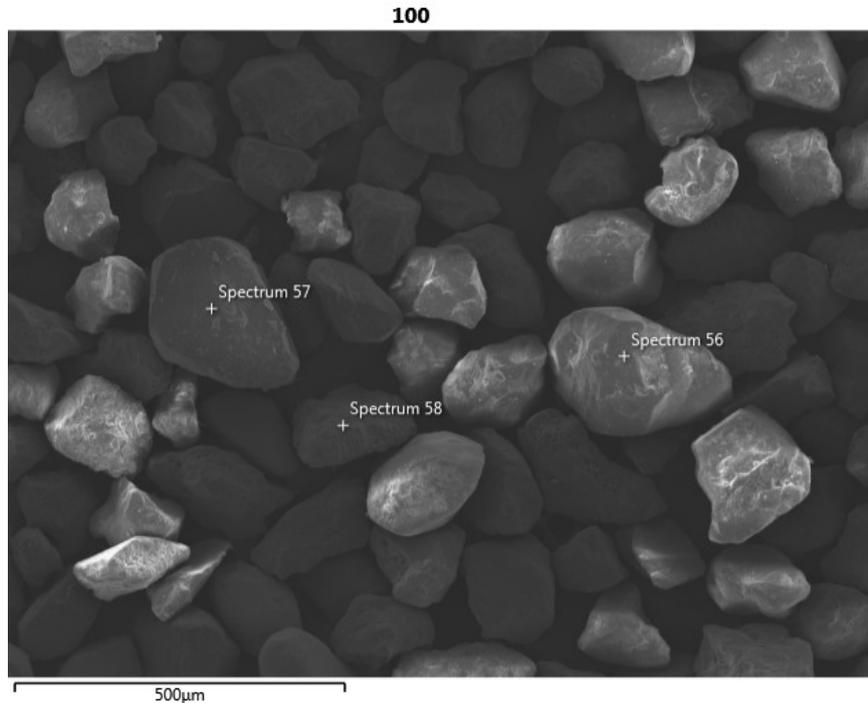


Figura IV.4: Fotografia por SEM-EDS da fracção não magnética da amostra GK5
(Espectro 56 e 57 – Quartzo; Espectro 58 – Silimanite)

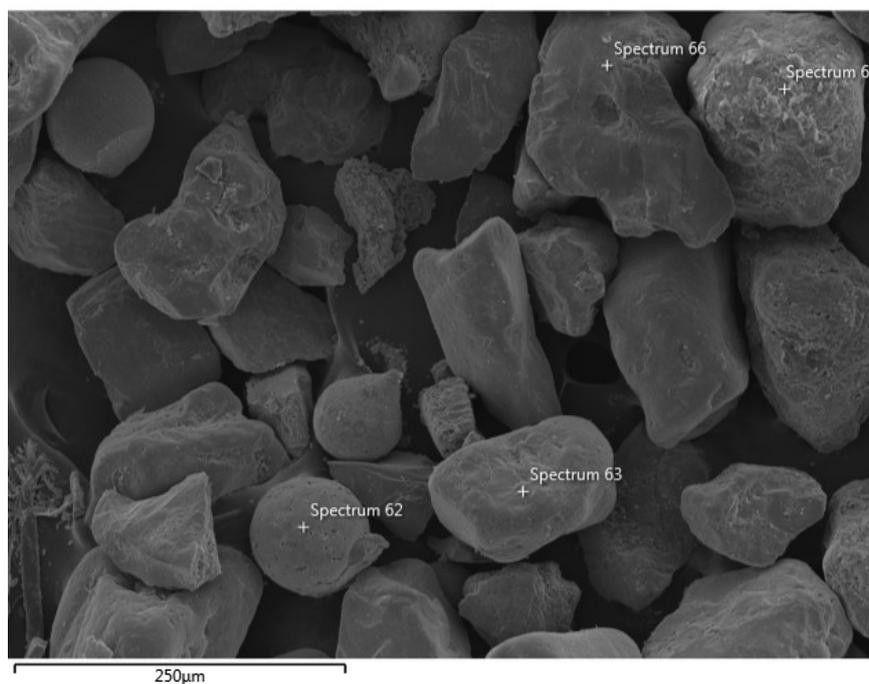


Figura IV.5: Fotografia por SEM-EDS da fracção magnética obtida por íman da amostra GK5
(Espectro 62 – Magnetite; Espectro 63 e 66 – ilmenite; Espectro 64 – Silimanite)

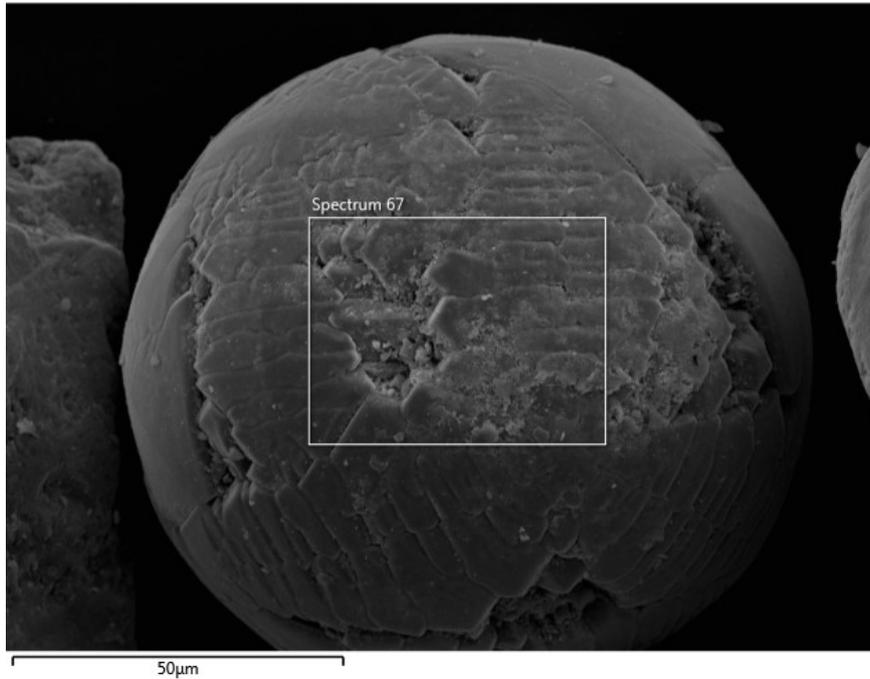


Figura IV.6: Fotografia por SEM-EDS do pormenor do mineral magnetite (amostra GK5)

Para ser mais fácil perceber as conclusões que se retiram após estas análises, elaborou-se uma tabela onde se juntou os dados retirados do XRF, SEM-EDS e raio X, para a amostra geral (tabela IV.27)

Tabela IV.27: Resumo da constituição da amostra geral GK 5

Amostra	Minerais
Gk 5	quartzo, magnetite, <u>ilmenite</u> , cromite, almandina, rútilo, zircão (possivelmente com Hf) De todos estes minerais a ilmenite é a que se apresenta com maior quantidade

4.6. Amostra GK 6 Concentrado

Após a análise dos resultados obtidos por XRF, pode-se concluir que a amostra total concentrada e a fracção não magnética são constituídas essencialmente por sílica. A fracção obtida com magnitude de 0,4 A é constituída por titânio e ferro, e a fracção obtida com magnitude 0,8 A é constituída por ferro e sílica (tabela IV.28).

Tabela IV.28: Tabela com os resultados do XRF para amostra GK 6 Concentrado

GK 6				
Mining Ta/Hf e Test All Geo*				
(%)				
	Total	Não Magnético	0,4 A	0,8 A
Ag ₂ O	0,001	0,001	nd	nd
Al ₂ O ₃	1,691	1,494	4,968	6,704
As ₂ O ₃	0,002	0,016	0,019	0,045
Bi ₂ O ₅	0,005	0,007	0,008	0,018
CaO	0,177	0,171	0,120	0,772
CdO	0,002	nd	nd	nd
Cl	nd	nd	0,029	0,109
Cr ₂ O ₃	0,090	0,010	1,980	1,036
CuO	*0,008	*0,038	nd	nd
Fe ₂ O ₃	2,811	0,589	38,542	42,429
HfO ₂	0,144	nd	0,037	0,215
K ₂ O	0,030	*0,148	0,108	0,761
MgO	nd	nd	5,353	2,853
MnO	nd	nd	0,778	0,258
Nb ₂ O ₅	0,012	0,011	0,035	0,016
P ₂ O ₅	1,902	nd	nd	1,254
PbO	*0,003	*0,009	nd	nd
PdO	0,001	0,001	nd	nd
Rb ₂ O	< 0,001	nd	nd	nd
SO ₃	0,348	0,247	0,247	0,523
Sb ₂ O ₅	0,002	nd	nd	nd
SiO ₂	83,704	86,957	2,964	19,398
SnO ₂	0,003	0,046	nd	0,023
SrO	0,001	0,001	nd	0,002
Ta ₂ O ₅	nd	nd	0,020	nd
ThO ₂	nd	*0,007	nd	nd
TiO ₂	7,687	7,846	45,201	23,071
U ₃ O ₈	nd	*0,004	nd	nd
V ₂ O ₅	0,030	*0,022	0,472	0,258
WO ₃	0,029	0,019	0,045	0,184
ZnO	*0,031	*0,010	nd	nd
ZrO ₂	1,286	2,346	0,076	0,070
Total	100,000	100,000	100,000	100,000

Da análise dos difratogramas de raios X (Anexo 16), pode-se concluir que a fracção total concentrada da amostra é constituída por quartzo ilmenite, rútilo e argila.

Pela análise dos espectros de SEM – EDS, é apresentado grandes percentagens de oxigénio que juntamente com as percentagens dos outros elementos não apresentam resultados muito coerentes, porém no geral é constituída por quartzo, magnetite, ilmenite, biotite e cromite, como se pode observar pelas seguintes imagens (Figura IV.7 à IV.9).

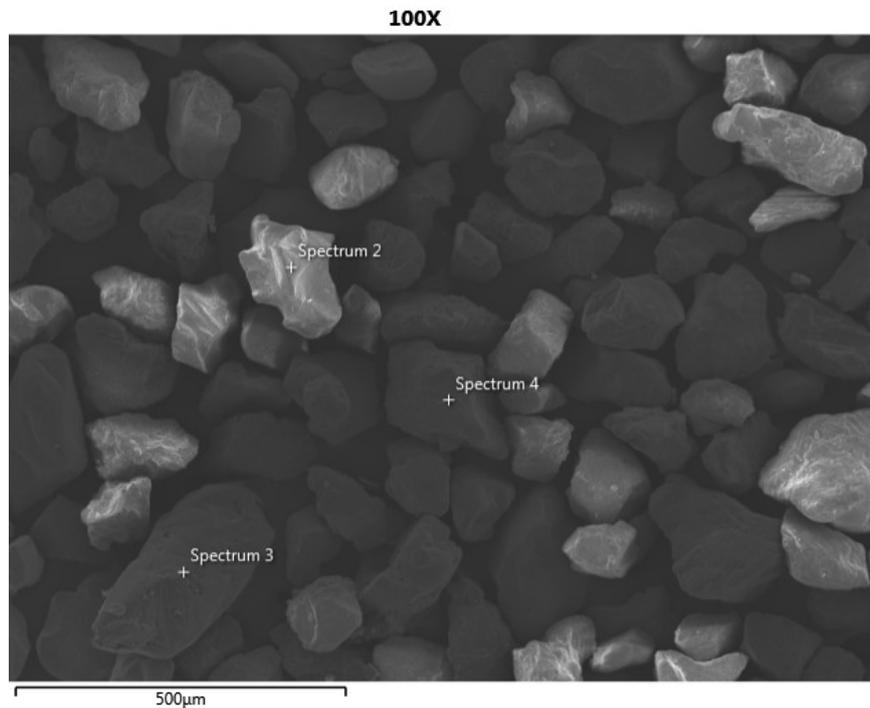


Figura IV.7: Fotografia por SEM-EDS da fracção não magnética da amostra GK6
(Espectro 2 e 3 – Quartzo; Espectro 4 – Silimanite)

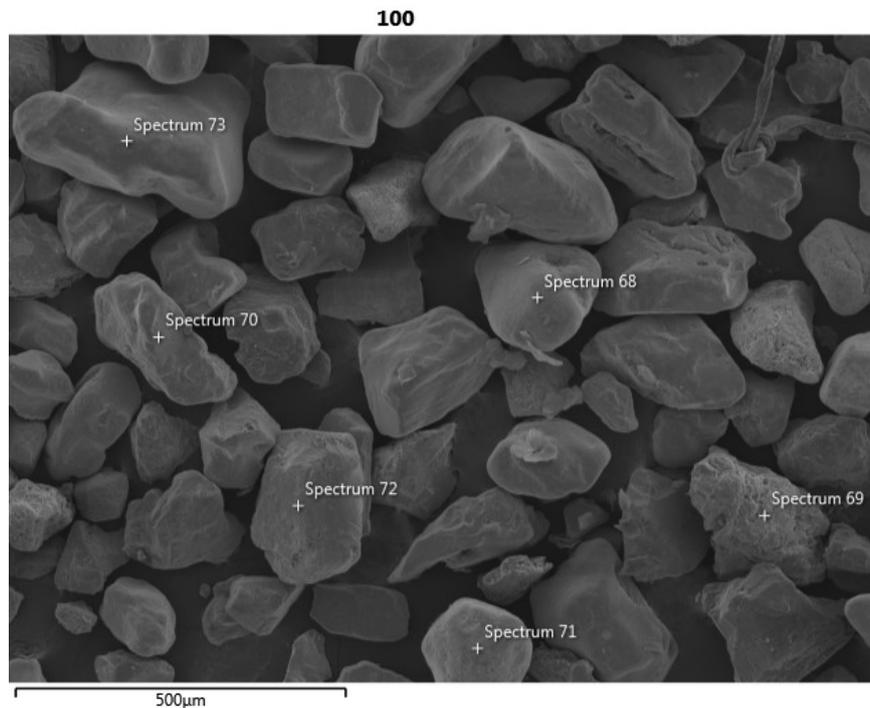


Figura IV.8: Fotografia por SEM-EDS da fracção magnética obtida por íman da amostra GK6
(Espectro 68, 70, 72 e 73 – ilmenite; Espectro 69 – Silimanite; Espectro 71 – Magnetite)

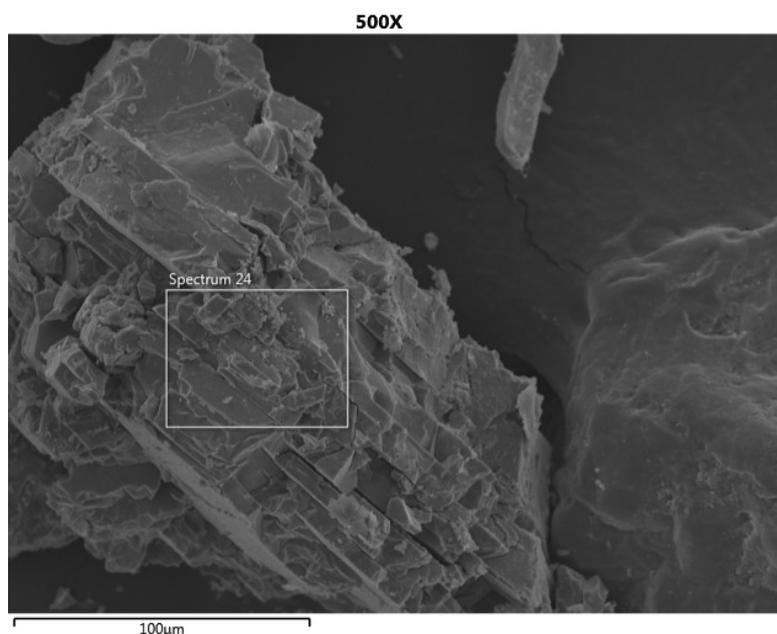


Figura IV.9: Fotografia por SEM-EDS do pormenor do mineral cromite (amostra GK6)

Para ser mais fácil perceber as conclusões que se retiram após estas análises, elaborou-se uma tabela onde se juntou os dados retirados do XRF, SEM-EDS e raio X, para a amostra geral (tabela IV.29).

Tabela IV.29: Resumo da constituição da amostra geral GK 6 Concentrado

Amostra	Minerais
Gk 6	quartzo, magnetite, <u>ilmenite</u> , almandina, biotite, cromite, cromite-Al, rútilo, zircão De todos estes minerais a ilmenite é a que se apresenta com maior quantidade.

Existem ainda algum vestígio do elemento de bário (Ba) em várias amostras, geralmente magnéticas, em grãos das amostras GK1, GK2, GK3 e GK4 (tabela IV.30). Este elemento químico é usado para várias aplicações como por exemplo na indústria de petróleo e gás para fazer lamas de perfuração (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007). Este elemento químico, Ba, chega a atingir os 22% pontualmente e uma vez que há presença de actividade petrolífera na costa marítima do país, admite-se que possa corresponder a uma contaminação derivada desse tipo de exploração.

Tabela IV.30: Vestígio do elemento de bário em grãos das amostras GK1, GK2, GK3 e GK4

		O	Mg	Al	Si	Ti	V	Fe	Cu	Ba	Total
GK1	Espectro 327	27,44	nd	1,78	1,85	37,69	nd	9,39	nd	21,85	100.00
	Espectro 339	32,70	nd	1,22	1,04	30,34	nd	27,92	nd	6,79	100.00
	Espectro 348	46,55	5,98	6,05	10,04	10,85	nd	16,83	nd	3,69	100.00
GK2	Espectro 191	29,07	nd	6,38	5,32	32,24	nd	11,72	nd	15,27	100.00
	Espectro 266	32,79	nd	1,25	nd	27,00	1,27	28,86	nd	8,82	100.00
GK3	Espectro 277	25,13	nd	nd	nd	28,01	nd	33,72	nd	13,14	100.00
GK4	Espectro 165	10,91	0,91	0,62	1,02	50,48	nd	15,31	7,55	13,20	100.00

A tabela IV.31 apresenta o resumo dos minerais resultantes após observação e discussão das análises, e as fórmulas químicas respectivamente separadas em minerais não magnéticos e magnéticos.

Tabela IV.31: Tabela resumo dos minerais obtidos das análises efectuadas e suas fórmulas químicas

Amostra		Minerais
GK1	Misto	Quartzo, ilmenite, magnetite
	Concentrado	Quartzo, magnetite, olivina, cordierite, ilmenite
GK2		Zircão, rútilo, quartzo, ilmenite, cromite, cromite.-Al, silimanite, enstatite
GK 3	Misto	Quartzo, Ilmenite, zircão
	Concentrado	Quartzo, zircão, rútilo, ilmenite
GK 4	Misto	Quartzo, ilmenite, silimanite
	Concentrado	Quartzo, silimanite, magnetite, enstatite, cordierite, hiperstena, ilmenite, zircão, rútilo
GK 5		Quartzo, magnetite, ilmenite, cromite, almandina, rútilo, zircão
GK 6		Quartzo, magnetite, ilmenite, almandina, biotite, cromite, cromite-Al, rútilo e zircão

Minerais não magnéticos

Silimanite – Al_2SiO_5

Enstatite – $MgSiO_3$

Almandina – $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$

Biotite – $K(Fe,Mg)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$

Hiperstena – $(Fe,Mg)_2Si_2O_6$

Olivina – $(Mg,Fe)_2SiO_4$,

Cordierite - $(Fe,Mg)_2Al_3(Si_5AlO_{18})$

Quartzo – SiO_2

Zircão – $ZrSiO_4$

Minerais magnéticos

Magnetite – Fe_3O_4

Ilmenite – $FeTiO_3$

Rútilo – TiO_2

Cromite – $FeCr_2O_4$

Cromite-Al – $Fe(Cr,Al)_2O_4$

Capítulo V – Considerações finais

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que não se encontraram percentagens de elementos associados a terras raras, embora amostra GK 2 se tenha detectado a presença de dois elementos químicos, pertencentes ao grupo dos elementos pesados e associados a terras raras, o térbio (Tb) e o disprósio (Dy), pontualmente com 3% e 9%, respectivamente, mas não foram tidas em consideração uma vez que o elemento tório (Th) não se encontrava associado, e para se afirmar que estamos perante terras raras a percentagem deste elemento tinha que rondar 1%. Além disso, a amostra apresenta valores interessantes de crómio, entre 14 – 16% (XRF). Este elemento juntamente com outros detectados, faz com que esta amostra seja rica em cromite. O crómio é um metal fundamental para a indústria de aços inoxidável. É um elemento com ampla gama de aplicações, sendo as principais nas indústrias de aço e de ligas-ferro, química e de refratários. Dependendo do teor em Cr_2O_3 e da razão Cr/Fe, a cromite é classificada como metalúrgica, química ou refratária (Lima, 2009).

A amostra GK 4 também apresenta valores interessantes, neste caso do elemento de titânio, chegando a atingir pontualmente 50% (XRF) de TiO_2 . Este elemento juntamente com os outros detectados, faz com que esta amostra seja constituída essencialmente por ilmenite, sendo este considerado uma das principais fontes de titânio. Tem uma grande aplicação industrial como ligas de titânio, na indústria aeronáutica e militar, quando a finalidade é obter materiais leves e muito resistentes a temperaturas elevadas (Santos, 2010).

A Guiné-Conakry, como já foi referido ao longo do trabalho, apresenta várias explorações mineiras, das quais, algumas encontram-se ao longo da linha da costa (ver figura II.6), como é o caso de exploração de titânio e rútilo, sendo esta particularmente importante uma vez que os elementos destacados com mais interesse das amostras coincidem com esse tipo de exploração.

Para complementar e melhorar os resultados obtidos num próximo trabalho deve-se:

- fazer observações ao microscópico estereoscópico das amostras, para confirmar o que se obteve com as análises mineira
- em relação à amostra GK2 fazer um estudo mais aprofundado com a finalidade de se chegar a conclusão se é viável ou não a exploração mineralógica:
 - o efectuar novas recolhas de amostras em zonas próximas a montante para saber a origem ao certo do material que é encontrado.

Estudo da rede hidrográfica: comprimento e largura dos cursos de água, regime hídrico, pendor, caudal para determinar as condições de concentração.

Bibliografia

- Abrão**, Alcídio (1994) – *Química e tecnologia das Terras – Raras*. Série Tecnologia. Mineral nº 66. CETEM. pp. 161: http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_stm/stm-66.pdf. (Acedido a 27 de Setembro 2013)
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry** (2007). *Toxicological profile for barium and barium compounds*. U. S. Department of Health and Human Services. pp.179: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp24.pdf> (acedido a 18 de Setembro)
- Aquastat** (2005) - *L'irrigation en Afrique en chiffres*. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/GIN/GIN-CP_fra.pdf - (Acedido a 12 de Junho 2014)
- Almeida**, Salvador L. M.; Sampaio, João A.; Silva, António O. (2004)– *Tratamento de minérios*. 4ª Edição. CETEM/MCT. Cap. 6. pp. 241-267; Cap. 8. pp. 305-333: <http://www.cetem.gov.br/files/docs/livros/2004/Livro%20Trat.%20Min.4a%20Edicao.pdf>. (Acedido a 27 de Outubro de 2013)
- Andrade**, R. H. (2010). *Terras Raras. Brasil*: DNPM: http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=5492 (Acedido a 12 de Outubro 2013)
- Arezki**, Bahia (s. d.) – *Advanced Physics Laboratory: XRF – X-Ray Fluorescence: Energy-Dispersive analysis (EDXRF)*: <http://www.physik.uni-siegen.de/fkp/teaching/advancedlaboratorypracticum/manuals/xrf-lab.pdf>. (Acedido a 15 de Maio de 2014)
- Barry**, Mamadou Hafiziou (2009). *L'eau, source de conflits: cas de la Guinée, quelles approches de solutions?* Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 41 p.: <http://www.memoireonline.com/10/12/6229/L-eau-source-de-conflits-cas-de-la-Guinee-queelles-approches-de-solutions.html>
- Bering**, D.; Brinckmann J.; Camara, O.; Diawara M.; Keita, S. (1998) – Carta Geológica e de mineralizações da República da Guiné na escala 1/1.000.000. BGR e Ministério de Recursos Naturais e de Energia – Direção Nacional de pesquisa Geológica e Mineira de Conakry
- Bleiwass**, D.I.; Gambogi, Joseph (2013), *Preliminary estimates of the quantities of rare-earth elements contained in selected products and in imports of semimanufactured products to the United States, 2010*. U.S. Geological Survey. 14 p.: <http://pubs.usgs.gov/of/2013/1072/>. (Acedido a 5 de Outubro de 2013)
- Borges**, Frederico S. (1980) – *Elementos de cristalografia*. 2ª Edição. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. pp. 265-381.
- Cardoso**, J. G. R.; Carvalho, P. S. L.; Rocio, M. A. R; Silva, M. M. (2012). *Terras-raras: situação atual e perspectivas*. *BNDES Setorial*, 35, 369 – 420. http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3511.pdf (Acedido a 12 de Outubro de 2013)

- Dedavid**, Berenice A.; Gomes, Carmen I.; Machado, Giovanna; (2007). *Microscopia eletrônica de varredura - Aplicações e preparação de amostras*. EDPUCRS. pp. 60: <http://www.pucrs.br/edipucrs/online/microscopia.pdf> (Acedido a 8 de Janeiro de 2014)
- Eby**, Nelson (s.d.). *Using Mineralogy to Identify the source of a sample*: http://faculty.uml.edu/nelson_eby/Forensic%20Geology/Exercises/Heavy%20Minerals%20and%20Magnetic%20Separation.pdf. (Acedido em 17 de Outubro de 2013)
- Engendrar** (2010). *Equipamentos para concentração: Mesa de concentração vibratória tipo wilfley*. Campinas: Boletim 4-254.: http://www.engendrar.com.br/site/_downloads/8.pdf. (Acedido em 25 de Outubro de 2013)
- European Commission** (2010). *Annex V to the Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials*. Versão de 30 Julho. Cap. 31. pp. 220.
- Gomes**, Elsa M. C.,(2007) – *Apontamentos da disciplina de Mineralogia*. Departamento Ciências da Terra – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Gomes**, J. C. (2008). *Georges Urbain (1872-1938) e a Química das Terras Raras*. Boletim SPQ - Olhares Quirais , 15-22. http://periodicos.spq.pt/Boletim/BSPQ_N85/BSPQ_N85.pdf (Acedido a 25 de Outubro de 2013)
- Gupta**, C. K.; Krishnamurthy, N. (2005). *Extractive Metallurgy of Rare Earths*. Florida: CRC Press LLC. pp. 484: [http://vector.umd.edu/links_files/Extractive%20Metallurgy%20of%20Rare%20Earths%20\(Gupta\).pdf](http://vector.umd.edu/links_files/Extractive%20Metallurgy%20of%20Rare%20Earths%20(Gupta).pdf) (Acedido a 14 de Novembro de 2013)
- Humphries**, M. (2013). *Rare Earth Elements: The Global Supply Chain*. Congressional Research Service. Dezembro. pg. 27: <http://fas.org/sgp/crs/natsec/R41347.pdf>. (Acedido a 22 de Janeiro de 2014)
- Kahn**, H. (2010) PMI-2201: Técnicas de Caracterização de Materiais: *Difração de raios X*. USP – Escola Politécnica, São Paulo. http://www.angelfire.com/crazy3/qfl2308/1_multipart_xF8FF_2_DIFRACAO.pdf. (Acedido a 28 de Novembro de 2013)
- Kestenbac**, H.J.; Bota, F. W.J. (1994) – *Microscopia eletrônica transmissão e varredura*. São Paulo: ABM. pp. 60: <http://www.pucrs.br/edipucrs/online/microscopia.pdf>. (Acedido a 5 de Novembro de 2013)
- Klein**, C; Dutrow, B (2012). *Manual de ciências dos minerais*. 23ª Edição. Porto Alegre. Bookman. pp. 27-51: <http://www.ebah.pt/content/ABAAAfnoQAI/manual-ciencia-dos-minerais-klein-dutrow>. (Acedido a 16 de Abril de 2014)
- Lima**, M. G. (2009). *Perfil da Mineração de Cromo*. Ministério de minas e energia (MME) – Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação mineral (SGM) http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P12_RT21_Perfil_da_Minerao_de_Cromo.pdf (Acedido a 17 de Setembro de 2014)
- Lima**, P. C. (2012). *Terras- Raras: elementos estratégicos para o Brasil*. Câmara dos Deputados - Consultoria Legislativa. Estudo Fevereiro/2012. pp: 24. <http://www2.camara.leg.br/a->

- camara/altosestudos/temas/temas-2013-2014/terras-raras/EstudoMineraisEstratgicose TerrasRaras.pdf. (Acedido a 28 de Outubro de 2013)
- Long**, K.R., Van Gosen, B.S., Foley, N.K., and Cordier, Daniel (2010). *The principal rare earth elements deposits of the United States—A summary of domestic deposits and a global perspective*: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5220, 96 p.: <http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5220/>. (Acedido a 15 de Outubro de 2013)
- Maia**, A. (2001). *Balanço Mineral Brasileiro: Titânio*. Departamento Nacional de Produção Mineral. pp: 23. <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/titanio.pdf>. (Acedido a 22 de Setembro de 2014)
- Martins**, T. S.; Isolani, P. C. (2005). *Terras Raras: Aplicações industriais e biológicas*. Quim. Nova, Vol. 28, Nº. 1. pp. 111-117.
- Neto**, Arnaldo A.; Neumann, Reiner; Schneider, Claudio L. (2002) – *Caracterização tecnológica de minérios*, Tratamento de Minérios.CETEM. Cap.3, pp. 62 – 74. Dezembro.
- Oliveira**, Luiz C. M. (2000)– *XRF: X-Rays fluorescence spectroscopy*: <http://www.dsif.fee.unicamp.br/~furio/IE607A/XRF.pdf>. (Acedido a 23 de Janeiro de 2014)
- ONU**, 2004 - *Guiné : pays aux ressources multiples, pays d'avenir*. Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel: <http://www.anouslaguinee.com/medias/files/guide-de-l-investisseur-en-guinee.pdf> (Acedido a 20 de Março de 2014)
- Pita**, Fernando A. G (2004). *Apontamentos da disciplina Concentração e Diagramas*. Departamento Ciências da Terra – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Pratas**, João A. M. S. (1997). *Apontamentos da disciplina Depósitos Minerais: Exame de minerais em grão*. Departamento Ciências da Terra – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. pp. 88.
- Reed**, S. J. B. (2005) – *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. Cambridge University Press. pp. 216.
- Santos**, Juarez F. (2010). Perfil do Titânio. Ministério de minas e energia (MME) – Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação mineral (SGM) http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P16_RT36Perfil_do_Titxnio.pdf (Acedido a 27 de Setembro de 2014)
- Schuler**, D. et al. (2011). *Study on rare earths and their recycling*. Final Report for the Greens/EFA Group in the European Parliament. Öko-Institut eV Darmstadt. pp: 140. <http://www.oeko.de/oekodoc/1112/2011-003-en.pdf>. (Acedido a 12 de Dezembro de 2013)
- Sturari**, Raul J. A. (2012). *Terras-Raras Brasileiras: perspectivas de uma nova era*. pp:44. http://www.eme.eb.mil.br/ceeex/public/arquivos/nep2012/NEP_CEEEx_Raul_Sturari_2012.pdf (Acedido a 27 de Dezembro de 2013)
- Tse**, Pui-Kwan. (2011). *China's Rare-Earth Industry*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2011–1042, 11 p.: <http://pubs.usgs.gov/of/2011/1042/of2011-1042.pdf>. (Acedido a 27 de Outubro de 2013)
- Viera**, E. V., Lins, F. F. (1997). *Concentração de Minérios de Terras-raras: uma revisão*. Série Tecnologia Mineral n.73 (p. 51). Rio de Janeiro: CETEM.

Wilburn, D.R. (2012), *Byproduct metals and rare-earth elements used in the production of light-emitting diodes—Overview of principal sources of supply and material requirements for selected markets*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2012–5215, 15 p.: <http://pubs.usgs.gov/sir/2012/5215/>. (Acedido a 2 de Fevereiro de 2014)

Sítios consultados

Mogenet, Luc – <http://www.guineeconakry.info/> (Acedido a 20 de Março de 2014)

Sadalmelik, (2007) - <http://commons.wikimedia.org/wiki/User:Sadalmelik> (Acedido a 23 de Abril de 2014)

USGS (2013) – http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/index.html (Acedido a 20 de Outubro de 2013)

<http://www.ikuska.com/> (Acedido a 12 de Dezembro de 2013)

www.tabelaperiodicacompleta.com (13 de Outubro de 2013)

<http://www.srp-guinee.org> (20 de Março de 2014)

<http://mines.acp.int> (6 de Abril de 2014)

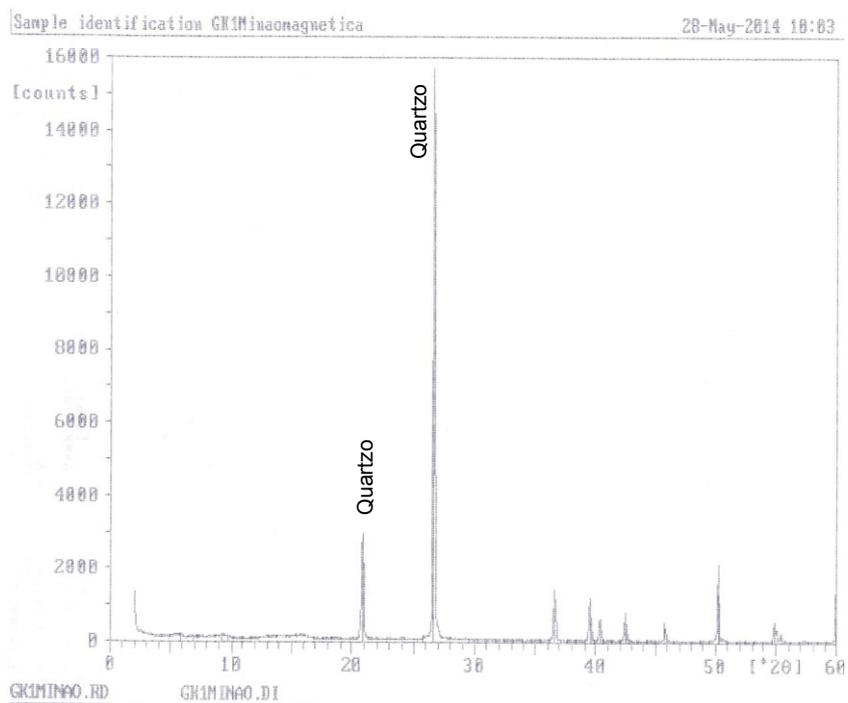
<http://www.ncl.ac.uk/acma/services/electron/semhitachi.htm> (8 de Janeiro de 2014)

<http://www.sgfrantz.com/lab1.htm> (8 de Agosto de 2014)

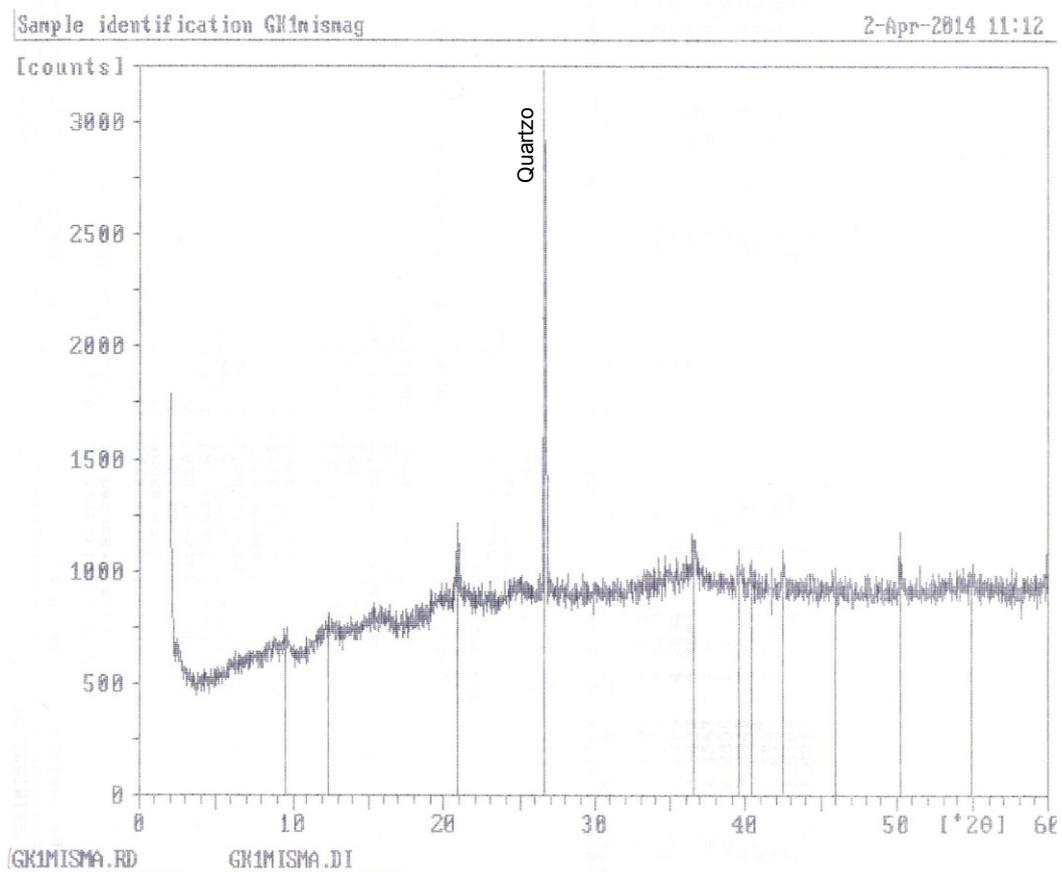
<http://www.mindat.org/> (15 de Fevereiro de 2014)

Anexos

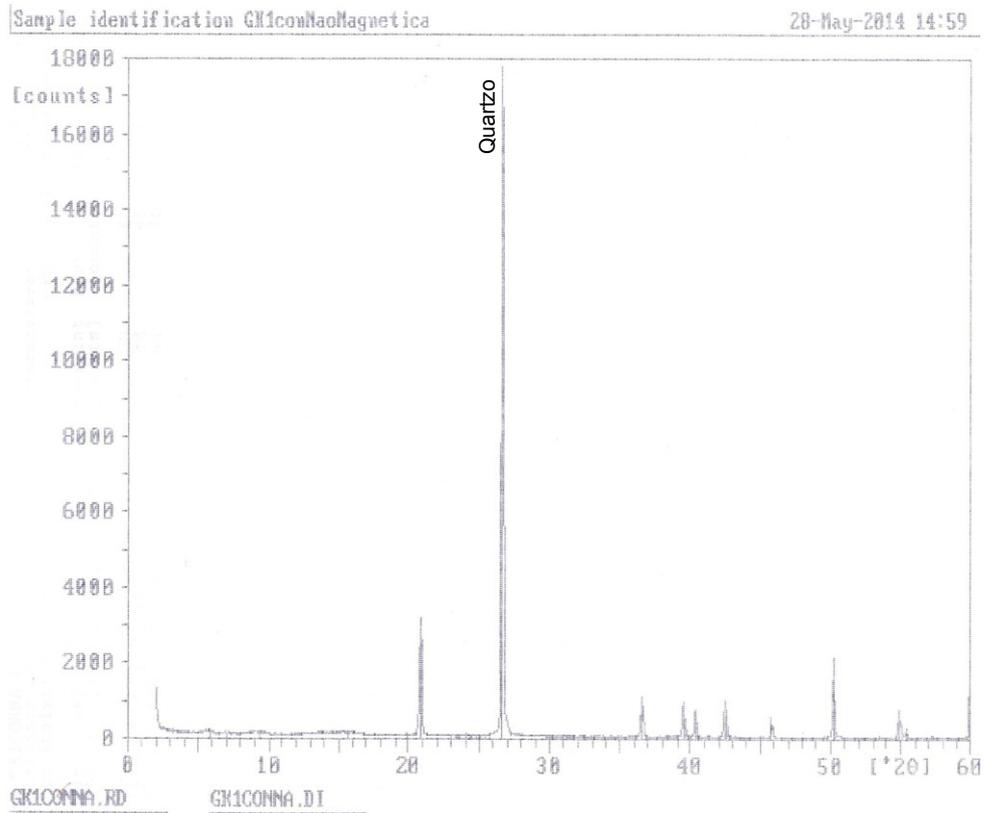
Anexo 1 – Difratoograma Gk1Misto Não Magnético



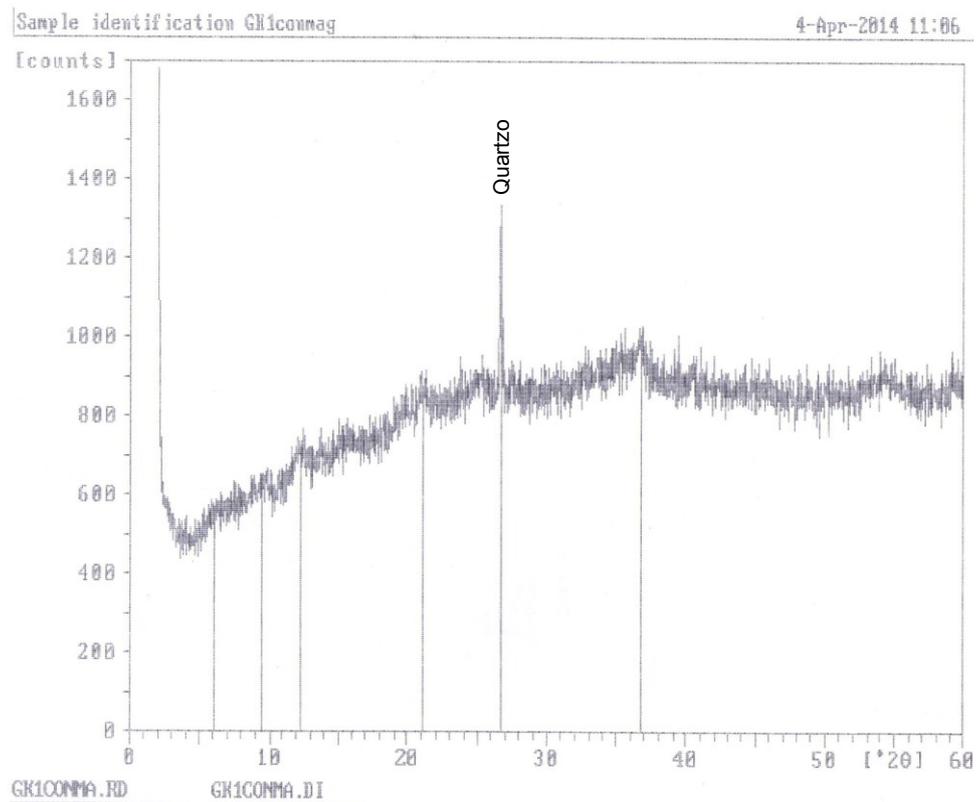
Anexo 2 – Difratoograma Gk1Misto Magnético



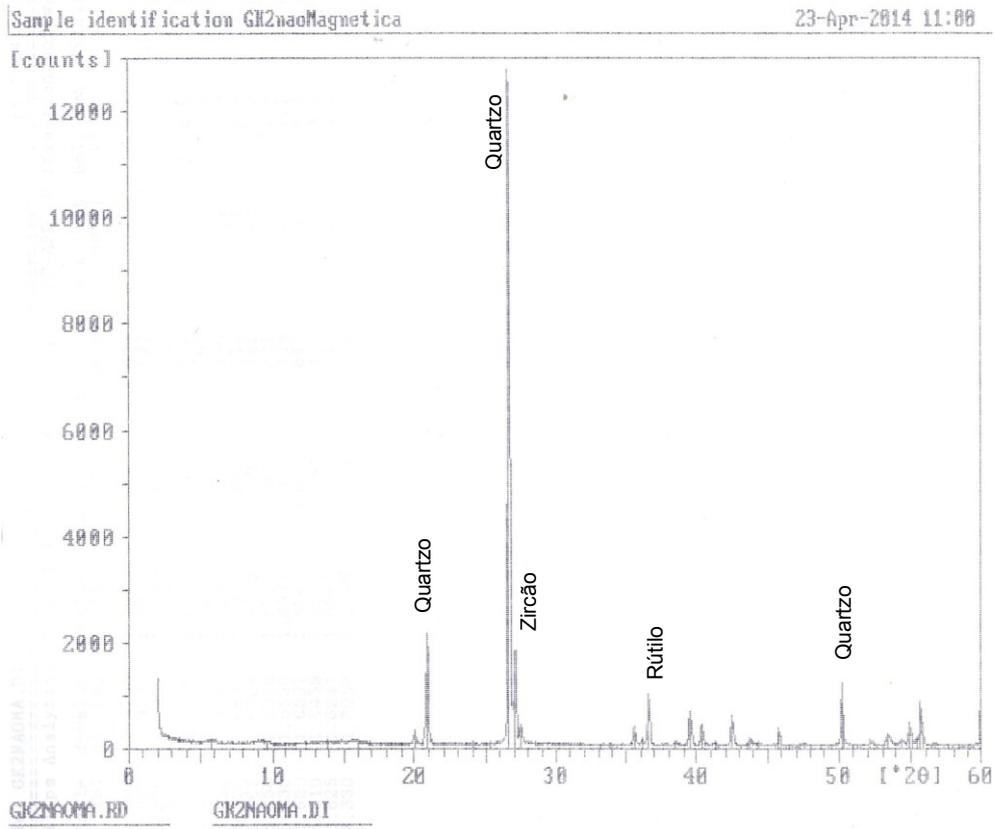
Anexo 3 – Difratoograma Gk1Concentrado Não Magnético



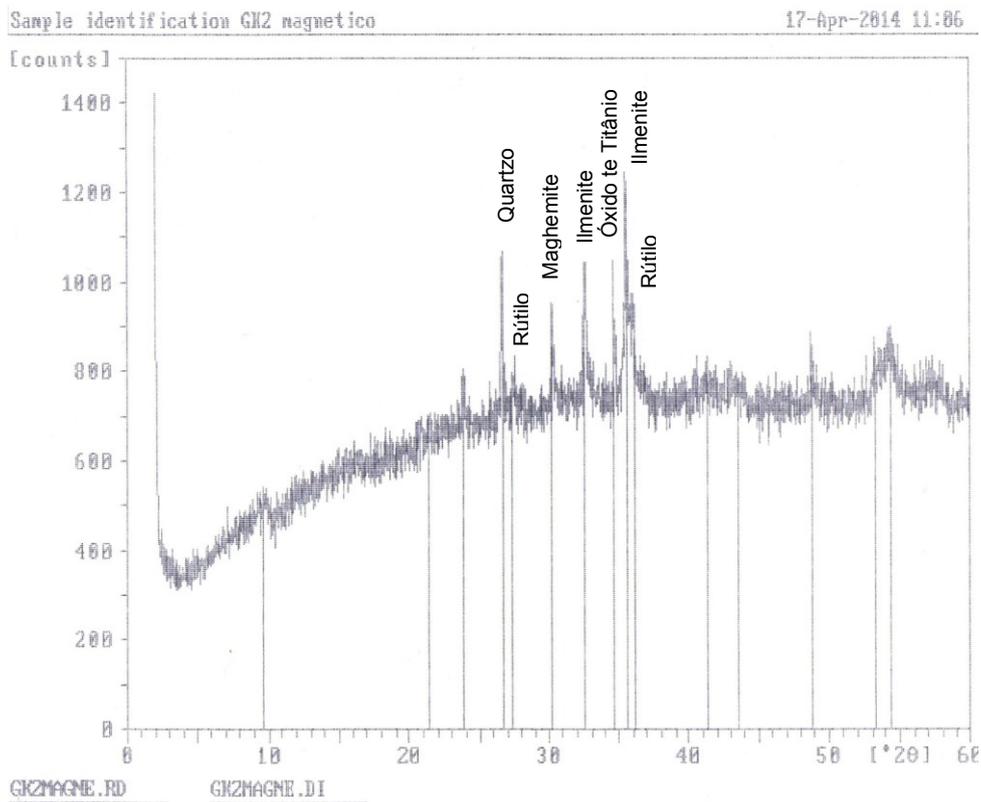
Anexo 4 – Difratoograma Gk1Concentrado Magnético



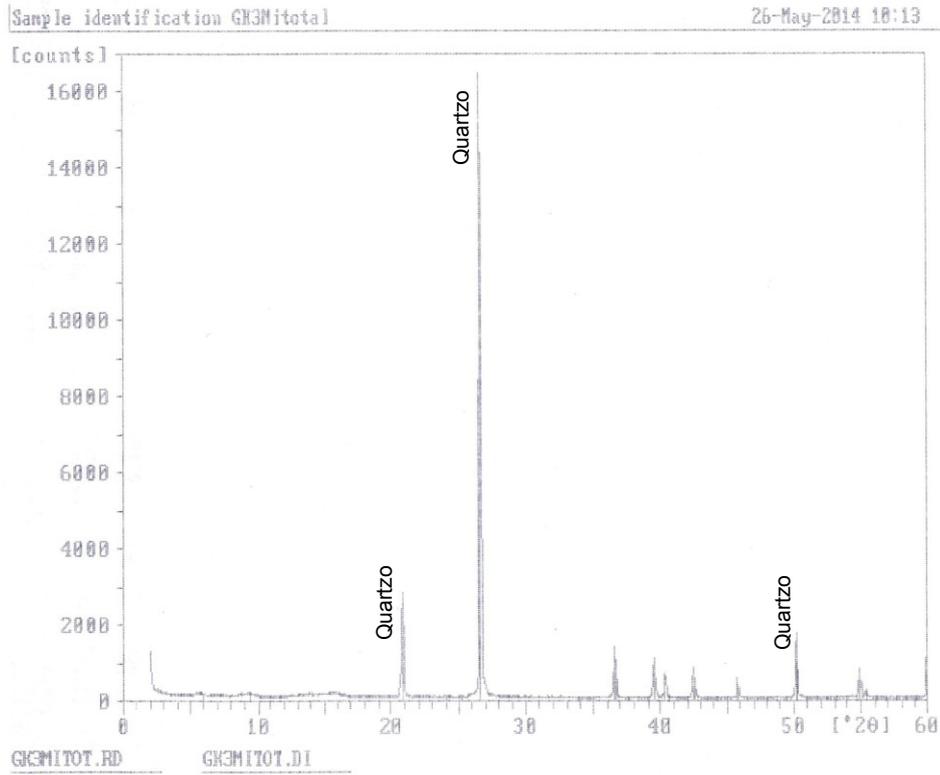
Anexo 5 – Difratoograma Gk2 Não Magnético



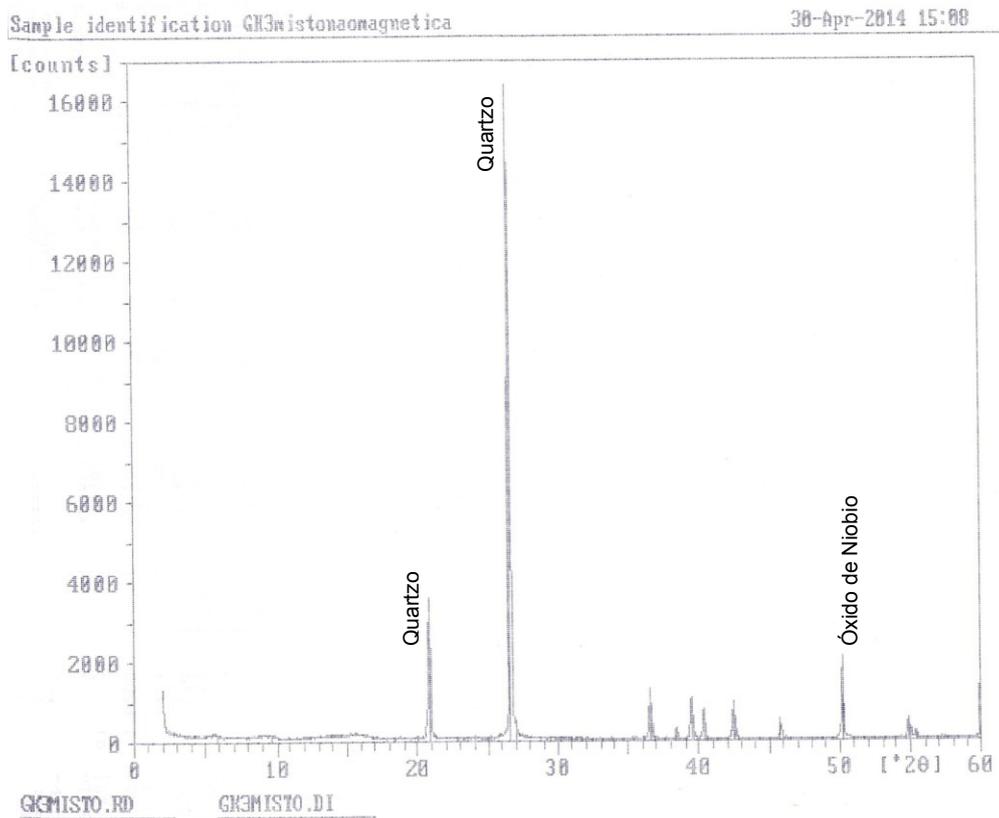
Anexo 6 – Difratoograma Gk2 Magnético



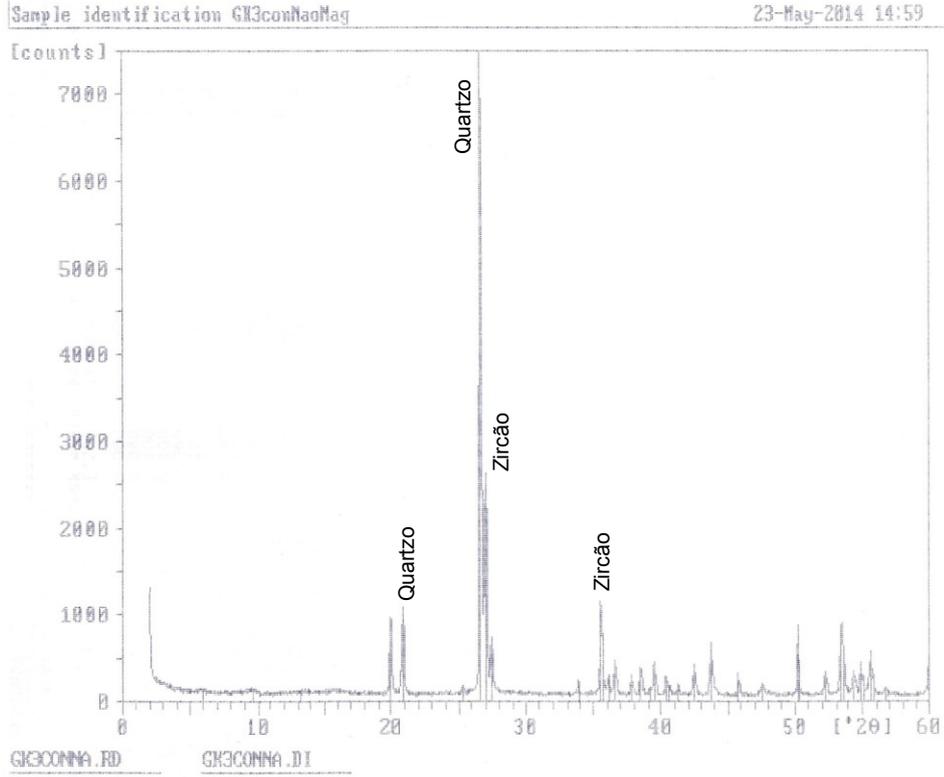
Anexo 7 – Difratoograma Gk3 Misto Total



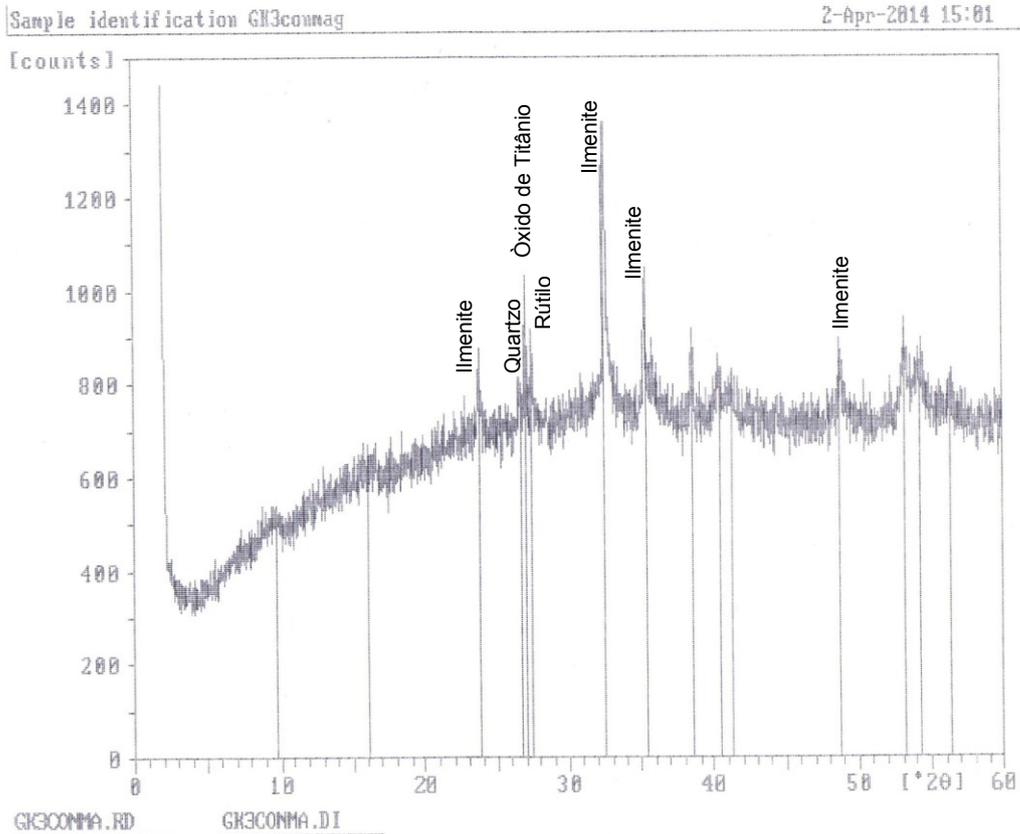
Anexo 8 – Difratoograma Gk3 Misto Não Magnético



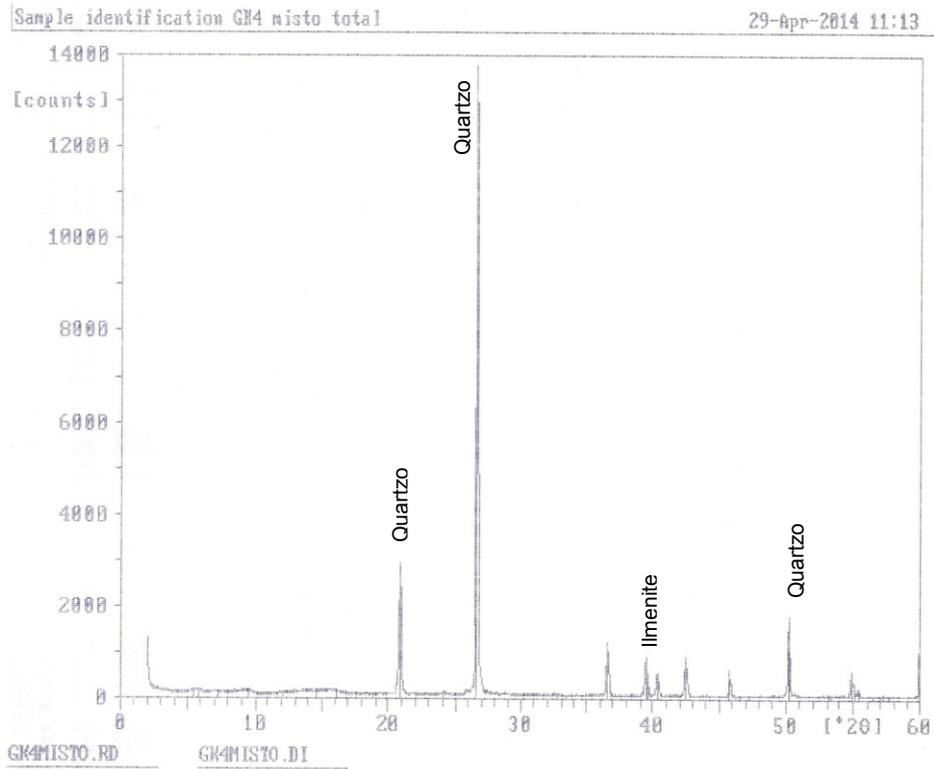
Anexo 9 – Difratoograma Gk3 Concentrado Não Magnético



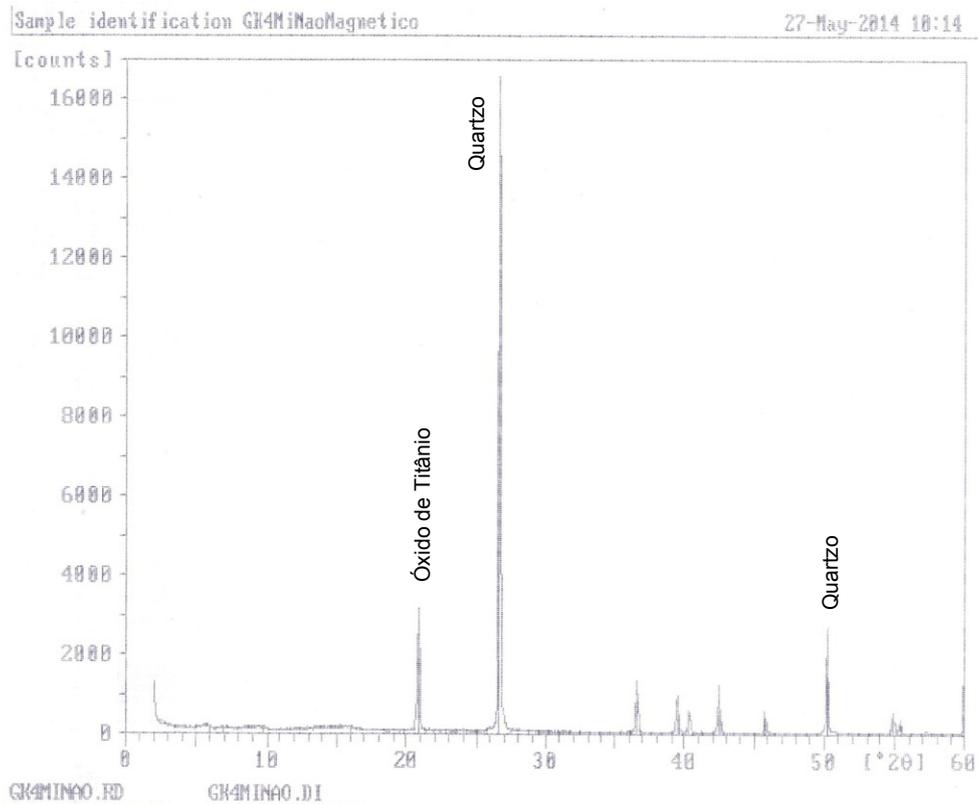
Anexo 10 – Difratoograma Gk3 Concentrado Magnético



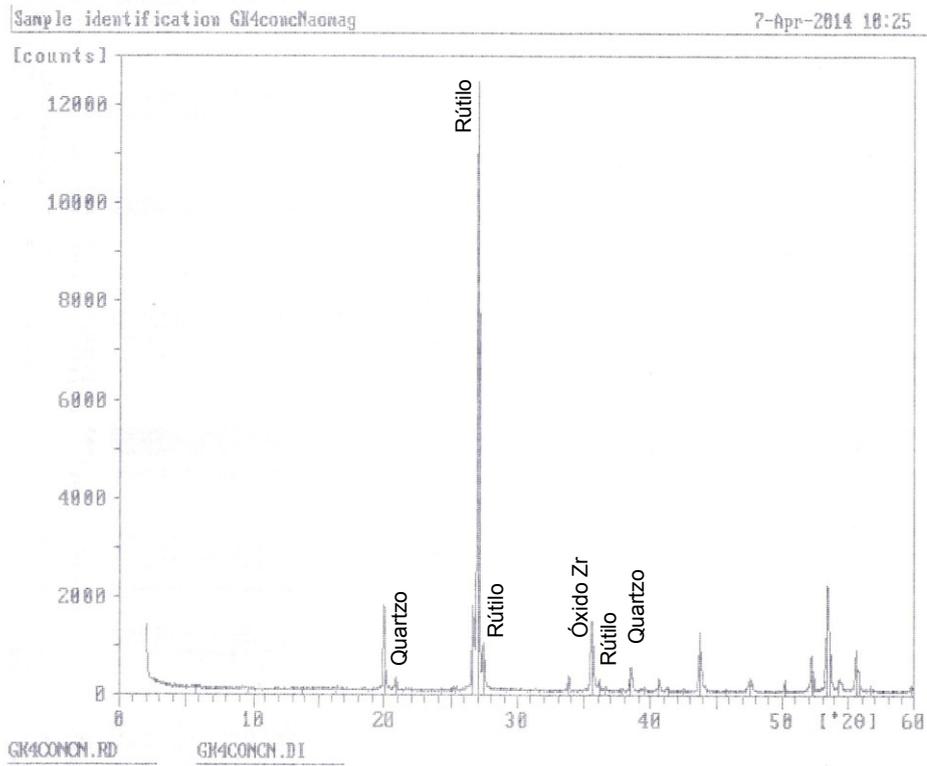
Anexo 11 – Difratoograma Gk4 Misto Total



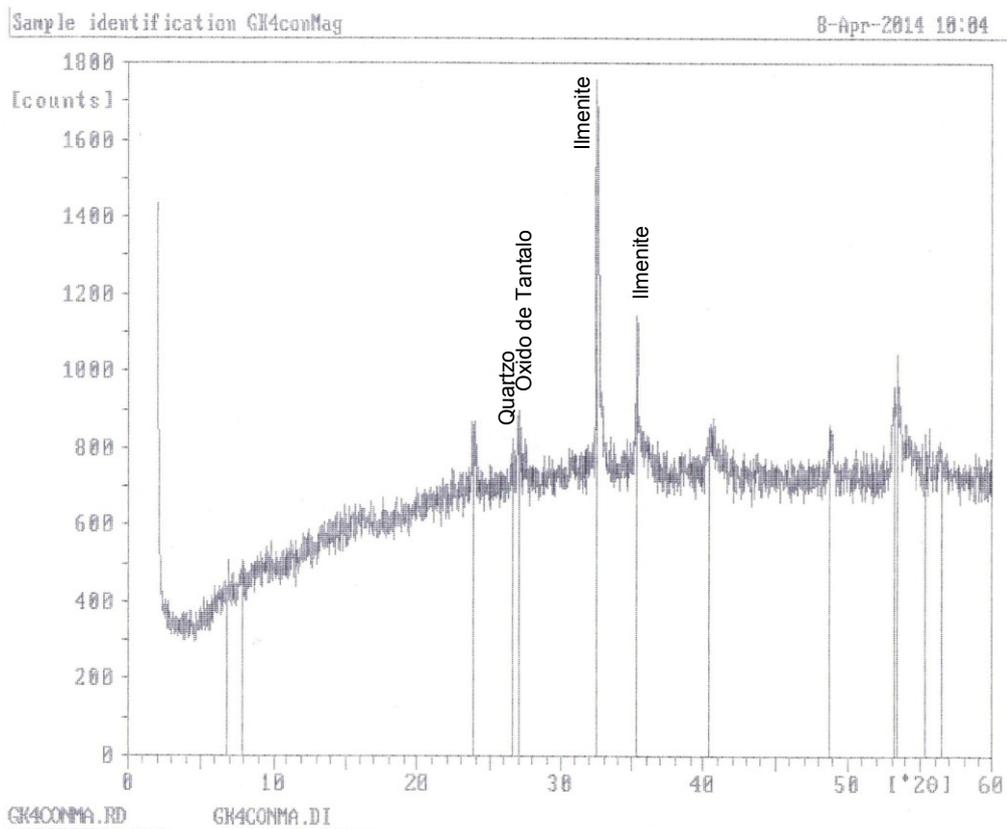
Anexo 12 – Difratoograma Gk4 Misto Não Magnético



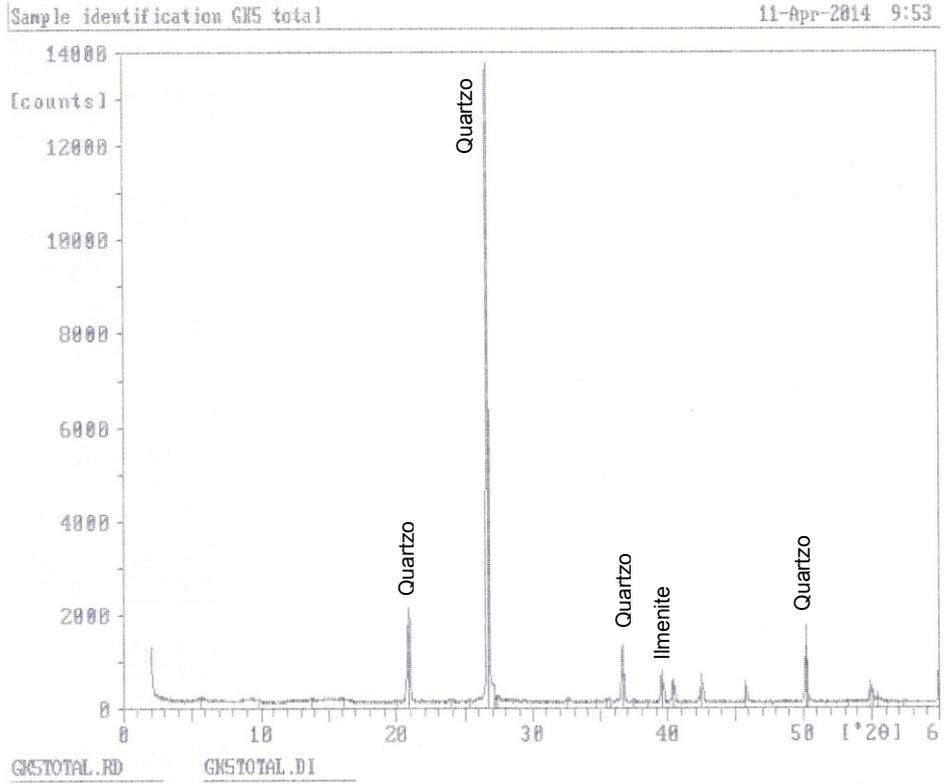
Anexo 13 – Difratoograma Gk4 Concentrado Não Magnético



Anexo 14 – Difratoograma Gk4 Concentrado Magnético



Anexo 15 – Difratoograma Gk5 Total



Anexo 16 – Difratoograma Gk6 Total

