

JULIÁN ANDRÉS MÉNDEZ GARCÉS

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE
DEPÓSITOS DE CROMITA DA PROVINCIA DE
CAMAGÜEY, REPÚBLICA DE CUBA**

**Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de
Mestre em Engenharia**

**SÃO PAULO
2000**

101 94 101
00/00/00

*À memória de meu pai Félix, a minha mãe
Georgina, a meu irmã Murcia, a meus filhos
Beatriz e Julián, a meu neto, ao pequeno
Marcos, a meus seres queridos que foram com
seu apoio invisível co-autores deste trabalho*

101 94 101
00/00/00



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

TERMO DE JULGAMENTO
DE
DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos 14 dias do mês de junho de 2000, às 14:00 horas, no Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, presente a Comissão Julgadora, integrada pelos Senhores Professores Doutores Henrique Kahn, orientador do candidato, Helmut Born e Lilia Mascarenhas Sant'Agostino iniciou-se a Defesa de Dissertação de Mestrado do Sr. **JULIÁN ANDRÉS MÉNDEZ GARCÉS**.

Título da Dissertação: "CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE DEPÓSITOS DE CROMITA DA PROVINCIA DE CAMAGÜEY, REPÚBLICA DE CUBA".

Concluída a argüição, procedeu-se ao julgamento na forma regulamentar, tendo a Comissão Julgadora considerado o candidato

- Prof.Dr. Henrique Kahn..... (APROVADO)
- Prof.Dr. Helmut Born..... (APROVADO)
- Profa.Dra.Lilia Mascarenhas Sant'Agostino.. (APROVADO)

Para constar, é lavrado o presente termo, que vai assinado pela Comissão Julgadora e pela Secretária de Pós-Graduação.

São Paulo, 14 de junho de 2000.

A COMISSÃO JULGADORA

Henrique Kahn
Helmut Born
Lilia Sant'Agostino

Secretária: Elisabete Ap. F. S. Ramos Elisabete Ramos
Obs: Resolução 4476, de 17.09.1997 Altera dispositivos do Regimento Geral da USP Art.109 - Imediatamente após o encerramento da argüição da dissertação ou da tese cada examinador expressará seu julgamento em sessão secreta, considerando o candidato aprovado ou reprovado.

Homologado pela C.P.G. em reunião realizada a 28/08/2000.

110p.

BC

JULIÁN ANDRÉS MÉNDEZ GARCÉS

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE
DEPÓSITOS DE CROMITA DA PROVINCIA DE
CAMAGÜEY, REPÚBLICA DE CUBA**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Engenharia**

**Área de Concentração:
Engenharia Mineral**

**Orientador:
Prof. Dr. Henrique Kahn**

SÃO PAULO

2000

Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Dr. Henrique Kahn pelo grande incentivo, paciência e solidariedade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, que financiou a pesquisa cujos frutos são apresentados nesta dissertação.

À geóloga, mestre e colega de pós-graduação Yara Kulaif pela sua solidariedade amiga, pela imensa paciência na leitura meticulosa para o melhoramento do texto.

À Maria Cristina Martines Bonesio, bibliotecária do Departamento de Engenharia de Minas da EPUSP, pela amizade, apoio e revisão da bibliografia.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Minas, por sua atenção, valiosas sugestões e amizade.

Aos professores da Banca de Qualificação Prof. Dr. Helmut Born e Prof. Dr. Homero Delboni Junior por suas valiosas críticas e sugestões.

Ao Dr. Carbeny Capote Marrero, pesquisador do Instituto de Geologia e Paleontologia de Cuba, por sua grande amizade e apoio, tanto na confecção do projeto original, como pela revisão e sugestões ao texto da qualificação.

Aos engenheiros e pesquisadores Eugenio Escobar Loret de Mola e Ruben González Pontón, da Empresa Geominera de Camagüey., pela *inapreciable* ajuda, apoio e fornecimento de dados inéditos de suas pesquisas, assim como sugestões e recomendações.

Ao pesquisador Dr. Manuel Iturralde Vinent, do Museo de Historia Natural de Cuba, por suas sugestões e recomendações sobre o texto e informação geológica.

Aos colegas e amigos da Empresa Geologo-minera de Camagüey, por sua solidariedade e ajuda.

Ao coletivo de cubanos da USP, em especial, aos da Engenharia de Minas, por seu constante apoio e incentivo.

Aos profissionais e técnicos do Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas da EPUSP, por seu grande apoio e ajuda.

Aos trabalhadores do área de preparação de amostras pua ajuda e sugestões na utilização dos equipamentos durante a preparação das amostras.

Aos colegas de pós-graduação, provenientes de varias instituições e países, pela amizade e troca de conhecimentos.

	pag.
Sumário	i
Índice de Tabelas	iii
Índice de Figuras	v
Índice de Fotografias	vii
Resumo	ix
Abstract	x

Sumário

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Características mineralógicas dos espinélios de cromo	3
2.2. Depósitos de cromita e sua classificação geológica.....	5
2.3. Síntese da geologia de Cuba	7
2.4.1. Geologia regional	9
2.4.2. Histórico dos trabalhos de prospecção e pesquisa de cromo em Cuba.....	10
2.4.3. Geologia dos depósitos de cromo da província de Camagüey	13
2.4.4. Estrutura e morfologia dos corpos mineralizados	16
2.4.5. Situação e caráter das intercalações estéreis nos corpos mineralizados	17
2.5. Classificação dos minérios de cromo	18
2.6 Beneficiamento de minérios de cromita	19
2.7. Usos e aplicações de concentrados de cromita.....	21
2.7.1. Aplicações metalúrgicas.....	22
2.7.2. Aplicações na indústria química.....	22
2.7.3. Aplicações na indústria de refratários	22
2.8. Metodologias de caracterização de minérios de cromita.....	23
3. MÉTODOS	26
3.1 Critérios de amostragem	26
3.2 Métodos de caracterização das amostras.....	27
3.2.1 Análise textural	27
3.2.2 Preparação das amostras.....	28
3.2.3 Separações minerais	31
3.2.3.1. Separação em líquidos densos.....	31

3.2.3.2. Separação magnética.....	31
3.2.4 Análises químicas.....	32
3.2.5. Preparação das amostras para as análises químicas.....	32
3.2.6. Análises por espectrometria de fluorescência de raios x	32
3.2.7. Análises por difração de raios X	34
3.2.8. Avaliação das formas de associação da cromita.....	35
4. RESULTADOS OBTIDOS	36
4.1. Amostragem.....	36
4.1.1. Zona "Camagüey – Desprecio – Virtudes”.....	36
4.1.2. Zona "Mamina”.....	41
4.1.3. Zona "Victoria”	42
4.2. Composição química das amostras estudadas.....	44
4.3. Análise textural por microscopia óptica e eletrônica de varredura	45
4.3.1. Microscopia óptica	45
4.3.2. Microscopia eletrônica de varredura e microanálise	47
4.4. Análises granulométricas	58
4.5. Separações minerais.....	64
4.5.1. Separações magnéticas	64
4.5.2. Separações em líquidos densos	73
4.5.3. Composição mineralógica.....	82
4.5.4. Avaliação das formas de associação da cromita.....	89
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES.....	96
5.1. Conclusões dos estudos de caracterização	96
5.2. Considerações para fins de beneficiamento mineral	98

Índice de Tabelas

	pag.
Tabela 1 - Teores médios dos principais óxidos para as jazidas de Camagüey II, Mamina e Victoria.....	17
Tabela 2 - Especificações médias de concentrados de cromita refratária.....	19
Tabela 3 - Padrões internacionais utilizados nas curvas de calibração por FRX.....	33
Tabela 4 - Avaliação dos resultados das análises químicas da jazida "Camagüey II"	40
Tabela 5 - Avaliação dos resultados das análises químicas da jazida "Mamina"	42
Tabela 6 - Avaliação dos resultados das análises químicas da jazida "Victoria I"	44
Tabela 7 - Composição química das amostras estudadas.....	44
Tabela 8 - Comparação entre teores médios das jazidas e das amostras coletadas.....	45
Tabela 9 - Resultados das análises químicas pontuais de cromita por EDS, nas regiões homogêneas.....	56
Tabela 10 - Resultados das análises químicas pontuais de cromita por EDS, nas zonas de difusão	57
Tabela 11 - Amostra de Camagüey I: resultados da análise granulométrica	60
Tabela 12 - Amostra de Camagüey II: resultados da análise granulométrica.....	60
Tabela 13 - Amostra de Mamina: resultados da análise granulométrica	61
Tabela 14 - Amostra de Victoria: resultados da análise granulométrica	61
Tabela 15 - Resultados de separações magnéticas para as frações -0,210 +0,149mm das amostras estudadas (Frantz LB-1).....	68
Tabela 16 - Amostra Camagüey I : resultados de separações em líquido denso ($d=3,32\text{g/cm}^3$).....	75
Tabela 17 - Amostra Camagüey II : resultados de separações em líquido denso ($d=3,32\text{g/cm}^3$).....	76
Tabela 18 - Amostra Mamina : resultados de separações em líquido denso ($d=3,32\text{g/cm}^3$).....	77
Tabela 19 - Amostra Victoria : resultados de separações em líquido denso ($d=3,32\text{g/cm}^3$).....	78
Tabela 20 - Resultados obtidos para os produtos afundados (-0,590 +0,037mm).....	81
Tabela 21 - Composição mineralógica das amostras estudadas.....	89
Tabela 22 - Composição média da cromita homogênea através de análises ao MEV/EDS97	

Tabela 23 - Sumário das principais características das amostras estudadas	98
Tabela 24 - Teores estimados dos principais produtos finais	99

Índice de Figuras

	pag.
Figura 1 - Diagrama de composição química (Mg, Fe, Al, Cr, Ti) do grupo dos espinélios (STOWE, 1987b)	4
Figura 2 - Mapa das distribuição das ocorrências dos ofiolitos em Cuba. ITURRALDE-VINENT et al.(1996)	8
Figura 3 - Mapa geológico e seção transversal dos ofiolitos do área dos ofiolitos da província de Camagüey (ITURRALDE-VINENT et al.. 1989).....	15
Figura 4 - Fluxograma da preparação das amostras.....	30
Figura 5 - Perfil com as frentes de lavra na zona de Camagüey-Desprecio-Virtudes	38
Figura 6 - Perfil geológico da jazida Mamina.....	41
Figura 7 - Perfil geológico da jazida Victoria.....	43
Figura 8 - Peneiramento a úmido – gráficos de distribuição acumulada	59
Figura 9 - Amostras Camagüey I e Camagüey II - resultados de distribuição acumulada dos óxidos mais relevantes.....	62
Figura 10 - Amostras Mamina e Victoria - resultados de distribuição acumulada dos óxidos mais relevantes	63
Figura 11 - Amostras de Camagüey I e Camagüey II - resultados de distribuição em massa nos ensaios de separação magnética.....	65
Figura 12 - Amostras de Mamina e Victoria - resultados de distribuição em massa nos ensaios de separação magnética.	66
Figura 13 - Amostra de Camagüey I. Curvas de separabilidade magnética – resultados e distribuição acumulada para os produtos magnéticos	69
Figura 14 - Amostra Camagüey II. Curvas de separabilidade magnética – resultados e distribuição acumulada para os produtos magnéticos	70
Figura 15 - Amostra Mamina. Curvas de separabilidade magnética – resultados e distribuição acumulada para os produtos magnéticos	71
Figura 16 - Amostra Victoria. Curvas de separabilidade magnética – resultados e distribuição acumulada para os produtos magnéticos.	72
Figura 17 - Resultados de distribuição em massa nos ensaios de separação em líquidos densos.....	74

Figura 18 - Resultados de distribuição de Cr_2O_3 para os afundados nos ensaios de separação em líquido denso	79
Figura 19 - Resultados de distribuição de MgO para os afundados nos ensaios de separação em líquido denso	79
Figura 20 - Resultados de distribuição de SiO_2 para os afundados nos ensaios de separação em líquido denso	80
Figura 21 - Resultados de distribuição de CaO para os afundados nos ensaios de separação em líquido denso.	80
Figura 22 - Amostra de Camagüey I. Difrátogramas dos produtos flutuados e afundados obtidos na separação em meio denso ($d > 3,3\text{g/cm}^3$)	83
Figura 23 - Amostra de Camagüey II. Difrátogramas dos produtos flutuados e afundados obtidos na separação em meio denso ($d > 3,3\text{g/cm}^3$)	83
Figura 24 - Amostra de Mamina. Difrátogramas dos produtos flutuados e afundados obtidos na separação em meio denso ($>3,3\text{g/cm}^3$)	84
Figura 25 - Amostra de Victória. Difrátogramas dos produtos flutuados e afundados obtidos na separação em meio denso ($d > 3,3\text{g/cm}^3$)	84
Figura 26 - Jazida de Camagüey I. Difrátogramas dos produtos obtidos na separação magnética em Frantz	86
Figura 27 - Jazida de Camagüey II. Difrátogramas dos produtos obtidos na separação magnética em Frantz	86
Figura 28 - Jazida de Mamina. Difrátogramas dos produtos obtidos na separação magnética em Frantz	87
Figura 29 - Amostra de Victoria. Difrátogramas dos produtos obtidos na separação magnética em Frantz	87

Índice de Fotografias

	pag.
Foto 1 - Fotografia aérea da região das jazidas de Camagüey I e Camagüey II.....	37
Foto 2 - Área de amostragem na jazida de Camagüey I – cava central	39
Foto 3 - Área de amostragem na jazida Camagüey I – cava leste.....	39
Foto 4 - Local de amostragem na jazida Camagüey II.....	40
Foto 5 - Vista da cava da zona "Victoria".....	43
Foto 6 - Aspectos texturais das amostras estudadas. Cromita com textura maciça a compacta, apresentando intensidade variável de fraturamento; granulação de fina a média (0,3 a 0,6mm). Agregados angulosos com textura porfiroclástica	47
Foto 7 - Amostra de Camagüey I. Zonas de fraturas em cromita preenchidas por silicatos de magnésio, essencialmente serpentina, associadas ocasionalmente a cromo. Observa-se a mudança da tonalidade nas bordas de contato com a serpentina, onde se tem um incremento do teor de Cr_2O_3	48
Foto 8 - Amostra de Camagüey I. Serpentina/clorita intersticial com dolomita associada; nota-se a presença de inclusões idiomórficas micrométricas de magnetita associadas à dolomita.	49
Foto 9 - Amostra Camagüey II. Visão geral do minério apresentando intenso grau de fraturamento. À direita apresenta-se um detalhe da textura do mesmo.....	50
Foto 10 - Amostra de Camagüey II. Zona de contato com silicatos de magnésio onde se pode visualizar a textura, assim como as mudanças de tonalidade da cinza da cromita (detetor de BSE).....	51
Foto 11 - Textura do minério cromitífero de Mamina observada no MEV (imagem BSD) evidenciando difusão de Cr no contato cromita/silicatos.....	52
Foto 12 - Amostra do minério de Victoria (imagem BSD) onde observam-se mudanças das tonalidades de cinza da cromita. Um grão de ilmenita dentro da massa intersticial de silicatos	53
Foto 13 - Amostra Mamina - zonas de fraturamento e contato, onde podem ser apreciadas claramente as diferenças de tonalidades de cinza (imagem BSD), devidas a diferenças de composição química da cromita (porções mais claras são mais ricas em Cr).....	54

- Foto 14 - Amostra de Mamina – feições apresentadas pela cromita (imagem BSD), zonas de fraturamento, assim como zonas de contato com mudanças de tonalidades de cinza, cinza enriquecidas em Cr. 55
- Foto 15 - Amostra de Camagüey II ($d > 3,3\text{g/cm}^3$). Imagem do mapeamento de raios X efetuado para o Si em cor verde claro. Observa-se que há uma sobreposição desde elemento em relação à cromita (cinza escuro) 91
- Foto 16 - Amostra de Camagüey I ($d > 3,3\text{g/cm}^3$). Visão geral e de detalhe de grãos de cromita evidenciando o seu fraturamento, assim como o preenchimento das microfraturas por silicatos de magnésio 92
- Foto 17 - Amostra de Camagüey II ($d > 3,3\text{g/cm}^3$). Idem anterior, porém com maior intensidade de fraturamento 93
- Foto 18 - Amostra de Mamina ($d > 3,3\text{g/cm}^3$). Comportamento semelhante ao das amostras de Camagüey I e II, porém com menor intensidade de fraturamento. Algumas partículas representam grãos mistos típicos..... 94
- Foto 19 - Amostra de Victoria ($d > 3,3\text{g/cm}^3$). Idem anterior, evidenciando uma intensidade de fraturamento superior a da jazida de Mamina e inferior a Camagüey I e II. 95

Resumo

O presente trabalho apresenta o estudo de características mineralógicas e tecnológicas dos minérios de cromita podiforme das principais jazidas localizadas na Província de Camagüey, na República de Cuba.

Inicialmente é apresentada uma revisão bibliográfica enfocando a geologia dos depósitos de cromita da Província de Camagüey, a mineralogia dos espinélios de cromo e os principais usos e especificações de cromita, bem como a caracterização e o processamento mineral de minérios de cromita.

Amostras dos quatro principais depósitos da Província foram objeto de amostragem para estudos de caracterização mineralógica e tecnológica - Camagüey I, Camagüey II, Mamina e Victoria.

Estas amostras foram processadas de forma padronizada de modo que os resultados obtidos pudessem ser comparados entre si. Este roteiro compreendeu a análise textural, seguido de operações de cominuição, classificação granulométrica por peneiramento e separações minerais por líquido denso e em separador magnético Frantz, além de observações ao microscópio eletrônico de varredura de lâminas polidas referente a montagem de grãos.

Os produtos obtidos durante as etapas do processo de pesquisa foram avaliados, tanto do ponto de vista de seu comportamento físico quanto de suas características químicas e estruturais. Análises químicas foram realizadas através da técnica de fluorescência de raios X e os estudos mineralógicos pela conjugação de difratometria de raios X e técnicas de microscopia óptica e eletrônica de varredura.

Verificou-se que as amostras estudadas apresentam-se bastante fraturadas por processos tectônicos, com intensidade variável de depósito para depósito, estando parcela expressiva dos minerais de ganga (serpentina, clorita e dolomita) associados às zonas de microfraturamento da cromita. Separação física, essencialmente por densidade, permite uma remoção parcial dos minerais de ganga, sendo os teores dos produtos finais bastante semelhantes para as amostras dos quatro depósitos estudados: 35% Cr₂O₃, 29% Al₂O₃, 16% Fe₂O₃, 16,5%-17,5%MgO, 1,4%-2,3%SiO₂ e 0,2%-0,8% CaO.

Abstract

This work presents the results of the mineralogical and technological characterization studies of the major podiform chromite ore deposits from the Camagüey Province, Republic of Cuba.

Firstly are shown a review of the geology of the chromite deposits from Camagüey Province, the chromium spinels mineralogy and the major uses and specifications of chromite concentrates, as well as applied mineralogical and mineral dressing studies of chromite ores.

Samples from the four major deposits were collected for mineralogical and technological studies - Camagüey I, Camagüey II, Mamina e Victoria.

These samples were processed in the laboratory through a standard procedure to allow a comparison of the results. It was applied a textural analysis by microscopy, followed by comminution, size screening and mineral separations by heavy liquid and Frantz magnetic separator. Scanning electron microscopy studies were performed on thin polished sections of particulate material.

The attained products were appraised, both from the point of view of their physical behavior as well as their chemical characteristics and internal structure. Chemical analyses were done by X-ray fluorescence technique and the mineralogical studies by X-ray diffraction coupled to optical microscopy and scanning electron microscopy/EDS.

The studied samples are highly fractured in different degree from one to another ore deposit due to the tectonical events. The gangue minerals – serpentine, chlorite and dolomite - are partly deeply associated to the chromite micro-fractures. A physical separation process, essentially by gravity methods, would allowed to remove substantial part of the gangue minerals; the final products will be very similar for all the studied ores, giving the following grades: 35% Cr₂O₃, 29% Al₂O₃, 16% Fe₂O₃, 16,5%-17,5%MgO, 1,4%-2,3%SiO₂ e 0,2%-0,8% CaO.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A atual situação econômica de Cuba determina uma reorientação do desenvolvimento de novos empreendimentos mineiros no país, em atenção às mudanças fundamentais nos planos de exportação e importação. Neste contexto, há a necessidade de uma reavaliação da economicidade das jazidas de cromita conhecidas.

Dispondo de reservas substanciais desse bem mineral, situadas numa região de desenvolvimento industrial e próximas a importantes portos, as jazidas de “Camagüey I”, “Camagüey II”, “Mamina” e “Victoria” constituem-se nas primeiras alternativas a serem consideradas.

Uma criteriosa reavaliação destes depósitos de cromita deverá possibilitar uma racionalização do aproveitamento das reservas existentes, com a provável elevação da produção de ferro-cromo em Cuba, assim como a eventual produção de tijolos refratários.

Para essa nova avaliação faz-se necessária, dentre outros aspectos, uma caracterização detalhada dos diferentes minérios cromíticos existentes.

Está evidente que o objetivo da caracterização é dado pela necessidade do conhecimento do minério, das alternativas de beneficiamento e especificações estabelecidas pela indústria, fatos estes definidos por uma gama de variáveis, as quais estão relacionadas à gênese da jazida, às características intrínsecas do minério, às alternativas dos processos de beneficiamento e às tecnologias disponíveis.

É imprescindível que se conheça a forma na qual o mineral de interesse se apresenta, quais são as impurezas associadas e o relacionamento entre estas, de forma a permitir a avaliação das possibilidades e os procedimentos para a sua separação física e, conseqüentemente, o seu beneficiamento.

Sendo assim, deve-se considerar a necessidade de se ter o maior conhecimento possível, ao mais baixo custo, dos seguintes aspectos:

- composição química do minério;
- composição mineralógica;

- composição química do mineral útil e, eventualmente, dos minerais de ganga;
- granulação dos minerais na amostra;
- formas de associação do mineral útil e seu grau de liberação.

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como meta a caracterização mineralógica e tecnológica do minério de cromita disseminada da região central de Cuba, a cromita podiforme, com baixo teor de Cr_2O_3 , incluindo-se aí o estabelecimento de uma metodologia de caracterização. Os resultados obtidos deverão ser colocados à disposição da Empresa Geólogo-Minera de Camagüey, pertencente ao Ministério da Indústria Básica de Cuba, no sentido de auxiliar na reavaliação dos depósitos de cromita da região de Camagüey.

Desta forma, os objetivos principais do presente trabalho compreenderam:

- estabelecer uma metodologia de caracterização apropriada para os minérios mais representativos da província de Camagüey;
- determinar a composição mineralógica e química, tanto dos componentes principais como dos secundários e traços presentes no minério;
- determinar as principais formas de associação e o grau de liberação da cromita;
- avaliar as características dos produtos possíveis de serem obtidos e suas respectivas características, bem como a recuperação metalúrgica;
- sugerir alternativas de beneficiamento para o minério de cromita podiforme.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Características mineralógicas dos espinélios de cromo

O mineral de cromita mais comum é o espinélio de cromo, o qual constitui um grupo de minerais típicos, com cristais de estrutura fechada, sistema cúbico, face centrada, com cátions ocupando os tetraedros e octaédros intersticiais.

BURNS & BURNS (1975) apresentam uma extensiva listagem dos minerais de cromita, incorporando os respectivos dados de estrutura e de sistemas cristalinos. A partir deste trabalho, verifica-se que, embora o cromo exiba em seus compostos químicos todos os estados de oxidação, desde Cr(I) até Cr(VI), os minerais de cromita são constituídos predominantemente pelos grupos iônicos Cr^{+3} e $[\text{Cr}^{+6}\text{O}_4]^{-2}$.

A grande maioria dos minerais contém íons Cr^{+3} em coordenação octaédrica com oxigênio. O raio iônico do Cr^{+3} , 0,615Å, se encontra entre os valores do Al^{+3} (0,53Å), do Fe^{+3} (0,645Å), do Ti^{+4} (0,68Å) e do Mg^{+2} (0,72Å). Como resultado, não somente existem muitos compostos e minerais com Cr(III) isoestruturais, com correspondentes fases de Al e Fe(III), mas os íons Cr^{+3} são facilmente substituídos por Al, Fe, Ti e Mg nas posições octaédricas, em uma grande variedade de minerais formadores de rochas.

A substituição predominante é a de Al^{+3} por Cr^{+3} , como verificada pela solução sólida completa na série espinélio-magnésio cromita. A substituição do Cr^{+3} por Fe^{+3} mostra-se limitada, por exemplo, em espinélios tais como a *ishkulita*, que são reportados como misturas de cromita e magnetita.

Já as substituições de Cr^{+3} por Mg^{+2} são bastante pobre e necessitam compensações de carga para a estabilidade elétrica da estrutura (substituição dupla ou por acoplamento).

A composição teórica da cromita, nos minerais do grupo dos espinélios, mostra-se de forma geral pela fórmula FeCr_2O_4 , (Fe^{+2}), que é somente uma representação aproximada, baseada nos estudos feitos em cromitas de meteoritos. A cromita, referindo-se mais exatamente à série isomórfica com solução sólida contínua pode ser representada pela fórmula geral $(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg})(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe}^{+3})_2 \text{O}_4$. Existe uma ampla variação de composição que pode ser ilustrada pelo fato de o Cr_2O_3 contido ocorrer em uma faixa

de 15% até 64% em peso, podendo a cromita teoricamente apresentar um conteúdo de até 67,9% de Cr_2O_3 . A composição dos espinélios pode ser observada em um diagrama apresentado em STOWE (1987b), onde a composição $(\text{Mg}, \text{Fe})^{+2}$ é representada ao longo dos eixos do prisma e $(\text{Al}, \text{Cr}, \text{Fe})^{+3}$ é localizada no fundo do prisma (Figura 1).

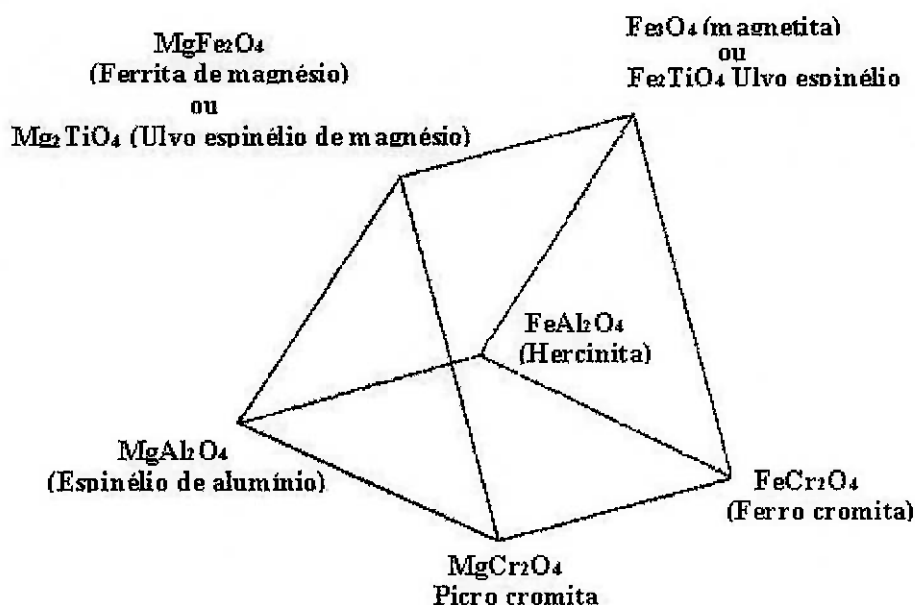


Figura 1 - Diagrama de composição química (Mg, Fe, Al, Cr, Ti) do grupo dos espinélios (STOWE, 1987b)

Conseqüentemente, as propriedades químicas e físicas da cromita de diferentes depósitos minerais, e até mesmo de depósitos semelhantes, podem ter uma variação apreciável

Uma discussão do grupo dos espinélios impõe-se para se ter uma melhor clareza da ampla faixa de variações de composição observadas nas cromitas estudadas em jazidas conhecidas.

A fórmula geral do grupo dos espinélios é representada por a fórmula AB_2X_4 , onde $\text{A} = \text{Mg}, \text{Fe}^{+2}, \text{Zn}, \text{Mn}$ e Ni ; $\text{B} = \text{Al}, \text{Cr}, \text{Fe}^{+3}, \text{Mn}^{+3}, \text{V}$ e Ti ; $\text{X} = \text{O}$. BROWN (1985) subdividiu este grupo em três séries minerais, cada uma contendo um número bem definido de variedades minerais e onde a mistura dos componentes é completa, embora entre as séries a mistura seja muito menor:

- série dos espinélios $[(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2}, \text{Zn}, \text{Mn})(\text{Al}, \text{Fe}^{+3}, \text{Cr}, \text{Mn}^{+3}, \text{V}, \text{Ti})_2\text{O}_4]$;
- série da magnetita $[(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg}, \text{Zn}, \text{Ni})(\text{Fe}^{+3}, \text{Al}, \text{Cr}, \text{Mn}^{+3}, \text{V})_2\text{O}_4]$;
- série da cromita $[(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg})(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe}^{+3})_2\text{O}_4]$

Os membros extremos de cada uma destas séries raramente são encontrados, o que indica que necessariamente cada jazida e minério constituem um caso mais ou menos especial e particular.

BROWN (1985) menciona, ainda, estudos que mostram que os espinélios raramente apresentam variações na posição B da fórmula geral e que as séries são incompatíveis com o quartzo.

2.2. Depósitos de cromita e sua classificação geológica

Segundo QUEIROZ (1986), do ponto de vista genético, dois tipos de complexos magmáticos de composição básica-ultrabásica e envolvendo tipos litológicos diversificados são citados na literatura geológica:

- complexo estratiforme - compreendendo ortopiroxenitos, harzburgitos, websteritos, noritos, anortositos, e às vezes, lherzolitos;
- complexo alpino - abrangendo dunitos, harzburgitos ou lherzolitos, olivina-gabros, gabros e, não muito freqüentes, noritos e anortositos.

Do ponto de vista metalogenético, morfológico e estrutural, estes complexos apresentam estruturas nitidamente distintas e diferenciadas, sendo elas resultantes ou do próprio processo de diferenciação e cristalização magmática, ou de perturbações posteriores motivadas por esforços tectônicos, sejam de natureza compressiva ou ruptural.

O complexo tipo alpino, tal como classificado por THAYER (1969) e JACKSON & THAYER (1972), apud QUEIROZ (1986), é considerado alogênico, já que os depósitos de cromita a ele relacionados seriam resultantes da diferenciação e segregação magmática fora da posição original de colocação do magma. O complexo tipo estratiforme, ou autigênico, também é oriundo do mesmo processo de diferenciação magmática, porém sem alteração do posicionamento tectono-estratigráfico primitivo.

Na ocorrência das jazidas de cromita no mundo, verifica-se um marcado predomínio nas associações com rochas ultramáficas; no entanto, é rara a sua presença relacionada aos componentes litológicos máficos superiores (gabros, noritos, anortositos), como é o exemplo do Complexo de Bushveld, África do Sul (QUEIROZ, 1986).

Direta e intrinsecamente relacionados com os complexos ígneos básico-ultrabásicos diferenciados dos tipos estratiforme e alpino, os depósitos de cromita também são comumente classificados, seguindo critérios genéticos e tectônicos, em estratiforme e podiforme, respectivamente.

Nos depósitos do tipo estratiforme, a cromita ocorre paralelamente ao acamamento, em intervalos estratigráficos bem definidos, podendo apresentar a forma de camadas regulares, com grande extensão e continuidade lateral razoável. Estas camadas têm uma espessura média da ordem de 2 a 3 metros, podendo variar em uma amplitude de frações de centímetros até, não raro, valores superiores a uma dezena de metros.

Cromitas estratiformes possuem, normalmente, teor de ferro elevado e teor variável de cromo, podendo ainda ocorrer associada à magnetita titanífera ou a sulfetos de níquel e platina; podem apresentar-se nas seguintes formas:

- compacta (cromita *lump*), também chamada de cromitito compacto;
- disseminada, com matriz predominante constituída por silicatos magnesianos, parcial ou totalmente alterados;
- friável ou ainda totalmente desagregada, formando os depósitos de areia de cromita (oriundos do retrabalhamento da mineralização primária)

Os depósitos classificados como do tipo podiforme, assim denominados em decorrência de seu caráter irregular e descontínuo, caracterizam-se pela grande variabilidade de formas dos jazimentos. São lentes de dimensões variadas, de distribuição errática e aleatória, cuja massa pode variar de menos de uma dezena até um milhão de toneladas, como é o caso da jazida de Coto, nas Filipinas.

Segundo THAYER (1969), apud QUEIROZ (1986), tais depósitos de cromita constituem partes fragmentadas de camadas do tipo estratiforme, deslocadas da sua

posição original e transferidas, através de esforços tectônicos, para outros níveis ou horizontes estratigráficos.

O minério de cromita, quer na forma maciça ou disseminada, ocorre tanto no limite peridotito-gabro, à semelhança dos depósitos estratiformes, como em qualquer outra posição do complexo, inclusive fora do domínio das encaixantes máfico-ultramáficas, a depender da ação tectônica a que foi submetido. Daí a grande variabilidade de tipos e formas de contatos entre minério e encaixantes.

2.3. Síntese da geologia de Cuba

Segundo ITURRALDE (1996), considera-se atualmente que o arquipélago de Cuba seja constituído por dois elementos estruturais principais: a faixa dobrada e a neoaútóctone.

A faixa dobrada subdivide-se em unidades continentais e oceânicas. As unidades continentais compreendem, por sua vez, a margem continental norte-americana, com seqüências platafórmicas, de talude e sopé, podendo-se inferir com segurança que pertenceram à margem caribenha de Iucatã e porções de terra firme correspondentes à península.

As unidades oceânicas são compostas por ofiolitos e arcos vulcânicos do Cretáceo e do Paleoceno-Eoceno Médio, cobertas por depósitos sedimentares com idades que vão desde o Cretáceo até o Eoceno Superior.

A faixa neoaútóctona é constituída por sedimentos pouco deformados do Eoceno Superior tardio até o Recente, que cobrem, discordantemente, todos os componentes da faixa dobrada.

Uma representação geral da geologia dos ofiolitos de Cuba pode ser observada na Figura 2, onde é destacada a região de Camagüey, objeto do presente estudo.

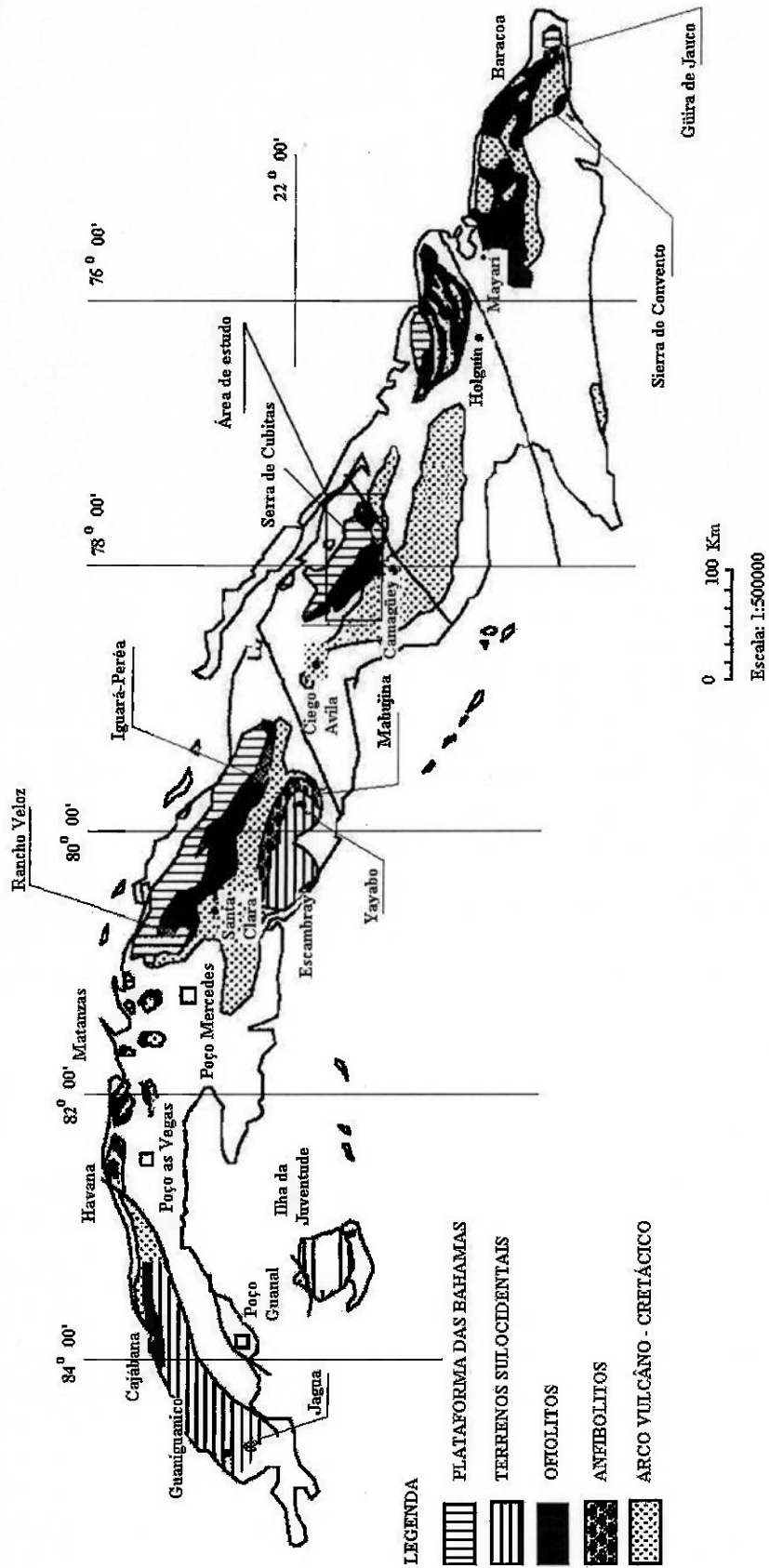


Figura 2 - Mapa das distribuição das ocorrências dos ofiolitos em Cuba. ITURRALDE-VINENT et al.(1996)

2.4. Geologia da área de estudo

2.4.1. Geologia regional

Os serpentinitos da área mineralizada em cromo pertencem a uma faixa ofiolítica que se estende desde o leste até oeste por toda a porção norte da ilha de Cuba. Com respeito à sua origem, a faixa foi interpretada sob diferentes pontos de vista tectônicos, principalmente no que se refere às rochas ultrabásicas e básicas, que têm chamado a atenção de vários autores, não somente pela existência de depósitos de cromita, ferro-niquelíferos-cobaltíferos, assim como pela relação com as pesquisas para petróleo feitas por corporações estrangeiras.

Considerações feitas durante esses trabalhos avaliaram as rochas ultrabásicas e básicas como intrusões, anteriores e posteriores ao período Cretáceo. No sentido da hipótese geossinclinal, com frequência se explica a localização destas rochas como produto de uma "protrusão" plástica em estado relativamente frio, localizada de forma alóctone (KNIPPER; PUIG, 1967; KNIPPER & CABRERA, 1974, apud ITURRALDE et al., 1986).

A associação ofiolítica é interpretada como um fragmento alóctone de uma crosta oceânica antiga, de idade Jurássico - Cretácea, formada por quatro complexos: rochas no seguinte seqüência (base para o topo): a) complexo peridotítico ou de tectonitos, b) complexo cumulativo, c) complexo de diques de diabásios e d) complexo de rochas efusivas de composição basáltica e sedimentos (Figura 3).

Em Cuba, localizam-se várias centenas de jazidas e ocorrências de cromita associadas à faixa de rochas ofiolíticas, fundamentalmente aos complexos de tectonitos e cumulativo, sendo difícil estabelecer, no campo, um limite exato entre estes dois complexos, devido à presença de diferentes rochas intermediárias.

Os contatos geológicos da associação ofiolítica com as unidades geológicas restantes são preferencialmente de caráter tectônico. No campo, estão muito desenvolvidos os representantes das rochas do complexo de tectonitos (harzburgitos, dunitos e lherzolitos) com diferentes graus de serpentinação e do Complexo Cumulativo (troctolitos, gabros comuns e outros). Rochas basálticas referentes à parte superior dos Complexos Oceânicos são encontrados de forma dispersa.

Os ofiolitos estão em contato ao norte, através de uma falha principal de empurrão ("Cubitas"), com a margem continental de América do Norte (Jurássico Superior – Cretáceo Superior), representada, fundamentalmente, por seqüências de calcários e dolomitos.

Relacionado com o processo de obdução dos ofiolitos, em seus contatos norte e nordeste, originaram-se turbiditos carbonatados como horizontes de olistostromas ou com olistolitos de composição carbonatada e olistostromas com olistolitos de composição principalmente carbonatada (Paleoceno – Eoceno Médio).

As formações geológicas dacito - riolíticas do complexo estrutural superior do arco insular do Cretáceo (Cretáceo Superior, do Santoniano ao Campaniano) estão tectonicamente sobre os ofiolitos, fundamentalmente sobre as rochas no complexo peridotítico.

A cobertura sedimentar do Cenozóico (Eoceno Superior – Neógeno – Quaternário) tem seus contatos de caráter transgressivo com o maciço ofiolítico nos extremos leste e oeste, servindo de cobertura mascarante à sutura ofiolítica principal, de direção geral NW, ao longo de toda a ilha.

Como resultado do mapeamento geológico realizado em Camagüey no escala 1:250.000 (1981), definiu-se pela primeira vez a associação ofiolítica no território e individualizaram-se os complexos que a integram, os quais foram estudados mais detalhadamente durante o mapeamento geológico na escala 1:50.000, feito pela brigada conjunta cubano – alemã (ITARRUALDE-VINENT et al., 1986).

2.4.2. Histórico dos trabalhos de prospecção e pesquisa de cromo em Cuba

O primeiro trabalho importante sobre cromo na ilha de Cuba foi um relatório de cadastramento dos recursos de cromita e manganês conhecidos, solicitado pelo governo dos Estados Unidos em 1917, (ALLEN & HOWLING, 1940).

Este trabalho indica a ocorrência de numerosos depósitos de cromita de pequenas proporções, nas antigas províncias da Havana, Matanzas, Camagüey e Oriente, incluindo uma breve descrição de cada um deles. Estes depósitos foram descritos como originados em segregações magmáticas, podiforme e com a cromita

sempre associada a peridotitos serpentinizados, não sendo fornecidos maiores detalhes sobre suas características mineralógicas.

Do mesmo modo, ALLEN & HOWLING (1940) apresentaram uma evolução histórica da cromita e de sua utilização, com especial ênfase nos primeiros anos do século, utilizando em seu trabalho a classificação industrial da década de 40. No estudo são descritas as principais jazidas de Cuba na época, exploradas para uso de ligas de ferro - aço e para a produção de materiais refratários.

Para o primeiro uso, foram analisadas as jazidas Caledonia, Cayo Guan e Potosi, das províncias mais orientais, e para o segundo foram avaliadas as jazidas de Locadia, Nona e Victoria, todas na área de Alta Gracia, província de Camagüey. Estes autores assinalaram que uma importante porção do minério disponível encontra-se em forma friável, facilmente removível, e a baixo custo. Porém, outra parte encontra-se em lugares de difícil acesso, o que encarece de forma considerável o custo de transporte, razão fundamental pela qual não foram explorados com intensidade.

Do mesmo modo, explica-se que em 1936 atingiu-se uma elevada produção, aproximadamente de 71.000t de cromita, que foi utilizada essencialmente na indústria de refratários nos Estados Unidos. O minério cromítico cubano é classificado, de maneira geral, como de baixo teor, com valores médios reportados de 30,5% de Cr_2O_3 , 14,2% de FeO , 27,5% de Al_2O_3 , 6,1% de SiO_2 , 0,9% de CaO e 18,3% de MgO .

Também foi citada a ocorrência de cromo como componente do manto de intemperismo sobre ultrabásitos, existente no litoral norte da província de Oriente, especificamente na zona de Mayarí, Levisa e nos arredores da baía de Nipe, em uma crosta laterítica composta principalmente por hematita e magnetita. Foram estimadas reservas de mais de 3 bilhões de toneladas de minério de baixo teor, com valores médios de 40% Fe, 0,5% Ni; 1,5% Cr e 2 a 6 % SiO_2 .

Segundo THAYER (1942), não se observa nenhuma regularidade na distribuição dos corpos de cromita nas rochas ultrabásicas de Camagüey. FLINT et al. (1948) realizaram o primeiro reconhecimento geológico da porção oriental do maciço ultrabásico de Camagüey à escala 1:50.000. Eles forneceram um modelo de origem magmática para as ultrabásicas e cromitas, concluindo que a maioria dos corpos mineralizados de cromo estão relacionados às zonas de contato entre as rochas ultrabásicas e os denominados "gabróides" (rochas da série dos gabros).

Esta conclusão é correta somente para uma parte das mineralizações que ficaram vinculadas ao "Complexo Cumulativo da Associação Ofiolítica". SEMIONOV (1968); PLAVOV et al. (1973), apud ITURRALDE et al. (1986) obtiveram conclusões semelhantes às apresentadas por FLINT et al. (1948).

Produto de uma campanha de pesquisas efetuada nos anos 1942/43 por empresas norte-americanas, detectou-se a jazida mais importante de minério de cromita na região de Camagüey, chamada de "Camagüey II" (NETLETON & HAMMERN, 1943). Segundo os resultados do estudo, foram desenvolvidas três etapas de pesquisas geológicas, a primeira feita pelo "Geological Survey" dos Estados Unidos, a segunda feita nos anos 1962/63 pelo geólogo russo Medviedkov e outros e uma terceira feita nos anos 1982/84 por uma equipe cubano-russa formada pelos geólogos Escobar, Pontón e Muraschkov.

O relatório correspondente às pesquisas conjuntas, no contexto do levantamento geológico 1:250.000 efetuado pelas ACADEMIAS DE CIÊNCIAS DE CUBA E DA REPÚBLICA BULGÁRIA (1981), inicia-se com uma interpretação atualizada com relação à origem, localização e subdivisão da caracterização dos ofiolitos, incluindo as mineralizações associadas (Fe, Cr, Cu, Al, Ni, entre outras).

Com a mudança das idéias sobre a gênese das rochas ultrabásicas e sua localização, modificaram-se também as opiniões sobre a origem e a distribuição das mineralizações de cromo.

MURASHKO et al. (1985) chegaram à conclusão de que o mecanismo de formação dos depósitos foi controlado por processos tectônicos com a localização dos corpos de minério nas zonas de interseção de falhas tectônicas de segunda e terceira ordens. Este relatório amplia consideravelmente o grau de informações do estudo e apresenta algumas novas idéias sobre a formação dos corpos mineralizados, além de também salientar a importância que representa a tectônica no processo de localização dos corpos de cromita. Durante o trabalho foram classificadas 110 anomalias gravimétricas, das quais selecionaram-se as 17 mais promissoras e, com o auxílio de 35 furos de sondagens, obtiveram-se importantes informações dos corpos mineralizados, em especial da jazida "Camagüey II".

No relatório do levantamento geológico escala 1:250.000 feito pelas ACADEMIAS DE CIÊNCIAS DE CUBA E DA REPÚBLICA DA BULGÁRIA (1981)

se estabelece que os corpos de cromita originaram-se numa etapa relativamente prematura do processo de formação da crosta oceânica, não estando, a sua localização relacionada aos movimentos tectônicos; estabelece-se, ainda, que as cromitas são parte do "melange" (mistura) ofiolítica, não existindo regularidade na distribuição dos corpos mineralizados, embora indiquem a possibilidade de que a detecção de novos corpos em zonas submetidas a processos tectônicos.

2.4.3. Geologia dos depósitos de cromo da província de Camagüey

Na Província de Camagüey existem vários corpos mineralizados a cromo que são conhecidos como "Grupo de Depósitos de Cromo Camagüey". A este grupo pertencem, entre outros, os de "Camagüeyana", "Camagüey I", "Camagüey II", "Mamina", "Victoria I", "Victoria II".

Os corpos isolados localizam-se em posição de arco, facilmente detectada pela proximidade das ocorrências.

Segundo ESCOBAR (1991), as rochas encaixantes dos corpos mineralizados, em ordem decrescente de importância, são representadas por serpentinitos originados de harzburgitos, serpentinitos originados de lherzolitos, serpentinitos originados de wehrlitos, serpentinitos muito tectonizados e xistosos originados de peridotitos, gabros olivínicos, gabros troctolíticos, diabásios e serpentinitos originados de dunitos.

Os complexos foram mapeados em maior ou menor detalhe, localizando-se os corpos mineralizados tanto no complexo peridotítico quanto no cumulativo. Os depósitos "Mamina", "Victoria", "Camagüey" e parte superior de "Camagüey II", incluídos no presente trabalho, localizam-se no complexo peridotítico.

Os elementos estruturais das jazidas cromíticas, principalmente o mergulho, indicam a presença de fortes deformações tectônicas, observando-se grandes mudanças nas posições dos corpos mineralizados, que variam desde quase horizontais até completamente verticais.

Dentro das rochas serpentinizadas e zonas mineralizadas existem intervalos de gabros troctolítico - olivínicos, com espessuras de centímetros até mais de 3 metros. Estes sempre foram considerados paralelos ou sub-paralelos aos corpos de minério. A malha de furos de sondagem, realizada durante as pesquisas anteriores permitiu verificar

a existência de um grande número dos mesmos, o que impede a correlação espacial, apesar da proximidade dos furos.

Muitos destes intervalos com gabros são considerados como apófises, aparecendo como partes residuais de antigos diques ou gabros estratificados, fragmentados pela ação tectônica.

Provavelmente, as rochas ultrabásicas (harzburgitos, lherzolitos, wehrlitos, etc). apresentavam uma pseudo-estratificação, a qual foi totalmente removida durante os movimentos de empurrão.

Uma situação similar acontece com os intervalos de rochas tectonizadas. Geralmente, tanto na parte superior quanto na inferior dos corpos de minério, as rochas estão muito brechadas e xistosas. Este fato pode ser observado ao longo dos afloramentos, embora não de maneira constante, o que não permite, em muitas ocasiões, correlacionar as zonas de brechas tectônicas. Isto pode ser atribuído também à ação tectônica causada pelos movimentos de tensão e expansão das rochas, na fase final da sua colocação.

A Figura 3 apresenta um mapa geológico da região estudada. Observando-se a geologia, percebem-se zonas que foram submetidas a um fraturamento tectônico intenso, originando uma rede irregular de zonas de brecha. As áreas mineralizadas da região mantêm o seu alinhamento em uma direção preferencial. Com relação ao mergulho, o sistema de fraturas produziu deslocamentos desde alguns centímetros até 30 metros, em alguns casos.



Figura 3 - Mapa geológico e seção transversal dos ofiolitos do área dos ofiolitos da provincia de Camagüey (ITURRALDE-VINENT et al., 1986)

2.4.4. Estrutura e morfologia dos corpos mineralizados

A distribuição espacial dos corpos mineralizados em cromo na região, caracteriza-se por seu agrupamento em áreas de 30 a 50m de largura e um comprimento que varia em uma faixa de 200 a 220 m. A zona mineralizada apresenta um mergulho para leste, tendo, os últimos trabalhos efetuados, selecionado 6 corpos de minérios como os mais importantes (ESCOBAR, 1988).

Os corpos mineralizados podem ser considerados tanto como corpos ou lentes isoladas, quanto como produto do desmembramento de um ou mais corpos mineralizados devido a fenômenos tectônicos e o seu conseqüente fraturamento.

O ângulo de mergulho dos corpos, assim como o da zona de mineralização, são sub-verticais, observando-se um aumento da inclinação do mergulho quando se caminha de leste para oeste. Com a profundidade, observa-se uma diminuição da inclinação do mergulho sendo que, em alguns casos, pode-se encontrar uma inversão do mergulho, produzindo-se uma dobra.

Existem zonas onde as rochas encaixantes apresentam zonas de brechamento. Também é importante assinalar que os fragmentos de cromita estão cimentados por uma matriz milonitizada de serpentinito e, mais raramente, por gabros.

As cromitas, tanto do Complexo Peridotítico quanto do Cumulativo (Figura 3), apresentam características químicas e mineralógicas similares, com espinélios cromíferos de composição química semelhantes. De forma geral, as cromitas de ambos os complexos destacam-se pelos teores elevados de Al_2O_3 (25-30%) e conteúdos relativamente baixos de Cr_2O_3 . Devido às relações variáveis de Cr/Al nas mineralizações, existem diferentes concepções da gênese. COLEMAN (1977), apud ITURRALDE et al. (1986), considera as mineralizações podiformes de cromita como parte original da tectônica metamórfica, aceitando, assim, que as cromitas ricas em alumínio formaram-se sob pressões maiores (mais profundas), concordando com a idéia de IRVINE (1967), apud ITURRALDE et al. (1986).

Também podem ser observadas formações com os serpentinitos muito tectonizados. Existem corpos que se apresentam sob a forma de lentes aplainadas, quase sub-horizontais.

2.4.5. Situação e caráter das intercalações estéreis nos corpos mineralizados

ESCOBAR (1991) destaca que a zona correspondente às jazidas "Camagüey II", "Camagüey I", "Mamina", "Victoria I" é caracterizada pela presença de fragmentos de diques de gabro com diferentes composições, sendo que neles o teor do minério é muito baixo em relação ao conteúdo de Cr_2O_3 (algumas unidades de percentuais), embora o conteúdo de SiO_2 situe-se numa faixa de 10 a 25%.

A inclusão desses fragmentos de gabro dentro das reservas minerais trouxe como consequência uma diminuição artificial dos teores médios de Cr_2O_3 nos corpos de minério, paralelamente ao expressivo aumento no conteúdo SiO_2 ; ou uma lavra seletiva através de seleção manual, prévia ao beneficiamento mineral, poderia permitir um aumento dos teores de Cr_2O_3 e, em consequência, uma diminuição sensível do conteúdo de SiO_2 .

Na jazida chamada de "Mamina", os corpos mineralizados apresentam-se em formas de lentes, com mergulho quase vertical. Os mesmos têm comprimento de aproximadamente 65 metros e uma espessura que varia de 15 a 30 metros, aflorando na base da frente de uma lavra abandonada.

O comportamento da mineralização na zona de "Victoria I" é variável; os corpos mineralizados também são lenticulares, com mergulho sub-vertical e muitas vezes com contatos fortemente tectonizados, além de apresentarem estrutura interna muito complexa

Na Tabela 1, ESCOBAR (1991) apresenta os conteúdos dos elementos químicos mais importantes, sendo estes os valores médios das análises feitas em amostras consideradas representativas, das jazidas mencionadas.

Tabela 1 - Teores médios dos principais óxidos para as jazidas de Camagüey II, Mamina e Victoria

JAZIDAS	TEORES (%)			
	Cr_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	CaO
Camagüey II	29,7	6,7	27,0	1,7
Mamina	29,7	5,5	27,7	<0,8
Victoria	29,2	6,6	26,9	1,0

Fonte: ESCOBAR (1991)

2.5. Classificação dos minérios de cromo

O mineral útil de cromo é a cromita propriamente dita, a qual pode representar de 20% até 100% do volume do minério, apresentando teores variáveis de cromo, alumínio, ferro e magnésio. Em função do conteúdo total de óxido de cromo e das razões cromo/ferro, os minérios de cromo podem ser classificados em quatro tipos distintos (LEAL & BACELLAR, 1973; DEYOUNG et al., 1984 e McMICHAEL, 1989):

- cromita de alto cromo que é a cromita propriamente dita, com 46 a 55% de Cr_2O_3 e razão Cr/Fe $>2,1$; é utilizada exclusiva para fins metalúrgicos;
- cromita de alto ferro, chamada geralmente cromopicotita, com 40 a 46% de Cr_2O_3 e razão Cr/Fe entre 1,5 e 2,0, utilizada na indústria química;
- cromita de alto alumínio, também chamada de aluminiocromita, com 33% a 48% de Cr_2O_3 ; 22 a 34% de Al_2O_3 e razão Cr/Fe entre 2,0 e 2,5;
- magnesiocromita utilizada, assim como a cromita de alto alumínio, na indústria de refratários.

Outras classificações muito semelhantes são também encontradas; dentre estas destaca-se a Circular 930B do U.S. Geological Survey, DEYOUNG et al., (1984), a qual serve de referência para muitas outras.

Mais recentemente, os conteúdos admissíveis para cada uso específico foram alterados de maneira substancial, como consequência da descoberta de novas jazidas, muitas das quais não poderiam ser propriamente enquadradas nas classificações existentes, bem como pela otimização dos processos tecnológicos na produção de aço, nas indústrias química e de refratários, os quais provocaram a criação de novas e particulares especificações.

Atualmente, nas usinas metalúrgicas que utilizam o processo AOD (*Argo Oxygen Descarburisation*), a razão Cr/Fe pode ser inferior a 1,5:1 e o conteúdo de sílica inferior a 3%, sendo também possível a utilização de finos, bem como cromitas com teores a partir de 38% de Cr_2O_3 .

A indústria química também adequou sua tecnologia na produção de dicromato de sódio e potássio, assim como do ácido crômico, dicromato, cromato de potássio,

cromo-sulfato e óxidos de cromo, permitindo a utilização de cromitas com teores na faixa de 40-45% de Cr_2O_3 , embora se mantenham restrições aos conteúdos de sílica e magnésio, que devem ser mantidos baixos, pois esses elementos reagem e afetam o consumo de carbonato de sódio anidro no processamento químico da cromita.

Muitas jazidas com minérios de cromo de alto alumínio são as principais fornecedoras de matéria-prima para a indústria de refratários e areias refratárias base-cromo, como as jazidas existentes nas Filipinas, Grécia, Albânia, Irã, África do Sul, Cuba e outros. Elas apresentam minérios com características semelhantes, existindo toda uma faixa de teores de cromo aceitos e utilizados atualmente pela indústria de refratários. Algumas dessas especificações podem ser observadas na compilação da Tabela 2.

Tabela 2 - Especificações médias de concentrados de cromita refratária

Países	TEORES (%)					
	Cr_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	CaO	FeO	MgO
Filipinas	31,0	30,0	5,0	1,3	12,5	17,4
Cuba	34,6	25,5	4,0	1,3	10,0	17,2
Índia	34,0	14,0	11,0	--	21,0	--
Rússia	45,0	9,5	5,9	0,4	16,0	25,6
Turquia	35,5	21,5	6,5	--	--	--
Irã	35,0	28,5	4,0	0,1	14,0	16,0
África do Sul	46,9	14,8	1,0	0,1	25,2	10,7
Grécia	38,0	22,0	4,7	0,2	16,0	17,0
Brasil	34,1	28,9	3,4	0,1	7,1	17,8

Fonte: O'DRISCOLL (1998)

2.6 Beneficiamento de minérios de cromita

Quase todos os minérios de cromo são constituídos essencialmente por cromita, apresentando elevados teores. Os minerais de ganga mais comumente associados referem-se a olivina, clorita, serpentina, anfibólios, clinopiroxênios, magnetita, rutilo, ilmenita, sulfetos, dentre outros, em maior ou menor quantidade, a depender da gênese da jazida.

Processos de beneficiamento desde os mais simples até os mais complexos são utilizados em minas ao redor do mundo, com maior ou menor êxito e custo. Os

processos de seleção ou catação manual de cromita são bastante comuns, fundamentalmente em países onde os custos da mão de obra são muito baixos e onde as características do minério permitem, esses procedimentos, como é o caso das jazidas do Zimbabwe, nas quais, segundo HOWAT (1994), tem-se os menores custos de beneficiamento do mundo.

Dadas as características das mineralizações, parcelas apreciáveis das jazidas podem ser beneficiadas adequadamente através de processos de classificação manual e simples operações de britagem e peneiramento. Em situações mais complexas, são empregados processos densitários de concentração (jigues, espirais, mesas de concentração, separação em meio denso, dentre outros.) e, mais raramente, separação magnética, (BELARDI et al., 1995; DAHLIN; BROWN, 1983).

DAHLIN; BROWN (1983) trabalhando com cromitas da região central do Alaska, nas jazidas da Montanha Caribou, realizaram um amplo estudo experimental de beneficiamento físico, incluindo operações de moagem, peneiramento, separações eletrostática e magnética, para buscar a elevação da relação Cr/Fe e dos teores de cromo. São apresentados os resultados obtidos para diversas amostras com características variáveis, alto cromo, alto ferro, alto alumínio e minérios considerados como marginais e sub-marginais; em minérios com teor 20,4% de Cr_2O_3 , atingiram-se concentrados de até 32,9%, de Cr_2O_3 com recuperações de 83-85%, por processos densitários de concentração e flotação.

Um dos trabalhos mais específicos e com destacados resultados refere-se ao estudo do beneficiamento do minério de cromita de Elijarvi, Finlândia, desenvolvido pela Outokumpu Oy (MINING MAGAZINE, 1974), onde são apresentados os procedimentos da lavra e beneficiamento para um minério de baixo teor, com resultados técnica e economicamente relevantes. Foram obtidos concentrados de mais de 40% de Cr_2O_3 , a partir de minério com 27% de Cr_2O_3 .

Ainda em relação ao processo de beneficiamento, destaca-se o trabalho de BELARDI et al. (1995), referente à concentração densitária de minérios de cromita de granulacão fina, da Albânia, apresentando resultados obtidos com a utilização do novo concentrador centrífugo “*Multi Gravity Separator*” (MGS); para minérios finos de cromo, com teores de 23% Cr_2O_3 , obtiveram-se concentrados com teores de até 50% de Cr_2O_3 , aliados a uma recuperação de até 72%.

Dentro dos estudos de caracterização e beneficiamento, salientam-se ainda os trabalhos de BROWN (1985) e HULATT (1985), onde são apresentados resultados de estudos de caracterização, concentração densitária e por flotação de minérios de jazidas dos Estados Unidos, tendo sido também avaliados o comportamento dos minerais de ganga e seus efeitos no processo e eficiência da usina.

Embora a experiência mostre que a maior parte dos processos de beneficiamento atinjam uma recuperação de aproximadamente 80% a 85%, estes podem apresentar uma forte limitação em função das características do minério. Este é o caso que ocorre quando a ganga silicática aparece intercrescida com a cromita ou quando elementos como Al, Mg, Ti e Fe estão presentes em maior ou menor proporção na estrutura cristalina dos espinélios, situações que não podem ser resolvidas pelos procedimentos usuais de beneficiamento.

2.7. Usos e aplicações de concentrados de cromita

O levantamento das informações mais importantes sobre a utilização da cromita abrangeu desde o seu descobrimento, em 1798, a partir de quando foi, de maneira incipiente, utilizada principalmente como pigmento ou corante.

Em 1880 já eram comercializados pigmentos de base-cromo assim como se registra a produção de dicromato de sódio. O uso como refratário é citado na França, em 1879, nos processos iniciais da construção de fornos para fabricação de aços.

Não obstante, foi no início do século XX, com o desenvolvimento de novas tecnologias de fabricação de aços na Inglaterra e na Alemanha, fundamentalmente com o uso de fornos abertos e os primeiros aços especiais a cromo, que se deu um substancial incremento no consumo de cromita.

De acordo com O'DRISCOLL (1999), cerca de 85% do consumo da cromita em 1997 referia-se à indústria do aço, 5% era consumida na indústria de fundição, 8% na indústria química e 2% na indústria de refratários.

O consumo de cromita durante o ano de 1999 atingiu 12,8 milhões de toneladas métricas, distribuídos aproximadamente em 10,68 na indústria do aço, 0,64 na indústria de fundição, 1,22 na química e 0,26 na de refratários, (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2000).

2.7.1. Aplicações metalúrgicas

O cromo é utilizado para a confecção de ligas metálicas de alto desempenho, tais como as superligas, e na produção de aços inoxidáveis. Elevados teores de cromo produzem uma crescente resistência mecânica e química para a liga metálica. Pode-se dividir o campo das superligas em aço inoxidável normal, com 12 a 18% de Cr na sua composição, e os materiais de elevado desempenho, com até 50% de Cr, o que lhes confere uma resistência à abrasão, corrosão e oxidação, sendo um excelente insumo para ferramentas de corte.

Os aços resultantes dessas ligas, a depender da porcentagem de cromo, são empregados na fabricação de motores de veículos, trilhos para estradas de ferro, utensílios domésticos e armamentos, dentre outros.

2.7.2. Aplicações na indústria química

O cromo é o principal insumo para a fabricação de dicromatos de sódio e potássio, monocromato de sódio (um poderoso anti-corrosivo em sistemas fechados de água), baycrom, cromosal, alúmen de cromo e potássio, ácido crômico e pigmentos para a indústria de tintas, dentre outros. Destaca-se a cromagem como a principal atividade de conhecimento do público, onde há deposição de uma camada de cromo sobre uma estrutura metálica e plástica por meio de processos eletrolíticos, para fins decorativos e/ou de proteção. O ácido crômico é utilizado para preservação de madeira e o sulfato de cromo para curtimento de couros.

A cromita, para a indústria química, deve ser preferencialmente do tipo friável, com granulação fina, para facilitar o seu tratamento químico, sendo que o teor de sílica deve ser baixo, usualmente inferior a 5,0%

2.7.3. Aplicações na indústria de refratários

A cromita também é utilizada na fabricação de tijolos refratários para revestimentos internos de alto-fornos siderúrgicos e fornos para fabricação de cimento. Além disto, ela é usada para a preparação da chamada areia de cromita, que apresenta uma grande aplicação na indústria de fundição devido às propriedades químicas relativamente inertes, assim como em razão de sua grande resistência a esforços mecânicos.

Não obstante, a partir de 1990, houve um declínio acentuado do consumo de cromita para fins de refratários, devido não só ao aumento da eficiência de novos tipos de materiais refratários, que empregam menores quantidades de cromo em sua composição, como também pelos significativos impactos ambientais e à saúde ocasionados pela forma hexa-valente do cromo (Cr^{+6}), formado durante os processos de aquecimento dos tijolos refratários (nesta forma, o cromo é extremamente solúvel e apresenta propriedades cancerígenas).

2.8. Metodologias de caracterização de minérios de cromita

A pesquisa bibliográfica sobre metodologias para a caracterização de minérios de cromita apresentou uma situação particular, porque todos os trabalhos consultados relataram uma abordagem muito específica, focalizando somente parte do problema, não se obtendo, via de regra, a percepção do assunto como um todo. Esta situação levou a exigir uma pesquisa bibliográfica dirigida a cada uma das etapas envolvidas no estudo da caracterização mineralógica e tecnológica de minérios de cromita.

Na caracterização de minérios de cromita, alguns autores empregaram roteiros pouco complexos, utilizando de forma preponderante a microsonda eletrônica, a difração de raios X e as técnicas de ATD sobre frações minerais ou seções polidas, como é o caso apresentado por ENGIN; AUCOTT (1971), nos estudos dos minérios da Turquia, e de BEVAN; RODGERS (1997), nos estudos da cromita da Nova Caledônia.

Outros pesquisadores também fizeram suas avaliações dentro dessa gama de técnicas analíticas, enfocando, de uma maneira geral, os estudos da estrutura dos espinelios. CARSON (1988) apresenta resultados de estudos por microscopia eletrônica de varredura em amostras de minérios de cromita, com particular enfoque na determinação de inclusões de ouro e platinóides. PIGNOLET-BRANDOM; REID (1988) apresentam estudos de caracterização mineralógica com a utilização de microscopia eletrônica de varredura e microanálise por EDS/WDS.

KRAMER-HENRY et al. (1968) apresentam os resultados de análises de amostras de minérios de cromita da Califórnia, Rússia e África, com enfoque na determinação de elementos constituintes maiores e menores através da técnica de ativação neutrônica.

ECONOMOU-ELIOPOULOS (1996) apresenta um estudo sobre possibilidades de ocorrências de mineralização do tipo correspondente aos elementos do grupo da platina - PGE (*platinum group elements*) em complexos ofiolíticos da Grécia e Iugoslávia.

Esses estudos consideram a importância dos processos petrológicos e geoquímicos, tais como os de fusão parcial durante a cristalização fracionada, como dos principais processos controladores da mineralização de elementos do grupo da platina (PGE). Além disso, os autores detalham as implicações dos PGE na pesquisa dos minérios de cromita, salientando a relevância do conhecimento do ambiente geotectônico, como ferramenta para a pesquisa deste bem mineral. Tomando como padrão as principais jazidas da Grécia, PINDOS, VOURINOS e OTHRYS fazem uma comparação com jazidas de outros países, tais como Filipinas, Albânia, Chipre, Turquia e Nova Caledônia.

Embora de forma isolada, existem alguns trabalhos, como o de WASILEWSKI et al. (1975), onde a caracterização dos espinélios é realizada por meio de técnicas magnetoquímicas e de histerese elétrica, mostrando resultados de interesse.

Em estudos de cristalquímica dos espinélios, prevalece em particular o uso da difração de raios X sobre frações isoladas por métodos de separações minerais ou de grãos, seguindo-se o critério de cálculo de sua estequiometria em base a 32 oxigênios e 24 cátions, auxiliando-se de sistemas computadorizados, tais como MINIFILE, como é o caso de FERNANDES e LANGFORD (1998) nos estudos de espinélios do Zimbábue, e outros. ROBERTS (1985) empregou ácidos fracos (HF) para eliminar os silicatos e purificar espinélios de cromo do Alasca. Outros autores estudaram detalhadamente as texturas dos minérios de cromita e propuseram uma ampla variedade de definições, associadas, geralmente, à uniformidade e ao conteúdo do mineral útil, assim como as rochas encaixantes.

Um dos trabalhos mais detalhados foi apresentado por AHMED (1984), que define o conceito de textura disseminada como aquela que abarca conteúdos de cromita da ordem de 20% até 70%, relativamente homogênea, finamente granulada e com cristais individuais uniformemente espalhados nos silicatos hospedeiros e como textura maciça os minérios de contendo quase 100% de cromita, nos quais os grãos são grossos, entrosados compactamente e fortemente agregados, deixando interstícios silicáticos

muito finos e pequenos, normalmente constituídos por clorita ou serpentina. Outro modo de avaliação da textura é feito em função da forma de ocorrência dos grãos de cromita, abrangendo definições como textura nodular, onde apresentam-se nódulos esféricos ou elípticos, ou cristais subarredados, que são considerados como forte evidência da natureza podiforme.

Existem ainda outras definições como texturas bandadas, nas quais a cromita é alternada com os silicatos em bandas razoavelmente simétricas, textura da cromita em redes, com silicatos inclusos, assim como algumas de ocorrências mais raras, como as texturas pintadas, em que manchas de minerais de granulação grossa distribuem-se em uma massa com grãos finos disseminados.

Um conceito adicional e muito específico é o da textura pseudoclástica que apresenta grandes cristais de cromita (desde 0,3mm até alguns centímetros) com forma subarredada a subangular, normalmente em altas concentrações, com uma aparência de minério maciço, embora um corte na superfície revele uma grossa textura de natureza clástica.

Lamentavelmente pode-se avaliar que quase todos os trabalhos publicados referem-se a estudos de caso muito particulares, não havendo qualquer trabalho de maior abrangência enfocando minérios de cromita.

Uma visão mais ampla e geral foi encontrada somente em trabalhos de revisão sobre técnicas de caracterização e suas aplicações, tais como HENLEY (1983), JONES (1987), SANT'AGOSTINO & KAHN (1997), a partir dos quais pode-se estabelecer uma macrovisão dos problemas em conjunto e dos objetivos a seguir, sempre que os lineamentos gerais sejam adequadamente interpretados e definidas as metas a serem atingidas.

3. MÉTODOS

3.1 Critérios de amostragem

Diante da impossibilidade de realização de novos furos de sondagem e a indisponibilidade dos testemunhos das sondagem anteriormente realizadas, foi necessário idealizar-se um programa de amostragem, tendo a situação se desenvolvido conforme se expõe a seguir.

O programa buscou garantir a maior representatividade possível na coleta das amostras, tentando-se manter os objetivos previstos, ou seja, o da caracterização mineralógica dos minérios de cromita da Província.

Desta forma, realizou-se a coleta de amostras, tanto em antigas frentes de lavra abandonadas, ainda com reservas minerais de interesse, quanto em lugares de ocorrências e pesquisas próximos à jazida "Camagüey II".

As amostras foram coletadas de forma pontual, com a integração de diversos pontos individuais para a composição do material a ser estudado.

Os critérios estabelecidos foram:

- obtenção da maior representatividade possível na amostragem de jazidas consideradas semelhantes;
- priorização das jazidas que, além de pertencerem à mesma estrutura geológica, se localizassem mais próximas à área objeto de estudo;
- a coleta das amostras se concentrou fundamentalmente no minério propriamente dito, já que os estudos geológicos gerais e cálculos de reservas já haviam sido realizados em outro momento.

Para a elaboração do plano de amostragem, foram avaliados os trabalhos realizados por ESCOBAR (1980); (1989); ITURRALDE et al. (1986); GONZÁLEZ; RICHTER (1990) e GALVEZ (1983), os quais estudaram o território durante levantamentos geológicos regionais e pesquisa mineral nas zonas mineralizadas em cromita.

Além disso, foi solicitada e obtida a colaboração direta dos geólogos pesquisadores Escobar e Pontón, autores dos estudos geológicos realizados por ocasião

das pesquisas de cromita, de forma que a amostragem melhor atendesse aos objetivos previstos.

A avaliação conjunta concordo com a avaliação feita anteriormente e determinou três zonas prioritárias, reconhecidamente mineralizadas para a amostragem:

- zona "*Camagüey – Desprecio – Virtudes*" (amostras *Camagüey I e Camagüey II*);
- zona "*Mamina*";
- zona "*Victoria*".

3.2 Métodos de caracterização das amostras

3.2.1 Análise textural

Antes de se proceder à cominuição das amostras para os estudos de caracterização, o material recolhido foi objeto de análise textural ao microscópio ótico de polarização por luz refletida, que visou estabelecer a malha de cominuição adequada.

Desta forma, as amostras coletadas nas quatro jazidas foram primeiramente objeto de uma avaliação física preliminar, com o objetivo de se determinar as diferenças perceptíveis nas texturas dos fragmentos de rochas a elas correspondentes. Posteriormente, foram efetuadas análises ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), visando detalhar as feições texturais encontradas, bem como obter dados de composição química da cromita.

Cinco fragmentos distintos de cada amostra foram serrados com serra de disco diamantado (marca LOGITECH, cut-off CS12) confeccionando-se pequenos blocos, cada qual com dimensões aproximadas de 25 x 40 x 5mm, os quais foram colados sobre lâminas de vidro com resina epóxi (marca EPOXIGLASS 1204).

Os fragmentos colados foram novamente cortados utilizando-se a mesma serra, até atingirem uma espessura de aproximadamente 0,4mm, sendo posteriormente desbastados com uma máquina semi-automática de lapidação (LOGITECH LP40 AUTO), para alcançarem uma espessura aproximada de 0,1mm, utilizando-se para isso uma suspensão aquosa de abrasivo (óxido de alumínio com 15 μ m de granulação).

O processo de polimento foi feito em uma máquina semi-automática (LOGITECH PM2A) utilizando-se suspensões de pó de diamante (6, 3 e 1 μ m), em uma

mistura de água e etileno glicol (3:1) sucessivamente, até se atingir um polimento com a qualidade necessária para a observação ao microscópio óptico por luz refletida, bem como para a realização de microanálises químicas quantitativas por dispersão de energia (EDS) acoplada ao MEV. Um segundo grupo de lâminas das mesmas amostras foi também confeccionado, embora com a utilização somente de suspensões aquosas de óxido de alumínio (15; 9, 3 e 0,05 μ m), procedimento este que atingiu resultados mais satisfatórios.

Numa primeira instância, as seções polidas foram observadas por microscopia óptica para avaliação preliminar da qualidade atingida durante a sua preparação e para a seleção das zonas de interesse visando os estudos posteriores por microscopia eletrônica de varredura.

Foram utilizados um microscópio de luz refletida tipo estereomicroscópio, marca Carl Zeiss (modelo SV-8), um microscópio óptico de polarização por luz transmitida e refletida, marca Leica, modelo DMR, e um analisador de imagens, marca Leica Cambridge Ltd., Quantimet 600 para o processamento de imagens digitais, além de câmara uma digital colorida CCD acoplada ao microscópio Leica DMR.

Na seqüência dos trabalhos, foi empregado o microscópio eletrônico de varredura marca Leo, modelo Stereoscan 440, com bomba iônica para filamento de LaB₆; que tem incorporado, um espectrômetro de raios X por dispersão de energia (EDS), marca Oxford, modelo Isis300/QAI, com detetor de germânio (alta resolução - 115 eV), além de um espectrômetro por dispersão de comprimento de onda (WDS) marca Oxford-Microspec, modelo 600i, integrado ao sistema Isis.

3.2.2 Preparação das amostras

Estabelecida a malha de cominuição a partir da análise textural das amostras, durante a qual determinou-se que a média aproximada dos grãos ficava em torno no de 0,6mm, definido o esquema de preparação e processamento das amostras em laboratório, o qual é apresentado na forma de fluxograma na Figura 4.

As amostras foram inicialmente submetidas à britagem em britador de mandíbulas (marca FURLAN BM- 20 x 10) até 100% passante em 25,4mm.

Após a britagem, as amostras foram então cominuídas em um moinho de rolos (marca FURLAN MR-2515) em etapas sucessivas com aberturas de 6mm e 3mm respectivamente, até garantir 100% em massa passante na peneira com abertura de 3,33mm.

O critério seguido para a determinação do controle da massa mínima nos processos sucessivos de cominuição, quarteamento e moagem, foi o expressado pela equação de *Richards-Chechette*, que é definida como $Q = Kd^2$, onde foi considerado um coeficiente de $K = 0,1$ (coeficiente de homogeneidade) que corresponde aos minerais ditos não homogêneos, embora os dados disponíveis mostrarem evidência que neste caso, o minério poderia ser considerado como homogêneo, esse parâmetro, portanto foi utilizado como de segurança. Foi verificado, também, que foi cumprida a restrição de que $Q \geq 2Kd^2$ no andamento do procedimento.

As amostras, após a redução de granulação a menos 3,33mm, foram então individualmente homogeneizadas e quarteadas, em um amostrador de canais tipo Jones, em etapas sucessivas, até se obter uma massa representativa com aproximadamente 2,5 a 3kg. Estas alíquotas foram então moídas em um moinho de rolos até atingir 100% passante em peneira com abertura de 0,59mm.

Da massa moída, foi retirada, por quarteamento, uma alíquota representativa de cada amostra para a realização das análises químicas (cerca de 100g de cada uma).

O restante de cada uma foi peneirado sucessivamente, por via úmida, nas peneiras de 0,42mm, 0,297mm, 0,210mm, 0,149mm, 0,074mm e 0,037mm, recolhendo-se a fração passante em -0,037mm. As massas obtidas de cada fração foram secas a 105°C e pesadas cuidadosamente para o cálculo da distribuição granulométrica do material cominuído.

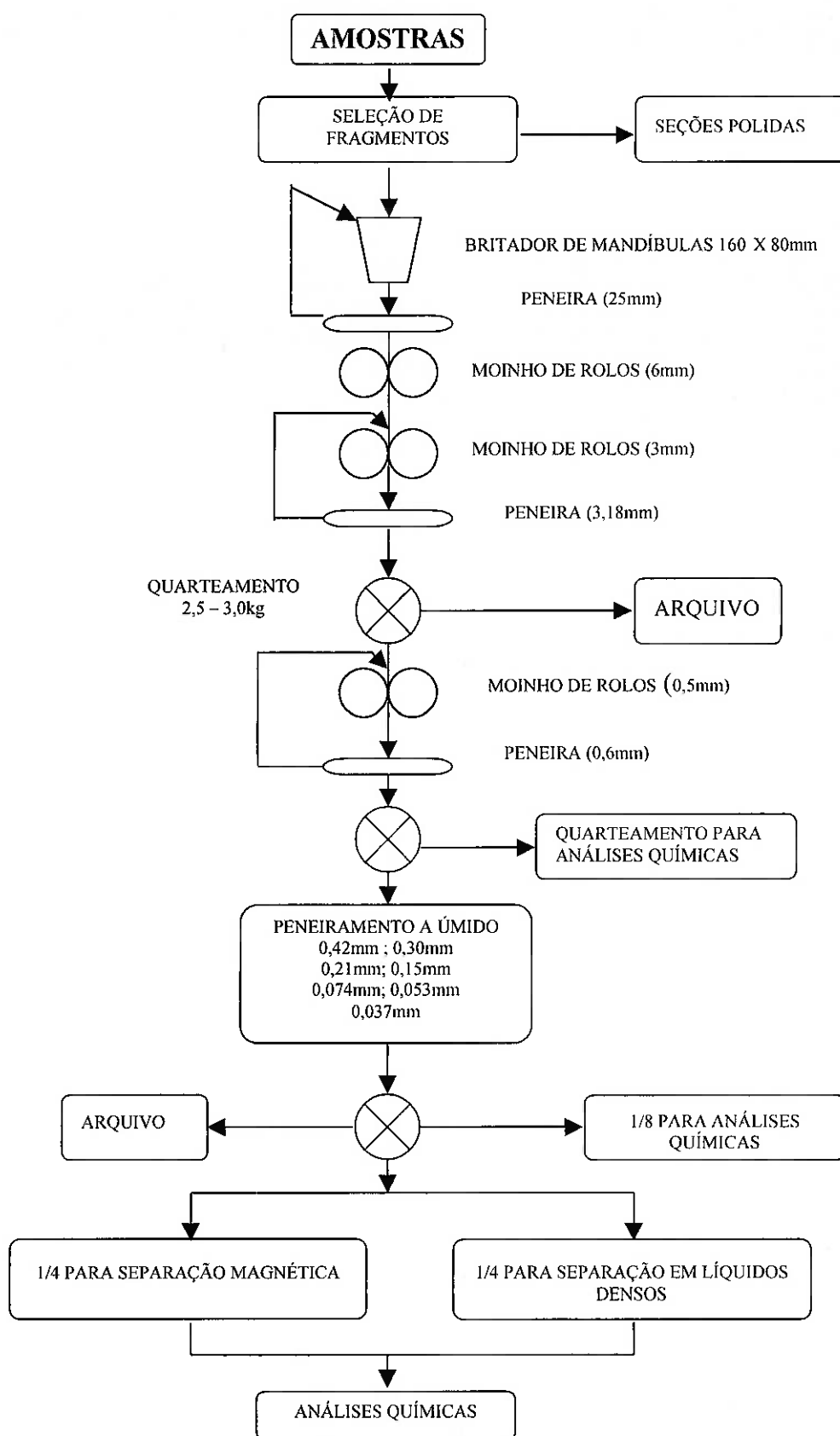


Figura 4 - Fluxograma da preparação das amostras

Para cada uma das frações obtidas foi realizado novo quarteamento, gerando alíquotas para execução de:

- análises químicas;
- confecção de lâminas delgadas/polidas visando avaliar as associações da cromita;
- ensaios de separações minerais por meio de líquidos densos e separador magnético Frantz de barreiras.

3.2.3 Separações minerais

3.2.3.1. Separação em líquidos densos

Nos ensaios de separação com líquidos densos, inicialmente utilizou-se como meio de separação o tetra-bromo-etano, com densidade de $2,96\text{g/cm}^3$; verificou-se, no entanto, que ainda existia uma quantidade significativa de minerais de ganga (silicatos) que poderia ser separada em uma densidade maior. Sendo assim, decidiu-se reprocessar as amostras utilizando-se o di-iodeto de metileno, que apresenta uma densidade maior ($3,32\text{g/cm}^3$).

A separação densitária foi realizada através de funil de separação para as frações com granulação acima de $0,21\text{mm}$, para as granulações menores, a separação foi efetuada em centrífuga (marca FANEM, modelo 215, a 1400rpm), mediante o emprego de tubos de ensaio com 100ml de capacidade.

Em todos os casos, os produtos das separações foram lavados com tetracloreto de carbono, secos em estufa e, posteriormente, submetidos a análises químicas e mineralógicas por difração de raios X.

3.2.3.2. Separação magnética

Alíquotas das mesmas frações granulométricas processadas através de líquidos densos foram também objeto de separações magnéticas no separador isodinâmico Frantz (modelo LB-1). Nas separações foi empregada inclinação lateral de 15° , obtendo-se os produtos magnéticos nas intensidades de $1,35\text{kGauss}$, $2,70\text{kGauss}$, $4,05\text{kGauss}$ e $5,40\text{kGauss}$, além do não magnético em $5,40\text{kGauss}$.

Face aos resultados obtidos nestas separações (ver item 4), somente os produtos de uma fração granulométrica de cada amostra foram submetidos às análises químicas.

3.2.4 Análises químicas

Análises químicas, pela técnica de espectrometria de fluorescência de raios X, foram efetuadas nas amostras estudadas, nos vários produtos gerados nos estudos de caracterização, com o objetivo de se determinar os elementos de interesse e se proceder ao cálculo do balanço metalúrgico das várias etapas desenvolvidas.

A seleção das amostras foi planejada de forma de obter-se o maior número de informações sobre o comportamento dos elementos de interesse, das associações da cromita e da presença de elementos ou minerais deletérios.

As análises químicas foram realizadas nas seguintes amostras ou nos seus respectivos produtos:

- nas frações granulométricas oriundas do peneiramento a úmido e, além disso, numa alíquota de cada uma das amostras estudadas;
- nos produtos das separações em líquidos densos, para cada uma das frações granulométricas, tanto para os afundados como para os flutuados;
- nos produtos gerados na separação magnética efetuada na fração $-0,149 +0,210\text{mm}$ (magnéticos em 1,35kGauss, 2,70kGauss; 4,05kGauss, 5,40kGauss e não magnético em 5,40kGauss).

3.2.5. Preparação das amostras para as análises químicas

Todas as amostras foram pulverizadas em equipamento de anéis vibratórios, marca HERZOG HSM 250P, com panela de ferro de 250 ml de capacidade; o tempo de moagem adotado foi de 3 minutos.

No caso particular dos produtos com pequena quantidade de massa disponível para a execução da análises (flutuados da separação em líquidos densos e dos produtos gerados nas separações magnéticas), procedeu-se à pulverização manual em um almofariz de ágata.

3.2.6. Análises por espectrometria de fluorescência de raios x

As amostras para análise química foram previamente fundidas com tetraborato de lítio Spectromelt A10 (Merck), sendo necessária uma adaptação das rotinas vigentes como conseqüência de dificuldades surgidas no processo de preparação de pérolas

fundidas (refratariedade da cromita). Resultados satisfatórios foram atingidos para amostras e padrões com uma relação 100:1 de tetraborato de lítio / amostra, em fusão a 1200°C por 20 minutos, através de máquina de fusão a gás, marca LECO, modelo FX503.

As pastilhas fundidas foram analisadas em um equipamento de fluorescência de raios X (FRX) marca PHILIPS, modelo PW-2404, com tubo de Rh de 4kW de potência, equipado com 8 cristais analisadores e 4 detetores, tendo capacidade para analisar quantitativamente os elementos desde o boro até urânio. Este equipamento é controlado por computador, sendo a determinação quantitativa dos conteúdos dos elementos de interesse efetuada mediante o *software* “SuperQ” (PHILIPS-TM).

As curvas de calibração foram elaboradas especificamente para o projeto em questão; para tanto foram empregados padrões analíticos internacionais, cobrindo todas as faixas de conteúdos dos óxidos de interesse presentes nas amostras.

O ajuste das curvas de calibração obtidas foi excepcionalmente satisfatório, apesar da elevada diluição das amostras. O conjunto de padrões empregado, assim como seus conteúdos, estão relacionados na Tabela 3, a seguir.

Tabela 3 - Padrões internacionais utilizados nas curvas de calibração por FRX

Padrão	% em massa						
	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂
SARN 8	49,0	20,2	14,7	0,3	10,5	4,3	0,24
NA 16	39,1	15,1	18,1	1,0	13,7	9,2	0,13
CRAN 22	34,0	15,4	16,5	0,4	29,3	3,5	0,26
SARN 8 + SW (1:1)	24,7	27,6	26,6	0,22	5,6	21,9	0,13
AFF 14	18,0	6,9	68,7	0,6	3,6	1,0	--
TUM 4	2,6	14,2	22,5	6,3	9,0	39,4	0,35
SW	0,35	7,4	36,5	0,18	0,66	39,4	0,02
SARN 47	0,29	4,1	42,1	0,10	1,1	36,3	0,01

Para um melhor conhecimento dos elementos menores e traços, optou-se pelo uso da técnica de pastilha prensada, padronizada no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT-EPUSP.), do Departamento de Engenharia de Minas da Escola

Politécnica da U.S.P., que permitiu uma avaliação semi-quantitativa dos elementos químicos presentes dentro de níveis de precisão aceitáveis.

O procedimento empregado consistiu na mistura de amostras com cera WAX ($C_6H_8O_3N_2P$), da Hescst numa relação cera / amostra de 1:10, perfeitamente homogeneizada, sendo a mistura prensada numa prensa mecânica automática (Marca HERZOG, modelo HTP-40) de 20Tm, preenchendo-se o fundo do molde com uma camada de ácido bórico (H_3BO_3).

As pastilhas prensadas foram analisadas pela técnica de fluorescência de raios X, com o mesmo equipamento utilizado nas análises quantitativas, sendo empregado para a quantificação o software SemiQ da PHILIPS, procedendo-se a uma varredura total, com o objetivo de determinação de conteúdos superiores a 0,01% de todos os elementos químicos presentes.

Adicionalmente, face à informação encontrada na literatura da possível presença de elementos do grupo da platina, alíquotas representativas das amostras de cada jazida foram enviadas ao laboratório da *Nomos*, no Rio de Janeiro, para a determinação dos conteúdos de Pt e Rh através de conjugação das técnicas de "fire-assay" / absorção atômica.

3.2.7. Análises por difração de raios X

As amostras para determinação de fases por difratometria de raios X foram preparadas por moagem manual num almofariz de ágata até uma granulometria passante em 0,053mm.

Com o material moído, foi preparada uma pastilha prensada de forma manual em porta amostras padronizados com orifício de 16mm de diâmetro.

As determinações por difratometria de raios X foram feitas num difratômetro de raios X, marca PHILIPS, modelo MPD 1880, e a identificação das diferentes fases minerais presentes com o auxílio do software IDENTIFY da PHILIPS.

As amostras selecionadas para a análise difratométrica foram fundamentalmente aquelas correspondentes às frações leves das separações em líquidos densos e as não magnéticas, embora tenham sido incluídas algumas amostras correspondentes aos afundados da separação em líquidos densos e frações magnéticas obtidas no separador Frantz.

3.2.8. Avaliação das formas de associação da cromita

Para a avaliação das formas de associação da cromita foram preparadas lâminas de todas as frações granulométricas obtidas no peneiramento a úmido, seguindo-se o mesmo roteiro de preparação das lâminas polidas de rochas.

A análise foi efetuada através de observações sistemáticas ao microscópio óptico e microscópio eletrônico de varredura.

4. RESULTADOS OBTIDOS

4.1. Amostragem

A amostragem foi realizada selecionando-se um conjunto de amostras pontuais. De forma geral, as amostras coletadas apresentam uma textura maciça, bastante representativa da média do minério aflorante nas jazidas estudadas.

Os locais de amostragem coincidiram com aqueles inicialmente planejados, tendo sido coletadas quatro amostras, cada qual com cerca de 30kg correspondentes a:

- zona "*Camagüey – Desprecio – Virtudes*" (amostras *Camagüey I e Camagüey II*);
- zona "*Mamina*";
- zona "*Victoria*".

Em cada ponto de amostragem foi efetuada uma limpeza apropriada do local, procurando-se garantir a coleta de fragmentos de rocha não alterados, os quais foram fragmentados com martelo de geólogo e atentamente observados para se avaliar o seu estado de alteração; fragmentos com indícios de alteração foram desprezados.

4.1.1. Zona "*Camagüey – Desprecio – Virtudes*"

A zona "*Camagüey – Desprecio – Virtudes*" tem um área de aproximadamente 4,5km², estendendo-se ao sul do povoado de San Serapio, entre a colina La Entrada e o rio Magantilla, numa planície com ligeiras variações de relevo, apresentando cotas de 60 a 80m; as coordenadas do centro da área geográfica são: X: 842 800 e Y: 180 750 (Sistema Cuba Norte).

O acesso é relativamente fácil a partir da rodovia Camagüey - Nuevitas, passando pelo caminho rural que se dirige ao povoado Antón até uns 10km, onde encontra-se a área. As vias que a atravessam são pouco transitáveis na primavera. Adicionalmente, tem-se uma linha de trem que corta o setor proveniente do entroncamento Magantilla e que une as cidades de Camagüey e Nuevitas.

Nesta área ficam as maiores jazidas de cromita da província, "*Camagüey II*", "*Camagüey I*" e "*Camagüeyana*", além de outras menores conhecidas como "*Altagracia*" e "*Virtudes*". Além disso, tem-se informações de pesquisas de uma

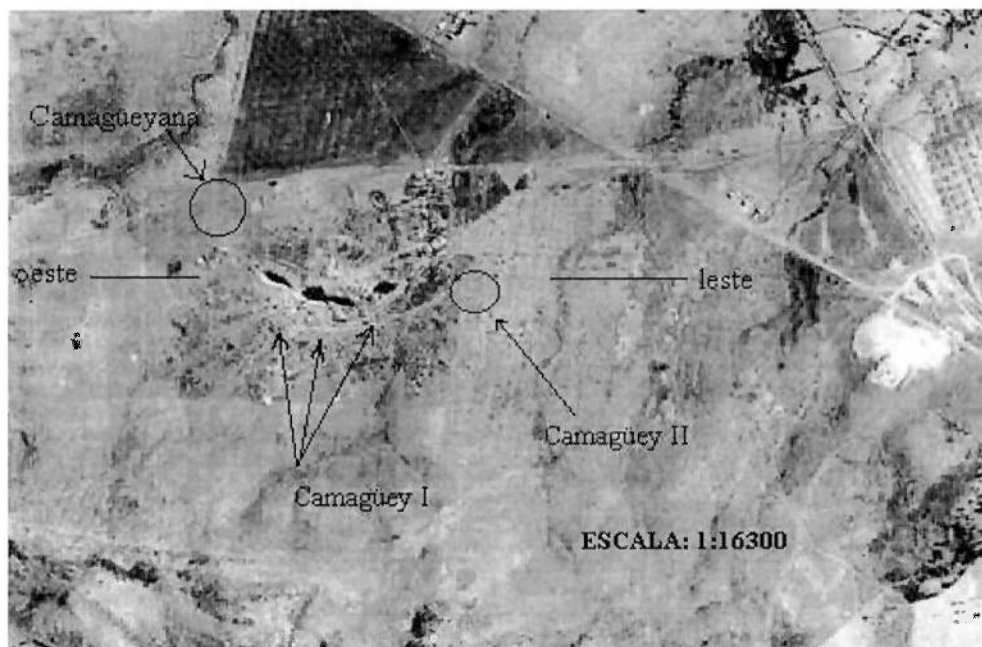
possível jazida no prolongamento do corpo lavrado de "Camagüey I", conhecida como "El Incapturable".

Observam-se, na zona sedimentos antropogênicos, constituídos por rejeitos de minas e construções antigas, próximas àquelas, assim como restos de cavas de matérias primas para construção civil.

O alinhamento entre as jazidas do setor é um critério importante para a definição de que pertencem à mesma estrutura geológica, definição esta estabelecida nas conclusões das pesquisas anteriores e expressa em seus relatórios.

Dentro da área encontram-se três antigas frentes de lavra remanescentes da exploração da jazida "Camagüey I", que se encontram parcialmente inundadas. Estas apresentam extensões de 102 x 50 x 24m, 147 x 53 x 32m e 70 x 67 x 23m de profundidade total, estando suas cavas alagadas em 50% aproximadamente. Outra cava de menor expressão, 20 x 6 x 2m, situa-se sobre a jazida de "Camagüey II".

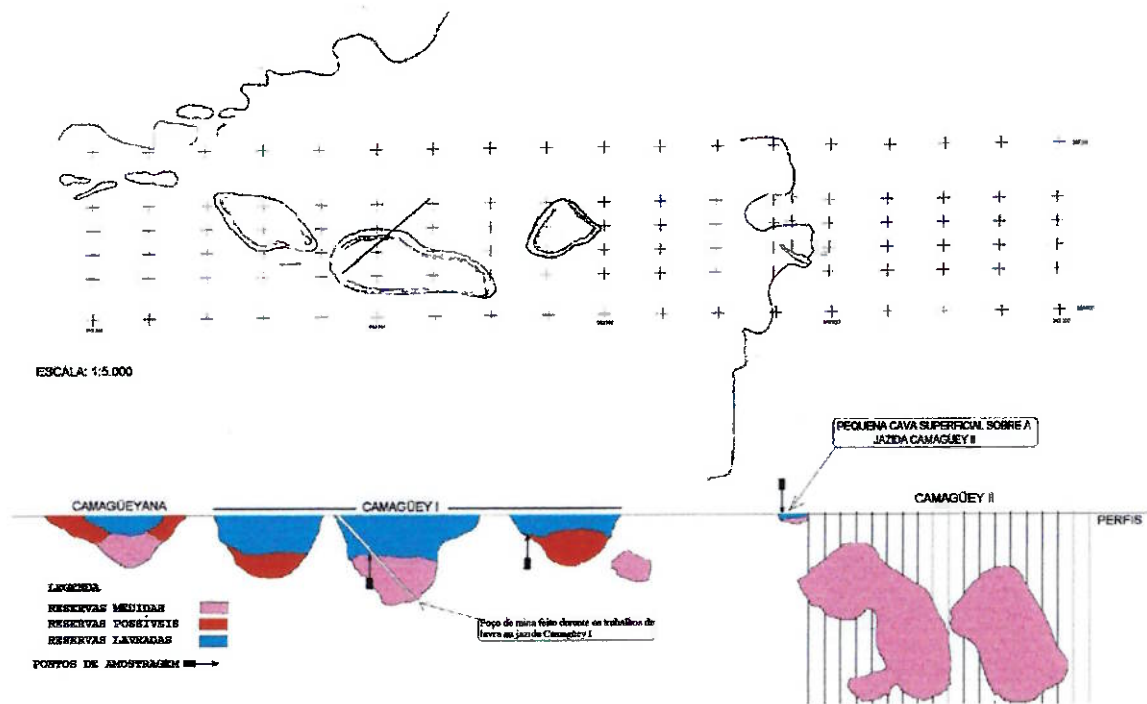
A área considerada pode ser observada na foto aérea apresentada a seguir (Foto 1).



Fonte: Arquivo da Empresa Geomínera Camagüey / Modificado.

Foto 1 - Fotografia aérea da região das jazidas de Camagüey I e Camagüey II

Uma visão mais detalhada pode ser feita a partir do perfil geológico apresentado na Figura 5 (ESCOBAR, 1990).



Fonte: Dados fornecidos por Escobar^{*} / Modificado.

Figura 5 - Perfil com as frentes de lavra na zona de Camagüey-Desprecio-Virtudes

Estabelecendo-se um eixo imaginário de oeste para leste sobre este perfil, as jazidas apresentam um comportamento simétrico, tendendo a mergulhar para leste, em uma área com extensão total de aproximadamente 1.500m.

Nesta região foram avaliadas as possibilidades de coleta de amostras, verificando-se que os locais mais apropriados eram:

- na entrada de uma antiga galeria, originalmente com 150m de profundidade. Esta galeria foi feita pela "Iron Company", dos Estados Unidos, na cava central da jazida "Camagüey I", onde, segundo os relatórios, foram extraídos volumes importantes de minérios nas década de 40 e 50 e onde ainda se encontram restos de minério procedente dos níveis 3 e 4, (Foto 2). Logo abaixo da entrada da galeria existem muitos rejeitos numa situação que parece indicar que são provenientes das operações de lavra da época.

^{*} Comunicação pessoal.



Fonte: Fotografia tirada pelo autor em 1998.

Foto 2 - Área de amostragem na jazida de Camagüey I – cava central

- na entrada de acesso à cava localizada na parte oeste da "Jazida Camagüey I", em área de antiga frente de lavra e onde foram abandonadas algumas centenas de toneladas de minério, quando do fechamento da mina (Foto 3).

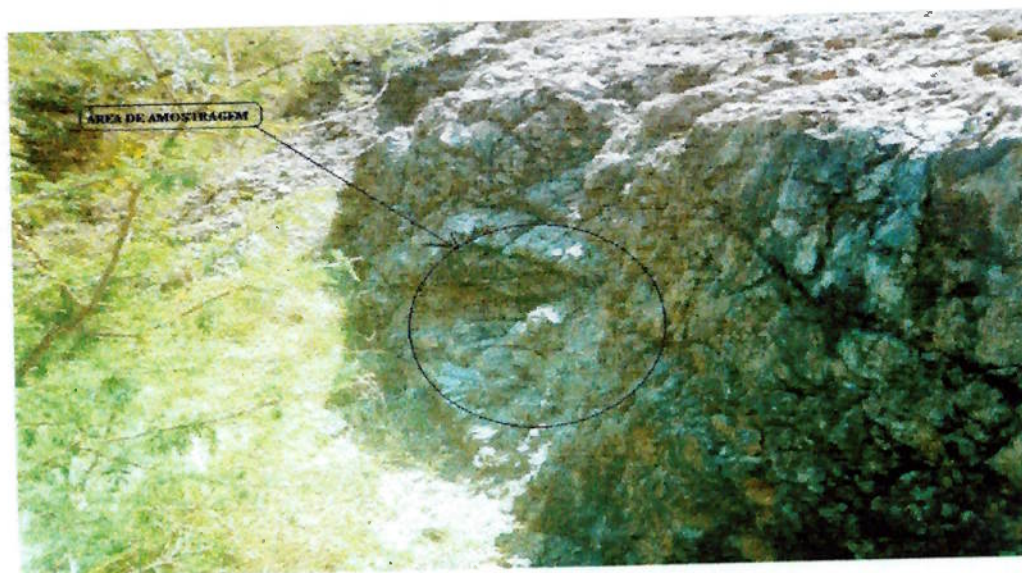


Fonte: Fotografia tirada pelo autor em 1998.

Foto 3 - Área de amostragem na jazida Camagüey I – cava leste

As amostras pontuais coletadas nestes dois locais foram compostas em proporções aproximadamente semelhantes, dando origem à amostra denominada *Camagüey I*.

A segunda amostra, *Camagüey II*, foi coletada numa pequena cava superficial visando estudos preliminares (Foto 4).



Fonte: Fotografia tirada pelo autor em 1998.

Foto 4 - Local de amostragem na jazida Camagüey II

Adicionalmente, com o objetivo de se avaliar o grau de variabilidade do minério, procedeu-se a uma análise estatística dos teores dos elementos Cr_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 e CaO considerando-se um teor de corte de 23% de Cr_2O_3 . Nesta avaliação, apresentada na Tabela 4, foram incluídos os resultados das análises químicas de 37 furos de sondagem realizados entre 1963 e 1986.

Tabela 4 - Avaliação dos resultados das análises químicas da jazida "Camagüey II"

Conceito estatístico	TEORES (%)				densidade g/cm^3
	Cr_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	CaO	
Média	30,1	27,9	6,4	2,2	3,8
Desvio padrão	2,2	2,1	1,9	0,39	0,1
Coefficiente de variação	0,1	0,1	0,3	0,2	0,03
Intervalo p95% ($\pm 1,96s/n$)	0,2	0,2	0,2	0,04	--
No. intervalos/amostras	332	332	332	332	34

Fonte: Elaboração a partir de dados obtidos de ESCOBAR (1989).

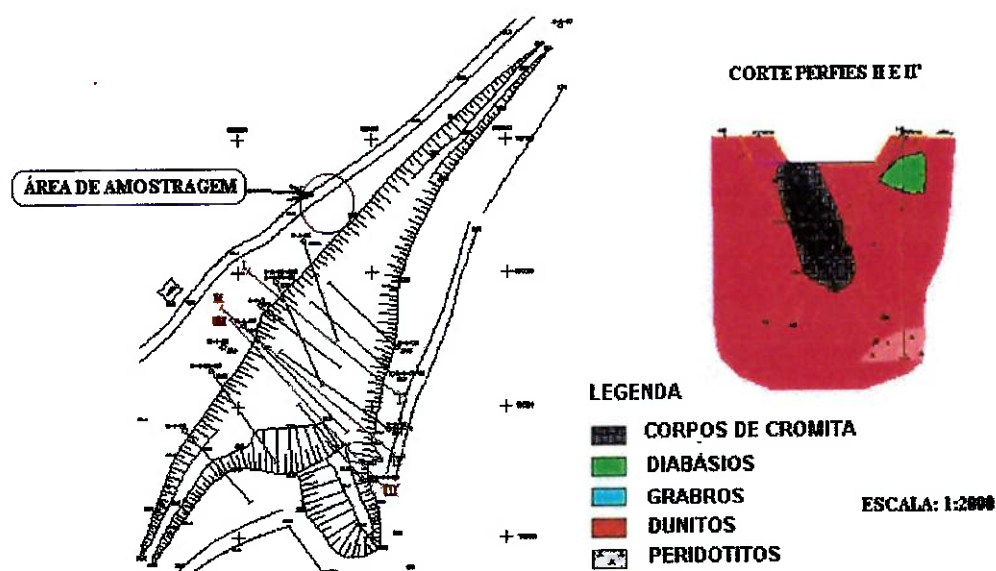
Verifica-se que o desvio padrão e os coeficientes de variação apresentam desvios de pequena magnitude, indicando que os elementos considerados nesta análise apresentam uma distribuição bastante homogênea.

4.1.2. Zona "Mamina"

A "Zona Mamina" está situada a nordeste do povoado de Senado e próxima, pelo sul, ao povoado de Minas. Apresenta área de aproximadamente 0,2km², com coordenadas geográficas de X: 856 400 e Y: 197 000 (centro de área considerado através do Sistema Cuba norte). O relevo é quase plano, com cotas de 10 a 20m, encontrando-se atualmente em área de plantações de cana-de-açúcar.

Situa-se próximo à estrada de ferro Camagüey - Nuevitas. O acesso à região é fácil, mesmo em épocas de chuvas. No local encontra-se uma cava de lavra inundada, de aproximadamente 150 x 50 x 15m. Poucos metros abaixo desta, encontra-se um corpo de cromita podiforme, sub-vertical e com textura maciça, apresentando 65 metros de comprimento, 15m de largura e uma espessura da ordem de 40m, onde foi estimada uma reserva mineral aproximada de 100 mil toneladas.

Um perfil geológico desta cava e do corpo mineralizado pode ser observado na Figura 6.



Fonte: ESCOBAR (1991).

Figura 6 - Perfil geológico da jazida Mamina

A amostragem desta jazida foi definida em função da mesma apresentar reservas minerais significativas e de, apesar de não se encontrar perto da jazida "Camagüey II", apresenta-se dentro da sua zona de influência, além de ter características mineralógicas, morfológicas e genéticas semelhantes às daquela.

Durante o ano de 1991, a cava foi drenada tendo sido extraídas cerca de 4 mil toneladas de minério para testes de beneficiamento. Este material foi armazenado perto da cava, no ponto indicado na Figura 6, e foi neste ponto que se realizou a amostragem para o presente estudo.

De forma semelhante à zona de Camagüey, procedeu-se também a uma avaliação dos resultados das análises químicas. Foram considerados dados de 23 furos de sondagem realizados em 1988, obtendo-se resultados muito semelhantes àqueles verificados para a área de "Camagüey II", como se pode observar a partir da Tabela 5.

Tabela 5 - Avaliação dos resultados das análises químicas da jazida "Mamina"

Conceito estatístico	TEOR (%)				densidade g/cm ³
	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	
Média	29,9	29,9	5,1	0,8	3,8
Desvio padrão	2,3	1,8	1,9	0,4	0,1
Coefficiente de variação	0,1	0,1	0,4	0,5	0,03
Intervalo p95%(± 1,96s/ 'n)	0,4	0,3	0,4	0,1	--
No. intervalos/amostras	125	125	125	125	34

Fonte: Elaboração a partir de dados obtidos de ESCOBAR (1991).

4.1.3. Zona "Victoria"

A "Zona Victoria" está situada a nordeste do povoado de Alta Gracia e é constituída por uma pequena região onde se encontram as jazidas de "Victoria I" e "Victoria II", distantes aproximadamente 300m uma da outra. Com área aproximada de 0,0528km², as duas sub-zonas possuem reservas calculadas em mais de 100 mil toneladas. As coordenadas geográficas do ponto central são X: 839 400 e Y: 187 800 (Sistema Cuba norte).

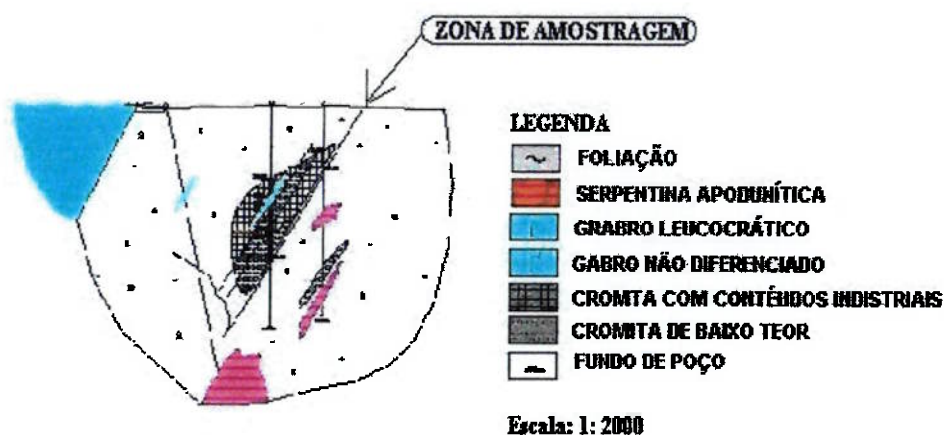
Na área há uma frente de lavra abandonada, atualmente inundada, com dimensões aproximadas de 100 x 17 x 15m, a qual foi explotada nas décadas de 40-50 (Foto 5).



Fonte: Fotografia tirada pelo autor em 1998.

Foto 5 - Vista da cava da zona "Victoria"

Nesta região foram efetuados 23 furos de sondagem para a coleta de amostras para um estudo objetivando verificar a possibilidade de utilização deste minério na indústria de refratários. Restos do material anteriormente amostrado foram armazenados perto da cava, aproximadamente, no ponto indicado na Figura 7.



Fonte: GONZÁLEZ; RICHTER (1990).

Figura 7 - Perfil geológico da jazida Victoria

A avaliação estatística dos teores de 23 furos de sondagem feitos pela "Empresa Geominera de Camagüey" é apresentada na Tabela 6, a seguir, considerando um teor de corte e 23% de Cr_2O_3 :

Tabela 6 - Avaliação dos resultados das análises químicas da jazida "Victoria I"

Conceito estatístico	TEOR (%)				densidade g/cm ³
	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	
Média	29,2	26,9	6,5	1,4	3,8
Desvio padrão	2,4	2,6	2,4	0,7	0,1
Coefficiente de variação	0,1	0,1	0,4	0,5	0,04
Intervalo p95%(± 1,96s/n)	0,4	0,4	0,4	0,1	--
No. intervalos/amostras	186	186	186	186	34

Fonte: Elaboração a partir de dados extraídos de GONZÁLEZ; RICHTER (1990).

4.2. Composição química das amostras estudadas

Para se obter um conhecimento mínimo dos elementos químicos presentes foram analisadas as quatro amostras coletadas, estando os resultados apresentados na Tabela 7, a seguir:

Tabela 7 - Composição química das amostras estudadas

Oxidos / Elementos	Camagüey I	Camagüey II	Mamina	Victoria
% Cr ₂ O ₃	33,3	34,7	32,7	28,2
% MgO	17,4	16,7	17,7	20,7
% Al ₂ O ₃	26,7	28,3	29,5	25,7
% Fe ₂ O ₃	15,4	15,2	14,5	13,3
% SiO ₂	4,28	3,21	3,54	7,25
% CaO	1,33	0,42	0,27	0,33
% TiO ₂	0,29	0,26	0,33	0,21
% V ₂ O ₅	0,14	0,15	0,14	0,13
% Ni ⁽¹⁾	0,17	0,16	0,20	0,21
% Zn ⁽¹⁾	0,12	0,06	0,06	0,05
% S ⁽¹⁾	0,12	0,05	0,01	0,04
Pt (ppm) ⁽²⁾	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cr ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	2,16	2,28	2,26	2,12

Notas:

(1) análises semi-quantitativas realizadas em pastilhas de pó prensado, por fluorescência de raios X.

(2) análises efetuadas por "fire assay"/ absorção atômica no Nomos laboratório

As amostras são constituídas basicamente por Cr₂O₃, MgO, Al₂O₃ e Fe₂O₃. A sílica constituía a principal impureza presente, com teores variando de 3,2% a 7,3%, o

CaO ocorre em teores de 0,3% a 0,4% para as amostras de Camagüey II, Mamina e Victoria, elevando-se substancialmente para a amostra de Camagüey I onde atinge, 1,33%. As relações $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ encontram-se no intervalo de 2,12 até 2,28 para os jazidas avaliados.

Uma comparação entre os teores médios das jazidas e os obtidos para as amostras coletadas é apresentada na Tabela 8 a seguir:

Tabela 8 - Comparação entre teores médios das jazidas e das amostras coletadas

	TEORES EM (%)					
	Cr_2O_3		SiO_2		CaO	
	jazida	amostragem	jazida	amostragem	jazida	amostragem
Camagüey II	30,1	34,7	6,4	3,2	2,2	0,4
Mamina	29,9	32,7	5,1	3,5	0,8	0,3
Victoria	29,2	28,2	6,5	7,3	1,4	0,3

Verifica-se um leve enriquecimento para as amostras referentes aos depósitos de Camagüey II e Mamina, com elevação dos teores de Cr_2O_3 da ordem de 10% aliado a expressiva redução no teores de SiO_2 o mesmo não ocorre para a jazida de Victoria nas quais os teores da amostra coletada são bem mais próximos que a média do depósito.

Os teores de CaO, não entanto, situaram-se bem abaixo das médias dos depósitos. Pode-se prever que tenha ocorrido certa lixiviação de carbonatos, não detectada nas amostras coletadas, como uma possível causa para explicar as diferenciações dos teores observados.

Estas diferenças são plenamente justificadas face às condições de amostragem efetuadas, devendo ser devidamente consideradas na interpretação dos resultados dos estudos de caracterização.

4.3. Análise textural por microscopia óptica e eletrônica de varredura

4.3.1. Microscopia óptica

A análise textural por microscopia óptica teve por objetivo definir as principais características texturais das amostras estudadas, a granulação aproximada dos grãos de cromita para fins de cominuição visando os estudos de caracterização, além de propiciar a seleção das seções a serem estudadas mais detalhadamente por MEV.

Foram inicialmente observadas 6 seções delgadas/polidas de cada amostra, permitindo avaliar as diferentes características texturais presentes; seguiu-se uma avaliação preliminar dos tamanhos dos grãos de cromita com a utilização de um sistema de processamento de imagens acoplado ao microscópio óptico (marca Leica, modelo DMR), visando a definição da malha de cominuição a ser adotada na seqüência dos trabalhos.

De modo geral, as amostras estudadas apresentam textura maciça compacta, com intensidade variável de fraturamento. A granulação da cromita é de fina a média, com os agregados angulosos apresentando textura porfiroclástica. A cromita perfaz cerca de 85 a 90% das amostras, sendo o restante constituído essencialmente por silicatos; sulfetos são raros e apresentam granulação extremadamente fina, estando essencialmente associados à massa silicática. Os aspectos gerais observados ao microscópio são retratados na Foto 6.

A avaliação das texturas e granulação da cromita indicou uma granulação média para este mineral, entre 0,3 e 0,6mm. Desta forma, adotou-se, como malha de cominuição para os estudos de caracterização, 0,6mm.

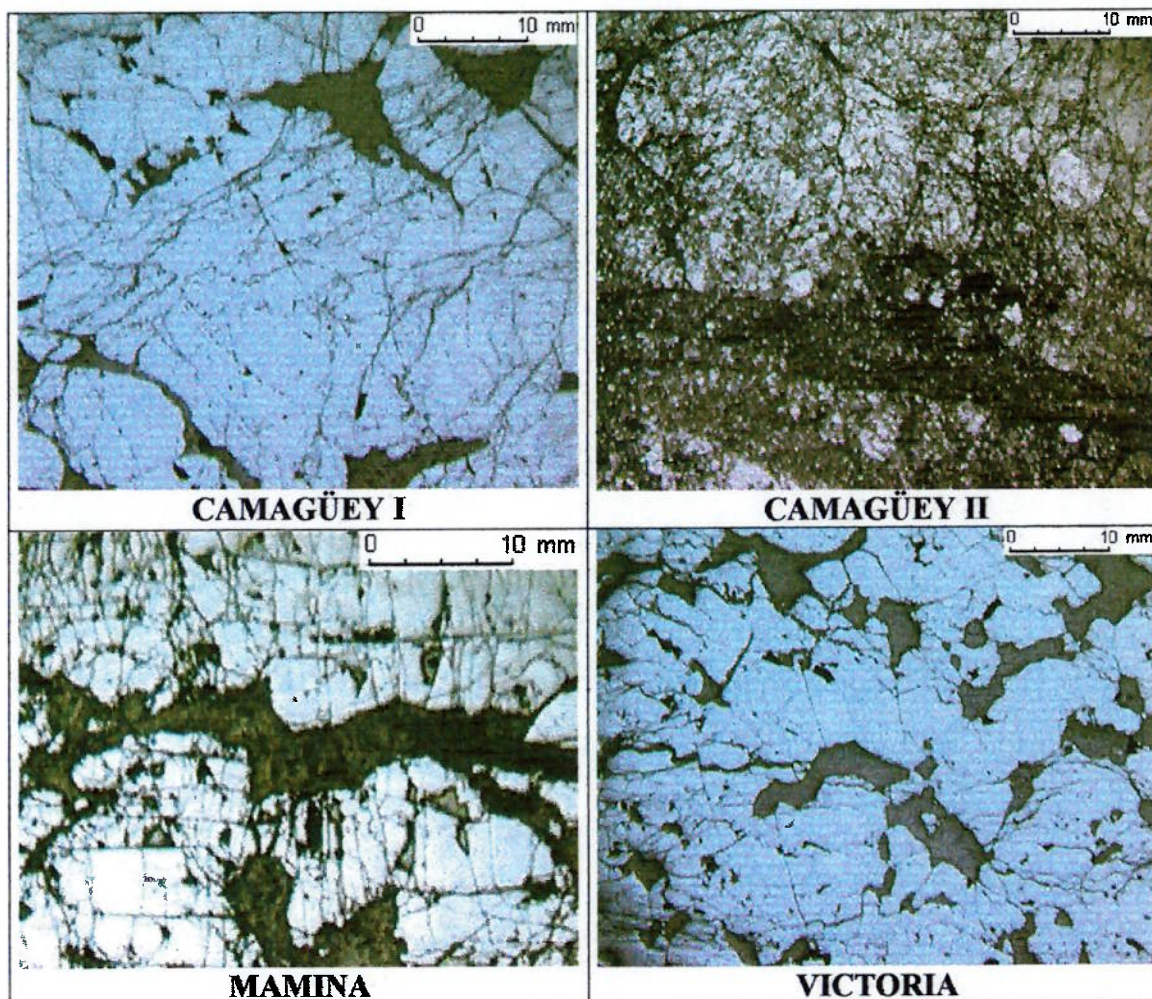


Foto 6 - Aspectos texturais das amostras estudadas. Cromita com textura maciça a compacta, apresentando intensidade variável de fraturamento; granulação de fina a média (0,3 a 0,6mm). Agregados angulosos com textura porfiroclástica

4.3.2. Microscopia eletrônica de varredura e microanálise

A partir das observações em microscópio óptico de luz refletida foram selecionadas três lâminas de cada amostra para observações mais detalhadas sob microscópio eletrônico de varredura.

Além de uma avaliação textural, estas análises tiveram por enfoque verificar a presença eventual de impurezas menores e possíveis variações composicionais da cromita nas amostras estudadas.

Amostras de Camagüey I apresentam textura maciça, com fraturas preenchidas por silicatos; é comum observar-se com clareza mudanças de tonalidade de cinza no

contato com a serpentina onde existe um aumento importante dos conteúdos de Cr, (Foto 7).

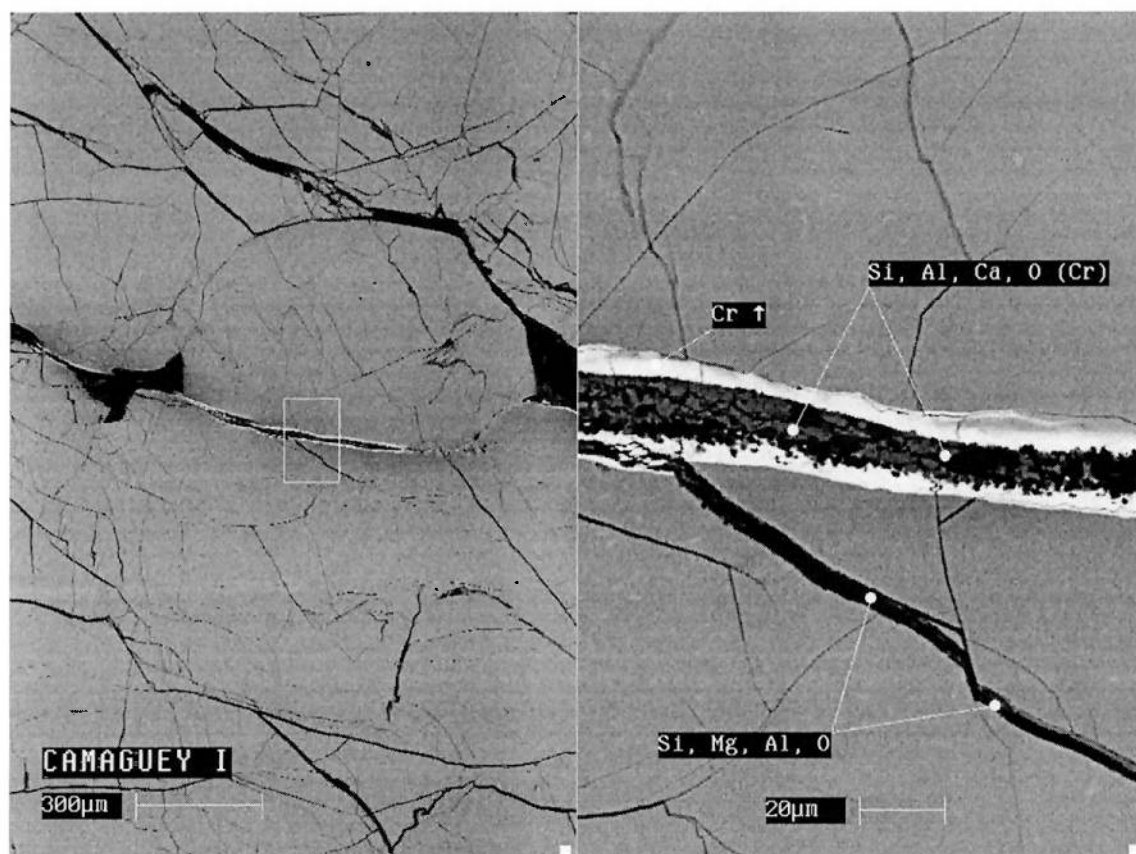


Foto 7 - Amostra de Camagüey I. Zonas de fraturas em cromita preenchidas por silicatos de magnésio, essencialmente serpentina, associadas ocasionalmente a cromo. Observa-se a mudança da tonalidade nas bordas de contato com a serpentina, onde se tem um incremento do teor de Cr_2O_3

Em outras lâminas, nota-se na ganga intersticial, a presença de dolomita com inclusões de magnetita (Foto8).



Foto 8 - Amostra de Camagüey I. Serpentina/clorita intersticial com dolomita associada; nota-se a presença de inclusões idiomórficas micrométricas de magnetita associadas à dolomita.

No caso das amostras de Camagüey II, nota-se um marcado microfraturamento dos minerais presentes, como pode ser observado na (Foto 9).

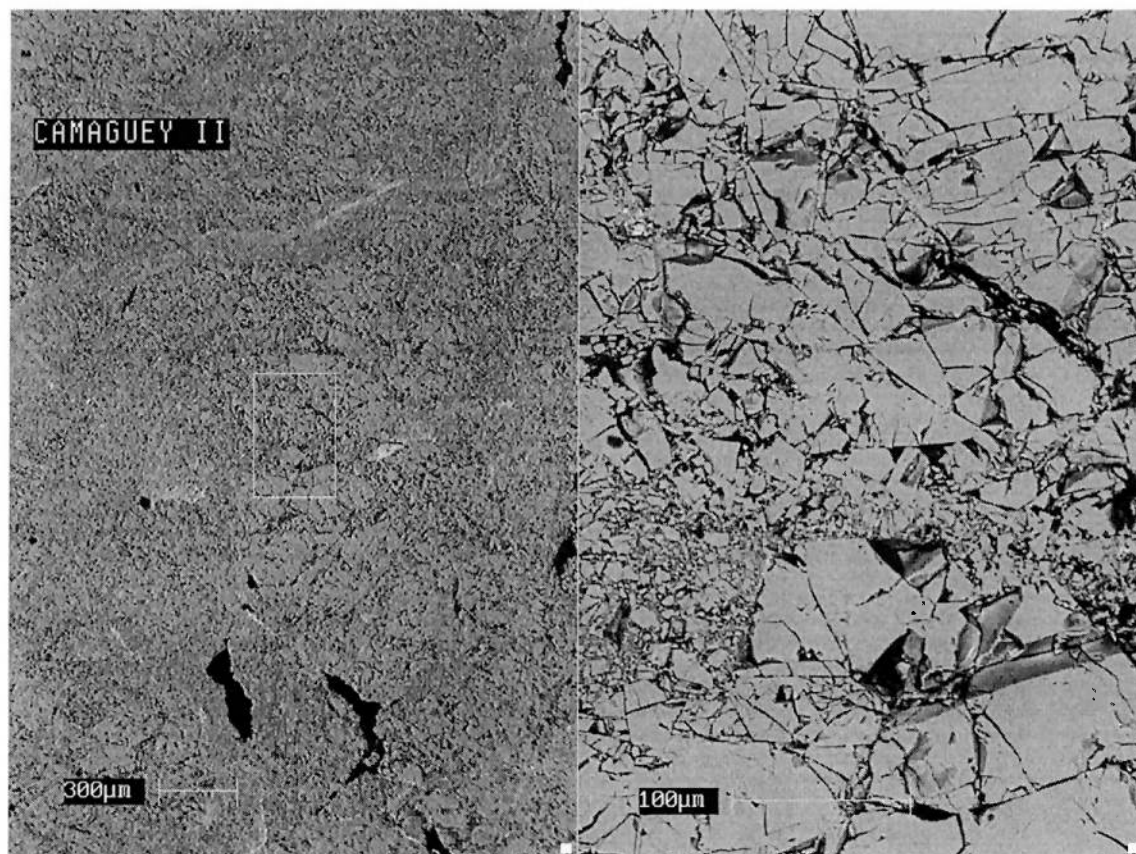


Foto 9 - Amostra Camagüey II. Visão geral do minério apresentando intenso grau de fraturamento. À direita apresenta-se um detalhe da textura do mesmo.

Nas amostras de Camagüey II também podem ser observadas mudanças de tonalidades de cinza nas bordas dos grãos de cromita, apresentando os mesmos incrementos dos conteúdos de Cr encontrados nas demais amostras, como se pode observar na (Foto 10).

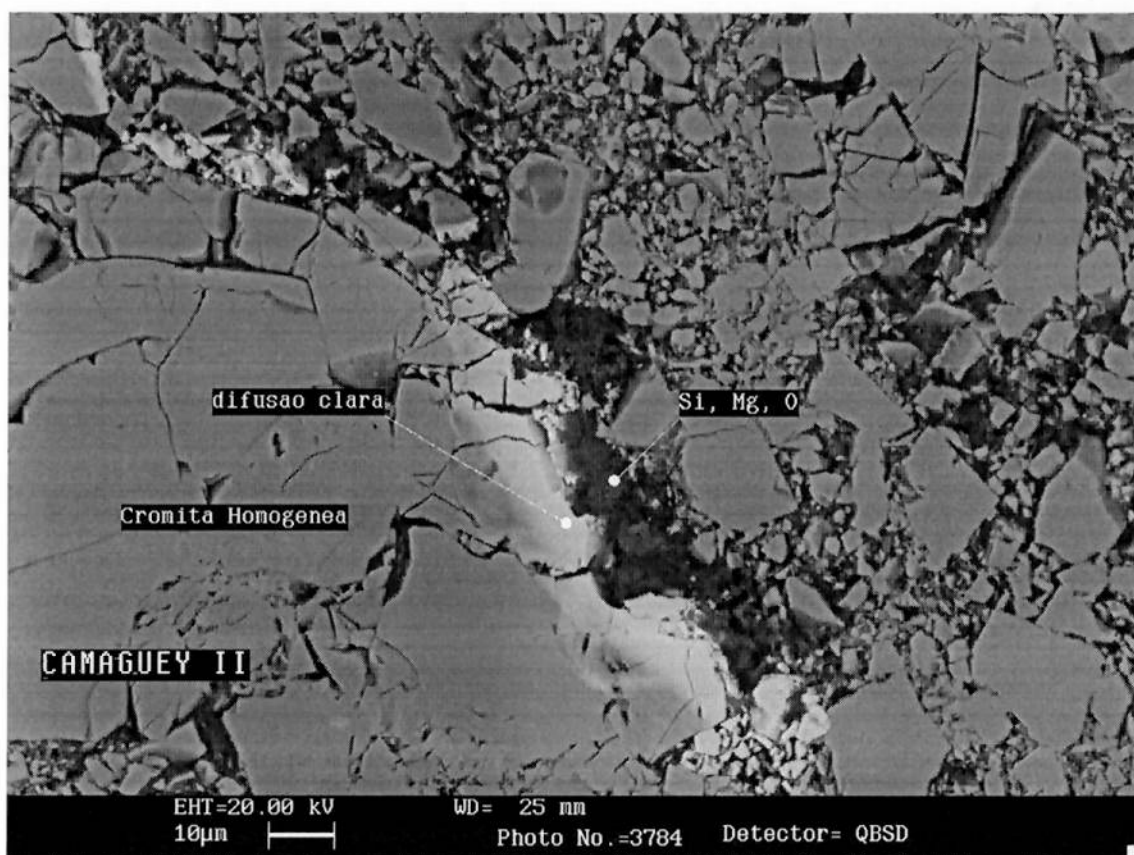


Foto 10 - Amostra de Camagüey II. Zona de contato com silicatos de magnésio onde se pode visualizar a textura, assim como as mudanças de tonalidade da cinza da cromita (detetor de BSE)

As amostras de Mamina e Victoria apresentam, em geral, textura maciça compacta e fina, com uma clara definição das zonas de contato entre a cromita e a ganga silicática; como minerais menores / traços são observados ilmenita, e sulfetos de níquel, sempre associados à ganga silicática.

Sobressaem-se também, em alguns pontos, zonas de diferentes texturas com tonalidades de cinza mais claras em imagens de elétrons retroespalhados (incremento do número atômico médio), principalmente nas regiões de contato da parte maciça com a ganga, embora, na própria zona maciça, elas também possam ser encontradas em menor magnitude (Foto 11).

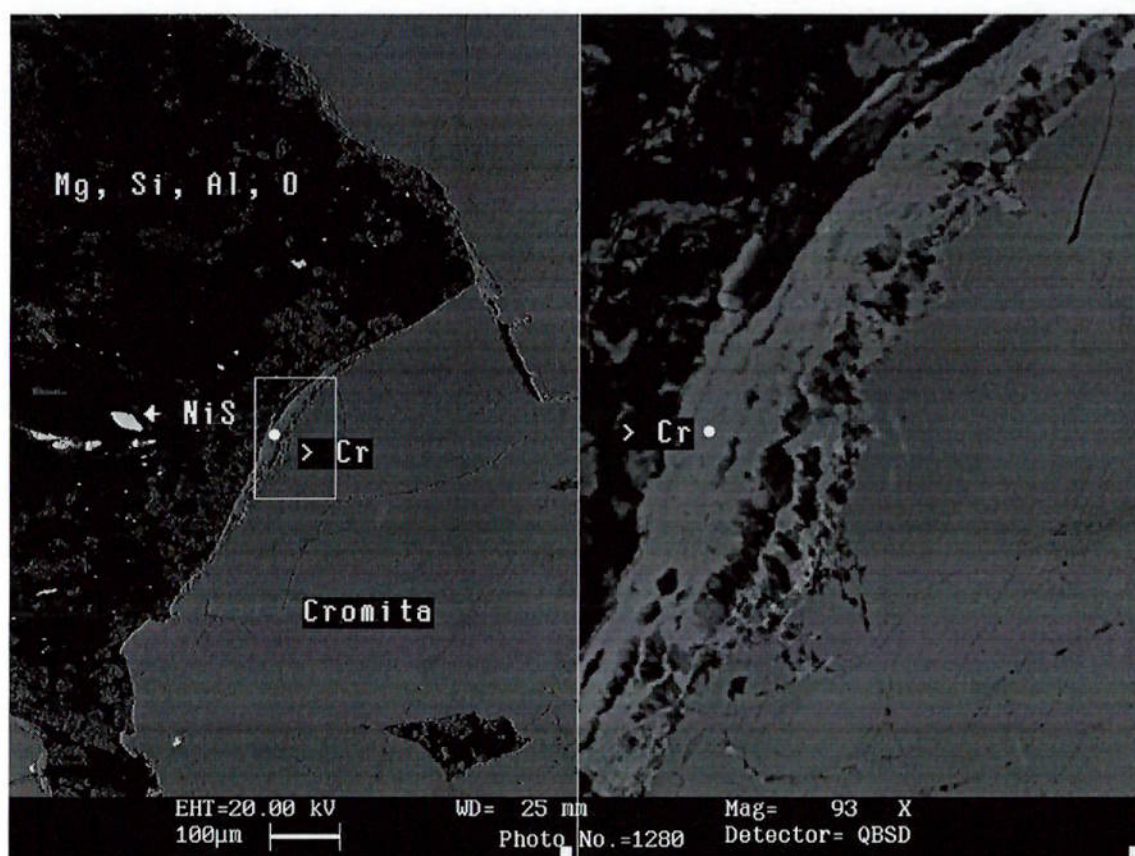


Foto 11 - Textura do minério cromitífero de Mamina observada no MEV (imagem BSD) evidenciando difusão de Cr no contato cromita/silicatos

Na Foto 11 pode-se observar com clareza a área da cromita, assim como os contatos com a ganga; nesta zona de contato ampliada é possível perceber partículas de sulfeto de níquel, inclusas na ganga silicática; no contato da cromita com os silicatos nota-se um fenômeno de difusão do Cr, caracterizado por uma “auréola” com textura coliforme enriquecida em Cr (tonalidade mais clara).

Uma situação semelhante pode ser visualizada na Foto 12, em uma lâmina da jazida Victoria, onde observa-se com clareza um aumento do número atômico médio no contato cromita / silicatos (enriquecimento em Cr), além de um grão de ilmenita.

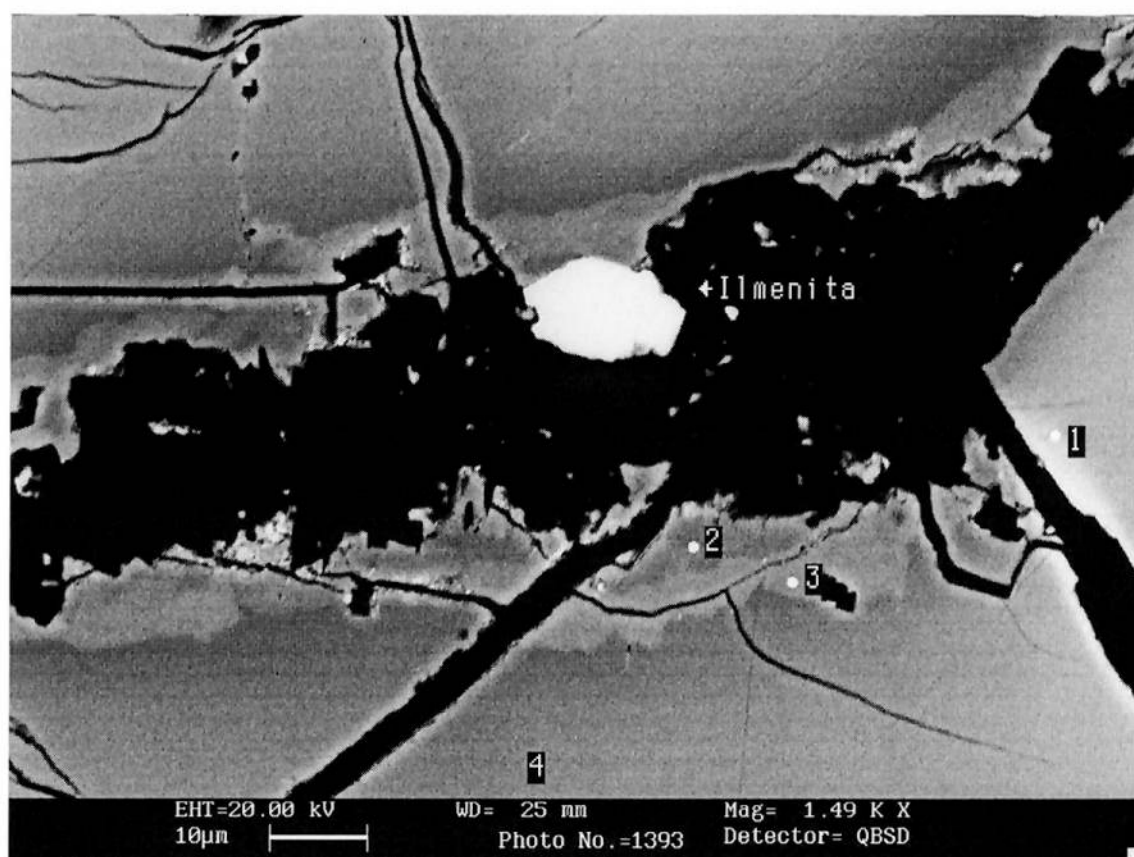


Foto 12 - Amostra do minério de Victoria (imagem BSD) onde observam-se mudanças das tonalidades de cinza da cromita. Um grão de ilmenita dentro da massa intersticial de silicatos

De modo geral, as quatro amostras analisadas apresentam as mesmas feições texturais e componente mineral, com exceção unicamente da intensidade de fraturamento que é distinta para os quatro depósitos estudados.

Todas as amostras apresentam uma região de cromita maciça, mais o menos fraturada, e de composição bastante homogênea; esta porção é junta mais de 95% da cromita presente nas amostras estudadas.

Adicionalmente, nas proximidades de contato com a gana silicática intersticial é freqüente se notar uma região com enriquecimento de Cr, caracterizada por elevação na tonalidade de cinza em imagens de elétrons retroespalhados (BSD). Estas porções,

denominadas zonas de difusão por vezes apresentam textura coliforme e representam menos de 5% do total de cromita presente. Uma amostra adicional disso pode ser visualizada nas Fotos 13 e 14 a seguir.

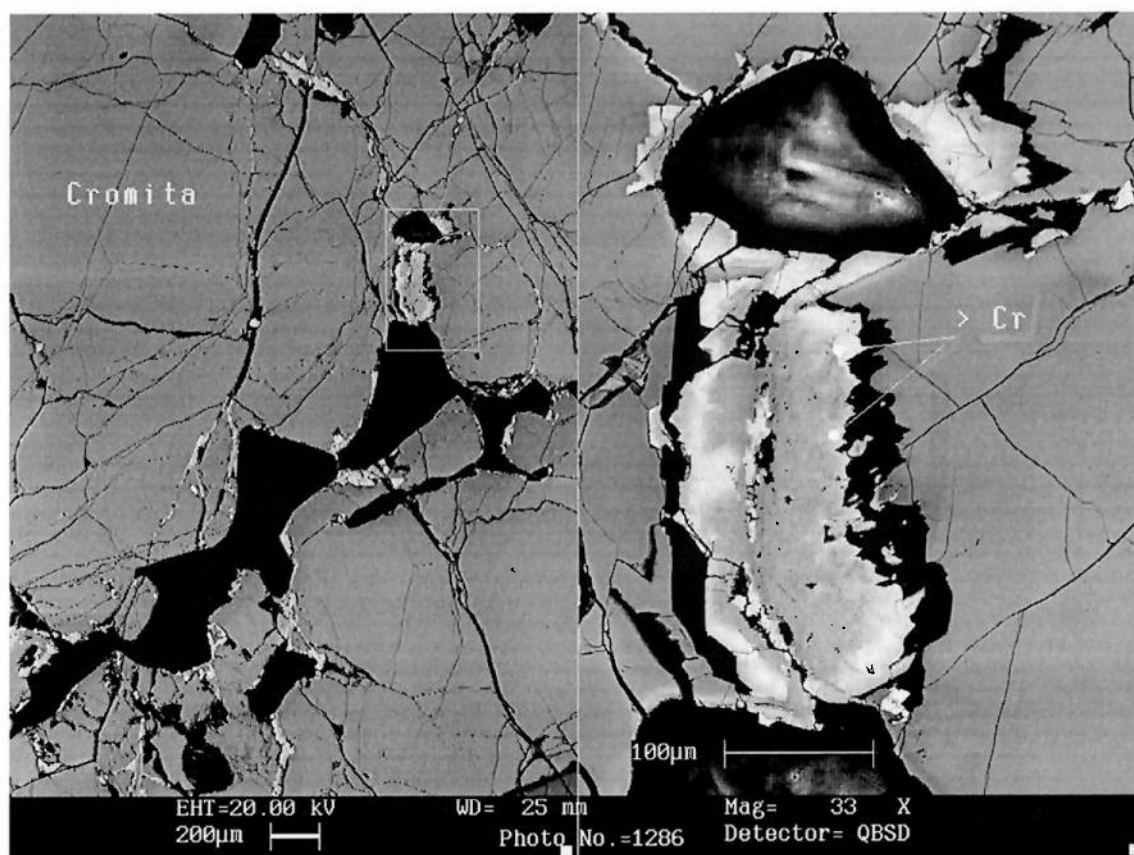


Foto 13 - Amostra Mamina - zonas de fraturamento e contato, onde podem ser apreciadas claramente as diferenças de tonalidades de cinza (imagem BSD), devidas a diferenças de composição química da cromita (porções mais claras são mais ricas em Cr)

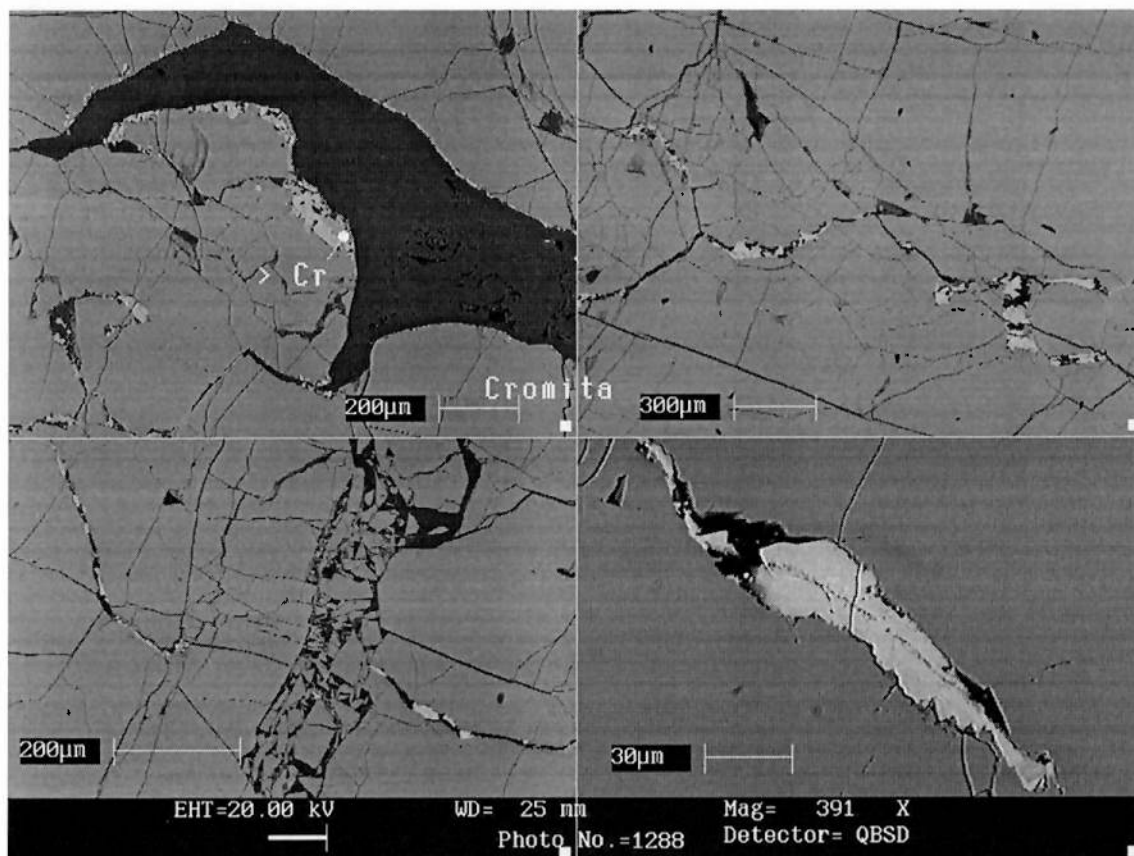


Foto 14 - Amostra de Mamina – feições apresentadas pela cromita (imagem BSD), zonas de fraturamento, assim como zonas de contato com mudanças de tonalidades de cinza, cinza enriquecidas em Cr.

Para se ter uma maior compreensão do comportamento dos conteúdos de cromo e outros óxidos nas diferentes zonas do minério, foram efetuadas análises químicas das mesmas por EDS. Os resultados as análises químicas pontuais, normalizados a 100%, são apresentados nas Tabelas 9 e 10 a seguir.

Tabela 9 - Resultados das análises químicas pontuais de cromita por EDS, nas regiões homogêneas

Jazida	Região	TEORES (%)							
		Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	V ₂ O ₅	NiO
Camagüey I	Z. Homog. 1	38,2	15,6	29,6	15,7	0,26	0,17	0,25	0,19
	Z. Homog. 2	38,1	15,2	29,6	15,9	0,36	0,31	0,25	0,16
	Z. Homog. 3	36,5	15,9	31,0	15,5	0,34	0,30	0,25	0,20
	Z. Homog. 4	36,9	15,5	30,2	16,2	0,47	0,23	0,25	0,17
	Z. Homog. 5	37,8	15,4	29,6	16,3	0,44	0,20	0,12	0,13
	Média	37,5	15,5	30,0	15,9	0,37	0,24	0,22	0,17
Camagüey II	Z. Homog. 1	40,1	14,5	28,7	15,6	0,24	0,27	0,29	0,30
	Z. Homog. 2	39,4	14,8	28,8	15,9	0,40	0,25	0,23	0,18
	Z. Homog. 3	39,6	15,0	28,8	15,6	0,28	0,30	0,25	0,13
	Z. Homog. 4	38,9	15,0	28,6	15,8	0,66	0,26	0,31	0,12
	Média	39,5	14,8	28,7	15,7	0,40	0,27	0,27	0,18
Mamina	Z. Homog. 1	37,9	16,0	30,5	14,8	0,24	0,26	0,2	0,24
	Z. Homog. 2	37,4	15,9	30,1	15,4	0,44	0,24	0,3	0,23
	Z. Homog. 3	37,9	16,0	30,4	14,9	0,23	0,13	0,23	0,24
	Z. Homog. 4	37,3	17,0	32,5	12,3	0,54	0,05	0,27	0,05
	Z. Homog. 5	37,9	16,0	30,2	14,8	0,37	0,22	0,3	0,18
	Média	37,7	16,2	30,7	14,4	0,36	0,18	0,26	0,19
Victoria	Z. Homog. 1	38,1	15,2	30,2	15,8	0,34	0,23	0,12	0,10
	Z. Homog. 2	38,4	15,3	29,9	15,4	0,49	0,06	0,29	0,13
	Z. Homog. 3	37,8	15,0	29,8	16,4	0,30	0,24	0,21	0,19
	Z. Homog. 4	37,5	15,1	29,9	16,3	0,46	0,18	0,28	0,28
	Z. Homog. 5	37,3	15,2	30,2	16,5	0,36	0,16	0,19	0,10
	Média	37,8	15,2	30,0	16,1	0,39	0,17	0,22	0,16

Tabela 10 - Resultados das análises químicas pontuais de cromita por EDS, nas zonas de difusão

Jazidas	Região	TEORES (%)							
		Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	V ₂ O ₅	NiO
Camagüey I	Difusão 1	40,6	10,8	101	37,1	0,17	0,66	0,27	0,33
	Difusão 2	42,8	12,6	12,7	30,4	0,22	0,71	0,19	0,34
	Difusão 3	42,3	12,0	16,7	27,1	0,27	0,95	0,24	0,28
	Média	41,9	11,8	13,2	31,6	0,22	0,77	0,23	0,32
Camagüey II	Difusão 1	61,8	7,4	8,0	22,2	0,24	0,07	0,23	0,04
	Difusão 2	61,1	9,7	9,4	16,7	1,79	0,23	0,22	0,04
	Difusão 3	51,8	8,6	12,5	18,2	4,59	0,33	0,32	0,04
	Média	58,2	8,6	10,0	19,1	2,21	0,21	0,26	0,04
Mamina	Difusão 1	47,7	16,1	9,2	18,0	8,14	0,04	0,33	0,40
	Difusão 2	61,8	6,4	6,7	21,6	2,46	0,34	0,34	0,31
	Difusão 3	61,5	7,5	10,7	18,5	1,48	0,18	0,05	0,07
	Média	57,0	10,0	8,9	19,4	4,03	0,19	0,24	0,26
Victoria	Difusão 1	62,5	8,5	9,8	16,4	2,13	0,26	0,35	0,02
	Difusão 2	56,0	6,3	13,5	21,6	1,37	0,21	0,31	0,51
	Difusão 3	61,2	6,5	9,2	21,1	1,05	0,28	0,36	0,35
	Média	59,9	7,1	10,8	19,7	1,52	0,25	0,34	0,29

A partir destes resultados verificou-se que:

- nas regiões homogêneas, as composições da cromita mostram pequenas variações no conteúdo dos principais elementos presentes. Comparativamente, entre as quatro amostras estudadas, tem-se teores médios de Cr₂O₃ praticamente idênticos para os depósitos de Camagüey I, Mamina e Victoria (37,5 a 37,8%); já para Camagüey II, em que os fenômenos tectônicos e de fraturamento são mais intensos, nota-se um teor de Cr₂O₃ um pouco mais elevado (39,5% Cr₂O₃);

- as zonas com tonalidade mais clara e textura coliforme correspondentes ao contato com a ganga silicatada ou, mais raramente, a zonas de fraturamento, apresentam um importante incremento nos conteúdos de Cr_2O_3 – atingindo valores de até 60% - e de Fe_2O_3 , aliada a uma diminuição sensível nos conteúdos de Al_2O_3 e MgO , o que parece indicar um processo de difusão em direção às bordas, assim como uma forte ligação Cr-Fe;
- a composição química nestas porções é bastante variável, denotando, porém, sistemático enriquecimento de cromo e / ou ferro; este último particularmente importante para o depósito de Camagüey I.

4.4. Análises granulométricas

Análises granulométricas foram efetuadas no produto de moagem das quatro amostras analisadas. Os resultados obtidos são apresentados sob a forma de gráficos de distribuição em massa acumulada na Figura 8.

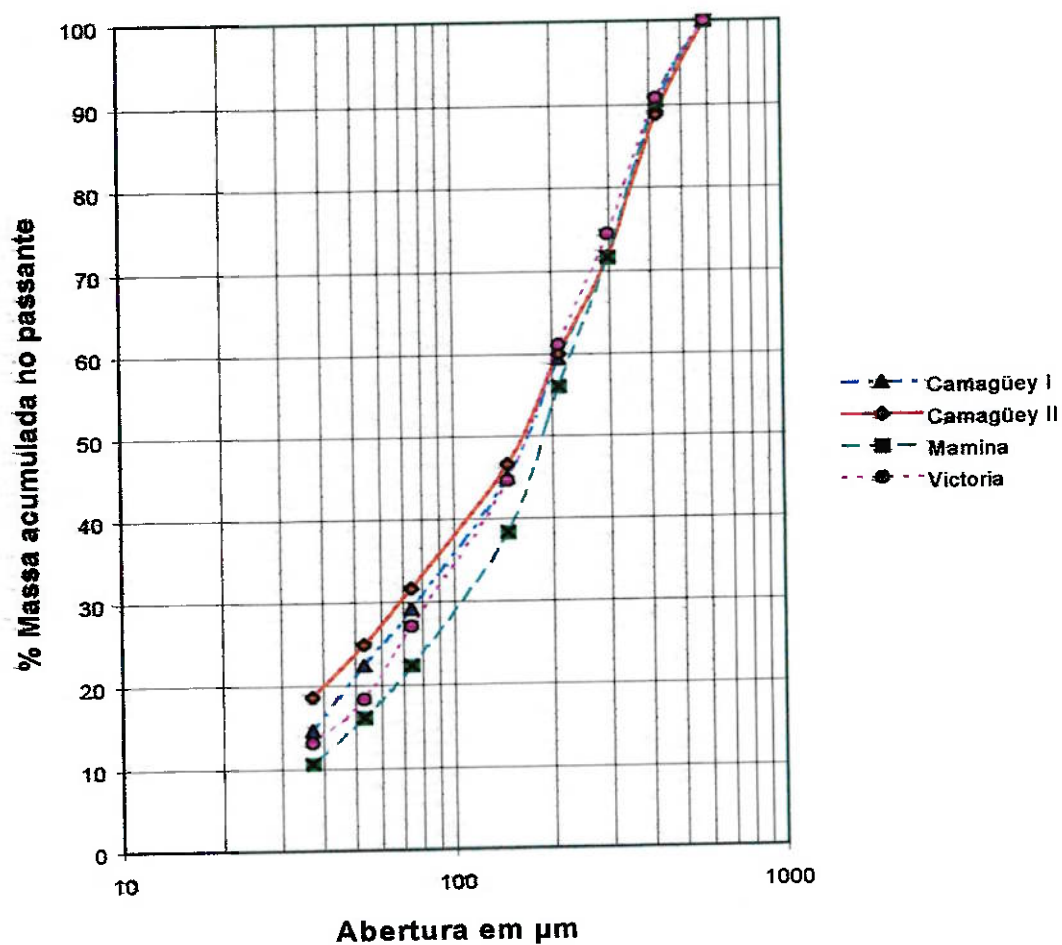


Figura 8 - Peneiramento a úmido – gráficos de distribuição acumulada

Os resultados do peneiramento a úmido mostram que o processo de britagem e moagem das diferentes amostras gerou produtos semelhantes, sendo que o conteúdo de finos passante em $37\mu\text{m}$ representa de 11 a 19% em massa.

Resultados das análises químicas das várias frações granulométricas e distribuições dos principais óxidos de interesse são apresentados nas Tabelas 11 a 14, assim como nas Figuras 9 e 10.

Tabela 11 - Amostra de Camagüey I: resultados da análise granulométrica

Fração mm	% Peso	Teores (%)							Distribuição (%)						
		Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂
-0,590 +0,420	10,3	32,1	17,6	26,5	15,5	5,53	1,48	0,28	9,9	10,5	10,2	10,3	12,6	11,5	9,9
-0,420 +0,297	17,9	32,6	17,1	27,4	15,2	5,14	1,30	0,28	17,5	17,7	18,4	17,7	20,4	17,7	17,3
+0,297 -0,210	12,5	34,5	17,2	26,1	15,4	4,17	1,29	0,35	12,9	12,4	12,2	12,4	11,5	12,3	15,0
-0,210 +0,149	14,3	34,1	17,3	26,9	15,8	3,56	1,00	0,27	14,6	14,4	14,5	14,7	11,3	10,9	13,5
-0,149 +0,074	15,8	33,5	17,6	26,8	15,5	4,06	1,20	0,29	15,8	16,1	15,8	15,8	14,1	14,4	15,5
-0,074 +0,037	14,5	34,6	17,0	27,0	15,8	3,35	0,98	0,29	15,1	14,3	14,7	14,8	10,7	10,8	14,6
-0,037	14,6	32,2	17,5	25,9	15,1	6,04	2,02	0,29	14,1	14,7	14,2	14,3	19,5	22,4	14,3
Total calcul.	100,0	33,4	17,3	26,7	15,5	4,53	1,32	0,29	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Total dosado		33,3	17,4	26,7	15,4	4,28	1,33	0,29							

Tabela 12 - Amostra de Camagüey II: resultados da análise granulométrica

Fração mm	% Peso	Teores (%)							Distribuição (%)						
		Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂
-0,590 +0,420	11,2	34,9	16,8	28,1	15,3	3,09	0,48	0,26	11,2	11,3	11,1	11,2	11,1	12,5	10,5
-0,420 +0,297	17,1	34,8	16,9	28,2	15,2	3,12	0,47	0,29	17,1	17,4	17,1	17,0	17,1	18,7	18,0
+0,297 -0,210	11,7	35,2	16,6	28,2	15,4	2,82	0,43	0,29	11,8	11,7	11,7	11,9	10,6	11,6	12,0
-0,210 +0,149	13,3	35,6	16,3	28,7	15,4	2,38	0,31	0,25	13,6	13,0	13,5	13,5	10,2	9,7	12,1
-0,149 +0,074	15,0	35,3	16,7	28,2	15,3	2,79	0,37	0,27	15,1	15,0	14,9	15,0	13,4	12,9	14,7
-0,074 +0,037	13,0	35,6	16,4	28,6	15,3	2,44	0,38	0,27	13,3	12,8	13,2	13,1	10,2	11,5	12,7
-0,037	18,6	33,8	16,9	27,9	15,0	4,60	0,54	0,30	18,0	18,8	18,4	18,3	27,5	23,2	19,8
Total calcul.	100,0	35,0	16,7	28,3	15,3	3,12	0,43	0,28	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Total dosado		34,7	16,7	28,3	15,2	3,21	0,42	0,26							

Tabela 13 - Amostra de Mamina: resultados da análise granulométrica

Fração mm	% Peso	Teores (%)						Distribuição (%)							
		Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂
-0,590 +0,420	9,5	33,7	18,0	29,6	14,9	2,29	0,23	0,34	9,5	9,6	9,6	9,6	7,6	8,6	10,1
-0,420 +0,297	18,9	33,5	17,9	29,4	14,7	2,83	0,21	0,34	18,8	18,9	18,8	18,7	15,4	15,4	19,9
+0,297 -0,210	15,6	33,9	18,1	29,6	14,8	2,10	0,18	0,32	15,9	15,7	15,7	11,5	10,8	10,8	15,6
-0,210 +0,149	17,6	33,9	17,9	29,7	14,9	2,12	0,21	0,29	17,9	17,5	17,8	13,1	14,3	14,3	16,0
-0,149 +0,074	15,9	33,9	17,6	29,7	15,0	2,18	0,21	0,33	16,2	15,6	16,1	12,1	12,8	12,8	16,4
-0,074 +0,037	11,7	33,2	18,1	29,5	14,8	2,84	0,24	0,33	11,7	11,8	11,8	11,6	10,8	10,8	12,1
-0,037	10,7	30,6	18,8	27,7	14,1	6,82	0,67	0,29	9,8	11,1	10,0	10,2	25,4	27,4	9,8
Total calcul.	100,0	33,4	18,0	29,4	14,8	2,86	0,26	0,32	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Total dosado		32,7	17,7	29,5	14,5	3,54	0,27	0,33							

Tabela 14 - Amostra de Victoria: resultados da análise granulométrica

Fração mm	% Peso	Teores (%)						Distribuição (%)							
		Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂
-0,590 +0,420	9,2	28,1	22,3	25,7	13,7	8,70	0,32	0,19	8,9	9,6	8,9	9,1	10,5	8,5	8,3
-0,420 +0,297	16,4	28,8	21,9	26,3	13,7	7,86	0,29	0,18	16,2	16,7	16,2	16,2	16,9	13,4	13,7
+0,297 -0,210	13,4	29,4	21,3	26,8	13,9	7,22	0,30	0,21	13,5	13,3	13,5	13,5	12,7	11,2	13,7
-0,210 +0,149	16,5	29,9	21,0	27,1	14,0	6,50	0,27	0,22	16,9	16,2	16,8	16,7	14,1	12,4	17,7
-0,149 +0,074	17,5	30,1	20,8	27,2	14,1	6,30	0,30	0,21	18,1	17,1	17,9	17,9	14,5	14,8	18,0
-0,074 +0,037	14,0	30,1	20,6	27,1	14,2	6,44	0,38	0,21	14,5	13,5	14,2	14,4	11,8	15,0	14,3
-0,037	13,1	26,2	22,1	25,5	13,0	11,29	0,66	0,23	11,8	13,5	12,5	12,3	19,4	24,7	14,3
Total calcul.	100,0	29,1	21,4	26,6	13,8	7,60	0,35	0,21	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Total dosado		28,2	20,7	25,7	13,3	7,25	0,33	0,21							

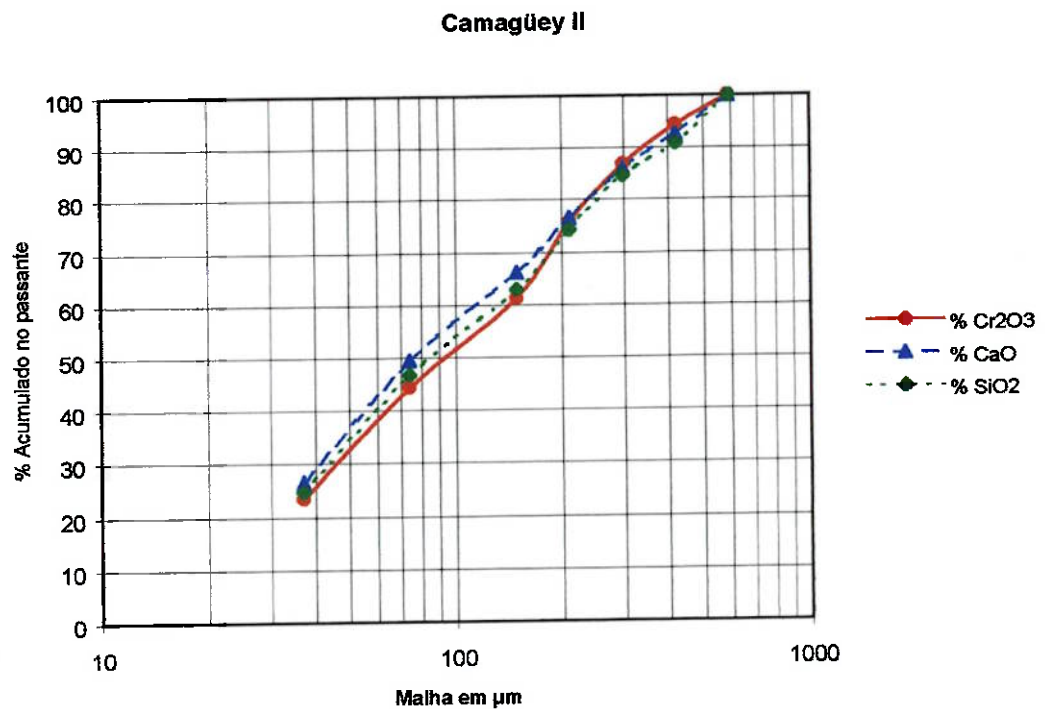
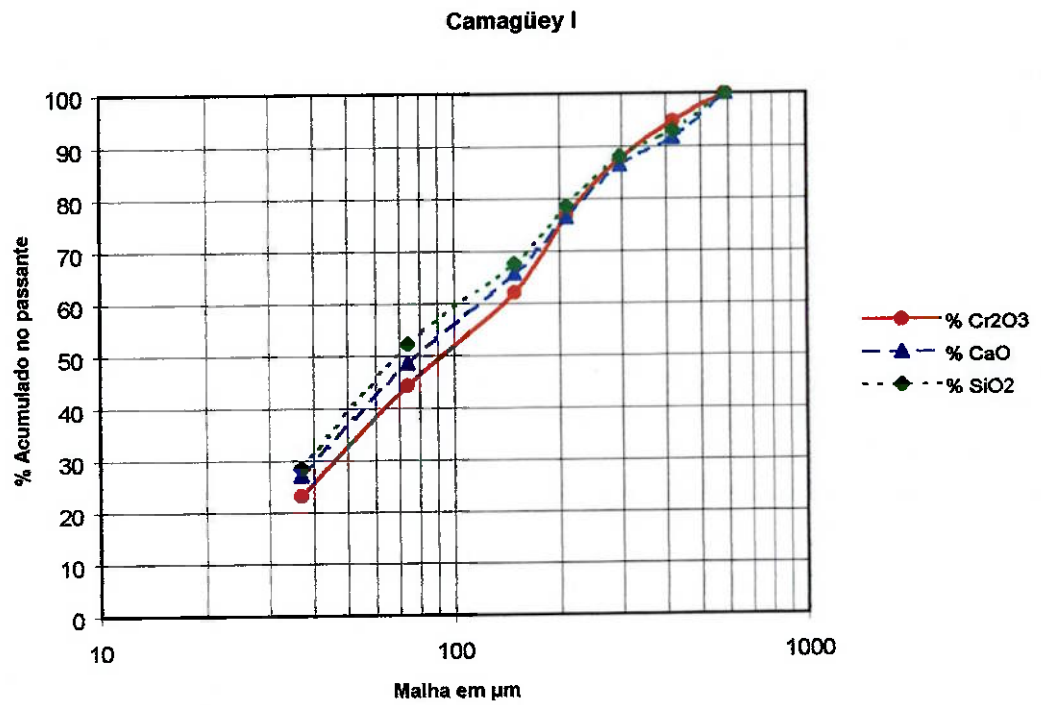


Figura 9 - Amostras Camagüey I e Camagüey II - resultados de distribuição acumulada dos óxidos mais relevantes

Nota: O comportamento de Al₂O₃, TiO₂, MgO e Fe₂O₃ é praticamente idêntico ao de Cr₂O₃.

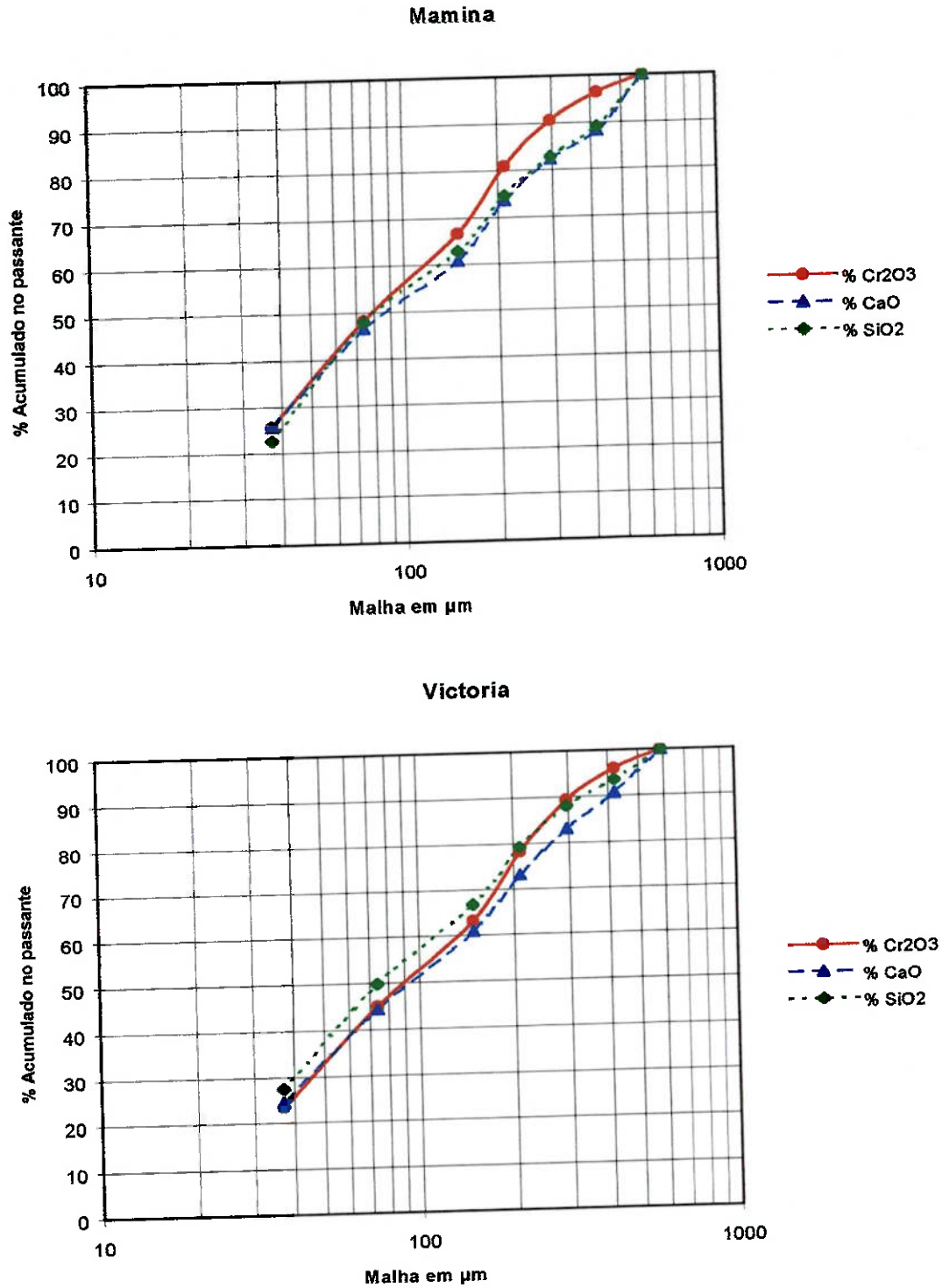


Figura 10 - Amostras Mamina e Victoria - resultados de distribuição acumulada dos óxidos mais relevantes

Nota: O comportamento de Al₂O₃, TiO₂, MgO e Fe₂O₃ é praticamente idêntico ao de Cr₂O₃.

As análises químicas dos óxidos dos elementos mais relevantes mostram, de maneira geral, que, para as quatro amostras, não existe concentração preferencial em nenhuma fração granulométrica, à exceção de um incremento do conteúdo de SiO_2 e, secundariamente, de CaO na fração passante em $-0,037\text{mm}$.

Observa-se a partir dos resultados de distribuição que os óxidos de Cr_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , MgO e Fe_2O_3 comportam-se de forma quase idêntica, não se percebendo nenhuma variação significativa nas diferentes faixas granulométricas. Tal fato sugere que estes elementos estão fortemente ligados em uma mesma fase mineral (cromita), e que aparentemente não existe efeito qualquer de liberação aparente durante os processos de cominuição que permita elevar a relação de Cr em relação a estes elementos.

Somente os óxidos CaO e SiO_2 mostram certo grau de independência com respeito ao Cr_2O_3 , incrementando-se levemente à medida que diminui o diâmetro das partículas passantes.

Por outro lado, o fato de haver entre 11% e 19% em massa em $-0,037\text{mm}$, com um teor de Cr_2O_3 de 26,6% a 33,8%, implica que poderá haver uma importante perda dos conteúdos de cromo durante os processos industriais, se esta fração for considerada como rejeito de um processo de beneficiamento.

4.5. Separações minerais

4.5.1. Separações magnéticas

O comportamento da separação magnética por fração granulométrica, para as várias jazidas, representado graficamente sob a forma de histogramas nas Figuras 11 e 12, indicam comportamento relativamente homogêneo entre elas.

Verificou-se como resultado das separações que os produtos magnéticos correspondentes às intensidades de 2,70kGauss e 4,05kGauss representavam, aproximadamente, 90% da massa total do ensaio.

Durante as separações também percebeu-se uma quantidade apreciável de silicatos de coloração clara (60 a 80% do total), que estão associados aos produtos majoritários, ou seja, os materiais magnéticos nas intensidades de campo de 1,35kGauss, 2,70kGauss e 4,05kGauss.

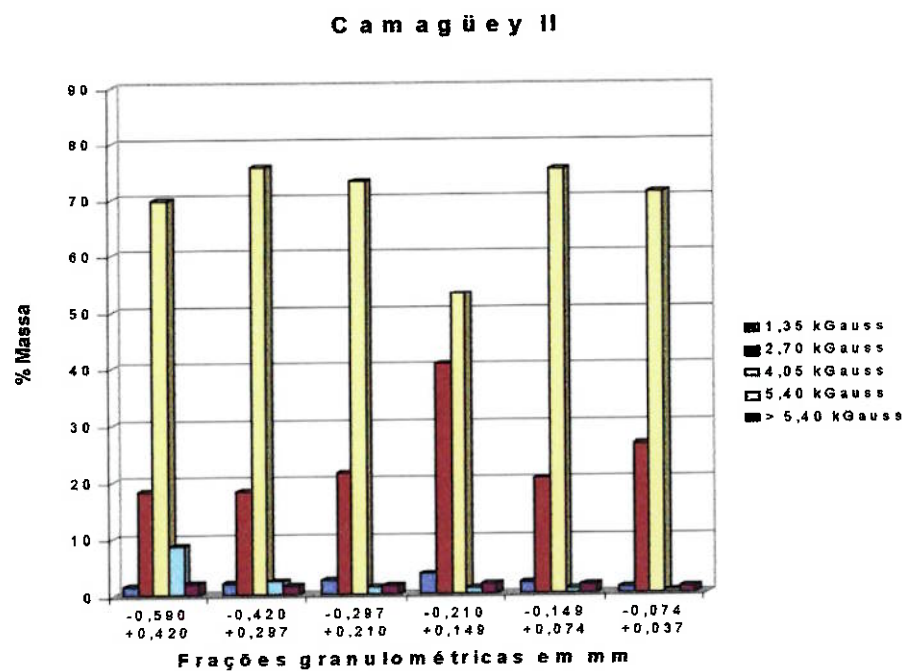
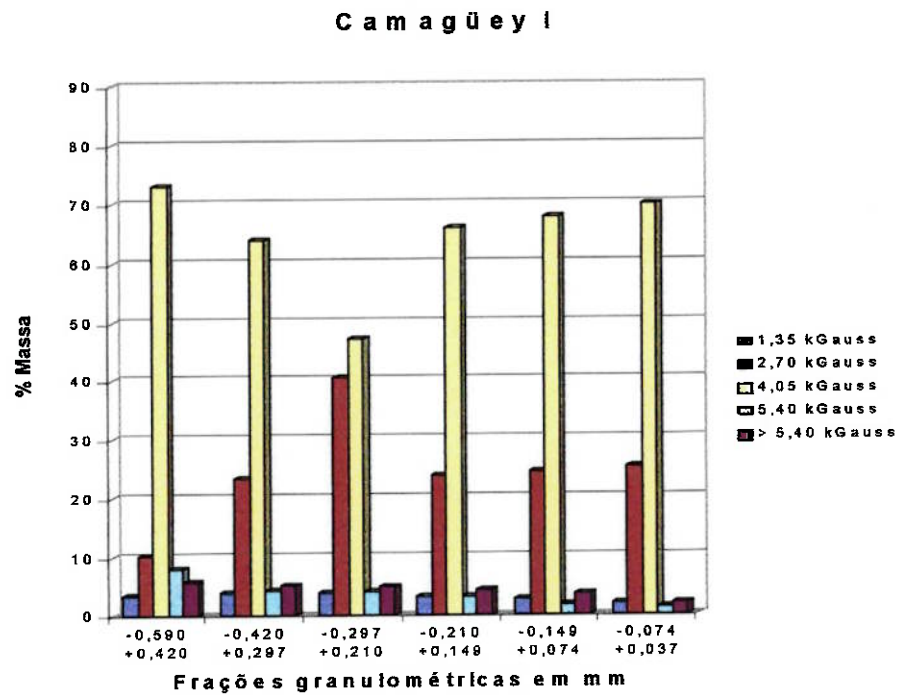


Figura 11 - Amostras de Camagüey I e Camagüey II - resultados de distribuição em massa nos ensaios de separação magnética

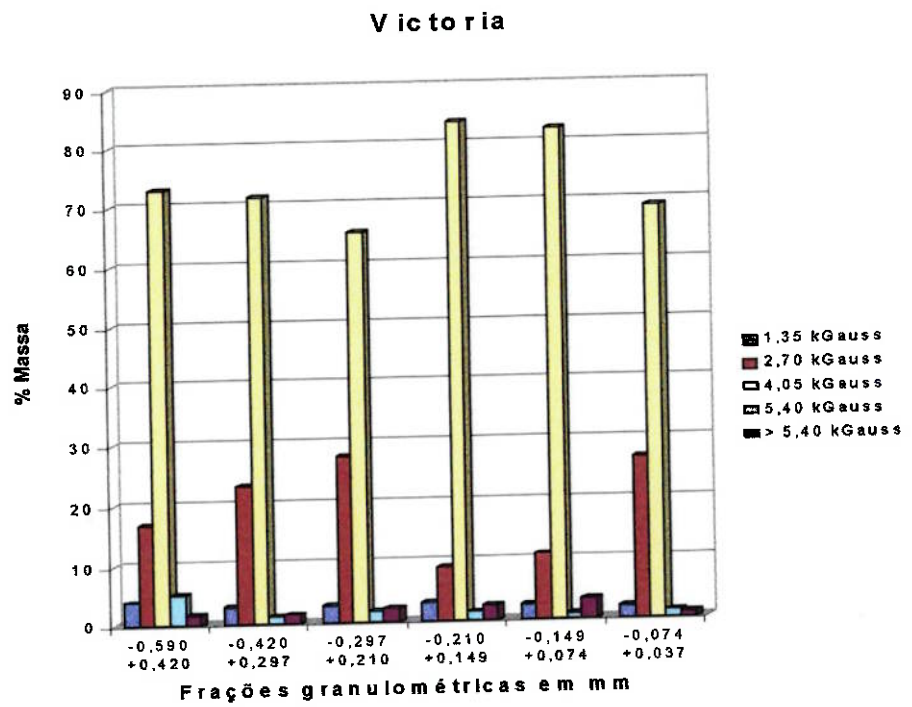
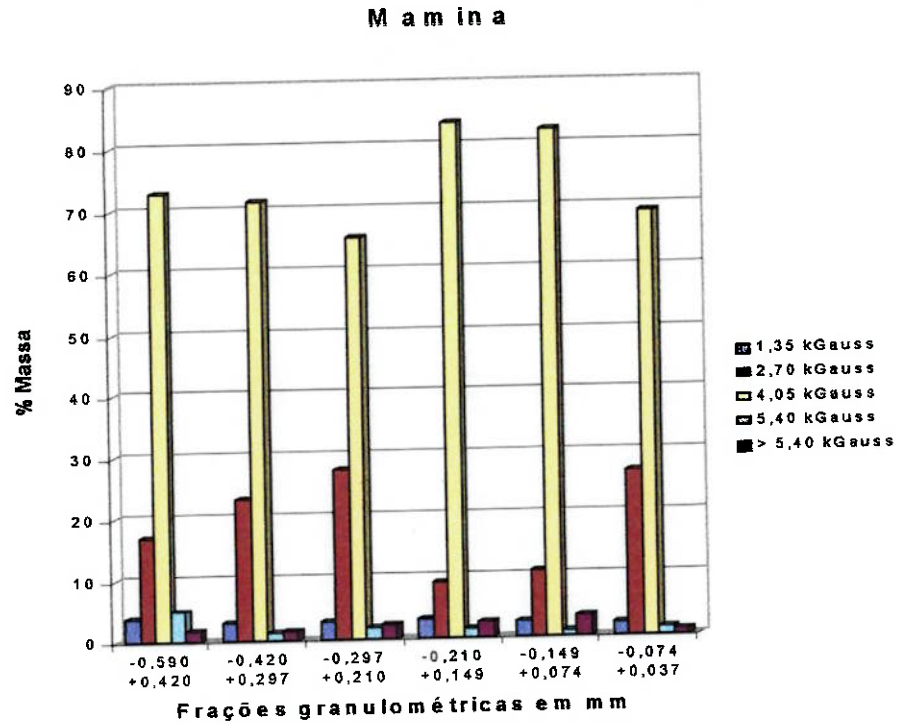


Figura 12 - Amostras de Mamina e Victoria - resultados de distribuição em massa nos ensaios de separação magnética.

Tendo em vista o exposto, as análises químicas dos produtos das separações magnéticas ficaram restritas às frações $-0,210 +0,149\text{mm}$ das quatro amostras estudadas, estando os resultados expostos na Tabela 15 e Figuras 13 a 16 (curvas de separabilidade magnética).

Tabela 15 - Resultados de separações magnéticas para as frações -0,210 +0,149mm das amostras estudadas (Frantz LB-1)

Amostra Camagüey I

Produto	% massa ensaio	Teores (%)					Distribuição no ensaio (%)								
		Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂
1,35kGauss	3,2	27,2	21,5	21,2	15,2	11,2	0,37	0,20	2,7	3,9	2,6	3,2	7,7	0,9	2,4
2,70kGauss	23,6	35,0	16,4	27,5	16,2	2,60	0,61	0,29	25,4	22,1	24,6	25,0	13,1	10,8	25,3
4,05kGauss	66,0	35,3	16,6	28,0	16,1	2,90	0,89	0,29	71,7	62,6	70,3	69,5	41,0	44,3	70,8
>4,05kGauss	7,2	1,16	27,4	9,20	4,90	24,6	8,05	0,06	0,3	11,3	2,5	2,3	38,2	43,9	1,6
Total calcul.	100	32,5	17,5	26,3	15,3	4,67	1,33	0,27	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100
Total dosado		34,1	17,3	26,9	15,8	3,56	1,00	0,27							

Amostra Camagüey II

Produto	% massa ensaio	Teores (%)					Distribuição no ensaio (%)								
		Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂
1,35kGauss	3,6	32,8	17,5	25,9	16,0	5,50	0,26	0,26	3,5	3,9	3,4	3,8	6,9	2,0	3,7
2,70kGauss	40,6	34,4	15,8	27,6	15,1	2,10	0,28	0,25	40,9	39,0	40,7	40,5	29,4	24,3	39,6
4,05kGauss	52,9	35,6	16,4	28,2	15,6	2,30	0,43	0,27	55,0	52,7	54,2	54,5	42,0	48,7	55,7
>4,05kGauss	2,8	7,48	26,0	16,3	5,80	22,1	4,11	0,09	0,6	4,5	1,7	1,1	21,7	25,0	1,0
Total calcul.	100	34,2	16,5	27,5	15,1	2,90	0,47	0,26	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100
Total dosado		35,6	16,3	28,7	15,4	2,38	0,31	0,25							

Amostra Mamina

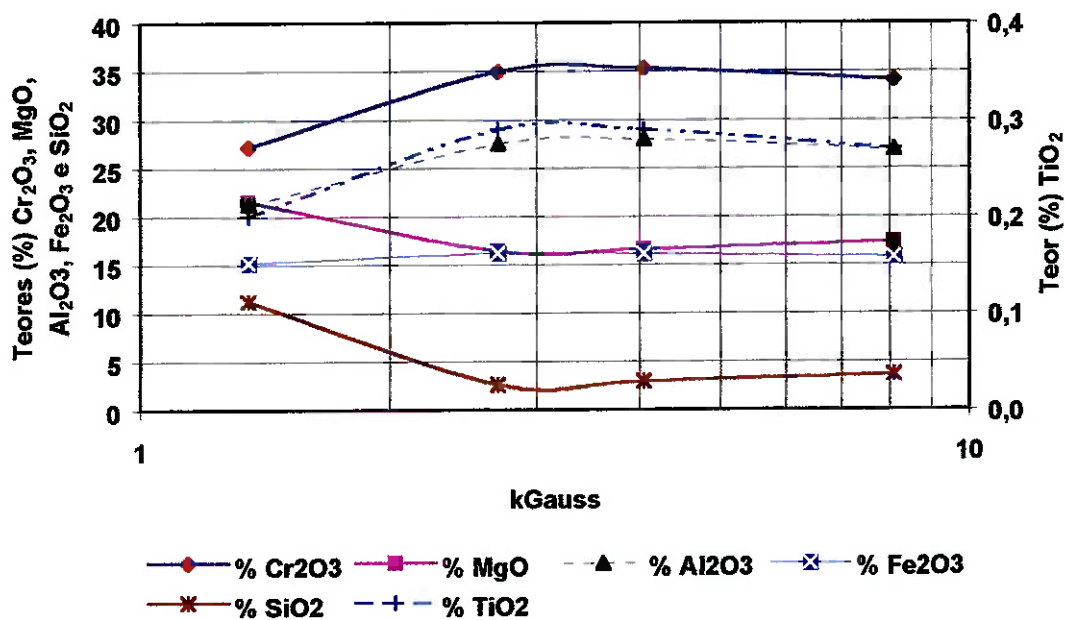
Produto	% massa ensaio	Teores (%)					Distribuição no ensaio (%)								
		Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂
1,35kGauss	3,1	24,9	23,5	20,8	13,5	12,5	0,46	0,19	2,2	4,1	2,1	2,7	19,1	8,2	1,9
2,70kGauss	9,0	35,4	17,9	30,5	15,5	2,50	0,20	0,32	9,2	9,0	9,0	8,9	11,0	10,2	9,0
4,05kGauss	83,8	35,4	17,5	31,0	16,0	1,30	0,16	0,33	85,3	81,8	85,4	84,9	53,0	75,9	86,7
>4,05kGauss	4,1	27,5	22,4	25,7	13,6	8,50	0,25	0,19	3,2	5,1	3,4	3,5	16,9	5,8	2,4
Total calcul.	100	34,7	17,9	30,4	15,8	2,05	0,18	0,32	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100
Total dosado		33,9	17,9	29,7	14,9	2,12	0,21	0,29							

Amostra Victoria

Produto	% massa ensaio	Teores (%)					Distribuição no ensaio (%)								
		Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂
1,35kGauss	4,2	11,9	30,3	15,4	8,50	31,3	0,59	0,15	1,7	5,5	2,4	2,5	21,3	6,7	3,5
2,70kGauss	33,0	27,8	29,2	25,7	15,2	6,10	0,20	0,13	31,4	41,3	31,2	35,0	32,6	17,9	23,6
4,05kGauss	59,4	32,8	19,3	29,6	14,8	3,00	0,28	0,22	66,5	49,1	64,8	61,4	28,9	45,2	72,1
>4,05kGauss	3,5	3,35	27,9	12,9	4,50	30,8	3,20	0,04	0,4	4,1	1,6	1,1	17,3	30,1	0,8
Total calcul.	100	29,2	23,3	27,1	14,3	6,17	0,37	0,18	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Total dosado		29,9	21,0	27,1	14,0	6,50	0,27	0,22							

Camagüey I

Teores acumulados no magnético



Distribuição acumulada no magnético

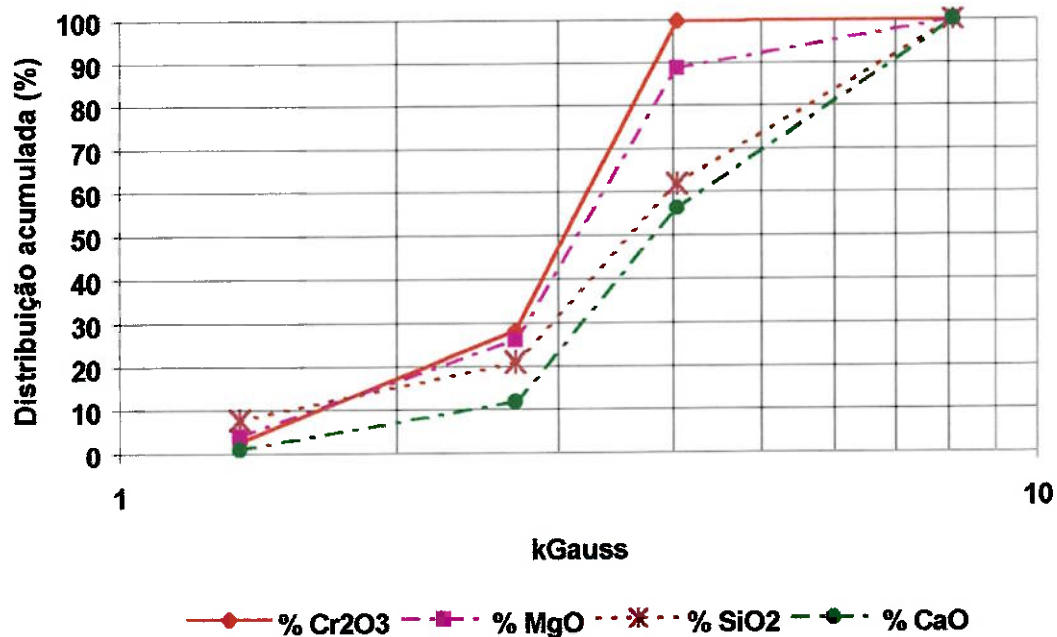
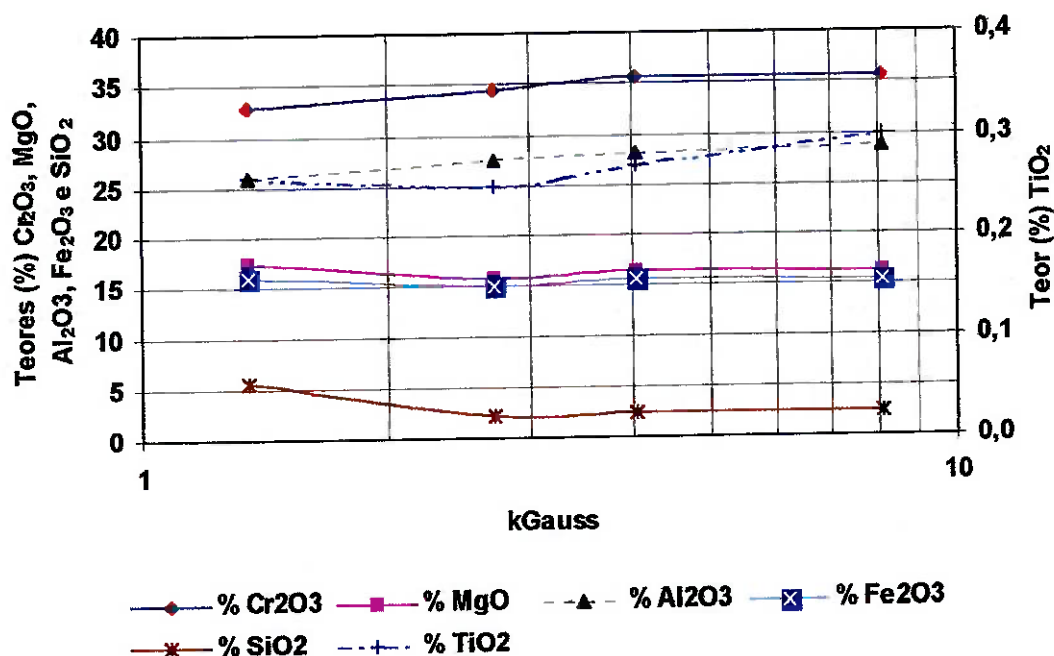


Figura 13 - Amostra de Camagüey I. Curvas de separabilidade magnética – resultados e distribuição acumulada para os produtos magnéticos

Nota: O comportamento de Fe₂O₃, TiO₂ e Al₂O₃ é praticamente idêntico ao de Cr₂O₃.

Camagüey II

Teores acumulados no magnético



Distribuição acumulada no magnético

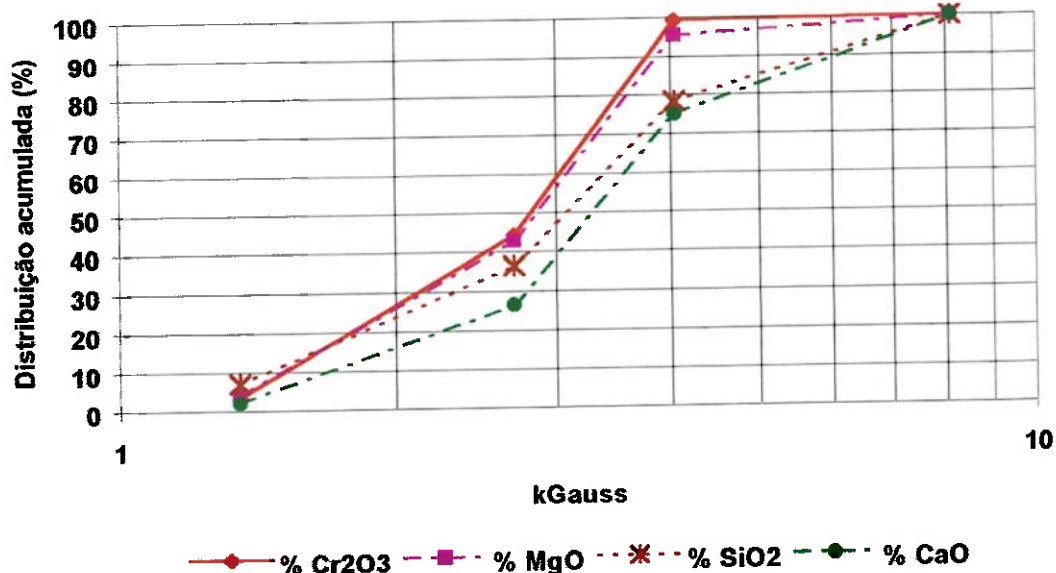
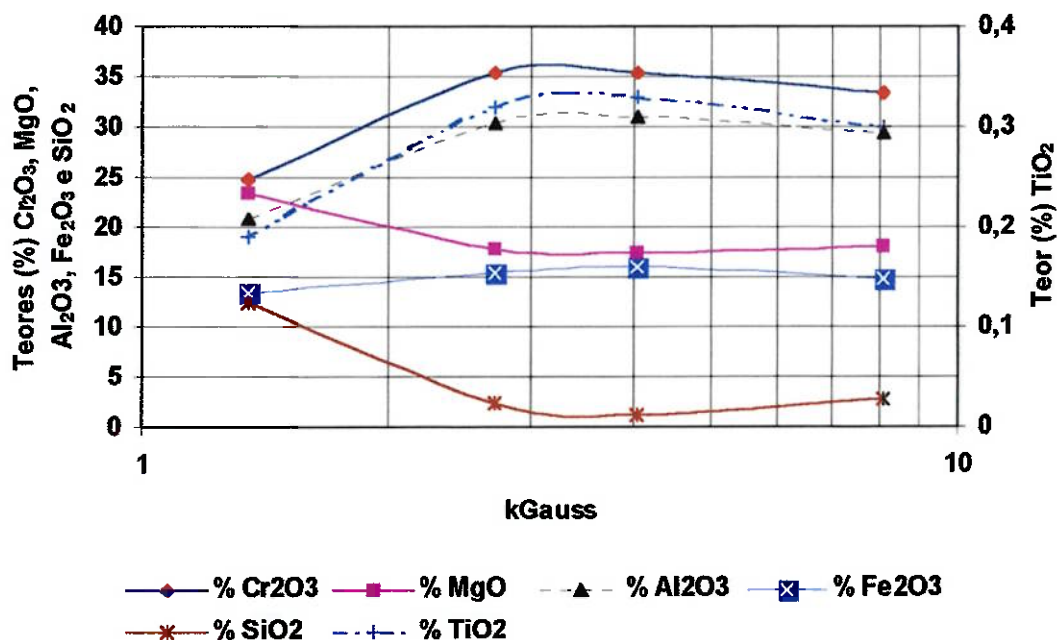


Figura 14 - Amostra Camagüey II. Curvas de separabilidade magnética – resultados e distribuição acumulada para os produtos magnéticos

Nota: O comportamento de Fe₂O₃, TiO₂ e Al₂O₃ é praticamente idêntico ao de Cr₂O₃.

Mamina

Teores acumulados no magnético



Distribuição acumulada no magnético

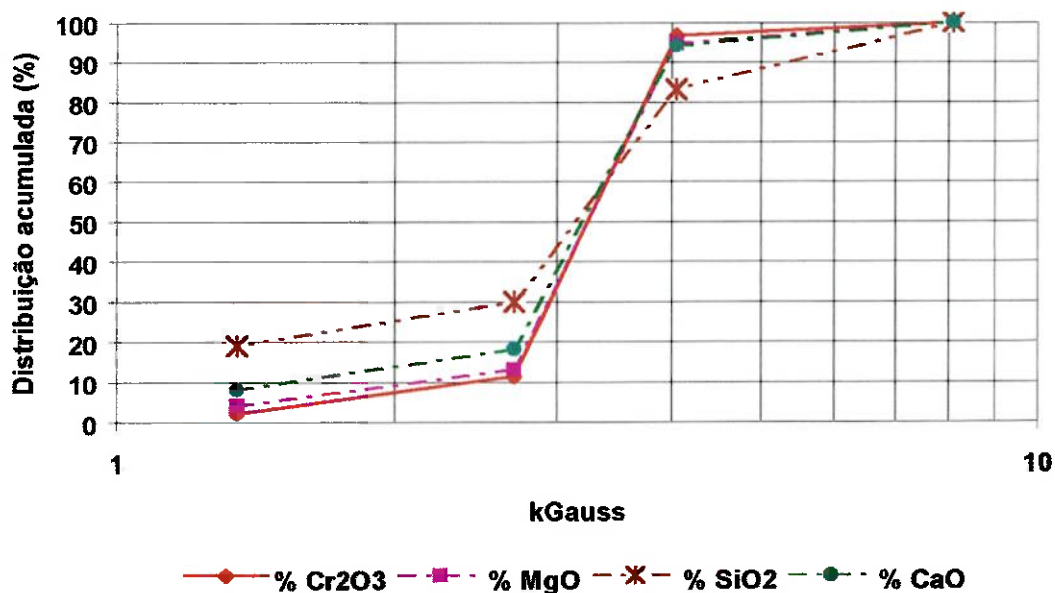
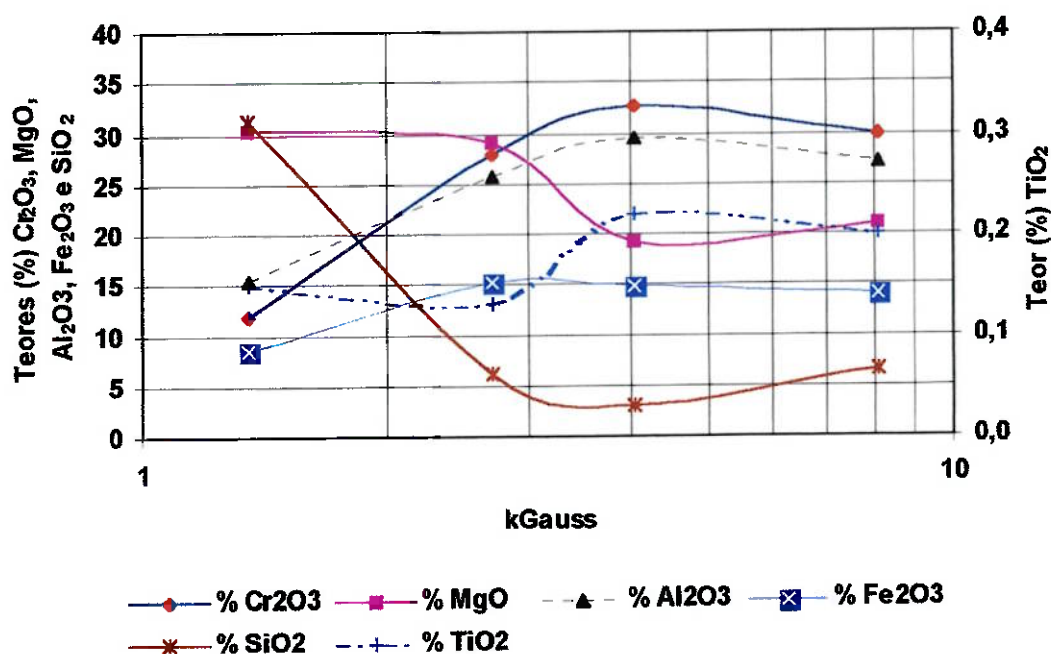


Figura 15 - Amostra Mamina. Curvas de separabilidade magnética – resultados e distribuição acumulada para os produtos magnéticos

Nota: O comportamento de Fe_2O_3 , TiO_2 e Al_2O_3 é praticamente idêntico ao de Cr_2O_3 .

Victoria

Teores acumulados no magnético



Distribuição acumulada no magnético

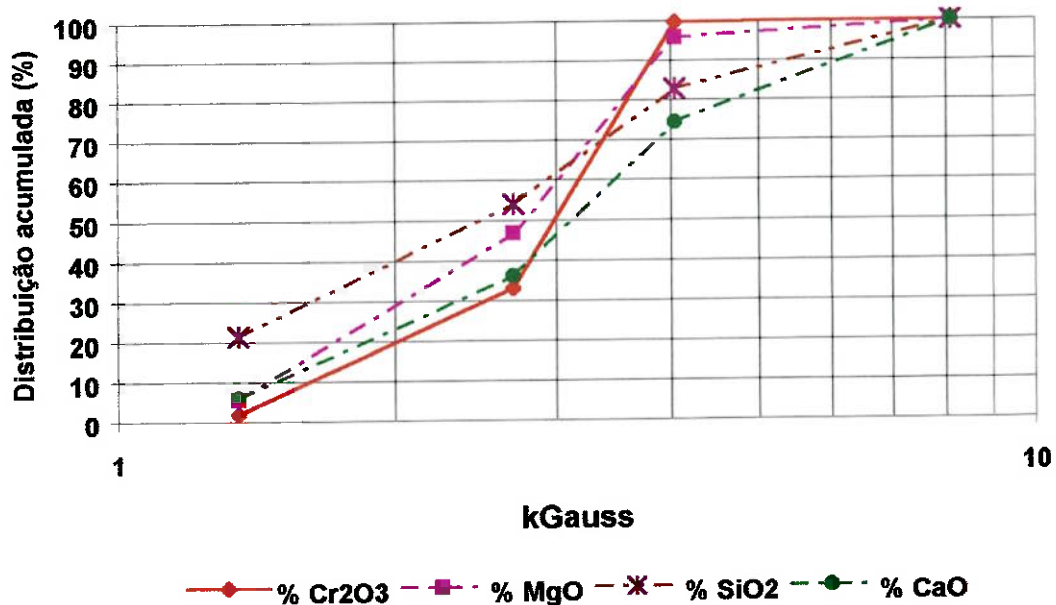


Figura 16 - Amostra Victoria. Curvas de separabilidade magnética – resultados e distribuição acumulada para os produtos magnéticos.

Nota: O comportamento de Fe₂O₃, TiO₂ e Al₂O₃ é praticamente idêntico ao de Cr₂O₃. -

Para as quatro amostras estudadas observa-se que os teores de Cr_2O_3 mais elevados estão vinculados aos produtos magnéticos em 2,7kGauss e 4,05kGauss.

A sílica mostra enriquecimento nos produtos extremos, magnéticos em 1,35kGauss (5,5 a 31% SiO_2) e no não magnético em 4,05kGauss (8,5 a 31% SiO_2) com teores substancialmente inferiores nos produtos magnéticos em 2,7kGauss e 4,05kGauss.

O CaO, à exceção da amostra Mamina, mostra sistematicamente teores mais elevados junto ao não magnético em 4,05kGauss, cerca de 3,2% a 8,1%, contra alimentações dos ensaios com teores de 0,5 a 1,3%.

O MgO mostra comportamento semelhante à sílica, porém menos pronunciado. Já o comportamento dos teores de Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2 , é praticamente idêntico ao verificado para o Cr_2O_3 .

O comportamento da SiO_2 , MgO e CaO fazem supor fortemente a presença de pelo menos duas fases de minerais de silício. A primeira, com elevada susceptibilidade magnética (magnética em 1,35kGauss), constituída essencialmente por SiO_2 e MgO e a outra fase, constituída pelos mesmos elementos com eventual CaO associado, apresentando susceptibilidade magnética bastante inferior (não magnética em 4,05kGauss).

4.5.2. Separações em líquidos densos

Os resultados de partição em massa para os ensaios de separação em líquidos densos, são apresentados por fração granulométrica, na Figura 17, tanto para os produtos afundados como para os flutuados.

Já os resultados de análises químicas dos produtos obtidos, com as respectivas distribuições no ensaio e sobre a amostra estão expostos nas Tabelas 16 a 19.

Nas Figuras de 18 a 21 são mostrados os comportamentos dos óxidos mais significativos, tanto no flutuado como o afundado, para cada fração granulométrica das quatro amostras estudadas.

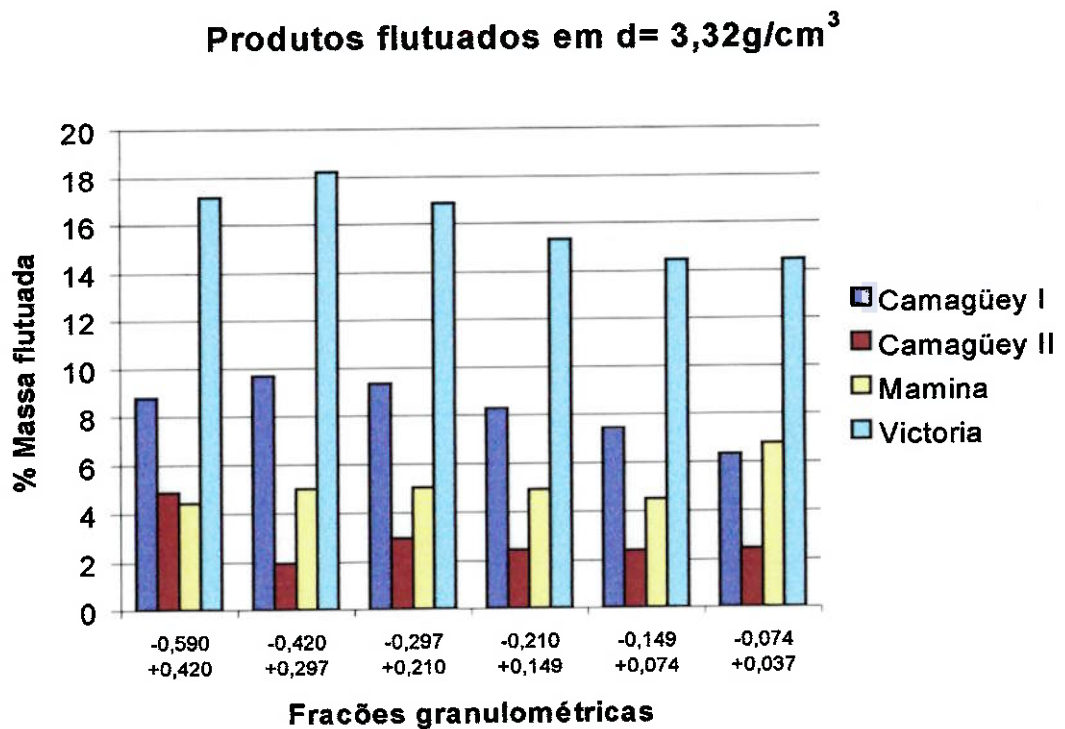
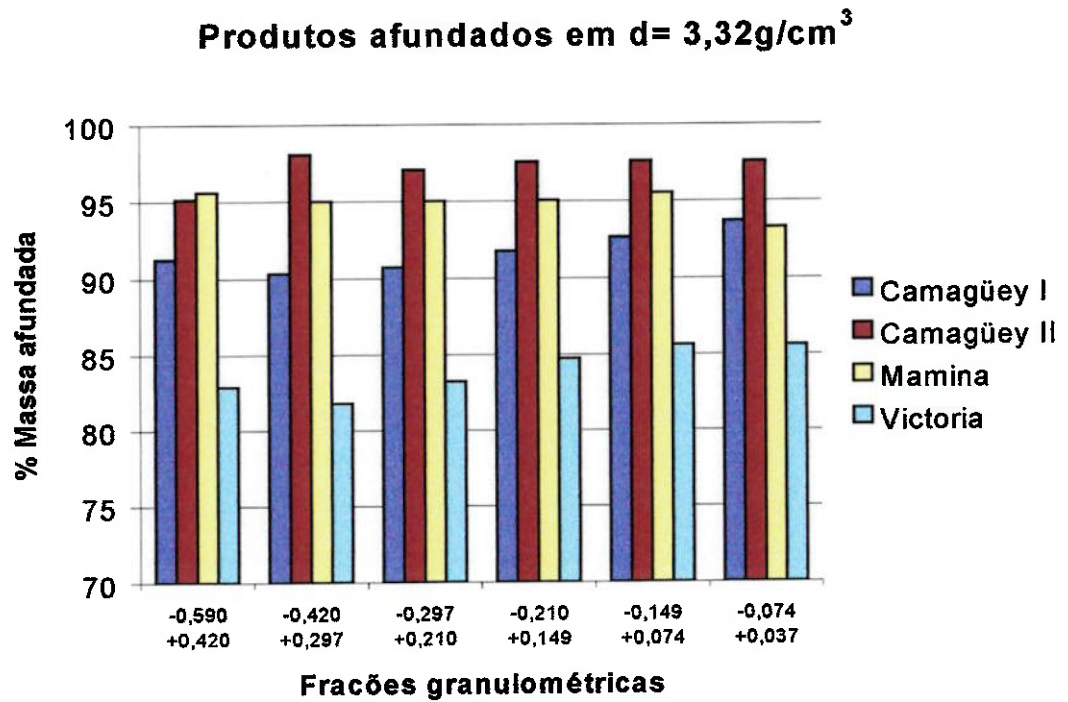


Figura 17 - Resultados de distribuição em massa nos ensaios de separação em líquidos densos.

Tabela 16 - Amostra Camaguey I : resultados de separações em líquido denso ($d=3,32\text{g/cm}^3$)

Fração (mm)	Produto	% Massa ensaio	Teores (%)										Distribuição no ensaio (%)										Distribuição na amostra (%)									
			Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂									
-0,590 +0,420	Flut.	8,8	4,52	26,7	9,60	6,00	22,4	7,34	0,05	1,2	13,8	3,3	3,5	46,5	44,4	1,6	0,1	1,4	0,3	0,4	5,9	5,1	0,2									
	Afun.	91,2	34,8	16,2	27,4	16,1	2,50	0,89	0,29	98,8	86,2	96,7	96,5	53,5	55,6	98,4	9,8	9,1	9,9	9,9	6,7	6,4	9,7									
	Total cal.	100,0	32,2	17,1	25,8	15,2	4,26	1,46	0,27	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	9,9	10,5	10,2	10,3	12,6	11,5	9,9									
	Total dos.		32,1	17,6	26,5	15,5	5,53	1,48	0,28																							
-0,420 +0,297	Flut.	9,7	4,29	27,6	10,0	6,00	23,6	6,48	0,05	1,3	15,3	3,7	3,8	51,3	45,2	1,8	0,2	2,7	0,7	0,7	10,5	8,0	0,3									
	Afun.	90,3	16,2	35,3	16,3	27,7	16,4	2,40	0,30	98,7	84,7	96,3	96,2	48,7	54,8	98,2	17,3	15,0	17,7	17,1	9,9	9,7	17,0									
	Total cal.	100,0	17,9	32,3	17,4	26,0	15,4	4,45	1,39	0,28	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	17,5	17,7	18,4	17,7	20,4	17,7	17,3									
	Total dos.		32,6	17,1	27,4	15,2	5,14	1,30	0,28																							
-0,297 +0,210	Flut.	9,3	6,69	27,4	11,8	6,70	22,6	5,76	0,07	1,9	15,0	4,1	4,0	51,4	42,3	2,2	0,2	1,9	0,5	0,5	5,9	5,2	0,3									
	Afun.	90,7	11,3	35,9	16,0	28,3	16,6	2,20	0,81	0,32	98,1	85,0	95,9	96,0	48,6	57,7	97,8	12,7	10,6	11,7	11,9	5,6	7,1	14,7								
	Total cal.	100,0	12,5	33,1	17,1	26,8	15,7	4,11	1,27	0,30	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	12,9	12,4	12,2	12,4	11,5	12,3	15,0								
	Total dos.		34,5	17,2	26,1	15,4	4,17	1,29	0,35																							
-0,210 +0,149	Flut.	8,3	3,64	28,1	10,5	5,80	25,4	5,91	0,06	0,9	13,7	3,3	3,1	53,6	40,8	1,7	0,1	2,0	0,5	0,5	6,1	4,4	0,2									
	Afun.	91,7	13,2	35,7	16,1	28,1	16,5	2,00	0,78	0,31	99,1	86,3	96,7	96,9	46,4	59,2	98,3	14,5	12,4	14,0	14,2	5,2	6,5	13,3								
	Total cal.	100,0	14,3	33,0	17,1	26,6	15,6	3,95	1,21	0,29	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	14,6	14,4	14,5	14,7	11,3	10,9	13,5								
	Total dos.		34,1	17,3	26,9	15,8	3,56	1,00	0,27																							
-0,149 +0,074	Flut.	7,4	5,67	28,2	11,8	6,30	24,8	4,85	0,06	1,2	12,1	3,2	2,9	52,3	33,9	1,5	0,2	1,9	0,5	0,5	7,4	4,9	0,2									
	Afun.	92,6	14,6	36,2	16,3	28,4	16,7	1,80	0,75	0,31	98,8	87,9	96,8	97,1	47,7	66,1	98,5	15,6	14,2	15,3	15,3	6,7	9,5	15,3								
	Total cal.	100,0	15,8	33,9	17,2	27,2	15,9	3,49	1,05	0,29	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	15,8	16,1	15,8	15,8	14,1	14,4	15,5								
	Total dos.		33,5	17,6	26,8	15,5	4,06	1,20	0,29																							
-0,074 +0,037	Flut.	6,3	3,90	27,9	11,0	5,70	27,1	4,82	0,07	0,7	10,7	2,6	2,3	51,9	30,6	1,5	0,1	1,5	0,4	0,3	5,6	3,3	0,2									
	Afun.	93,7	13,6	36,2	15,7	28,0	16,6	1,70	0,74	0,32	99,3	89,3	97,4	97,7	48,1	69,4	98,5	15,0	12,8	14,3	14,5	5,1	7,5	14,4								
	Total cal.	100,0	14,5	34,1	16,5	26,9	15,9	3,31	1,00	0,30	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	15,1	14,3	14,7	14,8	10,7	10,8	14,6								
	Total dos.		34,6	17,0	27,0	15,8	3,35	0,98	0,29																							
Total -0,590 +0,037	Flut.	8,3	7,1	4,81	27,8	10,8	6,13	24,3	5,90	0,06	1,2	13,4	3,4	3,2	51,1	39,9	1,7	1,0	11,5	2,9	2,8	41,2	30,9	1,5								
	Afun.	91,7	78,3	35,7	16,1	28,0	16,5	2,09	0,80	0,31	98,8	86,6	96,6	96,8	48,9	60,1	98,3	84,8	74,0	82,9	83,0	39,4	46,7	84,3								
	Total	100,0	85,4	33,2	17,1	26,6	15,6	3,92	1,22	0,29	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	85,8	85,4	85,8	85,7	80,6	77,6	85,8								

Tabela 17 - Amostra Camaguey II : resultados de separações em líquido denso ($d=3,32\text{g/cm}^3$)

Fração (mm)	Produto	% Massa ensaio	Teores (%)										Distribuição no ensaio (%)										Distribuição na amostra (%)									
			CaO	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂								
-0,590	Flut.	4,8	0,5	16,2	22,1	19,2	9,30	15,5	3,26	0,19	2,3	6,3	3,3	2,9	23,8	30,2	3,6	0,3	0,7	0,4	0,3	2,6	3,8	0,4								
+0,420	Afun.	95,2	10,6	35,4	16,5	28,5	15,6	2,50	0,38	0,26	97,7	93,7	96,7	97,1	76,2	69,8	96,4	10,9	10,6	10,7	10,9	8,5	8,7	10,1								
	Total cal.	100,0	11,2	34,5	16,8	28,1	15,3	3,13	0,52	0,26	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	11,2	11,3	11,1	11,2	11,1	12,5	10,5								
	Total dos.		34,9	16,8	28,1	15,3	3,09	0,48	0,26																							
-0,420	Flut.	1,9	0,3	7,8	25,8	15,6	6,90	22,6	4,39	0,14	0,4	3,0	1,1	0,9	15,6	18,5	1,1	0,1	0,5	0,2	0,1	2,7	3,5	0,2								
+0,297	Afun.	98,1	16,8	35,3	16,4	28,5	15,5	2,40	0,38	0,24	99,6	97,0	98,9	99,1	84,4	81,5	98,9	17,0	16,9	16,9	16,9	14,4	15,2	17,8								
	Total cal.	100,0	17,1	34,8	16,6	28,3	15,3	2,79	0,46	0,24	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	17,1	17,4	17,1	17,0	17,1	18,7	18,0								
	Total dos.		34,8	16,9	28,2	15,2	3,12	0,47	0,29																							
-0,297	Flut.	3,0	0,3	10,4	23,8	16,7	7,60	19,5	4,27	0,12	0,9	4,3	1,8	1,5	20,6	26,1	1,4	0,1	0,5	0,2	0,2	2,2	3,0	0,2								
+0,210	Afun.	97,0	11,4	34,7	16,0	27,9	15,1	2,30	0,37	0,25	99,1	95,7	98,2	98,5	79,4	73,9	98,6	11,7	11,2	11,5	11,7	8,4	8,6	11,8								
	Total cal.	100,0	11,7	34,0	16,2	27,6	14,9	2,81	0,49	0,25	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	11,8	11,7	11,7	11,9	10,6	11,6	12,0								
	Total dos.		35,2	16,6	28,2	15,4	2,82	0,43	0,29																							
-0,210	Flut.	2,5	0,3	8,0	26,2	16,6	6,70	24,0	3,15	0,13	0,6	3,8	1,4	1,1	20,9	17,3	1,5	0,1	0,5	0,2	0,1	2,1	1,7	0,2								
+0,149	Afun.	97,5	13,0	35,9	16,6	28,9	15,7	2,30	0,38	0,22	99,4	96,2	98,6	98,9	79,1	82,7	98,5	13,5	12,5	13,3	13,4	8,1	8,0	11,9								
	Total cal.	100,0	13,3	35,2	16,8	28,6	15,5	2,84	0,45	0,22	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	13,6	13,0	13,5	13,5	10,2	9,7	12,1								
	Total dos.		35,6	16,3	28,7	15,4	2,38	0,31	0,25																							
-0,149	Flut.	2,4	0,4	10,6	25,1	18,5	7,20	22,8	2,02	0,12	0,7	3,7	1,6	1,1	20,9	13,3	1,2	0,1	0,6	0,2	0,2	2,8	1,7	0,2								
+0,074	Afun.	97,6	14,6	35,3	16,0	28,1	15,5	2,10	0,32	0,25	99,3	96,3	98,4	98,9	79,1	86,7	98,8	15,0	14,4	14,7	14,8	10,6	11,2	14,6								
	Total cal.	100,0	15,0	34,7	16,2	27,9	15,3	2,59	0,36	0,25	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	15,1	15,0	14,9	15,0	13,4	12,9	14,7								
	Total dos.		35,3	16,7	28,2	15,3	2,79	0,37	0,27																							
-0,074	Flut.	2,5	0,3	7,6	25,6	17,1	6,30	25,3	2,36	0,12	0,5	3,8	1,5	1,0	24,2	16,5	1,2	0,1	0,5	0,2	0,1	2,5	1,9	0,2								
+0,037	Afun.	97,5	12,7	35,4	16,1	28,6	15,5	2,00	0,30	0,25	99,5	96,2	98,5	99,0	75,8	83,5	98,8	13,2	12,3	13,0	12,9	7,7	9,6	12,5								
	Total cal.	100,0	13,0	34,7	16,3	28,3	15,3	2,57	0,35	0,25	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	13,3	12,8	13,2	13,1	10,2	11,5	12,7								
	Total dos.		35,6	16,4	28,6	15,3	2,44	0,38	0,27																							
Total	Flut.	2,7	2,2	10,6	24,3	17,4	7,49	20,7	3,20	0,14	0,8	4,1	1,7	1,3	20,5	20,2	1,6	0,7	3,3	1,4	1,1	14,9	15,6	1,3								
-0,590	Afun.	97,3	79,2	35,3	16,3	28,4	15,5	2,27	0,36	0,24	99,2	95,9	98,3	98,7	79,5	79,8	98,4	81,4	77,9	80,1	80,6	57,7	61,3	78,8								
+0,037	Total	100,0	81,4	34,7	16,5	28,1	15,3	2,77	0,43	0,24	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	82,1	81,2	81,5	81,7	72,6	76,9	80,0								

Tabela 18 - Amostra Mamina : resultados de separações em líquido denso (d=3,32g/cm³)

Fração (mm)	Produto	% Massa ensaio	Teores (%)										Distribuição no ensaio (%)										Distribuição na amostra (%)									
			amost.	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂								
-0,590	Flut.	4,4	0,4	9,13	29,5	14,0	6,30	25,1	1,60	0,09	1,2	7,2	2,1	1,8	47,2	33,1	1,2	0,1	0,7	0,2	0,2	3,6	2,8	0,1								
+0,420	Afun.	95,6	9,1	35,3	17,7	30,8	15,9	1,30	0,15	0,33	98,8	92,8	97,9	98,2	52,8	66,9	98,8	9,5	8,8	9,4	9,4	4,0	5,8	10,0								
	Total cal.	100,0	9,5	34,1	18,2	30,1	15,5	2,35	0,21	0,32	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	9,6	9,5	9,6	7,6	8,6	10,1									
	Total dos.		33,7	18,0	29,6	14,9	2,29	0,23	0,34																							
-0,420	Flut.	5,0	0,9	6,70	32,0	13,1	5,30	28,1	1,73	0,11	1,0	8,8	2,4	1,6	46,5	37,7	1,9	0,2	1,6	0,4	0,3	8,7	5,8	0,4								
+0,297	Afun.	95,0	17,9	34,5	17,5	28,3	17,0	1,70	0,15	0,30	99,0	91,2	97,6	98,4	53,5	62,3	98,1	18,8	17,2	18,5	18,5	10,0	9,6	19,5								
	Total cal.	100,0	18,9	33,1	18,2	27,5	16,4	3,02	0,23	0,29	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	19,0	18,8	18,9	18,8	18,7	15,4	19,9								
	Total dos.		33,5	17,9	29,4	14,7	2,83	0,21	0,34																							
-0,297	Flut.	5,0	0,8	6,52	31,4	13,1	5,20	27,9	1,65	0,10	1,0	8,8	2,2	1,7	53,0	33,8	1,7	0,2	1,4	0,3	0,3	6,1	3,6	0,3								
+0,210	Afun.	95,0	14,8	35,3	17,0	31,3	15,9	1,30	0,17	0,31	99,0	91,2	97,8	98,3	47,0	66,2	98,3	15,7	14,3	15,4	15,4	5,4	7,2	15,3								
	Total cal.	100,0	15,6	33,9	17,7	30,4	15,4	2,63	0,24	0,30	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	15,9	15,7	15,7	11,5	10,8	15,6									
	Total dos.		33,9	18,1	29,6	14,8	2,10	0,18	0,32																							
-0,210	Flut.	4,9	0,9	4,70	31,9	12,0	4,40	29,2	1,74	0,08	0,7	9,1	2,0	1,4	47,1	31,1	1,4	0,1	1,6	0,4	0,3	6,2	4,4	0,2								
+0,149	Afun.	95,1	16,8	35,3	16,5	30,3	15,8	1,70	0,20	0,29	99,3	90,9	98,0	98,6	52,9	68,9	98,6	17,8	15,9	17,4	17,5	6,9	9,9	15,8								
	Total cal.	100,0	17,6	33,8	17,3	29,4	15,2	3,05	0,28	0,28	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	17,9	17,5	17,8	13,1	14,3	16,0									
	Total dos.		33,9	17,9	29,7	14,9	2,12	0,21	0,29																							
-0,149	Flut.	4,5	0,7	6,02	31,8	13,1	4,80	28,2	1,70	0,08	0,8	8,0	2,0	1,4	48,6	26,6	1,1	0,1	1,3	0,3	0,2	5,9	3,4	0,2								
+0,074	Afun.	95,5	15,2	35,0	17,1	30,5	15,8	1,40	0,22	0,34	99,2	92,0	98,0	98,6	51,4	73,4	98,9	16,1	14,3	15,8	16,0	6,2	9,4	16,2								
	Total cal.	100,0	15,9	33,7	17,8	29,7	15,3	2,60	0,29	0,33	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	16,2	15,6	16,1	16,2	12,1	12,8	16,4								
	Total dos.		33,9	17,6	29,7	15,0	2,18	0,21	0,33																							
-0,074	Flut.	6,8	0,8	5,15	31,5	12,7	4,40	28,9	1,84	0,10	1,1	11,8	2,9	2,0	70,1	48,9	2,4	0,1	1,4	0,3	0,2	8,1	5,3	0,3								
+0,037	Afun.	93,2	10,9	34,9	17,2	30,9	15,8	0,90	0,14	0,30	98,9	88,2	97,1	98,0	29,9	51,1	97,6	11,6	10,4	11,5	11,5	3,5	5,5	11,8								
	Total cal.	100,0	11,7	32,9	18,2	29,7	15,0	2,80	0,26	0,29	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	11,7	11,8	11,8	11,7	11,6	10,8	12,1								
	Total dos.		33,2	18,1	29,5	14,8	2,84	0,24	0,33																							
Total	Flut.	5,0	4,5	6,17	31,7	13,0	4,99	28,6	1,76	0,10	0,9	8,9	2,2	1,6	51,7	35,0	1,6	0,8	8,0	2,0	1,5	38,6	25,4	1,5								
-0,590	Afun.	95,0	84,8	35,0	17,1	30,2	16,1	1,42	0,17	0,31	99,1	91,1	97,8	98,4	48,3	65,0	98,4	89,4	80,9	87,9	88,3	36,0	47,3	88,6								
+0,037	Total	100,0	89,3	33,6	17,9	29,3	15,5	2,78	0,25	0,30	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,3	88,9	89,9	89,8	74,6	72,7	90,1								

Tabela 19 - Amostra Victoria : resultados de separações em líquido denso (d=3,32g/cm³)

Fração (mm)	Produto	% Massa ensato	Teores (%)							Distribuição no ensaio (%)							Distribuição na amostra (%)							
			CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂		
-0,590	Flut.	17,1	1,6	7,04	35,2	9,60	6,40	29,4	0,58	0,06	4,2	28,4	6,3	8,1	69,3	33,3	5,3	0,4	2,7	0,6	0,7	7,3	2,8	0,4
+0,420	Afun.	82,9	7,6	33,1	18,4	29,5	15,0	2,70	0,24	0,22	95,8	71,6	93,7	91,9	30,7	66,7	94,7	8,5	6,9	8,3	8,4	3,2	5,7	7,9
	Total cal.	100,0	9,2	28,6	21,3	26,1	13,5	7,28	0,30	0,19	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	8,9	9,6	8,9	9,1	10,5	8,5	8,3
	Total cal.		28,1	22,3	25,7	13,7	8,70	0,32	0,19															
-0,420	Flut.	18,3	3,0	6,11	36,0	9,00	6,10	30,8	0,56	0,04	3,9	30,2	6,3	8,1	74,1	32,5	4,1	0,6	5,0	1,0	1,3	12,5	4,4	0,6
+0,297	Afun.	81,7	13,4	33,7	18,6	30,1	15,5	2,40	0,26	0,21	96,1	69,8	93,7	91,9	25,9	67,5	95,9	15,6	11,7	15,2	14,9	4,4	9,0	13,1
	Total cal.	100,0	16,4	28,7	21,8	26,2	13,8	7,58	0,31	0,18	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	16,2	16,7	16,2	16,2	16,9	13,4	13,7
	Total dos.		28,8	21,9	26,3	13,7	7,86	0,29	0,18															
-0,297	Flut.	16,8	2,3	4,82	37,0	7,90	5,70	32,5	0,62	0,02	2,9	31,2	5,3	7,3	78,5	36,3	2,5	0,4	4,1	0,7	1,0	10,0	4,1	0,3
+0,210	Afun.	83,2	11,1	32,1	16,5	28,6	14,7	1,80	0,22	0,16	97,1	68,8	94,7	92,7	21,5	63,7	97,5	13,1	9,2	12,8	12,5	2,7	7,1	13,4
	Total cal.	100,0	13,4	27,5	19,9	25,1	13,2	6,96	0,29	0,14	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	13,5	13,3	13,5	13,5	12,7	11,2	13,7
	Total dos.		29,4	21,3	26,8	13,9	7,22	0,30	0,21															
-0,210	Flut.	15,3	2,5	2,69	38,3	6,20	4,80	33,9	0,57	0,02	1,4	28,4	3,6	5,3	79,3	30,1	1,7	0,2	4,6	0,6	0,9	11,2	3,7	0,3
+0,149	Afun.	84,7	13,9	33,8	17,5	30,1	15,4	1,60	0,24	0,21	98,6	71,6	96,4	94,7	20,7	69,9	98,3	16,7	11,6	16,2	15,8	2,9	8,7	17,4
	Total cal.	100,0	16,5	29,0	20,7	26,4	13,8	6,56	0,29	0,18	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	16,9	16,2	16,8	16,7	14,1	12,4	17,7
	Total dos.		29,9	21,0	27,1	14,0	6,50	0,27	0,22															
-0,149	Flut.	14,4	2,5	3,16	37,9	6,60	5,10	34,8	0,69	0,07	1,5	26,7	3,5	5,2	78,6	32,7	5,1	0,3	4,6	0,6	0,9	11,4	4,8	0,9
+0,074	Afun.	85,6	15,0	34,0	17,6	30,3	15,7	1,60	0,24	0,22	98,5	73,3	96,5	94,8	21,4	67,3	94,9	17,8	12,5	17,3	17,0	3,1	10,0	17,1
	Total cal.	100,0	17,5	29,5	20,5	26,9	14,2	6,39	0,30	0,20	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	18,1	17,1	17,9	17,9	14,5	14,8	18,0
	Total dos.		30,1	20,8	27,2	14,1	6,30	0,30	0,21															
-0,074	Flut.	14,5	2,0	2,22	37,4	6,30	4,60	35,2	0,76	0,03	1,1	27,0	3,4	4,7	78,8	33,1	1,9	0,2	3,6	0,5	0,7	9,3	5,0	0,3
+0,037	Afun.	85,5	12,0	34,1	17,1	30,1	15,6	1,60	0,26	0,26	98,9	73,0	96,6	95,3	21,2	66,9	98,1	14,3	9,9	13,7	13,7	2,5	10,0	14,0
	Total cal.	100,0	14,0	29,5	20,0	26,7	14,0	6,46	0,33	0,23	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	14,5	13,5	14,2	14,4	11,8	15,0	14,3
	Total dos.		30,1	20,6	27,1	14,2	6,44	0,38	0,21															
Total	Flut.	16,0	13,9	4,26	37,0	7,54	5,43	32,8	0,63	0,04	2,4	28,6	4,6	6,3	76,6	32,9	3,3	2,1	24,7	4,0	5,5	61,7	24,8	2,8
-0,590	Afun.	84,0	73,0	33,5	17,6	29,9	15,4	1,91	0,24	0,21	97,6	71,4	95,4	93,7	23,4	67,1	96,7	86,0	61,7	83,5	82,2	18,8	50,5	82,9
+0,037	Total	100,0	86,9	28,9	20,7	26,3	13,8	6,84	0,31	0,19	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	88,1	86,4	87,5	87,8	80,5	75,3	85,7

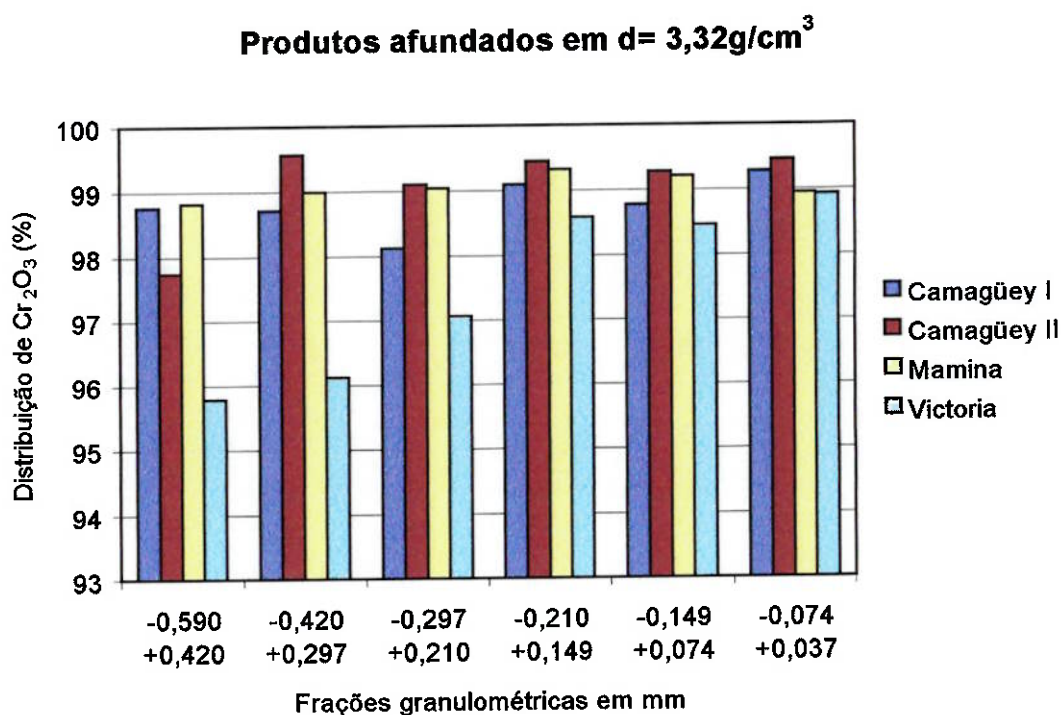


Figura 18 - Resultados de distribuição de Cr_2O_3 para os afundados nos ensaios de separação em líquido denso

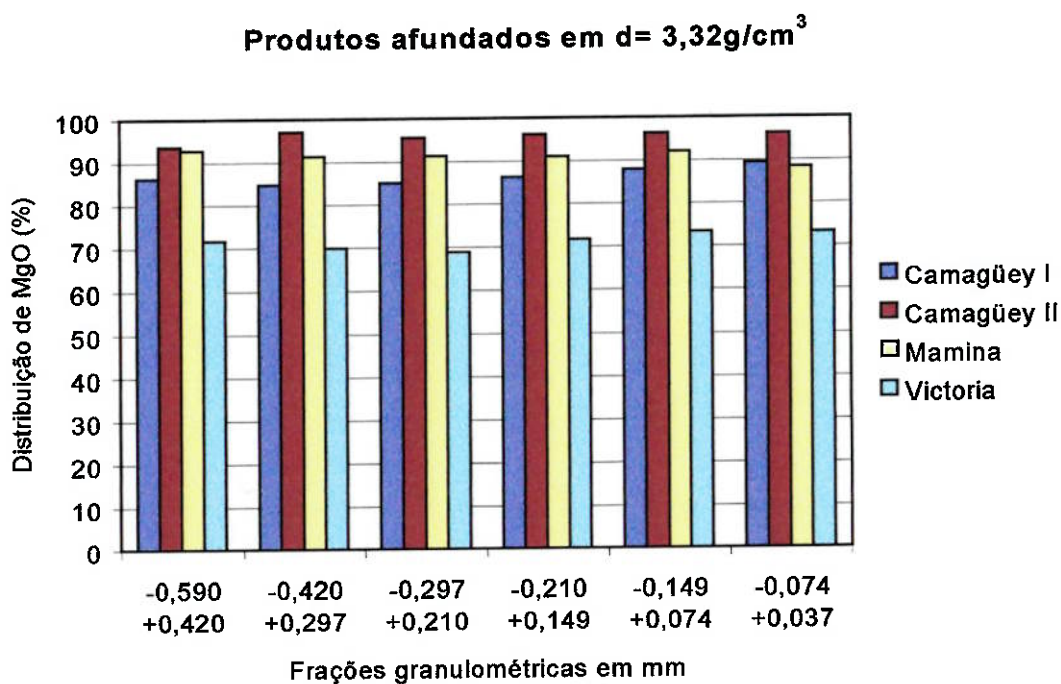


Figura 19 - Resultados de distribuição de MgO para os afundados nos ensaios de separação em líquido denso

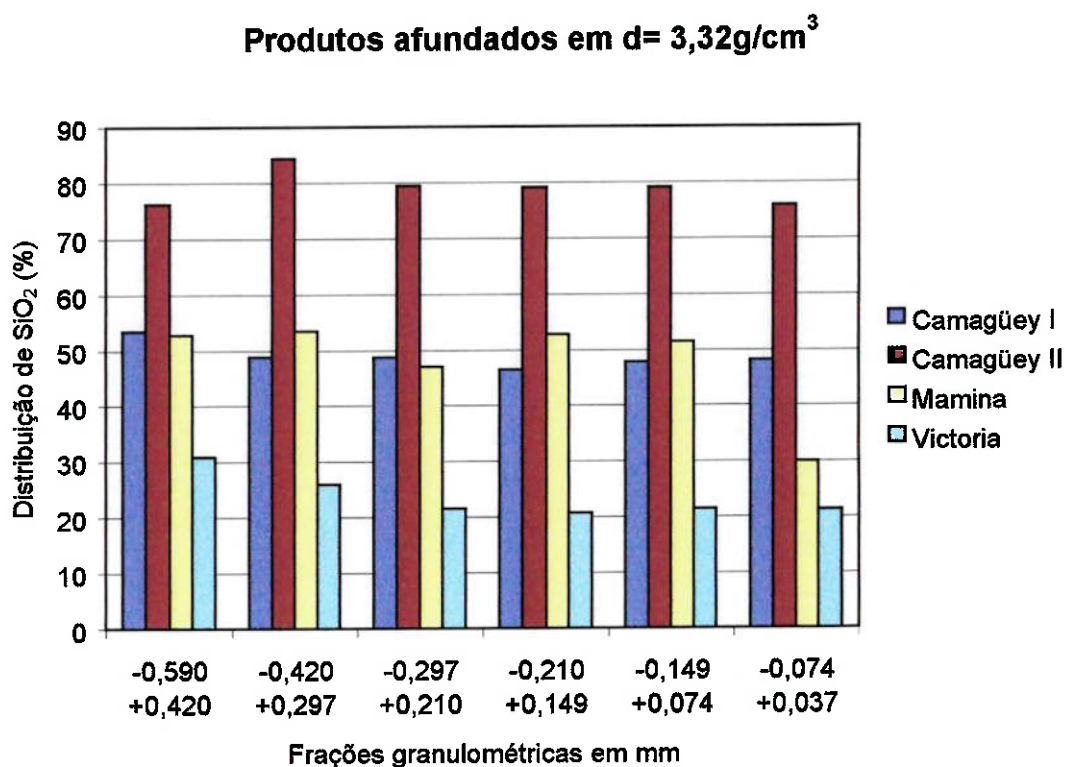


Figura 20 - Resultados de distribuição de SiO₂ para os afundados nos ensaios de separação em líquido denso

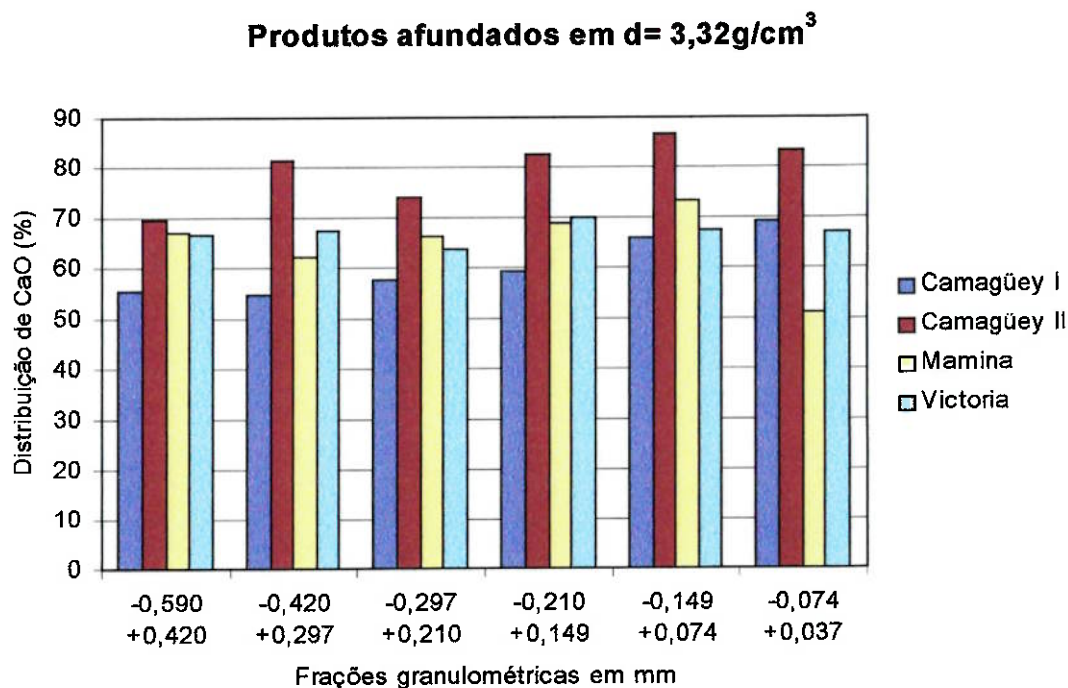


Figura 21 - Resultados de distribuição de CaO para os afundados nos ensaios de separação em líquido denso.

Nos ensaios de separações minerais verificou-se que os produtos afundados carregam cerca de 97,6% do total Cr_2O_3 contido no caso de Victoria, até 99,2%, para o depósito de Camagüey II; para o cálcio tem-se valores entre 60,1% até 79,8% do total e, para a sílica de 23,4%, no caso de Victoria, e 79,5% em Camagüey II. A fração passante em 0,037mm não foi considerada na avaliação acima, visto resume a não ter sido objeto de separação em líquido denso.

Os resultados de distribuição em massa são relativamente homogêneos para as várias frações granulométricas das quatro amostras estudadas, com valores variando entre 3% e 17% de massa flutuada, sendo os mais elevados associados à jazida de Victoria (14% a 17%).

Os teores dos produtos afundados obtidos são bastante semelhantes entre si, com tendência à diminuição dos teores de sílica no produto afundado das frações mais finas (<0,15mm).

Os teores médios dos produtos afundados das quatro amostras, apresentados na Tabela 19, a seguir, mostram valores muito semelhantes entre si. Destaca-se, para a amostra Victoria, uma pequena redução no teor de Cr_2O_3 em relação às demais amostras.

Tabela 20 - Resultados obtidos para os produtos afundados (-0,590 +0,037mm)

Amostra	% peso ensaio	Teores para os produtos afundados (%)						
		Cr_2O_3	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	CaO	TiO_2
Camagüey I	91,7	35,7	16,1	28,0	16,5	2,09	0,80	0,31
Camagüey II	97,3	35,3	16,3	28,4	15,5	2,27	0,36	0,24
Mamina	95,0	35,0	17,1	30,2	16,1	1,42	0,17	0,31
Victoria	84,0	33,5	17,6	29,9	15,4	1,91	0,24	0,21

Os produtos flutuados são constituídos basicamente por SiO_2 , MgO e Al_2O_3 , com Fe_2O_3 , CaO e TiO_2 subordinados. Os teores de Cr_2O_3 decrescem sistematicamente das frações grossas em direção às finas, nas quatro amostras estudadas.

A distribuição dos elementos nos ensaios revela que, em média, 98% a 97% do Cr_2O_3 está associado aos produtos afundados; para o MgO tem-se de 71% a 96%, com

os valores mais elevados associados a menores proporções de leves (flutuado). Já para a sílica, com a mesma tendência assinalada para o MgO, tem-se valores entre 23% e 79%.

4.5.3. Composição mineralógica

Em virtude de se ter observado, a partir das análises químicas, uma importante presença de compostos de Si e Ca, presumivelmente associados à ganga, foram efetuadas análises de difração de raios X nos produtos flutuados obtidas nas separações em meio denso, bem como nos produtos extremos obtidos através de separação magnética em Frantz - +1,35kGauss e -4,05kGauss (NãoMagn.). Adicionalmente, foram também analisados alguns produtos afundados em meio denso, visando identificar as eventuais impurezas presentes.

Com o auxílio dos softwares PC-APD e IDENTIFY, ambos da PHILIPS, iniciou-se o processo de identificação dos minerais presentes, tendo-se verificado que os produtos flutuados procedentes das separações em meio densos eram constituídos fundamentalmente por clorita, serpentina, dolomita e silicatos mistos de ferro, alumínio e magnésio.

Os produtos afundados são compostos essencialmente por cromita, em especial aquela associada a cromitas de alumínio, com uma forte presença de estruturas de espinélios de ferro, presumivelmente ligada estruturalmente aos espinélios de cromo.

A presença dos minerais mais importantes pode ser observada nos difratogramas reproduzidos a seguir nas Figuras de 22 a 26.

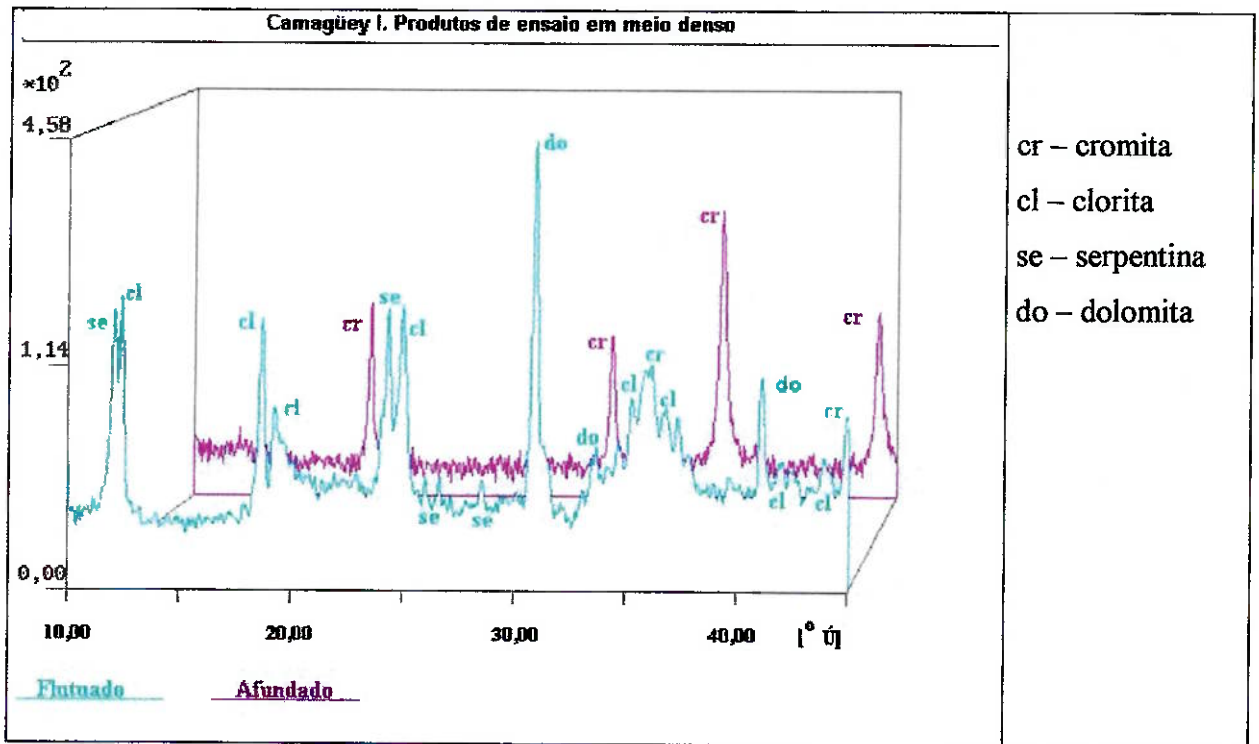


Figura 22 - Amostra de Camagüey I. Difrátogramas dos produtos flutuados e afundados obtidos na separação em meio denso ($d > 3,3\text{g/cm}^3$).

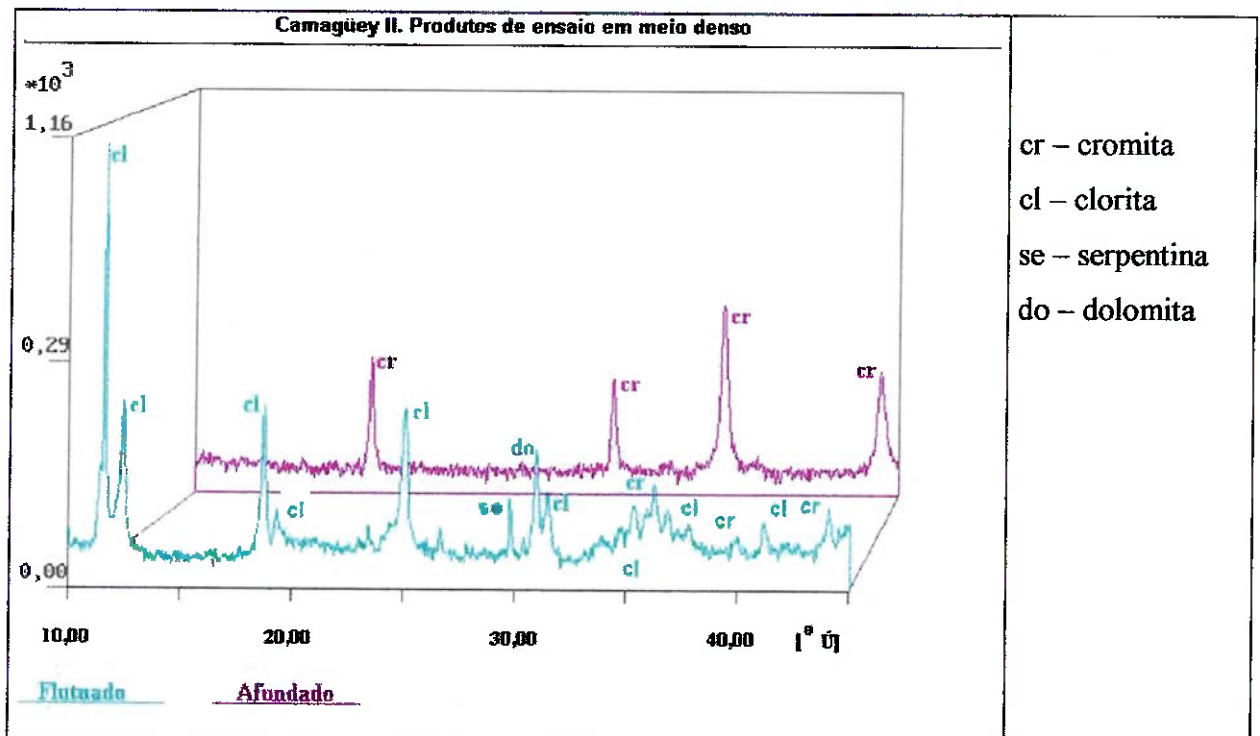


Figura 23 - Amostra de Camagüey II. Difrátogramas dos produtos flutuados e afundados obtidos na separação em meio denso ($d > 3,3\text{g/cm}^3$).

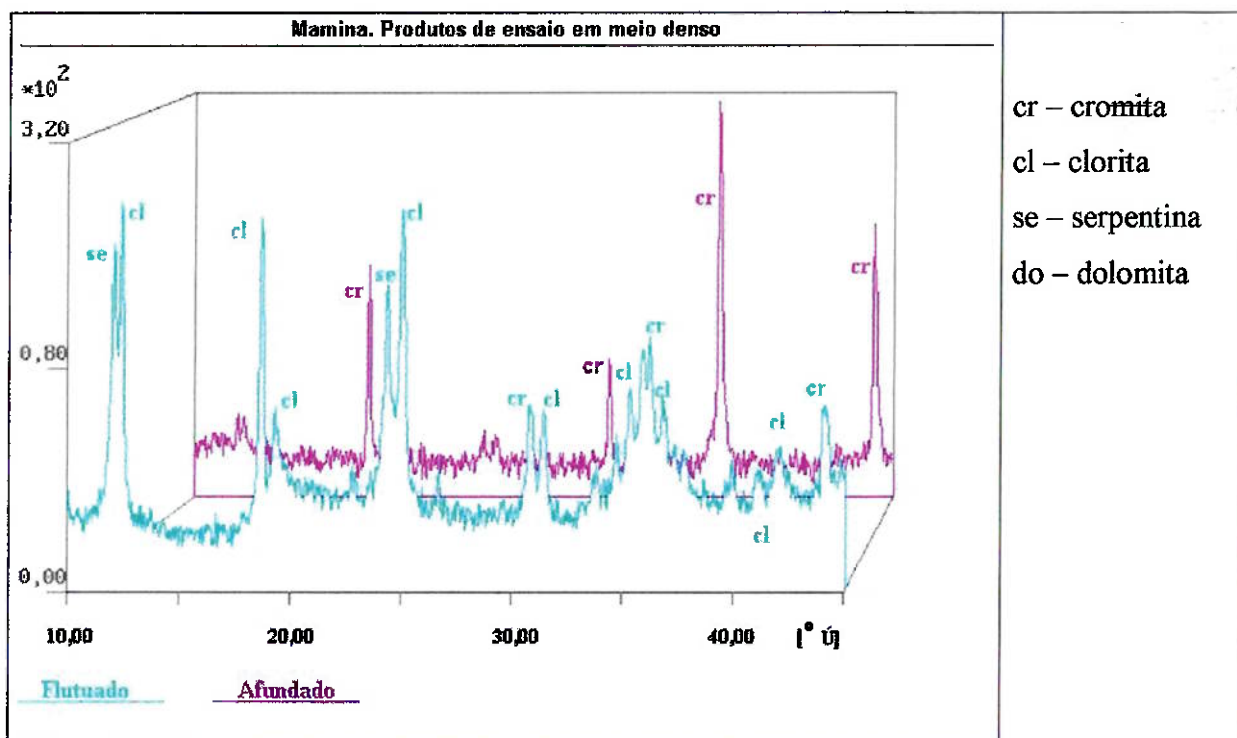


Figura 24 - Amostra de Mamina. Difratomogramas dos produtos flutuados e afundados obtidos na separação em meio denso ($>3,3\text{g/cm}^3$)

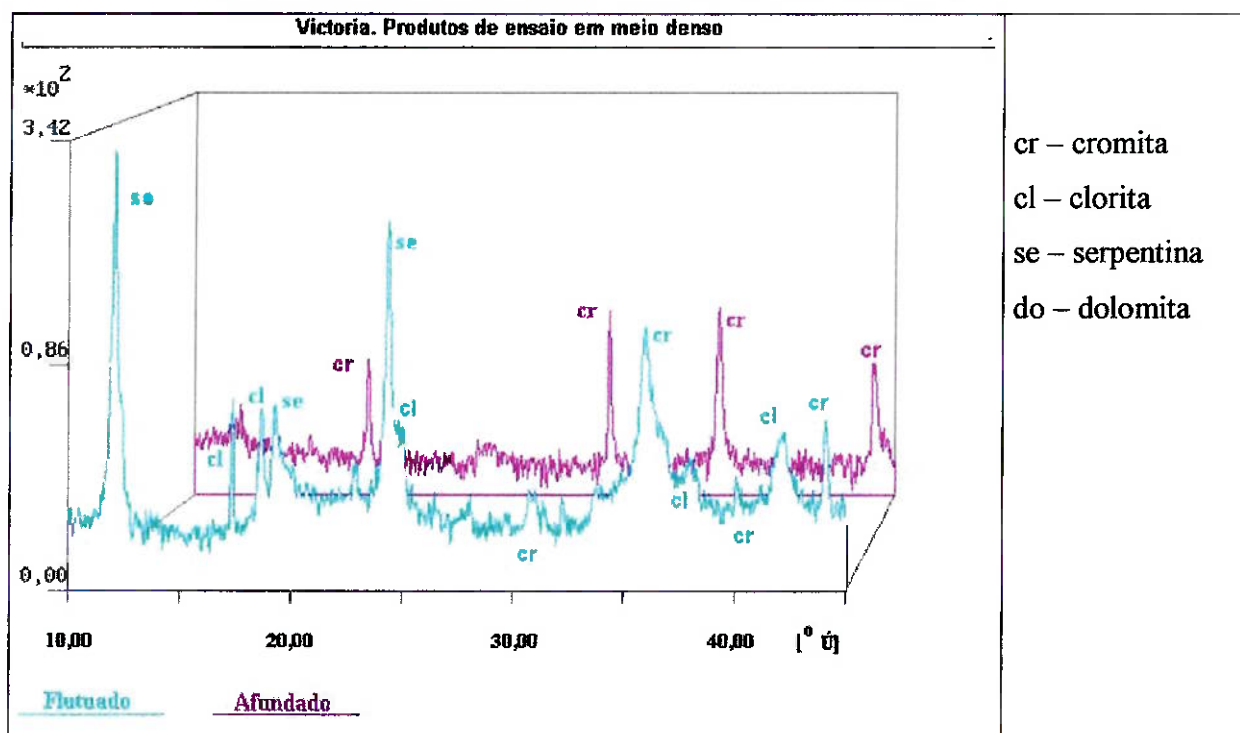


Figura 25 - Amostra de Victória. Difratomogramas dos produtos flutuados e afundados obtidos na separação em meio denso ($d >3,3\text{g/cm}^3$)

O estudo dos produtos da separação magnética foram restritos ao magnético em 1,35kGauss e ao fração -4,05Gauss (Não Magn.). Para as quatro jazidas estudadas, o produto magnético constituído essencialmente por serpentina e clorita; no não magnético encontrou-se um aumento sistemático da relação clorita/serpentina quando comparado ao magnético em 1,35kGauss, além da presença de dolomita e alguma cromita.

Os produtos magnéticos em 2,70kGauss e 4,05kGauss, constituídos essencialmente por cromita, não foram analisados sistematicamente, por apresentarem características bastante semelhantes às dos produtos afundados.

Os difratogramas dos produtos acima mencionados, para as jazidas estudadas podem ser observados nas Figuras de 26 a 29, apresentadas na seqüência.

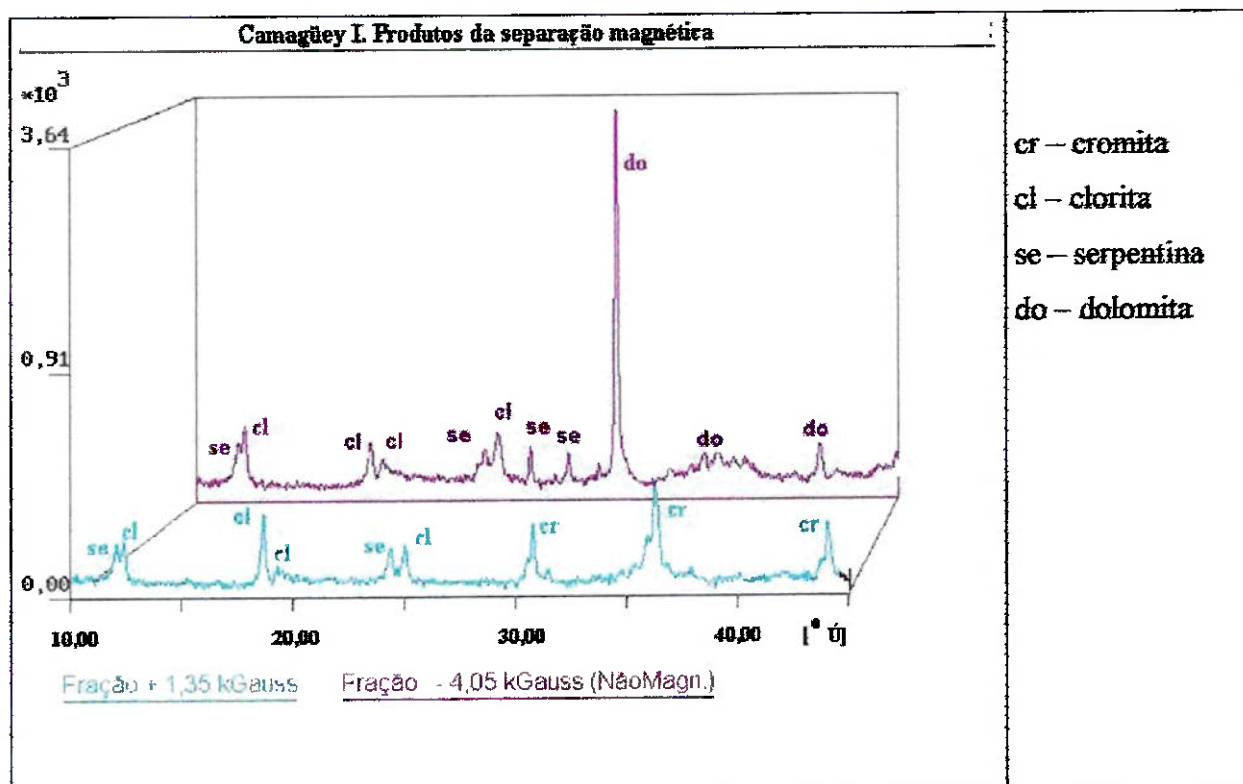


Figura 26 - Jazida de Camagüey I. Difratomogramas dos produtos obtidos na separação magnética em Frantz

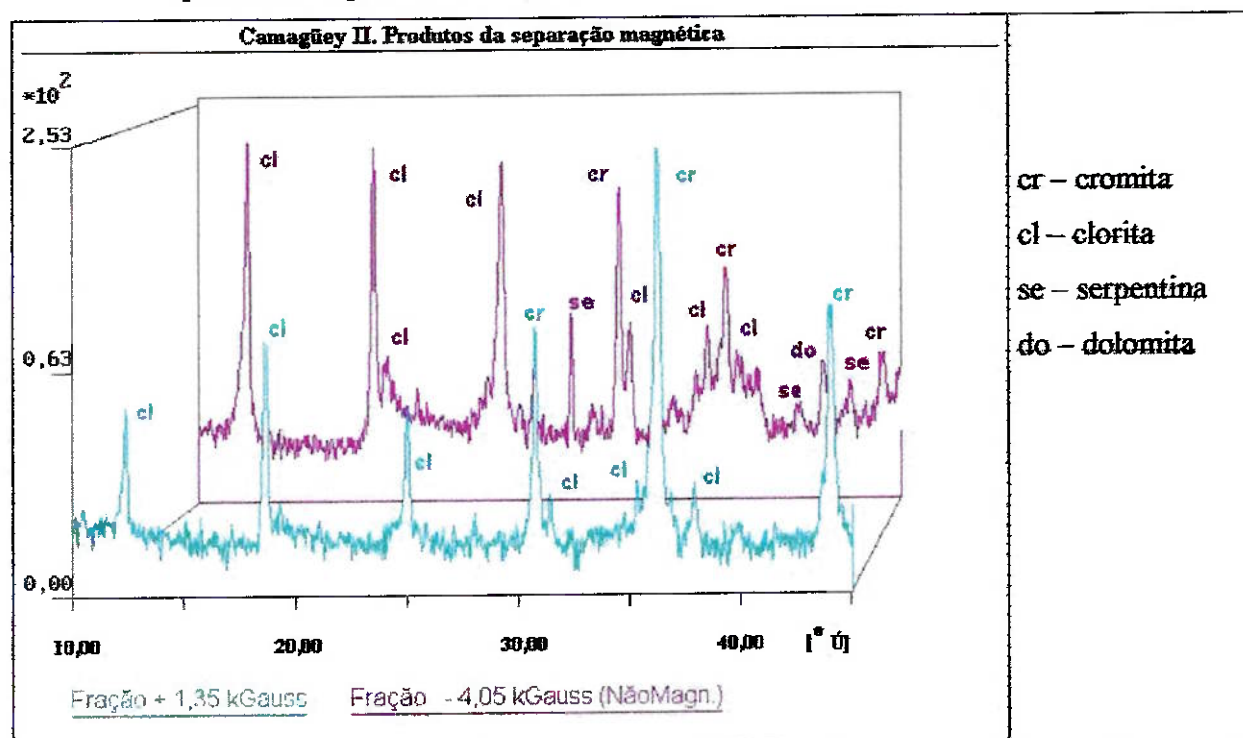


Figura 27 - Jazida de Camagüey II. Difratomogramas dos produtos obtidos na separação magnética em Frantz

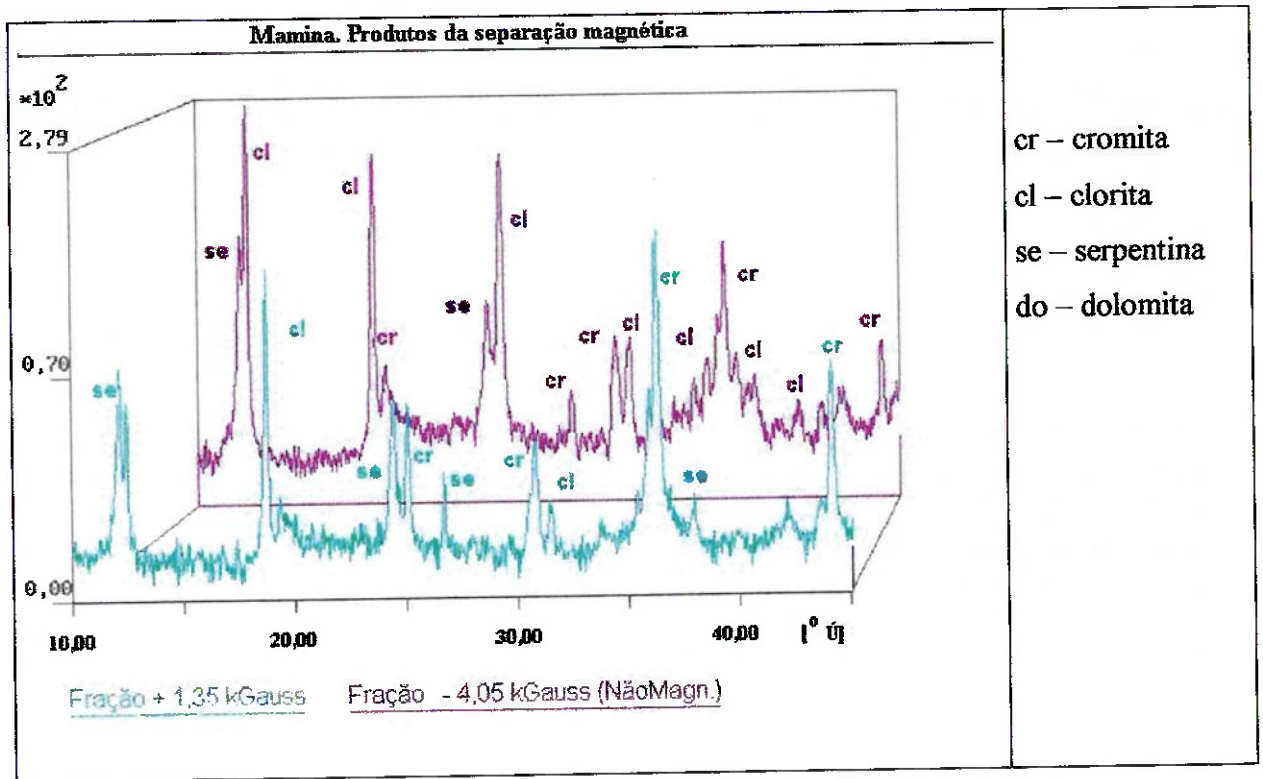


Figura 28 - Jazida de Mamina. Difratomogramas dos produtos obtidos na separação magnética em Frantz.

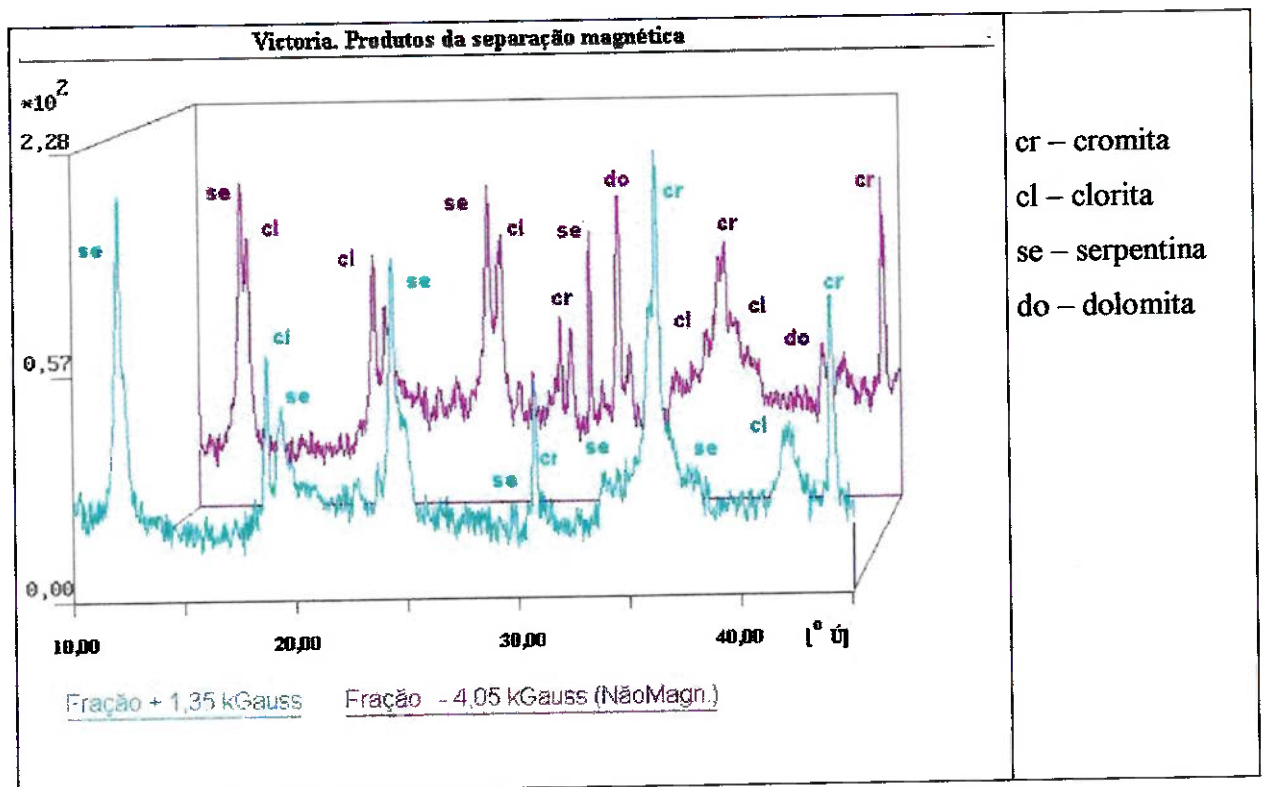


Figura 29 - Amostra de Victoria. Difratomogramas dos produtos obtidos na separação magnética em Frantz.

A análise mineralógica das amostras estudadas foi concluída, como o cálculo das composições modais, tomando por base os dados das análises químicas. Para cada fração foi computado o conteúdo de cromita, dolomita e silicatos de magnésio (serpentina + talco). As proporções entre talco e serpentina foram estimadas de forma comparativa entre as amostras estudadas, considerando-se o valor estequiométrico médio entre serpentina e talco.

Os resultados obtidos no processamento e cálculo são encontrados na Tabela 20, onde se verifico que na amostra de cabeça o conteúdo de serpentina se apresenta numa faixa de 6,23% em Camagüey II, até 14,1%, na amostra de Victoria, e o de dolomita varia em uma faixa 0,89%, na amostra de Mamina até 4,37%, na amostra de Camagüey I. Nesta tabela estão expostos ainda as composições mineralógica dos produtos flutuados e afundados obtidos em meio denso (-0,059 +0,037mm).

Os resultados obtidos nos produtos afundados mostram uma diminuição sensível dos minerais de ganga, embora ainda se encontrem proporções significativas de serpentina, que fica numa faixa de 2,76% na amostra de Mamina, até 4,41% em Camagüey II, e a dolomita, de 0,56% no caso de Mamina, até 2,63% em Camagüey I.

Os dados obtidos no recálculo do material flutuado, mostrou que a serpentina atinge conteúdos que vão de 40,2% na amostra de Camagüey II até 63,7% em Victoria, enquanto que a dolomita fica numa faixa de 2,07% na amostra de Victoria até 19,4% em Camagüey I.

De forma geral, pode-se avaliar que apesar de o minério ter melhorado sua qualidade de modo de permitir sua inserção dentro das especificações do mercado, ainda permanece na massa uma quantidade significativa de material de ganga.

Face a homogeneidade química e mineralógica das amostras para as várias frações granulométricas, são apresentados unicamente os valores médios calculados para as várias amostras e seus produtos de separações minerais.

Tabela 21 - Composição mineralógica das amostras estudadas

ETAPAS DE PROCESSO	TEORES EM (%)				
	Tal qual	cromita	serpentina + clorita	Dolomita	ilmenita
Camagüey I	87,5	8,18	4,30	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾
Camagüey II	92,4	6,23	1,38	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾
Mamina	92,2	6,90	0,89	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾
Vitoria	84,5	14,4	1,11	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾

Afundados -0,6 +0,037mm	cromita	serpentina + clorita	dolomita	ilmenita	sulfetos
Camagüey I	93,4	4,01	2,60	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾
Camagüey II	94,4	4,44	1,19	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾
Mamina	96,7	2,73	0,55	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾
Vitoria	95,5	3,73	0,79	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾

Flutuados -0,6 +0,037mm	cromita	serpentina + clorita	dolomita	ilmenita	sulfetos
Camagüey I	28,9	50,4	20,7	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾
Camagüey II	45,3	43,4	11,3	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾
Mamina	35,1	58,8	6,13	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾
Vitoria	30,6	67,2	2,18	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾

⁽¹⁾ traços <0,5%

4.5.4. Avaliação das formas de associação da cromita.

Os resultados dos ensaios de separações minerais por líquido denso, para as várias frações granulométricas das quatro amostras estudadas, indicaram uma constância e similaridade dos teores de SiO₂ apresentados pelos produtos afundados, não evidenciando um aumento efetivo de liberação com a conseqüente redução dos teores de sílica e óxido de cálcio.

Frente a tal situação, um estudo tradicional do grau de liberação por microscopia não teria maior significado. Optou-se, então por uma avaliação sistemática dos produtos

afundados em meio denso, de forma a diagnosticar a forma de ocorrência dos silicatos remanescentes associados à cromita.

Para tanto, foram confeccionadas seções polidas de partículas provenientes dos produtos afundados em $3,3\text{g/cm}^3$. O estudo detalhado das seções polidas por MEV confirmou ser inadequada a realização da determinação do grau de liberação da cromita pela técnica clássica de contagem de grãos. Verificou-se que, devido ao alto grau de fraturamento da cromita nas amostras estudadas, tem-se o preenchimento das gretas de fraturamento por minerais de ganga, indistintamente para todas as faixas granulométricas.

Este fato pode ser facilmente observado através de um mapeamento de pontos por raios X ao MEV, onde a presença de silício pode ser verificada intimamente associada à cromita – Foto 15 (amostra Camagüey II).

Este mesmo aspecto de preenchimento de microfraturas ressaltando uma íntima associação dos silicatos e dolomita com a cromita é exposto nas Fotos 16 à 19, as quais apresentam, em imagens de elétrons retro-espalhados, uma visão geral das seções dos produtos afundados, bem como detalhes de partículas isoladas.

Embora os teores de SiO_2 associados aos produtos afundados sejam semelhantes entre as amostras, verifica-se que a intensidade de fraturamento e respectiva largura das fraturas são variáveis, de acordo com a seguinte ordem crescente em termos de intensidade de fraturamento: Mamina → Victoria → Camagüey I → Camagüey II.

Em termos de processos de beneficiamento, esta característica é extremamente relevante, visto que uma moagem mais rigorosa implicaria em sensíveis perdas de finos, não redundando necessariamente na possibilidade de separação dos minerais de ganga intimamente associados à cromita.

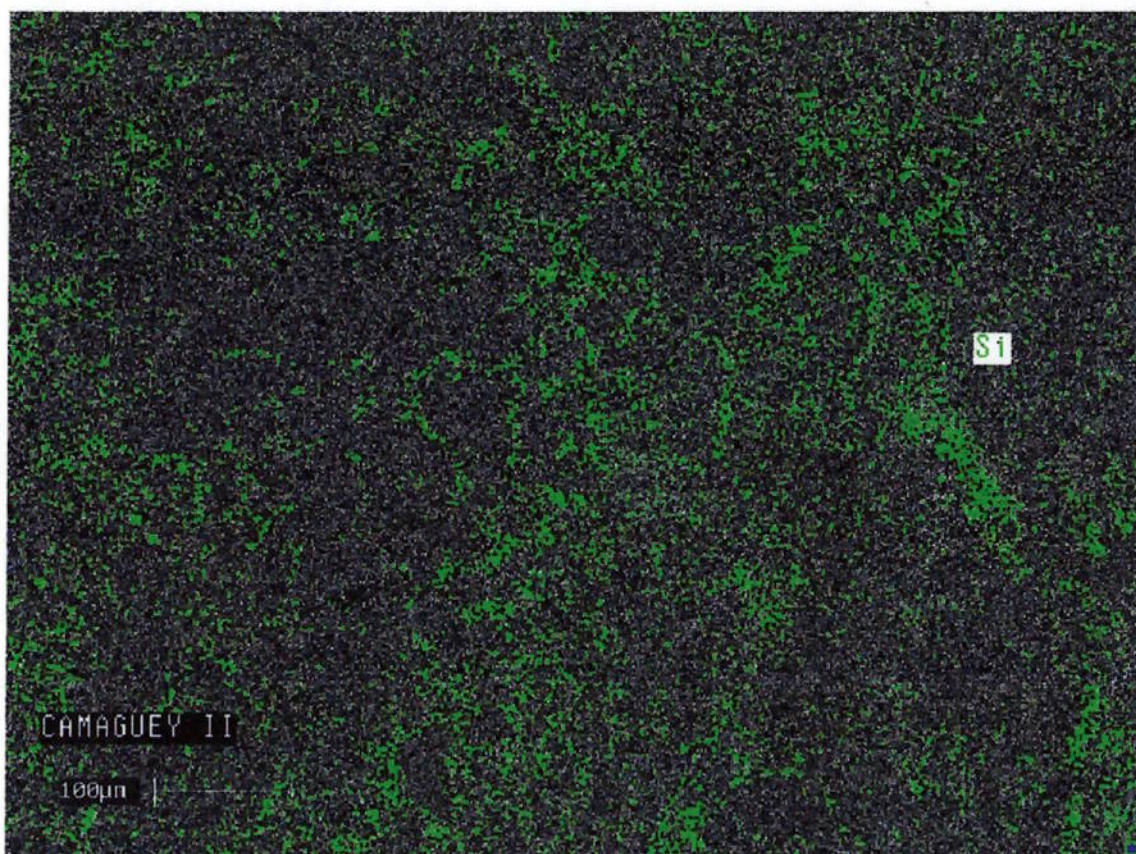


Foto 15 - Amostra de Camagüey II ($d > 3,3\text{g/cm}^3$). Imagem do mapeamento de raios X efetuado para o Si em cor verde claro. Observa-se que há uma sobreposição deste elemento em relação à cromita (cinza escuro)

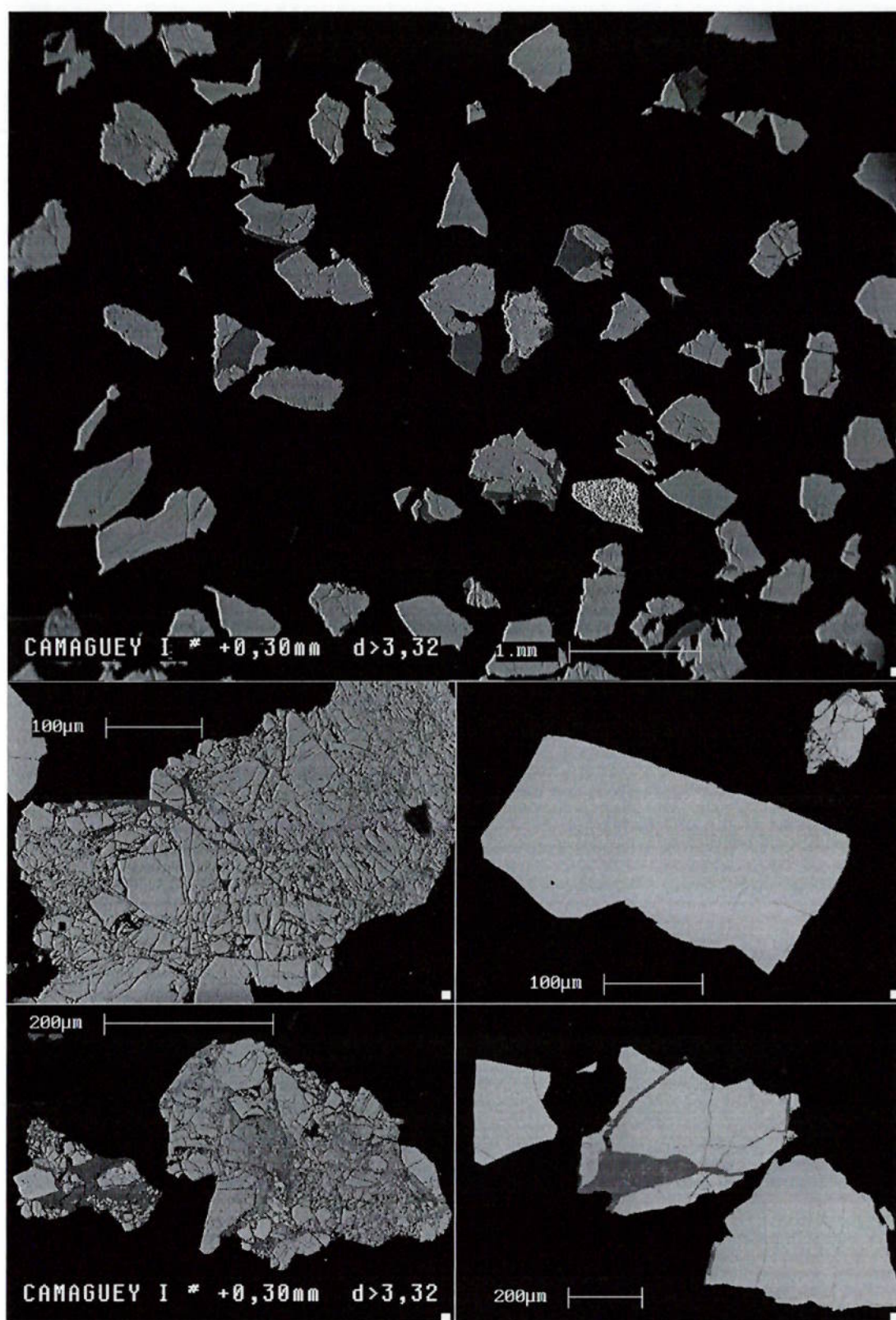


Foto 16 - Amostra de Camagüey I ($d > 3,3g/cm^3$). Visão geral e de detalhe de grãos de cromita evidenciando o seu fraturamento, assim como o preenchimento das microfaturas por silicatos de magnésio

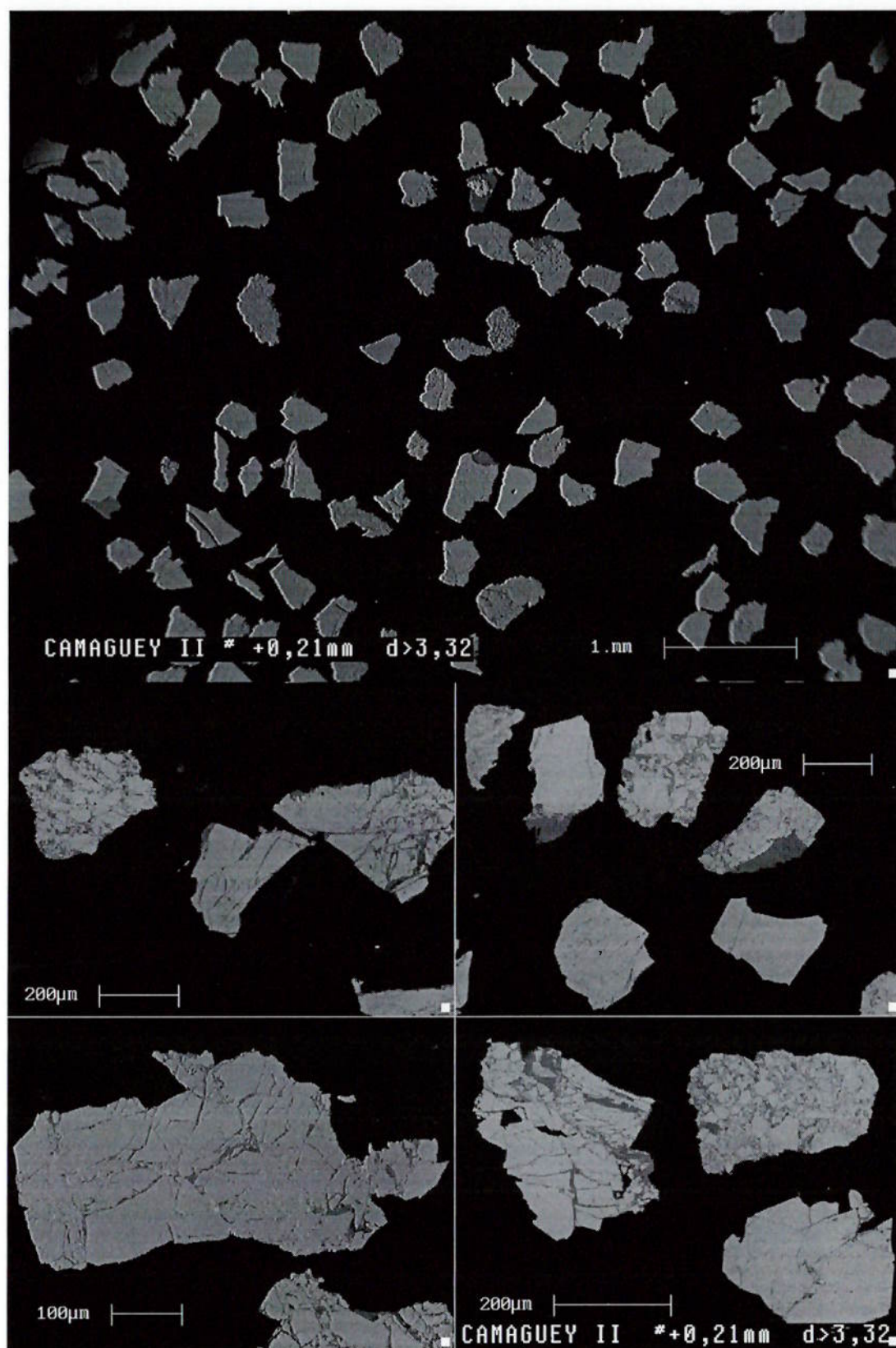


Foto 17 - Amostra de Camaguey II ($d > 3,3\text{g/cm}^3$). Idem anterior, porém com maior intensidade de fraturamento

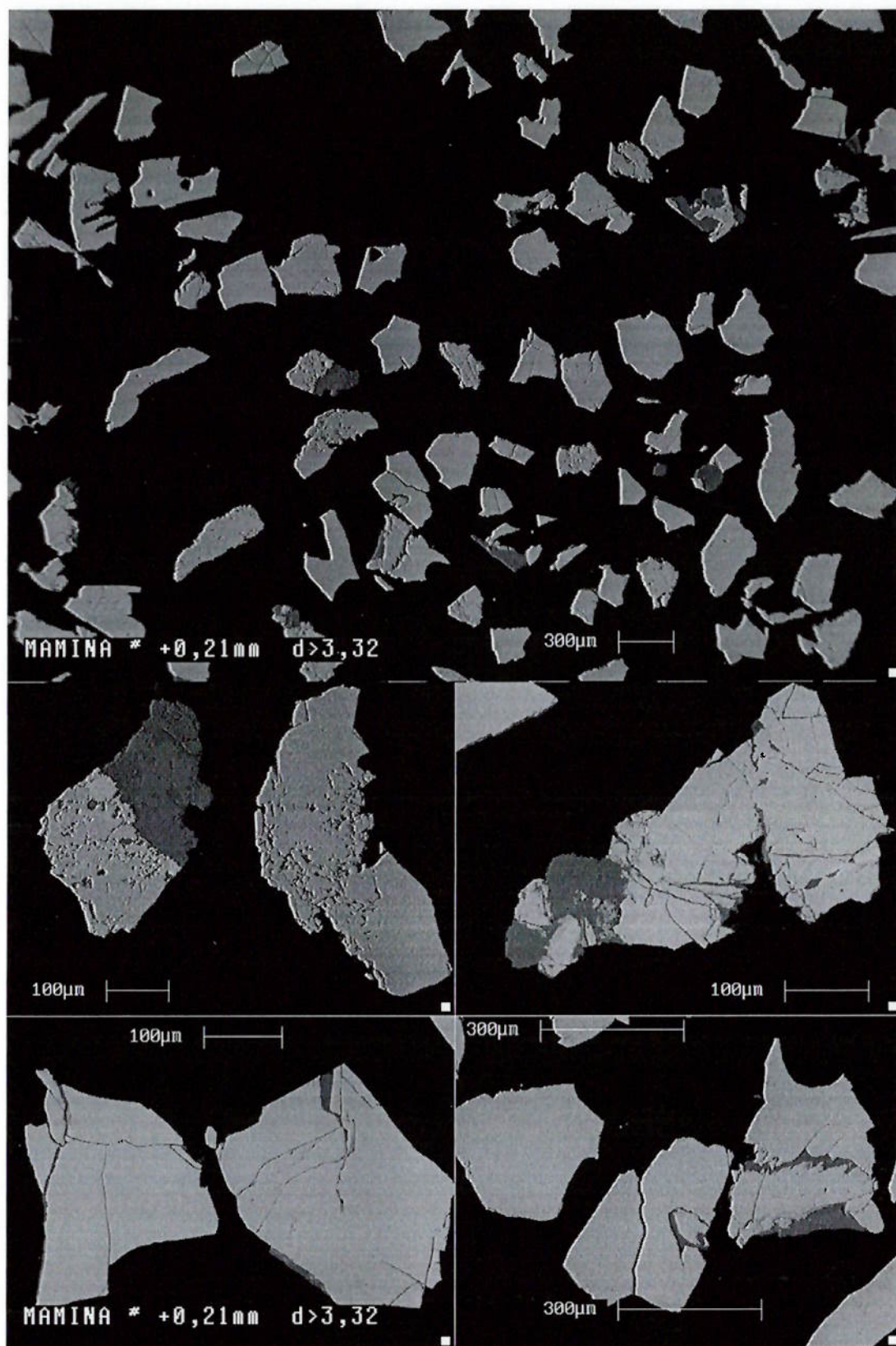


Foto 18 - Amostra de Mamina ($d > 3,3\text{g/cm}^3$). Comportamento semelhante ao das amostras de Camagüey I e II, porém com menor intensidade de fraturamento. Algumas partículas representam grãos mistos típicos.

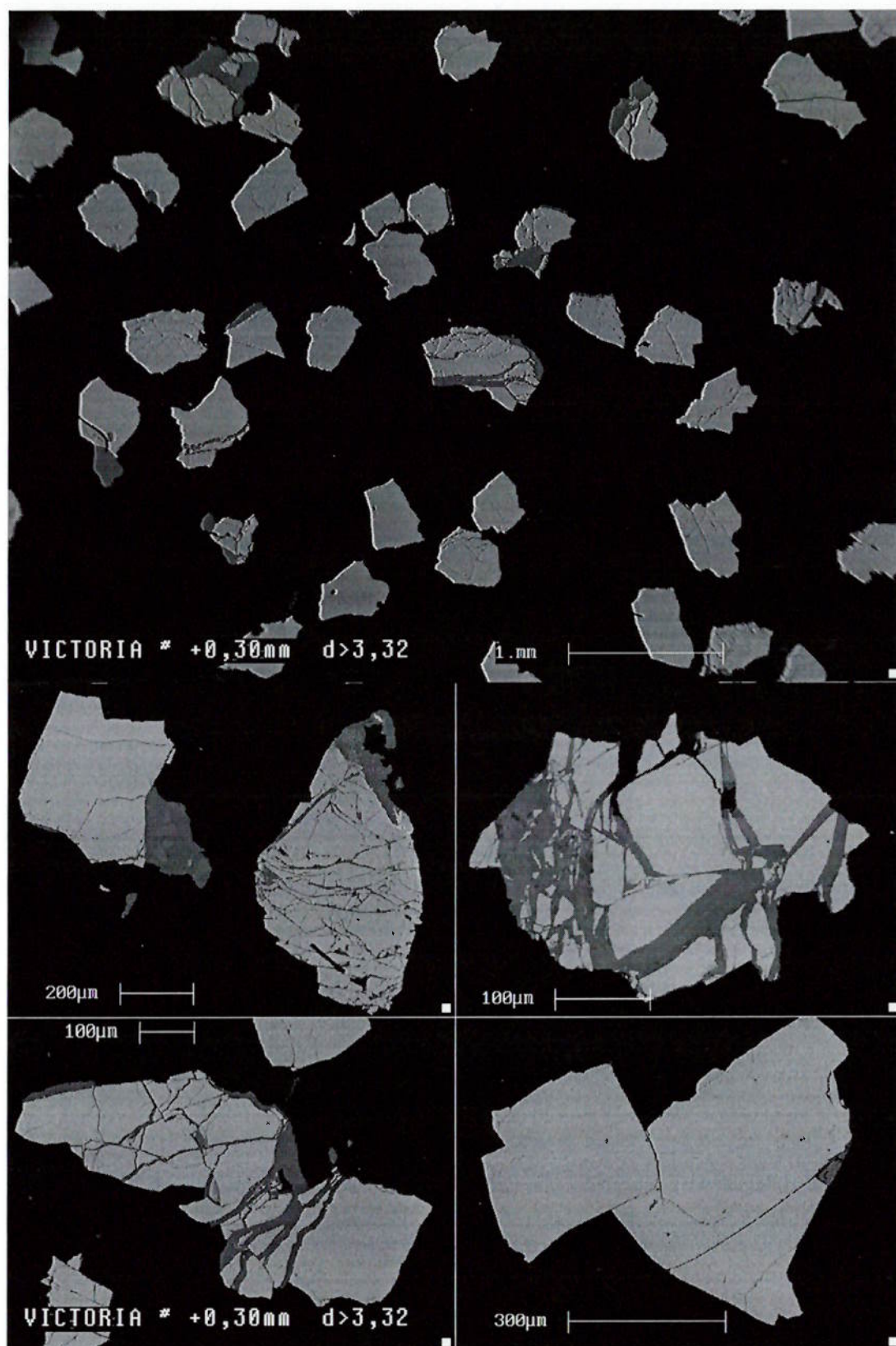


Foto 19 - Amostra de Victoria ($d > 3,3\text{g/cm}^3$). Idem anterior, evidenciando uma intensidade de fraturamento superior a da jazida de Mamina e inferior a Camagüey I e II.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

5.1. Conclusões dos estudos de caracterização

Foram estudadas amostras dos quatro principais depósitos de cromita da região de Camagüey, República de Cuba – Camagüey I, Camagüey II, Mamina e Victoria.

A amostragem realizada, embora limitada pela ausência de testemunhos de sondagens, possibilitou a coleta de amostras com teores bem próximos aos dos valores médios encontrados nos depósitos estudados, satisfazendo plenamente a expectativa inicial.

A metodologia estabelecida para os estudos de caracterização propiciou alcançar sem maiores dificuldades o conhecimento das informações de interesse. Com base nos procedimentos realizados, determinaram-se as composições química e mineralógica dos componentes principais das amostras estudadas, bem como as associações dos minerais de ganga com a cromita.

As amostras das quatro jazidas apresentam marcadas semelhanças, tanto do ponto de vista do conteúdo dos óxidos majoritários (Cr_2O_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , SiO_2 e CaO) e constituição mineralógica, como também em relação ao seu comportamento nos processos de britagem e moagem.

Os produtos gerados na etapa de cominuição (-0,6mm) mostram que os teores dos principais óxidos não mostram concentração preferencial em nenhuma fração granulométrica; somente os conteúdos de SiO_2 e CaO mostram um incremento na fração passante 0,037mm, demonstrando haver um certo grau de independência. A quantidade de finos abaixo de 0,037mm gerada na etapa de preparação, situada entre 11 e 19% em massa, foi algo elevada, implicando em perdas expressivas dos conteúdos de Cr_2O_3 (10 a 18%) junto a esta fração.

Ensaio de separações minerais em líquido denso para as diversas frações granulométricas das quatro amostras estudadas indicaram uma constância e elevada similaridade. Os teores de SiO_2 e CaO apresentados pelos produtos afundados não indicam um aumento efetivo de liberação, com a conseqüente redução dos teores de sílica e óxido de cálcio para as frações mais finas. Verificou-se que tal comportamento

deve-se ao alto grau de fraturamento da cromita nas amostras estudadas, aliado ao preenchimento das microfraturas por minerais de ganga, indistintamente para todas as frações granulométricas.

Observações ao MEV/EDS permitiram constatar a presença de duas variedades de cromita; a primeira, bastante homogênea e largamente predominante, apresenta teores médios de Cr_2O_3 praticamente idênticos para os depósitos de Camagüey I, Mamina e Victoria (37,5 a 37,8%); já para Camagüey II, em que os fenômenos tectônicos e de fraturamento são mais intensos, nota-se um teor de Cr_2O_3 um pouco mais elevado (39,5% Cr_2O_3), Tabela 22. A segunda variedade, pouco expressiva e de ocorrência restrita à interface entre a cromita e a ganga silicatada ou, mais raramente, a zonas de fraturamento, apresenta um importante incremento nos conteúdos de Cr_2O_3 – atingindo valores de até 60% - e de Fe_2O_3 , aliado a uma diminuição sensível nos conteúdos de Al_2O_3 e MgO .

Tabela 22 - Composição média da cromita homogênea através de análises ao MEV/EDS

Jazida	TEORES (%)						
	Cr_2O_3	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	TiO_2	V_2O_5
Camagüey I	37,5	15,5	30,0	15,9	0,37	0,24	0,22
Camagüey I	39,5	14,8	28,7	15,7	0,40	0,27	0,27
Mamina	37,7	16,2	30,7	14,4	0,36	0,18	0,26
Victoria	37,8	15,2	30,0	16,1	0,39	0,17	0,22

Os minerais de ganga, por sua vez, são constituídos essencialmente por silicatos de magnésio (serpentina e clorita) e, secundariamente, por dolomita. Magnetita, ilmenita e nicolita, dentre outros, ocorrem como traços e associados fundamentalmente aos minerais de ganga.

A Tabela 23, a seguir, apresenta um sumário das principais características das amostras estudadas e dos produtos obtidos no presente estudo.

Tabela 23 - Sumário das principais características das amostras estudadas

Jazida	TEORES EM (%)					
	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
Amostra tal qual						
Camagüey I	34,7	17,4	26,7	15,4	4,28	1,33
Camagüey II	34,7	16,7	28,3	15,2	3,21	0,42
Mamina	32,7	17,7	29,5	14,5	3,54	0,27
Victoria	28,2	25,7	20,7	13,3	7,25	0,33
Produtos afundados em meio denso						
Camagüey I	35,7	16,1	28,0	16,5	2,09	0,80
Camagüey II	35,3	16,3	28,4	15,5	2,27	0,36
Mamina	35,0	17,1	30,2	16,1	1,42	0,17
Victoria	33,5	17,6	29,9	15,4	1,91	0,24
COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (% massa)						
	cromita	serpentina + clorita	dolomita	ilmenita + magnetita	sulfetos	
Amostra tal qual						
Camagüey I	87,5	8,18	4,30	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾	
Camagüey II	92,4	6,23	1,38	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾	
Mamina	92,2	6,90	0,89	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾	
Victoria	84,5	14,4	1,11	tr ⁽¹⁾	tr ⁽¹⁾	

Pelas características apresentadas pelas quatro amostras estudadas, este material encontra aplicações na indústria de refratários.

5.2. Considerações para fins de beneficiamento mineral

Em vista dos resultados apresentados depreende-se que os procedimentos do beneficiamento dos minérios estudados deverão estar voltados para o incremento dos teores de Cr₂O₃, através da minimização do conteúdo de minerais de ganga, no caso, fundamentalmente representados por serpentina, clorita e dolomita.

Em conseqüência disso, o objetivo básico será o de se atingir um concentrado que se enquadre dentro das especificações aceitas pelo mercado internacional para concentrados de cromita para a indústria de refratários, considerando-se com especial atenção o comportamento do minério ante os métodos de concentração densitária. Os estudos efetuados demonstraram que os minérios estudados apresentam pelo potencial para utilização como cromita refratária, se enquadrando nas especificações aceitas em países como Cuba, Filipinas, Índia, Turquia, Irã e Brasil.

Ante a esta situação, considera-se as seguintes etapas para o aproveitamento dos depósitos de cromita podiforme da região de Camagüey:

- Lavra seletiva dos minérios com eliminação de substancial parcela da rocha encaixante das lentes de cromita;
- Britagem do minério lavrado, seguida de seleção manual da fração grossa (>5 a 10mm), com base nas diferenças de cor e densidade aparente entre a cromita e a ganga;
- Moagem da fração fina que não foi objeto da seleção manual, bem como de eventual produto misto resultante nesta operação. Deslamagem e concentração densitária por espirais do produto de moagem;
- Eventual concentração densitária por processos centrífugos dos finos (“overflow”) da deslamagem – jigue Kelsey, centrífuga MGS ou outros.

A recuperação global de cromita, a depender das alternativas a serem consideradas, deve se situar entre 85% a 95%. Os teores estimados dos principais produtos finais estão apresentados na Tabela 24, a seguir.

Tabela 24 - Teores estimados dos principais produtos finais

Produto	TEORES (%)					
	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
Lump ore (lavra seletiva)	30	20-21	27-28	14	4-5	1,0 -2,0
Concentrado. espirais	35	17	29	16-17	1,4-2,3	0,2-0,8

A aplicação de métodos magnéticos de separação aos materiais estudados é contra-indicada, tendo em vista não só a elevada proximidade de susceptibilidade magnética entre a cromita e os minerais de ganga, como também pelo fato da susceptibilidade da cromita ser intermediária a destes últimos.

Para a continuidade dos estudos considera-se necessário uma avaliação tecnológica em escala piloto para se conhecer o comportamento real dos minérios frente as sugestões apresentadas, particularmente para o caso da jazida de Camagüey II, a qual além de apresentar maiores dificuldades na separação dos minerais de ganga, apresenta o maior volume de reserva medida (aproximadamente 700 mil t).

Adicionalmente, uma análise técnico-econômica deve ser realizada para o estabelecimento da viabilidade econômica do aproveitamento das jazidas estudadas, já que para algumas delas será necessária a implantação de lavra subterrânea, como o caso de Camagüey II.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACADEMIAS DE CIENCIAS DE CUBA Y BULGARIA. **Geología del territorio Ciego-Camagüey-Las Tunas**: resultados de las investigaciones y levantamiento geológico a escala 1: 250 000. La Habana, Archivo de Oficina Nacional de Recursos Minerales, 1981. (Relatório)
- AHMED, Z. Stratigraphic and textural variations in the chromite composition of the ophiolitic Sakhakot-Qila Complex, Paquistán. **Economic Geology**, v. 79, p. 1334-59, 1984.
- ALLEN, R.; HOWLING, G.E. **Chrome ore and chromium**. London, The Imperial Institute, 1940.
- BELARDI, G.; SHEAU, N.; VEGLIO, F. Recent developments in gravity treatment of chromite fines. **Minerals and Metallurgical Processing**, v. 12, p.161-5, 1995.
- BEVAN, J.C.; RODGERS, K.A. Electron-probe investigation of some chrome-spinels from southern New Caledonia. **Mineralogical Magazine**, v. 41, p. 391-4, Sept. 1997.
- BROWN, L. L. **Characterization and beneficiation of domestic chromite-bearing materials**. Washington, U.S. Bureau of Mines, 1985. (U.S.Bureau of Mines. Information Circular, 9087)
- BURNS, V.M.; BURNS, R.G. Mineralogy of chromium. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 39, p. 903-10, 1975.
- CAPOTE, C. Separação de estruturas sin - arco, uma ferramenta imprescindível no prognóstico metalogenético na região centro oriental de Cuba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 9., Salvador, 1996. **Anais**. São Paulo, SBG, 1996. v. 3, p. 221-3.
- DAHLIN, D. C.; BROWN, L. L. Podiform chromite occurrences in the Caribou

- Mountain and Lower River Areas, Central Alaska :Part I. Int. Bu. Of Mines, PGH, PA, 26786In:, 1983. p.1-
- DEYOUNG, J.H.; LEE, M.P.; LIPIN, B.R. Chromite resources of the world. U.S. **Geological Survey**, n. 930-B, p. 1-41, 1984.
- ECONOMOU-ELIOPOLUS, M. Platinum-grup element distribution in chromite ores from ophiolite complexes: implication for their exploration. **Ore Geology Reviews**, v. 11, p. 363-81, 1996.
- ENGIN, T.; AUCOTT, J.W. A microprobe study of chromites from the Andizlik-Zimparalik area, south-west Turkey. **Mineralogical Magazine**, v. 38, p. 76-82, Mar. 1971.
- ESCOBAR, E. **Informe geológico y cálculo de reservas de la exploración detallada del yacimiento cromífero Camagüey-II**. La Habana, Archivo de Oficina Nacional de Recursos Minerales, 1989. (Relatório)
- ESCOBAR, E. et al. **Informe de la exploración complementaria del yacimiento de cromitas Camagüey II**. S.L., Empresa Geológica de Camagüey/ Ministerio de la Industria Básica, 1980. (Relatório)
- ESCOBAR, E. **Proyecto de exploración preliminar y detallada de cromitas en los antiguos yacimientos de Camagüey**. La Habana, Archivo de Oficina Nacional de Recursos Minerales, 1991. (Relatório)
- FERNANDES, T.R.C.; LANGFORD, J.I. High-resolution X-ray diffraction study on the chromite $(Mg_{0.60}Fe_{20.40})(Al_{10.39}Cr_{1.50}Fe_3+0.09)O_4$. **Power Diffraction**, v. 13, n. 2, p. 96-9, June 1998.
- FLINT, D. E.; ALBEAR, J. Geology and chromite deposits of the Camagüey District Camagüey Province, Cuba. **U.S. Geological Survey**, n. 954-B, p. 39-63, 1948.
- GALVEZ, E. F. **Informe T.T.P. para la reinterpretación geofísica de los trabajos de prospección detallada de cromita en los sectores Tres Rios, Minas Sur, Altagracia-San Serapio e Iguana**. La Habana, Archivo de Oficina Nacional de Recursos Minerales, 1983. (Relatório)

- GONZÁLEZ, P. R.; GÁLVEZ, E. F. **Informe final de la prospección detallada de cromita en 40 Km² (1986-1992)**. La Habana, Archivo de Oficina Nacional de Recursos Minerales, 1994. (Relatório)
- GONZÁLEZ, P. R.; RICHTER, J. **Informe final de la exploración en el yacimiento de cromita "Victoria-I"**. La Habana, Archivo de Oficina Nacional de Recursos Minerales, 1990. (Relatório)
- GONZALEZ, R. **Informe final de la búsqueda de cromita (1983-1987)**. La Habana, Archivo de Oficina Nacional de Recursos Minerales, 1989. (Relatório)
- GONZÁLEZ, R. et al. **Informe final de la búsqueda detallada de cromita**. La Habana, Archivo de Oficina Nacional de Recursos Minerales, 1989. Tomos 1 - 2. (Relatório)
- GONZALEZ, R.; RICHTER, J. **Informe final de la búsqueda detallada de cromita del sector cromífero Camagüey 20 km²**. S.L., Empresa Geológica de Camagüey, 1989. (Relatório)
- HENLEY, K.J. Ore-dressing mineralogy. A review of techniques, applications and recent developments. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED MINERALOGY, 1, 1981. **ICAM'81: proceedings**. Johannesburg, Geological Society of South Africa, 1983. p. 175-200. (Geology Society of South Africa. Special publication, 7)
- HOWAT, D.D. Chromium in South Africa. **The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy**, v. 82, n. 2, p. 225-40, 1994.
- HUIATT, J.L. Flotation beneficiation of chromite from low grade deposits. In: CHROMIUM-CHROMITE: BUREAU OF MINES ASSESSMENT AND RESEARCH, Corvallis, 1985. **Proceedings**. Washington, U.S. Bureau of Mines, 1985. (U.S. Bureau of Mines. Information Circular, 9087)
- ITURRALDE, M.A.V., ed. **Ofiolitas y arcos vulcanicos de Cuba**. Miami, IUGS / UNESCO, 1996.
- ITURRALDE, M.A.V. et al. **Informe sobre los resultados del levantamiento**

- geológico complejo 1: 50 000 del polígono CAME "Cuba-RDA".** La Habana, Archivo de Oficina Nacional de Recursos Minerales, 1986. (Relatório)
- JONES, M. P. Applied mineralogy: a quantitative approach. **Mineral Resources Engineering**, v. 1, p. 475-8, 1988.
- JONES, M. P. **Applied mineralogy**: a quantitative approach. London, Graham and Trotman, 1987.
- LEAL, G. R.; BACELLAR, G. **Perfil analítico da cromita**. Brasília, DNPM, 1973. (Boletim, 5)
- MINING and processing very low grade chromite in Finland. **World Mining**, v. 27, p. 54-6, 1974.
- McMICHAEL, B. Chromite: ladles refine demand. **Industrial Minerals**, n. 257, p. 25-45, Feb. 1989.
- MURASHKO ; ESCOBAR, E.; GONZÁLEZ, R. **Informe sobre la exploración complementaria del yacimiento de cromitas Camagüey-II**. La Habana, Archivo de Oficina Nacional de Recursos Minerales, 1985. (Relatório)
- NETTLETON, L. L.; HAMMER, S. **Gravitic survey for chromite Camagüey District, Cuba**. La Habana, Archivo de Oficina Nacional de Recursos Minerales, 1943. (Relatório)
- O'DRISCOLL, M. ed. Chromite in crisis. **Industrial Minerals**, n. 377, p. 25-33, Feb. 1999.
- O'DRISCOLL, M. ed. Chromite supply: a question of ownership. **Industrial Minerals**, n. 366, p. 51-67, Mar. 1998.
- PIGNOLET-BRANDOM, S.; REID, K. L. Mineralogical characterization by QEM*SEM. In: SYMPOSIUM ON PROCESS MINERALOGY, 8., Phoenix, 1988. **Process mineralogy VIII: applications of mineralogy to mineral beneficiation technology, metallurgy, and mineral exploration and evaluation, with emphasis on precious metal ores: proceedings**. Warrendale, TMS, 1988. p. 337-46.

- QUEIROZ, E.T. Geologia do cromo. In: SHOBENHAUS, C., COELHO, C. E. S., coords. **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília, DNPM, 1986. v. 2, p. 189-206.
- ROBERTS, W.S. **Bulk mineralogy and geochemistry of selected Alaskan chromian spinel samples**. Washington, U.S. Bureau of Mines, 1985. (U.S. Bureau of Mines. Information Circular, 9023)
- SANT'AGOSTINO, L. M.; KAHN, H. **Metodologia para caracterização tecnológica de matérias primas minerais**. São Paulo, EPUSP, 1997. 29p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/069)
- STOWE, C. W. **Evolution of chromium ore fields**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1987a. p. 297-331: Extended tabulation chromite ore fields.
- STOWE, C. W. **Evolution of chromium ore fields**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1987b. p. 1-70: The mineral chromite.
- THAYER, T. P. Chromium resources of Cuba. **U. S. Geological Survey Bulletin**, n. 935A, p. 1-74, 1942.
- THAYER, T. P. Mineralogy and geology of chromium. In: UDY, M.J., ed. **Chromium**. New York, Reinhold, 1956. v.1, p. 195. (American Chemical Society Monograph Series, 132).
- WASILEWSKI, P. et al. Magnetochemical characterization of $Fe(Fe_xCr_{2-x})O_4$ spinels. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 39, p. 889-902, 1974.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

- AHMED, Z. Porphyritic-nodular, nodular, and orbicular chrome ores from the Sakhakot-Qila Complex, Pakistan, and their chemical variations. **Mineralogy Magazine**, v. 45, p. 167-8, 1982.
- ANGELI, N.; CARVALHO, S. G. Composição química de cromitas em corpos metamáfico/ultramáficos da borda leste do Espinhaço Meridional, Minas Gerais. **Geonomos**, v. 4, n. 1, p. 11-20, 1994.
- BARKER, J. C. Distribution of platinum-group elements in ultramafic complex near Rainbow mountain, east-central Alaska range ultramafic complex, southern Alaska. In: SYMPOSIUM ON PROCESS MINERALOGY, 7., Denver, 1987. **Process mineralogy VII: applications to mineral beneficiation technology and mineral exploration, with special emphasis on disseminated carbonaceous gold ores: proceedings**. Warrendale, TMS, 1987. p. 197-220.
- BASU, A. R.; MACGREGOR, D. Chromite spinels from ultramafic xenoliths. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 39, p. 937-45, 1975.
- BONIFAZI, G. Characterization of Kalimashi chromite ore (Albania) by scanning electro-microscopy. **Scannig Microscopy**, v. 4, p. 237-43, June 1990.
- BONIFAZI, G. Study of process parameters and product characteristics of a chromium ore treatment plant. In: CONGRESS OF THE COUNCIL OF MINING AND METALLURGICAL INSTITUTIONS, 14., Edinburgo, 1990. **/Proceedings/ S.L., s.ed., 1990. p. 83-92.**
- BONIFAZI, G. Textural and structural characteristics of a chromium ore and their influence on beneficiation. **Minerals Engineering**, v. 3, p. 137-47, 1990.
- CARVALHO, A.R.; QUEIROZ, E. T.; LEAHY, G. A. S. Jazidas de cromita de Pedras Pretas, município de Santa Luz, Bahia. In: SHOBENHAUS, C., COELHO, C. E. S., coords. **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília, DNPM, 1986. v. 2, p. 235-48.
- CESAR, J.R.A. Cromo. [On line] **Sumário Mineral 1999**. [Disponível através do

<http://www.dnpm.gov.br/sm99-2.doc>]. Arquivo capturado em novembro de 1999.

- CRAWFORD, D. The fine structure of amphiboles, carbonaceous and chromites as revealed transmission electron microscopy. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED MINERALOGY, 1, 1981. **ICAM'81: proceedings**. Johannesburg, Geological Society of South Africa, 1983. p. 175-8. (Geology Society of South Africa. Special publication, 7)
- DAVIS, W. R.; JACKSON, W. R.; RICHTER, DAVIS, W.R. Exploration for chromite in the Camagüey District, Camagüey Province, Cuba. **Geophysics**, v. 22, p. 848-69, 1957.
- DICKEY JR, J. S. A hypothesis of origin for podiform chromite deposits. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 39, p. 1061-74, 1975.
- DICKSON, T. Chromite southern Africa holds sway. **Industrial Minerals**, n. 150, p. 53-73, Mar. 1980.
- DOWNING, J. H. Smelting chromium ore. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 39, p. 583-86, 1975.
- DUARTE, P.M.; FONTES, C.F. Minas de cromita das fazendas Limoeiro e Pedrinhas, município de Campo Formoso, Bahia. In: SHOBENHAUS, C., COELHO, C. E. S., coords. **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília, DNPM, 1986. v.2, p. 207-14.
- ESCOBAR, E. **Informe general sobre la toma de muestras tecnológicas de cromo del yacimiento Camagüey II**. S.L., Archivo Fondo Geológico Nacional, 1986. (Relatório)
- ESCOBAR, E. **Proyecto para la reperforación de los pozos norteamericanos para el completamiento de la exploración detallada del yacimiento cromífero Camagüey-II**. La Habana, Archivo de Oficina Nacional de Recursos Minerales, 1986. (Relatório)
- ESCOBAR, E. **Proyecto para la toma de muestras tecnológicas del yacimiento cromífero Camagüey II**. La Habana, Archivo de Oficina Nacional de Recursos

- Minerales, 1986. (Relatório)
- FILIPPOV, M. **Estudo sobre cromitas**. São Paulo, EPUSP, 1998. /Apresentado ao Seminário de Pós-Graduação, na Disciplina Geologia de Mineração. Datilografado/
- FOLEY, J. Y.; MARDOCK, C. L.; DAHLIN F. Platinum-group elements in the Tosina Ultramafic Complex, Southern Alaska. In: SYMPOSIUM ON PROCESS MINERALOGY, 7., Denver, 1987. **Process mineralogy VII: applications to mineral beneficiation technology and mineral exploration, with special emphasis on disseminated carbonaceous gold ores: proceedings**. Warrendale, TMS, 1987. p. 165-95.
- FUCHS, L.H. Examination of two chromite specimens from Kondapalle, India. **Economic Geology**, v. 60, p. 633-9, 1965.
- FUENTES, L. E. **Fichas técnicas de yacimientos de cromita cercanos a la superficie y com poca complicación - Marzo 1996**. S.L., Empresa Geominera Camagüey/ Ministerios de la Indústria Básica, 1996. p. 1-24. (Relatório)
- GOVINDARAJU, K. Compilation of working values and sample description for 383 geostandards. **Geostandards Newsletter**, v. 18, p. 1-158, July 1994. Special issue.
- GRAHAM, B.J.; FRANKLIN, B.J.; MARCHALL, B. Chemistry and mineralogy of podiform chromite deposits, southern NSW. Australia: a guide to their origin and evolution. **Mineralogy and Petrology**, v. 57, p. 129-50, 1996.
- KAHN, H. **Caracterização e desenvolvimento de processo de beneficiamento do minério primário de Pitinga, AM: criolita, estanho, zircônio, nióbio, ítrio e terras raras**. São Paulo, 1991. 225p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- KAHN, H. **Caracterização mineralógica e tecnológica da jazida de fosfato do maciço alcalino de Anitápolis, SC**. São Paulo, 1988. 219p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- KAHN, H. Caracterização tecnológica. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP, São Paulo, 1997. **A pesquisa na Escola Politécnica da**

- USP. São Paulo, EPUSP, 1997. p. 339-41.
- LORENZI, M. B. **Caracterização do depósito de terras raras no complexo alcalino - carbonítico de Barra do Itapirapuã (SP/PR) - área de detalhe I.** São Paulo, 1999. 121p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MEDVEKOV, V. I. et al. **Informe sobre los trabajos de exploración geológica realizados en el yacimiento Cromita - Camagüey II (1962 - 1963).** S.L., Fondo Geológico Nacional, 1964. (Relatório)
- MELLO, C.H.M. P. et al. Depósitos de cromitas das fazendas Medrado e Ipueira, Município de Senhor do Bonfim, Bahia. In: SHOBENHAUS, C., COELHO, C. E. S., coords. **Principais depósitos minerais do Brasil.** Brasília, DNPM, 1986. V. 2, p.215-34.
- MENEZES, I. Cromitas brasileiras: caracterização e avaliação como matéria prima para refratários. **Cerâmica**, v. 19, n. 74, p. 133-51, Abr./Jun. 1973.
- O'SHAUGANESSY, D. P. Chrome ore preparation. **Mining Magazine**, v. 147, n.10, p. 291-2, Oct. 1982.
- PANAGOS, A.; OTTEMANN. Chemical differentiation of chromite in the nodular-chromite from Rodiani, Greece. **Mineralium Deposita**, v. 1, p. 72-5, 1966.
- PETERS, T. Chromite deposits in the ophiolite complex of northern Oman. **Mineralium Deposita**, v. 9, p. 253-9, 1974.
- PEYER, W. The metallurgical implication of the mode of occurrence of platinum-group metal in the Merensky Ref and UG-2 chromitite of the Bushveld Complex. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED MINERALOGY, 1, 1981. **ICAM'81: proceedings.** Johannesburg, Geological Society of South Africa, 1983. p. 295-300. (Geology Society of South Africa. Special publication, 7)
- POWER, T. Chromite the non-metallurgical markets. **Industrial Minerals**, n. 211, p. 17-51, Apr. 1985.

- RIVERA, D. H. **Informe prospección preliminar y detallada de antiguas minas y yacimientos de cromo.** La Habana, Archivo de Oficina Nacional de Recursos Minerales, 1991. (Relatório)
- SANT'AGOSTINO, L. M. **Caracterização tecnológica de um depósito mineral - um estudo de caso: o nióbio de Catalão I, Goiás.** São Paulo, 1996. 199p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SAUNDERS, E.; WASSALL, H. S. **Informe sobre las minas Angelina y Lolita Camagüey.** S.L., Fondo Geológico Nacional, 1960. 86p. (Relatório)
- SERRY, M.A.; MANDOUR, M.A.; SHIEMY, I.I. Techno-mineralogical studies on egyptian chromite ores and their refractory products. **Industrial Ceramics**, v. 18, n. 1, p. 16-24, 1998.
- THAYER, T.P. Preliminary chemical correlation of chromite with the containing rocks. **U.S. Geological Survey**, p. 202-17, Feb. 1946.
- TRAJANO, R. B. Estudo do beneficiamento da cromita de Santo Antônio, Estado da Bahia. **Boletim. Laboratório da Produção Mineral**, n. 7, p.11-26, 1943.
- ZHOU, M. F.; ROBINSON, P. T. High-Cr and high-Al podiform chromitites, western China: relationship to partial melting and melt/rock reaction in the Upper Mantle. **International Geology Review**, v. 36, p. 678-86, 1994.