

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

UTILIZAÇÃO DE LAMA VERMELHA PARA OBTENÇÃO
DE PÓS CERÂMICOS ABRASIVOS

YURI ANDRÉ DE CAMPOS TRAVERSI

ORIENTADOR: PROF. DR. DANIEL ATENCIO – (GMG | IGUSP)

CO-ORIENTADORES: DRS. JOSÉ ROBERTO MARTINELLI

E SILVIO BENEDICTO ALVARINHO – (IPEN)

MONOGRAFIA

(TRABALHO DE FORMATURA – 2002/38)

SÃO PAULO

2002



DEDALUS - Acervo - IGC



30900011665

TF
T781
YAC.u

DOAÇÃO	IGC - USP
Data:	20 / 03 / 03

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que sabem que de alguma forma me auxiliaram em meus trabalhos, estas justas pessoas meu mais sincero obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	5
I. INTRODUÇÃO.....	6
1. OBJETIVOS.....	10
2. METAS.....	10
II. REVISÃO DA LITERATURA.....	10
III. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
IV. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	27
V. RESULTADOS OBTIDOS.....	28
VI. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO.....	33
VII. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	38
VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
ANEXO	

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.....	11
FIGURA 2.....	14
FIGURA 3.....	15
FIGURA 4.....	19
FIGURA 5.....	20
FIGURA 6.....	21
FIGURA 7.....	21
FIGURA 8.....	22
FIGURA 9.....	23

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1.....	6
TABELA 2.....	8
TABELA 3.....	9
TABELA 4.....	10
TABELA 5.....	27
TABELA 6.....	28
TABELA 7.....	29
TABELA 8.....	29-30
TABELA 9.....	30-31
TABELA 10.....	32
TABELA 11.....	32

RESUMO

A produção de alumínio a partir da bauxita gera um grande volume de rejeito, denominado lama vermelha, de natureza alcalina, que causa sérios problemas ambientais. Este projeto visa obter um produto cerâmico abrasivo a partir de mistura deste rejeito com palha de arroz, também um resíduo, de forma a minimizar os problemas mencionados e baratear o custo do material abrasivo.

Após a caracterização dos materiais de partida por difratometria de raios X e análises químicas procedeu-se a confecção de corpos de prova (pastilhas), de diferentes proporções de lama e palha. Estes corpos foram submetidos a temperaturas de 1000° C e 1100° C.

Os produtos foram caracterizados quanto a densidade (por picnometria) e dureza (teste de Vickers).

Entre as amostras ensaiadas obteve-se resultado positivo apenas na amostra de composição 70% lama e 30% cinza, quando submetida a 1100° C.

ABSTRACT

The production of aluminium starting from bauxite generates a great volume of reject, denominated red mud, of alkaline nature, that causes serious environmental problems. This project seeks to obtain an abrasive ceramic product starting from mixture of this reject with rice straw, also a residue, in way to minimize the mentioned problems and to reduce the cost of the abrasive material.

After the characterization of the initial materials by X-ray diffractometry and chemical analyses, tablets of different proportions of mud and straw were made. These bodies were submitted to temperatures of 1000° C and 1100° C.

The density (by picnometry) and hardness (test of Vickers) of the products were characterized.

Among the final products, it was obtained positive result just in the sample of composition 70% mud and 30% ash, when submitted to 1100° C.

I. INTRODUÇÃO

A conscientização sobre o meio ambiente fez com que as empresas mudassem de atitude com relação ao lançamento de seus dejetos industriais na natureza. Com uma maior rigidez por parte da legislação, os empresários vêm mudando de comportamento, pois sabem que estão sendo punidos quanto aos crimes ambientais que cometem. As multas além de serem altas visam não apenas uma extorsão financeira, mas a chance de se canalizarem esforços por parte do meio industrial em agir com responsabilidade na preservação do meio ambiente. Mesmo assim vêm ocorrendo diversos problemas ambientais com rejeitos minerais e vegetais que são lançados no meio natural, entre os quais podem-se citar a cinza da palha de arroz e a lama vermelha. Não são apenas temas referentes a este trabalho, mas são exemplos de resíduos que em sua formação contêm elementos nocivos, nos quais contaminam a qualidade da água de superfície e subterrânea, além da atmosfera. As suas principais características serão em seguida definidas.

1 – CINZA DA PALHA DE ARROZ

A produção arrozeira vêm se tornando cada vez mais um excedente no mercado consumidor, e isso vêm acarretando num elevado volume de subprodutos que causam principalmente poluição aérea, entre outros. TABELA 1– (DADOS DO RS E OS DEMAIS)

Ano	ÁREA CULTIVADA (ha)			PRODUÇÃO (t)			RENDIMENTO (kg/ha)		
	RS	Outros	Total	RS	Outros	Total	RS	Outros	Total
90	664730	3628494	4293224	3076955	6919845	9998800	4629	1907	2329
91	791250	3438171	4229421	3916687	6186113	10102800	4950	1799	2389
92	856658	3989650	4846308	4757022	5145778	9902800	5553	1290	2043
93	940049	3733393	4673442	4869061	5653739	10522800	5180	1514	2252
94	944571	3525730	4470301	4153618	7083682	11237300	4397	2009	2514
95	929869	3497308	4427177	4874136	5163264	10037400	5242	1476	2267
96	803413	3159533	3962946	4122103	5401897	9524000	5131	1710	2403
97	770543	2719257	3498800	4076346	4386554	8462900	5229	1613	2419
98	859589	2389411	3249000	3519752	8062448	11582200	4095	3374	3565
99	966795	2749005	3715800	5649398	5884402	11533800	5843	2241	3104
0	952539	2725061	3677600	5121240	5728760	10850000	5376	2102	2950
1	937490	2440410	3377900	5119613	5667687	10787300	5461	2322	3193

A alta produção de arroz provoca um enorme excedente de produto no mercado consumidor, além de propiciar uma grande quantidade de volume de subprodutos (cinza da palha de arroz). Mas com a criatividade de alguns empreendedores e a insistência dos pesquisadores em buscar soluções para aproveitamento destes subprodutos, o panorama começou a mudar. No início estes subprodutos representavam apenas encargos para a indústria orizícola, mas agora vários deles vêm sendo agregados à economia agrícola do arroz. Hoje, todos os subprodutos do arroz estão sendo aproveitados e as novas tecnologias emergentes não param de surgir. Um exemplo disso é o projeto tocado pela Secretaria de Indústria e Comércio de Cachoeira do Sul, na região central do Rio Grande do Sul. Além das fábricas de rações que funcionam junto aos engenhos, um pólo de empresas que fazem uso alternativo do produto está sendo instalado na cidade para utilizar a casca de arroz, o pó e até as cinzas de cascas. Assim, com esta criatividade, a lavoura arrozeira começa a desencadear atividades que fomentam o desenvolvimento regional com aproveitamento de seus subprodutos para funções que vão desde a geração de energia até a criação do porco arrozeiro, que não se alimenta com milho, passando pela produção de chapas de aglomerados para móveis, premix para rações e até produtos para a indústria siderúrgica e construção civil.

2 – LAMA VERMELHA

Os índices elevados de consumo de alumínio no mundo estão propiciando cada vez mais o esgotamento dos depósitos do minério, e em contrapartida vêm ocasionando um contínuo acúmulo de resíduos de mineração no meio ambiente. Os problemas ecológicos gerados no despejo inadequado deste rejeito provoca poluição dos poços de água potável (água subterrânea), além de afetar negativamente a fertilidade do solo em contato. Dados levantados:

TABELA 2 – (DADOS DA BAUXITA NO TRÊS ÚLTIMOS ANOS)

Composição	Bauxita		
	1999 r	2000 r	2001
Produção	14.371,5	14.290,3	13.178,4
Alcan Alumínio do Brasil S.A. .Ouro Preto - MG	477,3	389,8	400,4
Alcoa Alumínio S.A. .Poços de Caldas - MG	746,7	707,0	562,5
CBA - Cia. Brasileira de Alumínio	1.740,0	1.538,5	1.217,0
MRN - Mineração Rio do Norte S.A.	10.952,0	11.211,0	10.708,0
Outros	455,5	444,0	290,5
Importações (1)	5,9	8,4	8,5
Suprimento	14.377,4	14.298,7	13.186,9
Exportações (1)	4.511,9	4.166,2	3.426,7
Consumo doméstico	8.432,5	8.440,5	8.124,4
.Usos metálicos	8.036,9	7.994,1	7.819,5
.Outros usos	395,6	446,4	304,9

*

*BAUXITA (1000 T)

*R - REVISADO

Obs: Um dos temas abordados (Seminário Internacional de Tecnologia da Indústria do Alumínio) foi o gerenciamento de resíduos sólidos na Albrás apresentado por José Juarez Borges Filho. Segundo ele, desde que começou a operar, em 1985 até 2000, a Albrás reduziu seu Índice Global de Geração de Resíduos de 60,3% a 58,3%. Apesar de parecer pouca, a redução torna-se significativa diante do aumento da produção no período, que saiu de 150 mil toneladas (1985) para 400 mil em 2000. Outra forma de avaliar o impacto da redução de resíduos na empresa, que é a maior produtora de alumínio primário do Brasil é pela análise da destinação do resíduo: em 1985, 71,4% do total de resíduos da empresa era depositado em aterros industriais, atualmente, o percentual é de 9,1%. Por outro lado, o índice de reutilização dos resíduos saltou de 4,6 em 1985 para 69,5% em 2002.

TABELA 3

USOS MAIS IMPORTANTES DA LAMA VERMELHA

RAMO DE UTILIZAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO	DESENVOLVIDO POR
Sem uso	Despejo no mar	British Aluminium Co. Ltd.
Metalurgia do ferro	Sinterização para uso no Processo Renn	Martinswerk Gmbh
	Fundição para obtenção de ferro de baixa dureza	Gebr. Giuliani
	Recuperação de ferro com produção simultânea de escória de aluminato de cálcio	Research Institute VAMI – Lenigrad
Materiais de Construção	Matéria prima de tijolos de alta resistência ao impacto, aditivo para a fabricação de cimento, aditivo para concreto	Gebr. Giuliani – VAW, Lippewrk
Recuperação de metais com produção de cimento	Recuperação de ferro com produção concomitante de nefelina, sinterização da escória, possibilitando a recuperação de NaOH e Al_2O_3 , utilização do resíduo sólido na fabricação de cimento	Hungarian Aluminium Company

1.OBJETIVOS

Este trabalho objetivou o desenvolvimento de um novo material de natureza abrasiva, através da mistura de lama vermelha e cinza da palha de arroz, na tentativa de obter compostos de dureza análoga à dos minerais pertencentes ao grupo da granada.

2.METAS

O referente trabalho consistiu em: minimizar a elevada quantidade tóxica de lama vermelha emanada pelas indústrias de alumínio, e ao mesmo tempo que reduzir de forma considerável a presença pulverulenta de cinza da palha de arroz processada nas indústrias arroeiras. Além deste compromisso ambiental devemos citar que procuramos desenvolver materiais abrasivos a partir da mistura de lama, e com isso tentar baratear os custos com materiais desta natureza.

II.REVISÃO DA LITERATURA

1 – CINZA DA PALHA DE ARROZ

A PRODUÇÃO DE ARROZ NO MERCOSUL – TABELA 4

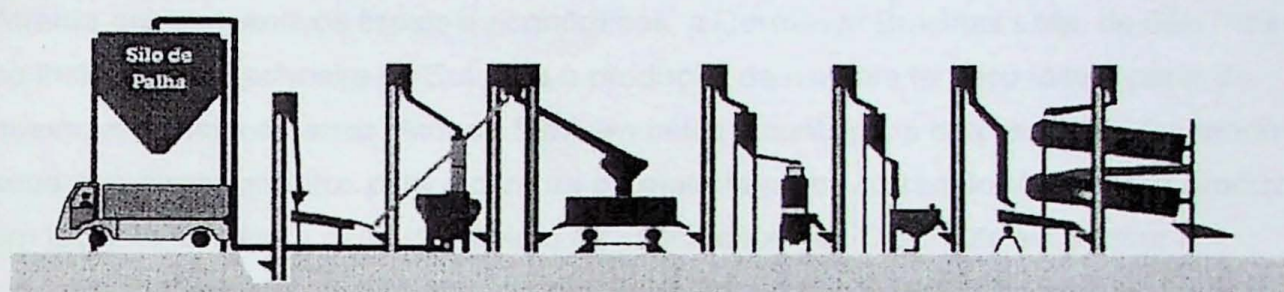
Safra	RS	SC	Uruguai		Argentina
85/86	3.018,1	390,7	394	27% foi o índice de redução da área plantada com arroz no Centro-oeste brasileiro da safra 1999/2000 para a safra 2000/2001. A área reduziu de 896 mil hectares para 653 mil hectares	
86/87	3.526,4	434,7	335		
87/88	3.972,5	470,5	381		
88/89	4.087,2	543,5	537		
89/90	3.659,6	519,4	347		
90/91	4.080,0	560,0	522		348
91/92	4.523,0	613,6	600		733
92/93	4.923,4	535,6	650		608
93/94	4.194,2	613,6	625		608
94/95	5.002,6	656,3	804		926
95/96	4.158,9	693,0	968		974
96/97	4.069,5	736,7	1.026		1.208
97/98	3.752,4	611,3	935		1.185
98/99	5.608,8	738,3	1.197		1.500
99/2000	4.853,4	773,9	1.158		750

*Valores (1000 t)

Obs. O Rio Grande do Sul terá 0,5 milhão de sacas a menos este ano de 2002 se comparada a safra de 2000. A safra esperada era de 10900000 t (no Brasil), já que o Rio Grande do Sul proverá com apenas 5100000 t. A esta queda iminente deve-se à vários fatores que envolvem redução de custos, redução de riscos ambientais e falta de fomento a pesquisa tecnológica na busca de um produto mais atrativo qualitativamente.

Processo de Beneficiamento e Separação de Arroz

CLASSIFICADOR



ETAPAS DO BENEFICIAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DO ARROZ:

FIGURA 1

- 1 – Peneira pré-limpeza – Têm como função separar as impurezas mais grossas que vêm junto com o arroz em casca quando este é colhido (pedaço da planta – talo, palha do arroz, torrão de terra, pedras, fiação e pedaços do saco de juta, estopa, etc...);
- 2 – Descascador de arroz – Descasca o arroz através de dois roletes de borracha que funcionam em direção opostas, mas com velocidade diferentes jogando o arroz e a casca para a câmara de palha;
- 3 – Câmara de palha – Esta separa através de sistema pneumático, o arroz, o arroz granado e verde, a casca e seus derivados direcionando o arroz para a próxima etapa de beneficiamento que é a mesa separadora (paddy);
- 4 – Mesa separadora (paddy) – Esta têm como função separar o arroz descascado do arroz não descascado que têm seu peso específico similar, este processo é feito através de mesa inclinadora zig-zag ou mesa aveolada;
- 5 – Brunidor de arroz – De certa forma lixa o arroz em estado integral através de pedras abrasivas retirando deste o farelo e transformando-o em arroz branco;

6 – Homogenizador – Complementa a brunição do arroz retirando deste o farelo que permanece impregnado o grão através de pulverização de água e ar;

7 – Peneira classificadora e trieurs – Classifica os grãos do arroz separando os inteiros dos 1/2 e 3/4 grãos, que ainda têm valor comercial, se comparado com os demais subprodutos, nos quais serão utilizados nas cervejarias e nas fábricas de ração animal.

BRACINZA

Atraída pelos incentivos fiscais e econômicos, a Cerealista Bracinza Ltda, de São Paulo, se instalou em Cachoeira do Sul para a produção de isolante térmico feito a partir da queima da casca do arroz. Atraída também pelos incentivos, a empresa está fechando seus primeiros contratos para a compra da matéria-prima na região. A Bracinza produz um isolante térmico a partir da queima da casca do arroz. O produto se destina à indústria siderúrgica que trabalha na transformação do aço e ferro em escala industrial. Em Cachoeira do Sul serão produzidas 1500 t do produto por mês.

CORISCAL

Os subprodutos do arroz não são mais um incômodo para a Cooperativa Agrícola Cachoeirense Ltda, uma das principais cooperativas de arrozeiros do sul do país. Soluções alternativas e um mercado aquecido de subprodutos estão gerando economia e renda alternativa à empresa. A economia se dá com a geração própria de energia elétrica alternativa através do uso de um locomóvel movido pela queima da casca do arroz. A Coriscal produz 13,2 mil t de casca e 2,2 mil t de cinza anualmente. O locomóvel têm capacidade para 250kVAR e há um projeto no Reccop para instalar mais um de 500kVAR, o que fará com que o engenho seja tocado em 90% por energia à base de casca de arroz. Fora dos horários de pico da indústria, a geração alternativa poderá tocar toda a estrutura da cooperativa. A economia com energia chegará a 70% ao mês. Nos meses de pico de beneficiamento a estrutura têm condições de tocar metade do engenho reduzindo em mais R\$ 5mil por mês o gasto com energia elétrica. Há economia também com lenha, que seria utilizada nos secadores de arroz pelo uso do subproduto. A cinza resultante da queima no locomóvel passa por tanques de decantação e filtros até que, limpa retorna ao Jacuí. Os resíduos da cinza são vendidos a horticultores do município. Parte da casca e da cinza é vendida para a Dilumix, uma empresa da cidade, e a Siderúrgica Nacional, em Minas Gerais. Na siderurgia a cinza é utilizada como revestimento nas canaletas, por onde os lingotes de aço saem dos

fornos ainda incandescentes. O aço desliza sobre cinza da casca de arroz até estar no ponto para ser retirado e moldado.

ARROZ CONCRETO

Da lavoura para a construção civil, a casca começa a projetar-se como matéria-prima. Um dos principais rejeitos industriais do arroz, a casca está se tornando numa alternativa de matéria-prima para a produção de cimento de alta qualidade e resistência. A presença de uma concentração de sílica na casca do arroz não chega a ser uma novidade para os cientistas. A sua extração e transformação sim são uma tecnologia completamente nova que pode revolucionar não só a construção civil, mas também o aproveitamento do subproduto da indústria arroseira e a geração de energia.

O professor de física Milton Ferreira de Souza, que atua na USP e no Instituto de Física de São Carlos, e seu colega Jefferson Libório, da Fapesp, também de São Carlos desenvolveram uma tecnologia que abre caminho promissor para o aproveitamento da casca e palha do arroz em um concreto de alta qualidade e resistência. A planta do arroz retira do solo e deposita nas folhas e na casca do grão uma apreciável quantidade de sílica. Na casca seca a quantidade chega até 20% do seu peso variando de acordo com as características da planta, solo e clima.

Considerando-se uma produção de cinco milhões de toneladas anuais no RS, o arroz extrai do solo anualmente cerca de 200 mil toneladas de sílica, uma vez que a casca também corresponde a 20% do peso do arroz. A matéria orgânica, que corresponde a quase 80% da casca pode ser empregada como uma excelente fonte renovável na geração de energia elétrica. Segundo Souza, as termelétricas poderiam gerar pelo menos dois produtos: energia elétrica e sílica. A pesquisa que é desenvolvida na Fapesp desenvolve um processo capaz de dar valor econômico à sílica, melhorando a sua qualidade.

2 – LAMA VERMELHA

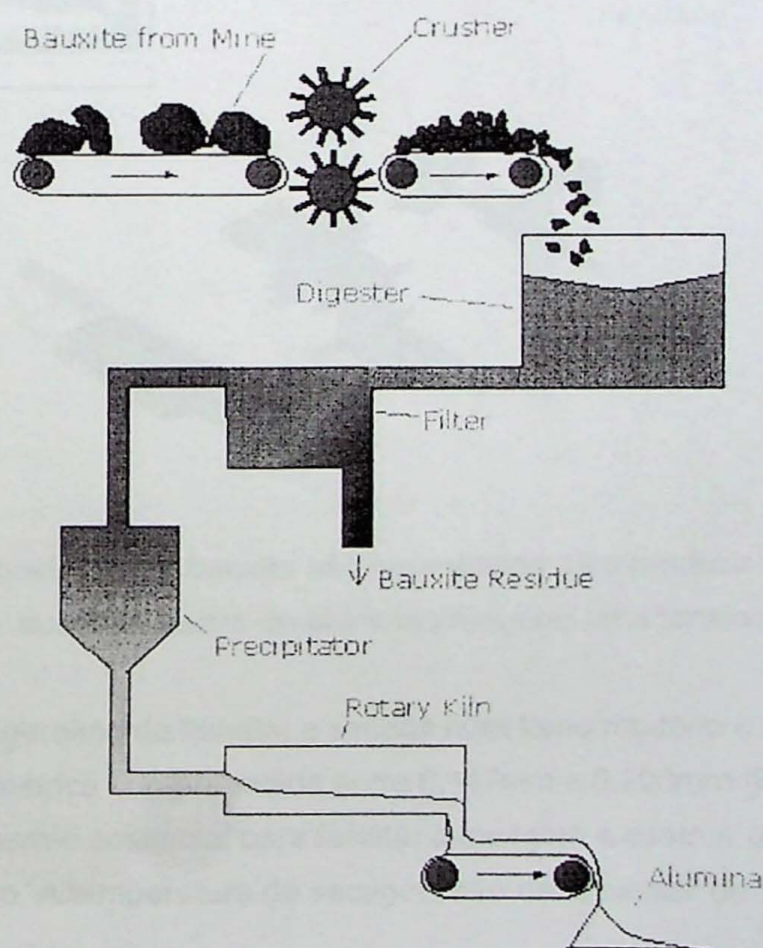
PROCESSO BAYER

A bauxita é o principal insumo do processo Bayer usado universalmente para a produção de alumínio primário há mais de cem anos. O conhecimento da mineralogia da bauxita é importante, já que ela juntamente com os parâmetros da digestão são as variáveis mais importantes na composição, tanto química como estrutural, da lama

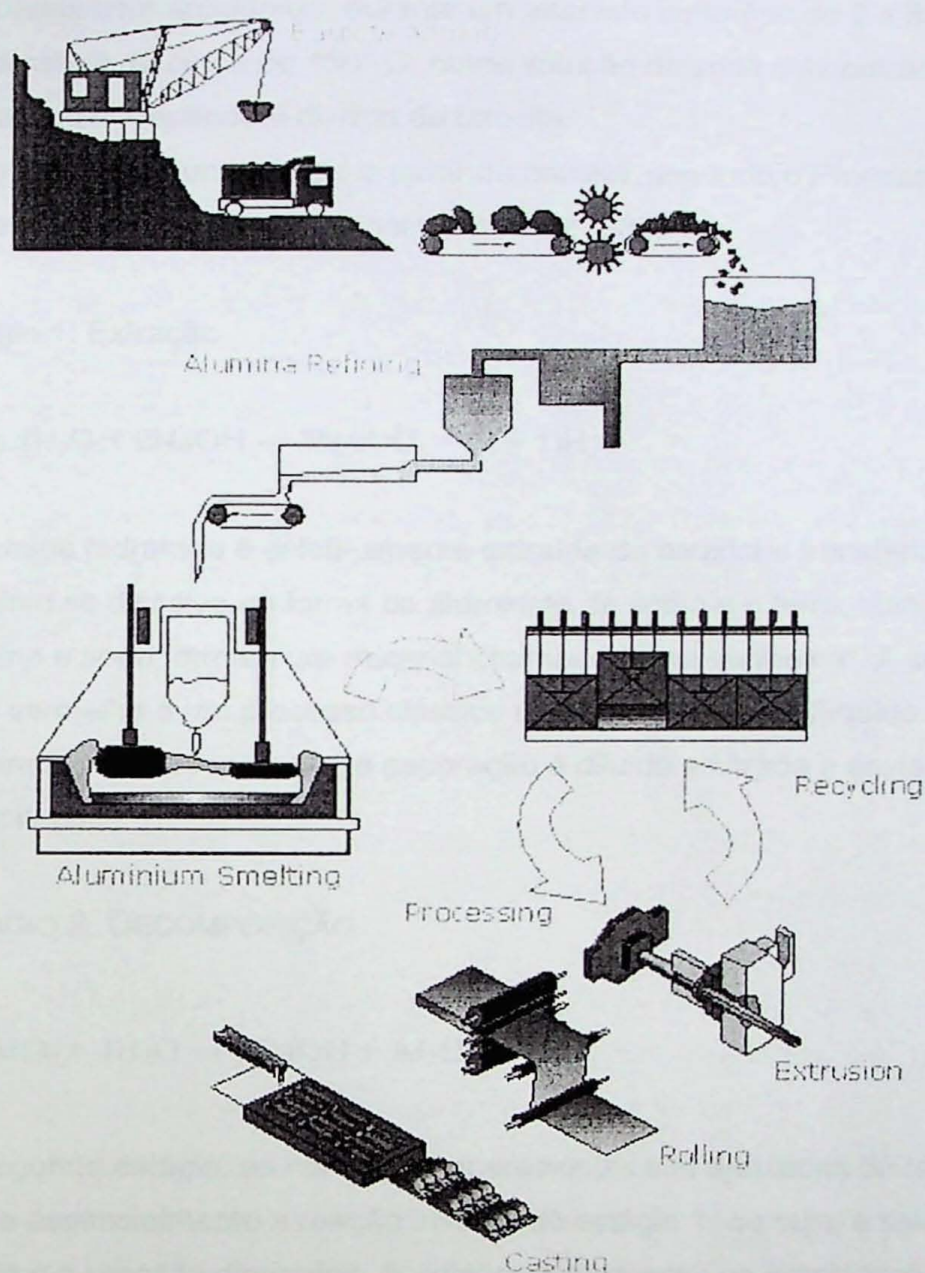
vermelha. Bauxitas são minérios que contêm formas hidratadas de óxido de alumínio. Elas ocorrem em diferentes formas estruturais dependendo do número de moléculas de água presentes em sua rede cristalina. A gibbsita é a forma trihidratada ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), já a boehmita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e o diásporo ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) são formas monohidratadas. A boehmita e o diásporo são normalmente usados na produção de refratários enquanto a gibbsita é usada na produção de alumina. Apesar da gibbsita ter um teor de alumínio menor que o da boehmita e do diásporo ela se dissolve mais facilmente, isto é, mais rapidamente e a uma temperatura mais baixa (Habashi, 1993).

Existe uma forte relação entre as propriedades da lama vermelha obtida como subproduto do processo Bayer, e os parâmetros tecnológicos utilizados no processo. A granulometria, a composição química e as fases mineralógicas presentes na lama vermelha têm um efeito decisivo sobre a tecnologia e a economia do processo, principalmente sobre as etapas de lavagem e filtração. A composição das fases e as características físico-químicas da lama vermelha podem ser modificadas, através da alteração dos parâmetros da digestão (Solymar & Bujdoso, 1973).

The Bayer Process (PRODUÇÃO DE ALUMINA) – FIGURA 2



(PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO) – FIGURA 3



Obs: Duas a três toneladas de bauxita são necessárias para produzir uma tonelada de alumina, enquanto, duas toneladas de alumina produzem uma tonelada de alumínio primário.

A bauxita moída é geralmente lavada, e secada num forno rotatório e depois moída até uma faixa granulométrica compreendida entre 0,147mm e 0,208mm (Habashi, 1993). O processo de secagem é essencial para facilitar a moagem e destruir o material orgânico presente no minério. A temperatura de secagem não deve passar de 150° C . Caso isto

aconteça, água da rede cristalina será evaporada e a solubilidade da bauxita na solução de soda cáustica cairá significativamente. A lixiviação é feita em autoclaves de aço equipadas com agitadores, durante um intervalo de tempo de 2 a 8 horas a uma temperatura de cerca de 150° C, numa solução de soda concentrada. As condições operacionais dependem do tipo da bauxita.

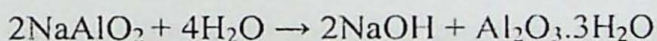
A produção de alumina pura a partir da bauxita, segundo o Processo Bayer ocorre em três estágios principais (Grijotheim & Welch, 1982):

Estágio 1: Extração



A alumina hidratada é seletivamente extraída da bauxita e transferida para a solução. O alumínio se dissolve na forma de aluminato de sódio e o ferro, titânio, sílica, alguma alumina e soda formam um material chamado "lama vermelha". A separação do licor da lama vermelha é um processo clássico de separação sólido/líquido. A solução de aluminato obtida depois desta separação é diluída e filtrada e enviada para a precipitação.

ESTÁGIO 2: DECOMPOSIÇÃO



No segundo estágio, as condições operacionais são ajustadas de tal maneira que ocorre essencialmente a reação inversa do estágio 1, ou seja, a solução é resfriada e diluída e a pressão diminuída. A adição de sementes na precipitação do hidróxido de alumínio acelera a reação de precipitação, pois elimina a etapa de nucleação da fase sólida. Este precipitado é filtrado e seco e calcinado a 1000° C gerando um material que contém 99,6% de Al_2O_3 . Newton (1959) ressalta que o Processo Bayer é o processo mais adequado no caso da bauxita de alto teor em alumínio e baixo teor em sílica, pois parte da sílica se solubiliza formando silicato de sódio, que é removido da solução como silico-aluminato de sódio, $[\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2]_3\text{Na}_2\text{X} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, onde X é algum ânion presente na solução, (Solymar & Bujdoso, 1973)] consumindo alumina e soda que não podem ser aproveitados.

Para cada mil gramas de sílica dissolvida, aproximadamente 850g de alumina e 670g de soda cáustica são consumidas

ETAPA 3: CALCINAÇÃO

Após a lavagem e a classificação os cristais da alumina trihidratada são alimentadas no forno rotatório. Eles são calcinados para se remover a água de cristalização e para deixar a alumina na forma estrutural adequada para a produção eletrolítica do alumínio. A calcinação ocorre em duas etapas, com a maior liberação da água de cristalização ocorrendo a uma temperatura compreendida entre 400° C e 600° C (Grjotheim & Welch, 1982) gerando alumina γ , uma forma quimicamente ativa de alumina. Com o avanço da calcinação a alumina γ se transforma em alumina α , quimicamente mais inerte. Dependendo da operação da célula eletrolítica as proporções das formas γ e α alumina podem variar.

Segundo Grjotheim (1982), o ferro ocorre na bauxita principalmente na forma de hematita (Fe_2O_3), mas também como siderita (FeCO_3) e goethita ($\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Os compostos de silício ocorrem sob as diferentes formas estruturais do quartzo como também sob a forma de óxidos duplos de alumínio hidratados como caulinita e halloysita: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. A caulinita é a forma de sílica reativa mais comum na bauxita.

Geralmente o titânio ocorre sob a forma de rutilo, TiO_2 . Os compostos de ferro e titânio são insolúveis em soluções cáusticas e portanto não apresentam nenhum problema na dissolução seletiva do óxido de alumínio. O silício, na forma de quartzo, também não significa nenhum problema sério, porque apresenta solubilidade limitada na solução de soda cáustica usada na lixiviação; já a caulinita e a halloysita se dissolvem prontamente na solução cáustica causando perdas de alumina e soda cáustica, durante a etapa de eliminação da sílica.

Sankey e Schwarz (1984) classificaram as bauxitas, com base no teor relativo de hematita (Fe_2O_3) e goethita (FeOOH) no minério, em bauxitas vermelhas e amarelas. As bauxitas vermelhas têm um teor relativamente alto de hematita e baixo de goethita, enquanto as bauxitas amarelas apresentam teores relativamente altos de goethita e baixo de hematita. Foi observada uma maior substituição de AlOOH pela goethita na bauxita amarela, quando comparada com a da bauxita vermelha. Outra diferença importante é que as bauxitas amarelas contêm uma concentração de fosfatos

secundários muito mais alta, os quais, se opõem ao processo de decantação da lama vermelha e conseqüentemente influem na sua morfologia.

O DESPEJO DA LAMA VERMELHA

A lama vermelha costuma ser removida da unidade de processamento sob a forma de uma pasta semi-fluida e é transportada para a área de descarte conhecida como bacia de decantação. O comportamento da lama vermelha durante seu bombeamento e espalhamento para a bacia é determinado pela sua reologia. A quantidade de água retida na lama vermelha determina seu custo de transporte (Vogt,1976). Esta quantidade depende das características físicas da lama vermelha, tais como o tamanho da partícula, a porosidade e a permeabilidade. Em razão das suas propriedades coloidais peculiares e por ser muito fina [60% das partículas têm o seu tamanho abaixo de 1 micrôn, (Guccione,1971) o processo de desaguamento da lama vermelha é complicado. A lama vermelha desaguada, independentemente da bauxita da qual ela se originou, se comporta como um fluido de Bingham (Ritcey,1989). Na maioria das situações a lama vermelha é simplesmente descartada em bacias que ocupam vastas áreas.

Na operações de despejo mais planejadas, a lama sofre um processo de desaguamento antes de ser descartada. Uma operação de desaguamento bem sucedida garante uma boa consolidação da massa como também o retorno da água para o processo. O pré-tratamento da lama consiste de um processo de sedimentação seguido pela compactação da lama. Este processo ocorre em leitos relativamente profundos nos quais a água é retirada por compressão da lama que se encontra no fundo do leito, pela pressão exercida pelo próprio peso da lama.

O tempo necessário para se poder espalhar a lama vermelha é determinado pelo período de tempo necessário para diminuir seu teor de umidade até um valor de 35% p/p (Ritcey,1989). Neste teor de umidade a lama se torna sólida o suficiente para ser espalhada. A lama transportada pode ser espalhada em camadas de diferentes espessuras. O tempo de secagem necessário depende de condições climatológicas e da espessura da camada.

OBSERVAÇÕES FINAIS:

- No decorrer do tempo, o teor de água na lama vermelha diminui à medida que a lama vai se consolidando;

- O teor de álcalis solúveis na fase líquida da lama vermelha é significativamente reduzido quando uma filtração antecede o transporte da lama vermelha. A viscosidade da lama vermelha deve ser reduzida caso se deseje transportá-la a distâncias maiores que 2km. A redução na viscosidade pode ser obtida através da adição de agentes, que tornam a lama vermelha mais líquida, como por exemplo a água. A eficiência da bomba e a capacidade de bombeamento da lama aumentam quando sua viscosidade diminui. Na desidratação e consolidação da lama vermelha no local de despejo deve-se considerar que a desidratação ocorre em três etapas:
 - Recuperação do excesso da água de transporte e/ou água da chuva
 - Consolidação da lama sobre seu próprio peso
 - Secagem ao ar durante um longo período de tempo
- Os locais de despejo devem ser selados para prevenir a penetração de efluentes alcalinos no solo.

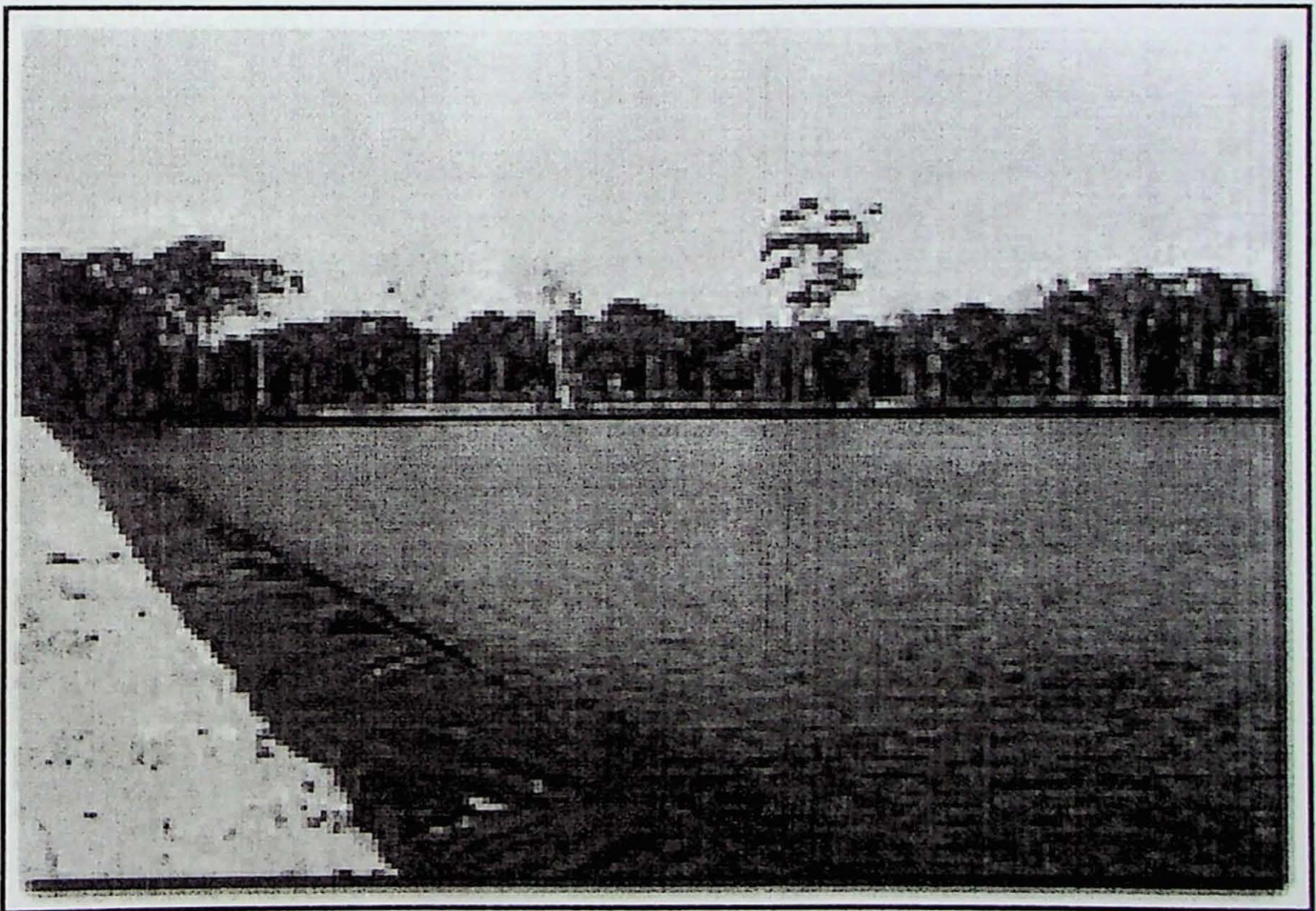




FIGURA 4 (TOPO) – TANQUE DE DECANTAÇÃO (RESÍDUOS) E FIGURA 5 (BASE) –
REPLANTIO DE ÁREA DO TANQUE (FASE FINAL DE RECUPERAÇÃO)

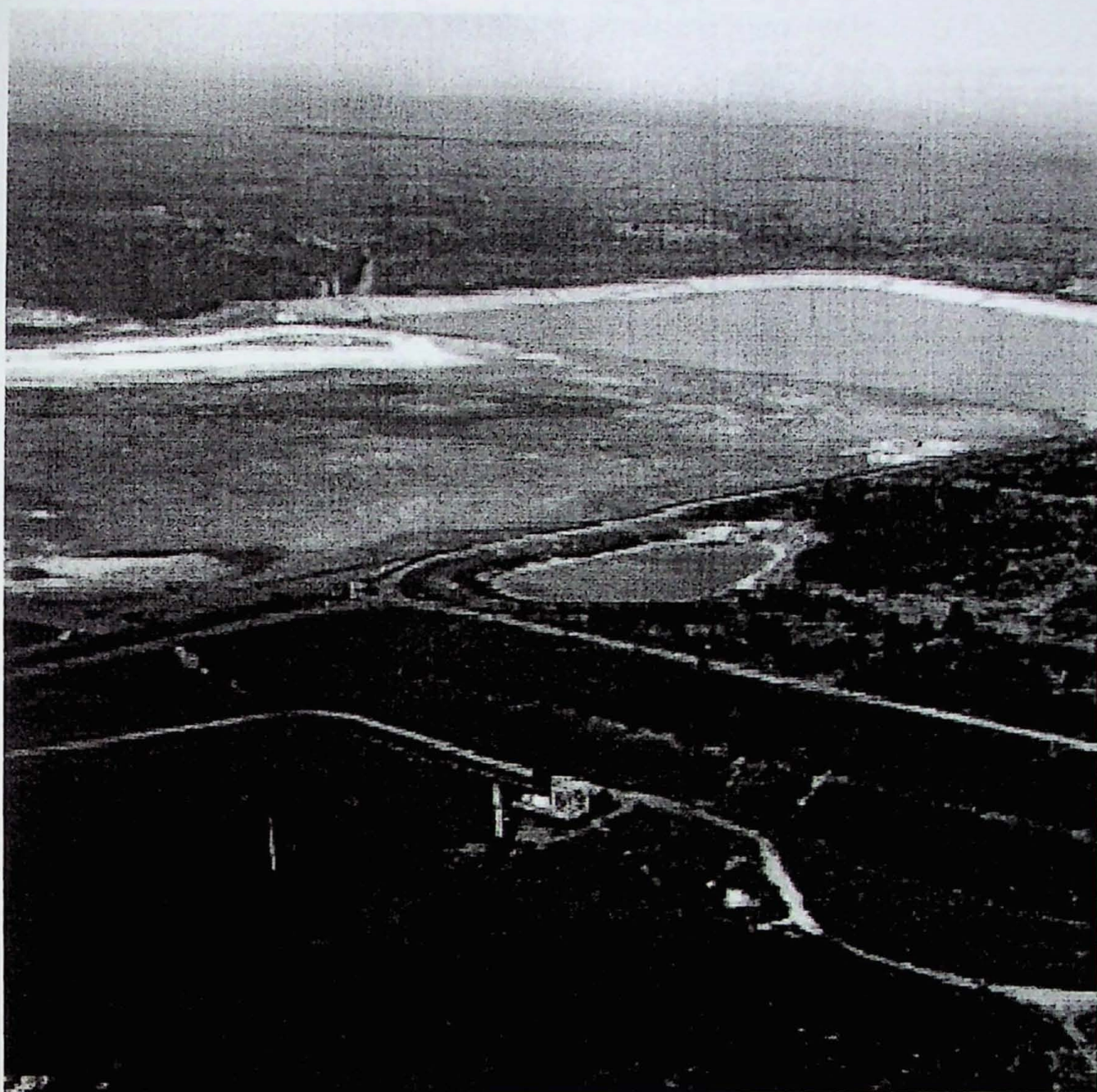


FIGURA 6 – VISTA GERAL DO TANQUE DE DECANTAÇÃO E ÁREAS AFINS

FIGURA 7 (SUPERIOR) – PERFIL EM 2D E FIGURA 8 (INFERIOR) – PANORAMA GERAL

LAGO DE RESIDUOS BAUXITE RESIDUE LAKES

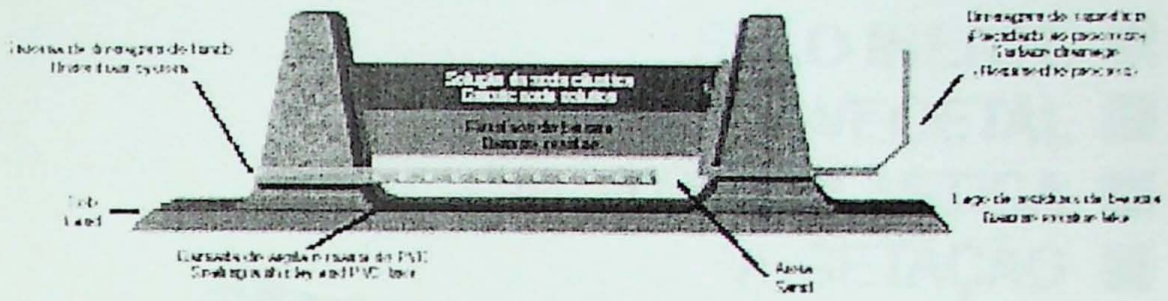


FIGURA 9 – BLOCO EM 3D (TANQUE DE DECANTAÇÃO)



APLICAÇÕES E USOS DA LAMA VERMELHA

COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

Wagh e Douse (1991) estudaram a possibilidade de usar a lama vermelha na fabricação de material de construção alegando que ela possui forças ligantes elevadas (forças verdes), em razão dos silicatos nela presentes. Os tijolos preparados apenas com lama vermelha possuíam uma resistência mecânica à compressão mínima de 1000 psi requerida para material de construção (Wagh & Douse, 1991). Para melhorar a resistência eles utilizaram uma mistura constituída de uma solução de silicato com a lama vermelha. O produto obtido era muito poroso, pois havia uma dispersão das partículas formadoras da rede cristalina. Eles optaram então pelo método de imersão dos tijolos gerados após moagem e compactação da lama vermelha seca, em soluções diluídas de silicatos alcalinos e obtiveram materiais com uma resistência a compressão de até 1000psi. O fato do custo de produção do material de construção a partir da lama

vermelha ser até 50% do custo de fabricação de material de construção convencional aliados à abundância e boa resistência à fratura dos tijolos da lama vermelha tratada viabiliza seu uso na produção de material de construção.

COMO CARGA EM BORRACHAS E RESINAS

A lama vermelha pode ser utilizada como carga em borrachas garantindo uma boa resistência à ruptura (Funke, 1960). A lama vermelha também pode ser utilizada em resinas termo-rígidas, as quais são usadas na fabricação de pisos, para garantir uma maior resistência à abrasão e um grau de dureza quatro ou cinco vezes maior que a dureza do poli (cloreto de vinila) tratado com outras cargas inorgânicas.

COMO PIGMENTO

Algumas possibilidades de utilização da lama vermelha como pigmento foram estudadas (Foerster, 1967; Ramanujam, 1962; Dashchenko, 1983) mas a consistência da cor não se mostrou muito boa. O pigmento vermelho foi produzido através da decomposição da lama vermelha com ácidos minerais seguida de uma neutralização com carbonatos (Guccione, 1971).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Os materiais utilizados neste trabalho foram cinza de palha de arroz fornecida por empresas de beneficiamento de arroz, e lama vermelha fornecida pela empresa ALCOA.

EQUIPAMENTOS

Utilizou-se basicamente os seguintes:

- **PRINCIPAIS**

- Difratômetro de Raios-X (Phillips);*

- Espectrômetro de Raios-X (Phillips);*

-Fotômetro;

-Microscópio Eletrônico de Varredura.

• AUXILIARES

-Balança Eletrônica Analítica (Quatro Dígitos);

-Estufa de Circulação de Ar;

-Forno Tipo Mufla (Resistência Elétrica)

-Prensa Hidráulica.

CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)

Antes de sua inicialização analítica, as amostras de cinza e lama foram previamente tratadas quanto a granulometria, e em seguida levadas ao interior da câmara para serem analisadas. As condições de operacionalidade foram: 2θ variando de 5° a 65° e temperatura de 25°C .

ESPECTROMETRIA DE RAIOS-X (FRX)

Antes de sua inicialização analítica, as amostras de cinza e lama foram previamente tratadas quanto a granulometria e delas confeccionou-se pastilhas fundidas (vidros de boratos), as quais foram devidamente analisadas. As condições de operacionalidade não foram registrados no exato momento.

FOTOMETRIA (TGA-DTA) - ANÁLISE TERMO-(DIFERENCIAL E GRAVIMÉTRICA)

As amostras de cinza e lama foram previamente tratadas quanto a sua granulometria e em seguida começaram a ser analisadas por fotometria de chama, com condições de operacionalidade de: faixa de temperatura ambiente até 1200°C e taxa de aquecimento de 10°C/min .

MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

As amostras de cinza e de lama foram previamente submetidas a um tratamento granulométrico, em seguida foram colocadas no interior do equipamento, na qual começaram a ser analisados. Primeiramente foram observados a textura e logo após a fase mineral. As condições de operacionalidade não foram registradas no dado momento.

ENSAIOS REALIZADOS

PICNOMETRIA DE HÉLIO

Neste caso, as amostras foram condicionadas a forma de pastilhas e logo em seguida sinterizadas, diferente das outras técnicas que requeriram amostras pulverulentas. Em seguida foram pesadas e levadas ao aparelho que imprime um feixe de gás hélio e este por sua vez penetra todos os possíveis poros expostos na amostra. As condições de operacionalidade foram: temperatura da análise foi de 20° C e porcentagem de variação foi de 0,05%.

TESTE DE DUREZA (VICKERS)

Assim como as amostras ensaiadas em densidade tratavam-se de pastilhas sinterizadas, as mesmas serão utilizadas para este teste que o durômetro imprime uma carga de 15,625kg com uma carga de área de superfície piramidal. Após esta etapa, os corpos de prova terão a marca impressa na superfície testada e calculando-se suas diagonais e aplicando os dados obtidos em uma fórmula padronizada terá-se o valor da dureza Vickers. A fórmula é a seguinte:

$$HV = 0,189. (P/d^2); P (N)$$

IV. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

*BREVE HISTÓRICO

A incumbência deste trabalho vinculou etapas de pesquisa ao decorrer de seu desenvolvimento. A idéia preliminar foi a caracterização das amostras (cinza e lama) do ponto de vista físico (mineralógico) e químico. Logo após esta etapa, deu início a mistura de ambos os materiais, devidamente caracterizados, e aplicou-se a mistura os mesmos métodos de caracterização, já utilizados anteriormente, em separado. O final do experimento foi de confeccionar corpos de prova (cinza + lama) e adicioná-los a uma temperatura já estipulada. Ao término disto faríamos ensaios tentando comprovar se realmente alcançamos a dureza próxima da modelada (granada). Mesmo não atingindo patamares aproximados, de qualquer maneira teremos um material que apresenta certa abrasividade.

CRONOGRAMA DE ATIVIDADES EFETUADAS – TABELA 5

JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO
Caracterização da Lama (DRX, FRX e MEV)	Caracterização da Lama (DRX, FRX e MEV)			Conformação de dez corpos de prova (pastilhas), da mistura de cinza e lama (proporções estipuladas)
		Caracterização da Cinza (DRX, FRX e MEV)	Caracterização da Cinza (DRX, FRX e MEV)	Sinterização das pastilhas (temperaturas estipuladas)
				Caracterização da Mistura (DRX)

COMENTÁRIOS (DIFICULDADES ENCONTRADAS)

As mais difíceis questões surgidas no desenvolvimento deste trabalho estavam e ainda estão relacionadas com as propriedades químicas (termoquímica e termodinâmica), ao mesmo tempo que suas características mineralógicas tendem a mostrar uma ponderada compreensão dos dados obtidos. No que se refere a realização das análises, estas se

portando a grosso modo conciliadora e existe a possibilidade de melhoria deste setor abandonado. Ao restante, estes não me dizem respeito!

V. RESULTADOS OBTIDOS

ANÁLISE QUÍMICA (% DE MASSA) – (FRX) – TAB 6

ELEMENTOS	LAMA	CINZA	* L.D.(%)
SiO ₂	14.54	64.24	0.01
Al ₂ O ₃	20.63	< 0.01	0.01
MnO	0.912	0.039	0.002
MgO	0.3	0.08	0.01
CaO	6.27	0.15	0.01
Na ₂ O	4.04	15.03	0.02
K ₂ O	2.12	0.37	0.01
TiO ₂	4.899	0.657	0.007
P ₂ O ₅	0.26	0.186	0.003
Fe ₂ O ₃	29.1	0.28	0.01
Loi	12.86	31.36	0.01
Total	95.93	112.39	

* Limite de detecção

Nesta tabela pode-se constatar que os valores totais para lama estão muito distantes do fechamento e isso talvez possa ser explicado pela não apresentação dos dados de elementos traços; enquanto, na cinza o fechamento ultrapassou os limites aceitáveis e segundo o responsável pela condução de experimento houve uma contaminação elevada de sódio por parte do fundente elevando os índices muito além do esperado.

DIFRAÇÃO DE RAIOS X – (DRX) – TAB 7

CINZA	LAMA	MISTURA
Tridimita	Quartzo	Goethita
Halita	Microclínio	Muscovita
Óxido de Silício	Muscovita	Hematita
	Gibbsita	Gibbsita
	Hematita	Microclínio
	Goethita	Quartzo

Devo informar que no caso da mistura, as análises de todas as combinações (diferentes proporções de cinza e lama) acarretaram nos minerais acima identificados.

MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – (MEV)

LAMA VERMELHA

LISTA – *(FASES-ELEMENTOS) – TAB 8

*F/E	Ce	O	C	Al	Si	Ca	Fe	Ti	K	Zr	Mn	Na	V
LV1	X	X	X	X	X	X	X						
LV2		X		X	X		X	X					
LV3		X		X	X	X	X	X					
LV4		X		X	X	X	X						
LV5		X		X	X	X	X	X					
LV6		X		X	X		X	X	X			X	
LV7		X		X	X		X	X					
LV8		X			X								

CONTINUAÇÃO

	Ce	O	C	Al	Si	Ca	Fe	Ti	K	Zr	Mn	Na	v
LV9	X	X				X		X		X			
LV10		X	X				X	X			X		
LV11		X		X			X	X					
LV12		X		X			X	X					
LV13		X		X			X	X			X		
LV14		X		X	X				X			X	
LV15		X		X	X	X		X					
LV16		X		X	X	X		X					
LV17				X			X	X					
LV18		X		X			X	X					
LV19		X	X	X	X	X	X					X	

CINZA – TAB 9

F/E	Cl	Na	Si	O	Ca	C
CZ1	X	X	X	X	X	
CZ2	X	X	X	X	X	
CZ3	X	X	X	X	X	X

CONTINUAÇÃO

	Cl	Na	Si	O	Ca	C
CZ4	X	X				
CZ5	X	X	X	X		
CZ6			X	X		
CZ7			X	X		
CZ8			X	X		
CZ9			X	X		
CZ10			X	X		
CZ11	X		X	X		
CZ14			X	X		
CZ15			X	X		
CZ16			X	X		
CZ17			X	X		
CZ18			X	X		

ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL E GRAVIMÉTRICA

Os resultados a serem apresentados estão viabilizados junto à discussão.

PICNOMETRIA – TAB 10

LAMA E CINZA	MASSA (g)	DENSIDADE (g/cm ³)	DESVIO PADRÃO	MASSA (g)	DENSIDADE (g/cm ³)	DESVIO PADRÃO
	(1000°C)	(1000°C)		(1100°C)	(1100°C)	
ANÁLISE 1 (70-30%)	0,7474	3,15	0,01	1,0032	3,12	0,01
ANÁLISE 2 (80-20%)	0,9437	2,69	0,01	1,0458	3,00	0,01
ANÁLISE 3 (90-10%)	0,9926	3,44	0,01	0,9198	2,77	0,01

A média final da densidade nas duas séries de temperaturas registrou valores de:
(2,96g/cm³ – 3,09g/cm³).

TESTE DE DUREZA (VICKERS) – TAB 11

*(CZ + LV)% – (1000°C)	*(CZ + LV)% – (1100°C)
(70 – 30) – TESTE FRACASSADO	V = 9,57Pa
(80 – 20) – TESTE FRACASSADO	V = 16,03Pa
(90 – 10) – TESTE FRACASSADO	V = 13,99Pa

VI. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO

(1) – ANÁLISE POR DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)

A. MATÉRIA PRIMA

A lama vermelha apresentou conforme os resultados interpretados da análise de raios X, os seguintes minerais: gibbsita, hematita, goethita, quartzo, muscovita e microclínio, como sendo proveniente da própria bauxita; e outros não relacionados, como: sodalita e cancrenita, pertencentes as fases do processo Bayer.

Este registro de resultados aqui discutidos podem ser comparados ao estudos efetuados por Sujana *et al.* (1996).

Com referência aos resultados da análise de raio X interpretados da cinza da palha de arroz, o que mais surpreendeu foi a presença de halita em uma amostra na qual se esperava apenas sílica. Este dado da halita pode ser apoiado com base nas análises químicas; no qual será apresentado mais adiante. Com relação a proveniência da halita, poucos dados foram adicionados a disposição comprometendo por sua vez a discussão da química analítica.

Outro ponto importante também a ser lembrado foi que nesta análise interpretada pode-se constatar a ocorrência de tridimita (polimorfo de quartzo). O mais peculiar disto tudo é que se trata de resíduo vegetal (orgânico) e que tenha sido transformado sob condições de temperaturas baixas (secagem da palha), enquanto, a tridimita se processa a níveis de 870° C - 1470° C.

B. ESTUDO DAS TRANSFORMAÇÕES DE FASES

O acompanhamento estudado das transformações de fases são uma etapa de suma importância na caracterização de materiais sinterizados, pois permite prever reações conjuntas de várias propriedades (mecânicas, térmicas, etc) Sujana *et al.* (1996).

As interpretações das análises resultantes da difração de raios X permitiram comparar as variadas proporções estipuladas de lama e cinza entre si, em temperaturas de 1000° C e 1100° C. No final de todas as comparações identificamos a seguinte mineralogia: goethita, muscovita, hematita, gibbsita, microclínio e quartzo.

(2) – ANÁLISE POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS – X (FRX)

A análise química revelou quantidades expressivas de Fe, Al e Si na amostra de lama vermelha, enquanto, a cinza apresentou Si e Na. Verificamos que o fechamento para a lama esta bem abaixo do ideal; e este pode ser explicado pelo fato da amostra ter sido secada ($T = 60^{\circ} \text{C}$) e com isso perdeu-se massa durante sua vaporização (água + voláteis). Outro fator também significativo seria a percentagem de elementos traços. Quanto a cinza, o seu total esta excessivamente acima do aceitável, e o fato é que segundo informações do executor do experimento houve uma contaminação do fundente com o elemento Na.

Os níveis após esta explicação poderão satisfazer as reais condições do valores totais a serem determinados.

(3) – ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A. LAMA VERMELHA

Na figura 1 correspondente a amostra de lama vermelha verificou-se a presença de oito fases minerais distintas. As fases 1 e 8 constataram elementos aparentemente singulares (Ce-Si), se comparados com o restante de sua matriz. Na fase 1, a presença marcante de Ce (elemento traço) evidenciou uma provável incorporação pontual de traço que se reteu nesta fase, oriunda talvez de processos alcalinos, que depois se intemperizaram (bauxitização).

Já na fase 8, a existência de Si demarca uma etapa onde a sílica reteu-se em forma residual. Quanto as demais fases, estas parecem propiciar pontos em comum, se comparadas duas a duas (elementos mais abundantes). Portanto temos que 2-6 (Al), 3-7 (Fe) e 4-5 (Ca). Para o Fe, a sua origem esta relacionada a grande quantidades de óxidos e hidróxidos, durante os estágios mais intempéricos, enquanto, o Al originaria de hidróxidos e principalmente de silicatos, em estágios iniciais da formação alcalina.

Por sua vez, a figura 2 contém 11 fases bem expressivas da amostra da lama.

Novamente, o Ce reincinde a sua presença na fase 9, e como havíamos levantado a hipótese de acúmulo residual, talvez seja em concentração mais esparsa ou etapas mais marcantes dos lantanídeos que ocorrem na trocas iônicas da diversas reações

químicas da formação alcalina. Outro problema que merece abordagem seria a presença significativa de concentração residual do Ti na fase 17. A possibilidade de sua origem poderia se resumir em vários fatores, mas o que me parece mais plausível poderia ser a inclusão de formas minerais do grupo do coríndon (rutilo e anatásio) como concentrações cumuláticas em reações fechadas (não há troca com o meio).

Ao restante, eles vêm a confirmar ou simplesmente repetir a quantidade expressiva significativamente de Fe (10-11-12-13-18), Ca (15-16-19) e Al.

Resumindo pode-se afirmar que os dois elementos mais abundantes e que predominam na lama vermelha seriam o ferro e o cálcio; e em proporções quase desprezíveis o restante excetuando-se o alumínio Monique (1997).

B. CINZA DA PALHA DE ARROZ

Após uma atenta observação dos elementos mais presentes das fases de cinza da palha de arroz pode-se avaliar que das 16 fases analisadas excetuando-se a 4, todas as demais possuem o Si como elemento predominante. E que da 6-18, Si e O são os mais abundantes.

Como sendo o silício e oxigênio os elementos mais predominantes, e que através de reação química resulta-se em quartzo (sílica), o que mais surpreendeu é que esta sílica presente em todas as fases apresentadas foi analisada segundo o DRX, como sendo o mineral de tridimita (polimorfo de quartzo) e que sua química revela-se dentro de parâmetros térmicos muito mais além do que a simples menção da cinza. Além disto, outro problema levantado foi a presença significativa de cloro e sódio nas análises do EDS. Como não consegui pesquisar sobre a composição química da cinza é pouco provável que qualquer termo ou explicação seja convincente.

(4) – ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL (ATD) E ANÁLISE TÉRMICA GRAVIMÉTRICA (ATG)

A. LAMA VERMELHA

a.(ATD)/AR

A análise do termograma referente a lama vermelha revelou dois picos endotérmicos (1º. 261.06° C e o 2º. 682.22° C). O primeiro pico pode indicar perda de água zeolítica (Pucci & Souza Santos, 1962; Sujana *et al.*, 1996), enquanto o segundo sugere a

formação de hematita, com quantidades limitadas de TiO_2 , e que na qual pode atingir até 800°C .

b.(ATD)/ N_2

Neste caso, o termograma apontou um pico somente (259.57°C). A esta temperatura pode-se indicar perda de água zeolítica.

a.(ATG)/AR

Após uma rápida observação do gráfico podemos confirmar a perda de massa ocorrendo em duas etapas subsequentes.

Na primeira etapa à 395°C houve perda de 4% da massa, e possivelmente isto se deve a decomposição da gibbsita (Norton, 1975); com relação à segunda, à 676°C a perda foi de apenas 2%, talvez por causa da quantidades de reações envolvidas de desidroxilação e oxidação.

b.(ATG)/ N_2

A análise deste termograma mostrou mínimas variações com relação a temperatura, assim como pequenas oscilações detectadas em sua perda de massa. Pode-se afirmar que as condições são praticamente similares à primeira análise ($389^\circ \text{C} - 4,2\% \mid 692^\circ \text{C} - 2,1\%$).

B. CINZA DA PALHA DE ARROZ

a.(ATD)/AR

O referido termograma da cinza pode revelar três picos endotérmicos. O primeiro deles situa-se à $77,74^\circ \text{C}$, onde provavelmente a amostra perdeu umidade; no segundo à $790,24^\circ \text{C}$ com a possibilidade de formação de tridimita ($T \sim 830^\circ \text{C}$), para uma pressão de 19 atm, e o último pico a exatos 995.05°C , onde neste patamar as diversas variações existentes ocorreram devido as transformações de fases, como a nucleação de mulita ou a formação de espinélio. Na mesma análise identificamos três picos

exotérmicos ($140^{\circ}\text{C} - 703.70^{\circ}\text{C} - 1006.13^{\circ}\text{C}$). Devido a mínima variabilidade dos níveis mostrados, as devidas formulações hipotéticas levantadas para prever o termograma podem ser equivalentes ao primeiro.

b.(ATD)/N₂

A quantidade de picos endotérmicos e exotérmicos são três para cada. As hipóteses formulados para o primeira análise são válidas e podem assumir um papel mais discutível. P_{en} ($73.63^{\circ}\text{C} - 789.01^{\circ}\text{C} - 1002.47^{\circ}\text{C}$) e P_{ex} ($103^{\circ}\text{C} - 711.12^{\circ}\text{C} - 992.05^{\circ}\text{C}$).

a.(ATG)/AR

Para esta análise reconhecemos duas etapas a serem discutidas: à 79°C com perda de 17% de massa, restrito provavelmente a diminuição de umidade superficial da amostra e a outra à 1006°C com menos de 40% de massa e que parece denotar transformações de fases inclusas na amostra.

b.(ATG)/N₂

Segue que os parâmetros utilizados neste termograma podem ser comparados ao primeiro, pois as variações são mínimas. Quanto ao levantamento hipotético e explicação da mesma, esta também será corroborada com a análise anterior. D ($84^{\circ}\text{C}/12\%$ e $1030^{\circ}\text{C}/50\%$).

(5) – ENSAIO PICNOMÉTRICO

MISTURA ($1000^{\circ}\text{C} - 70/30|80/20|90/10$)

Após a realização das três análises de picnometria pode-se avaliar os resultados com atenção, e verificou-se na análise 3 um valor médio disparatado, se comparado com as outras análises.

As análises 3,2,1 apresentaram massas decrescentes, e na análise 1 esta revelou em sua superfície uma alta porosidade, bem maior que na 2. Quanto ao caso da análise 3, talvez tenha ocorrido uma contaminação podendo ou não ser realmente de fato.

MISTURA (1100° C – 70/30|80/20|90/10)

Das três análises efetuadas verificou-se que da análise 2 para 1 ocorreu uma decrescência de massa, enquanto, na análise 1 revelou-se uma densidade menor que a 2. No que se refere a análise 3, a massa é menor que as duas anteriores e sua densidade também.

Obs: A conformação da massa foi atipicamente padronizada.

(6) – TESTE DE DUREZA (VICKERS)

Para as misturas sinterizadas (70/30|80/20|90/10 - 1000° C), estas se apresentaram totalmente fracassadas. Os de 1100° C e nas mesmas proporções citadas a priori puderam ser medidas.

O referido teste realizado com a proporção 80/20 obteve maior numérico se comparado com as outras duas, na escala de Vickers. E comparando este valor com outros materiais verificamos uma dureza razoavelmente próxima da granada.

VII. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados encontrados que se referem a densidade (2.96-3.09g/cm³) e dureza (Escala de Mohs) podemos formular a hipótese que o nosso produto final alcançou uma fase cristalina próxima da granada. Pois todo o nosso trabalho se baseou em temperaturas de 1000° C e 1100° C; diferente da fixada para a granada, pois a mesma se encontra acima deste patamar. A fase mineral que se aproxima o nosso produto seria a mayenita e Ca₃Al₂O₆ (D = 3.04g/cm³).

Sugerimos que se faça MEV do produto final, bem como análise química do mesmo.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DASHCHENKO, A.A., KUSHCH, L.I. 1983. SU Patent 1060656-A, December 15.

GETROUW, M.A. 1997. *Caracterização e tratamento da lama vermelha para obtenção de matéria prima para a indústria vitro-cerâmica*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 94p.

GRJOTHEIM, K., WELCH, B.J. 1982. *Aluminium Smelter Technology : A Pure and Applied Approach*, Verlag GMBH, Düsserdorf.

GUCCIONE, E. 1971. Red Mud can now be Converted to High-Quality Steel, *Eng.Min.J.*, vol.172, nº. 9, pp. 136 –138, September.

FOERSTER, H. 1967. Concrete Color Composition. DD Patent 57543, August 20.

FUNKE, A., *et al.* 1960. Rubber Fillers from Red Mud. DD Patent 19854, September 20.

HABASHI, F. 1993. A textbook of Hydrometallurgy. Imprimerie d'Edition Marquis Limitée, Québec, pp. 65 – 579.

HAHNEL, K.O. 1953. Red Mud as Raw Material for Colored Glass, *Glasstechnology Ber.* V.76, pp. 174 – 175.

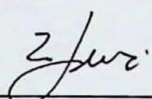
LOTZE, J. 1983. Experience in Red Mud Disposal by WAW, In *Light Metals. Proceedings of technical sessions sponsored by the TMS Light Metals Commttee at the 112th AIME Annual Meeting*, Adkins E.M. ed., Atlanta, Georgia, pp. 1159 – 1174, March 6 – 10.

NEWTON, J. 1959. *Extractive Metallurgy*, v. 3, John Wiley, New York.

NORTON, F.H. 1975. *Cerâmica Fina. Tecnologia y Aplicaciones*. Barcelona: Ediciones Omega S.A.

- RITCEY, G.M. 1989. *Process Metallurgy 6, Tailings Management: Problems and Solutions in the Mining Industry*, Elseviers, pp. 2 – 348, Amsterdam.
- SANKEY, S.E., SCHWARZ, R.J. 1984. The use of synthetic flocculants polymers in settling red muds derived from high goethite bauxite ores, In: *Light Metals, Conference Proceedings of The Metallurgical Society of AIME*, McGeerJ.P. ed., Delaware, pp. 1653 – 1667.
- SOLYMAR, K., BUJDOSO, E. 1973. Properties of Red Mud in the Bayer Process and its utilization, In: *Light Metals, Conference Proceedings of The Metallurgical Society of AIME*, CLARCK, A.V. ed., v. 2, pp. 717 – 744.
- SOUZA SANTOS, P., PUCCI, J.R. 1962. Estudos preliminares sobre a possibilidade do emprego de lama vermelha como pigmento na fabricação de ladrilhos cerâmicos de piso. *Engenharia*, v. 21, nº. 240, pp. 128 – 132.
- SUJANA, M.G., THAKUR, R.S., ACHARYA, B.C., DAS, S.N., RAO, S.B. 1996. Effect of calcination and physico-chemical properties of Red Mud. *Light Metals*, pp. 93 – 98.
- VOGT, M.F. 1976. Dewatering Large Volume Aqueous Slurries: Sand Bed Filtration of Bauxite Residue. In *Light Metals, Conference Proceedings of The Metallurgical Society of AIME*, Las Vegas, Nevada, February.
- WAGH, A.S., DOUSE, V.E. 1991. Silicate Bonding of Laterites – An Ancient Process for Construction Components, *Ceramic and Civilization*, v. 4, The Social and Cultural Contexts of New Ceramic Technologies, ed. Kingery, W.D., pp. 75 – 87.

Prof. Dr. Daniel Atencio



Yuri André de Campos Traversi

ANEXOS

ANEXOS

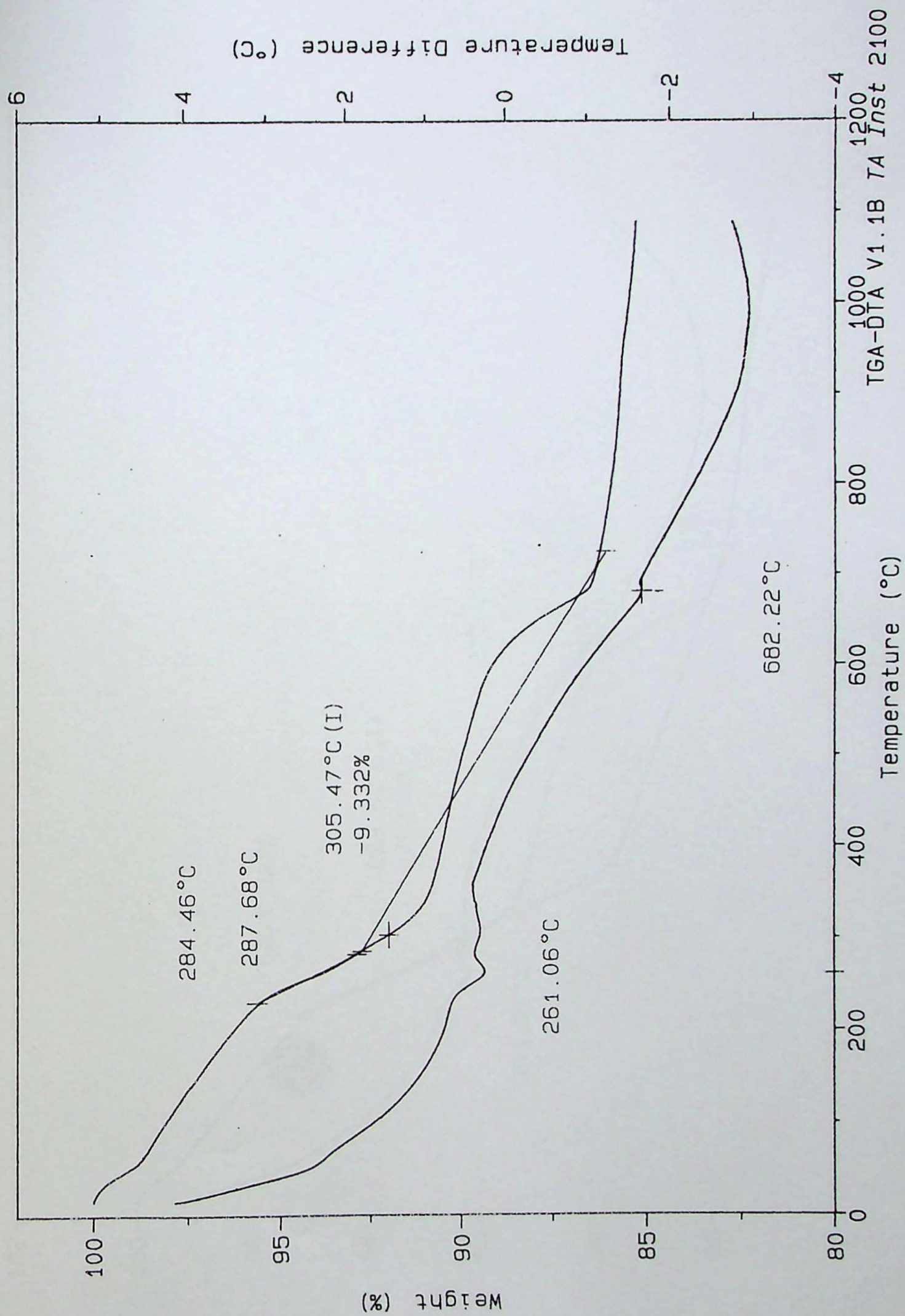
ANEXOS

ATD – ATG (LAMA VERMELHA) - GRÁFICOS

Method: ITCAm

Run Date: 11-Jul-02 15:11

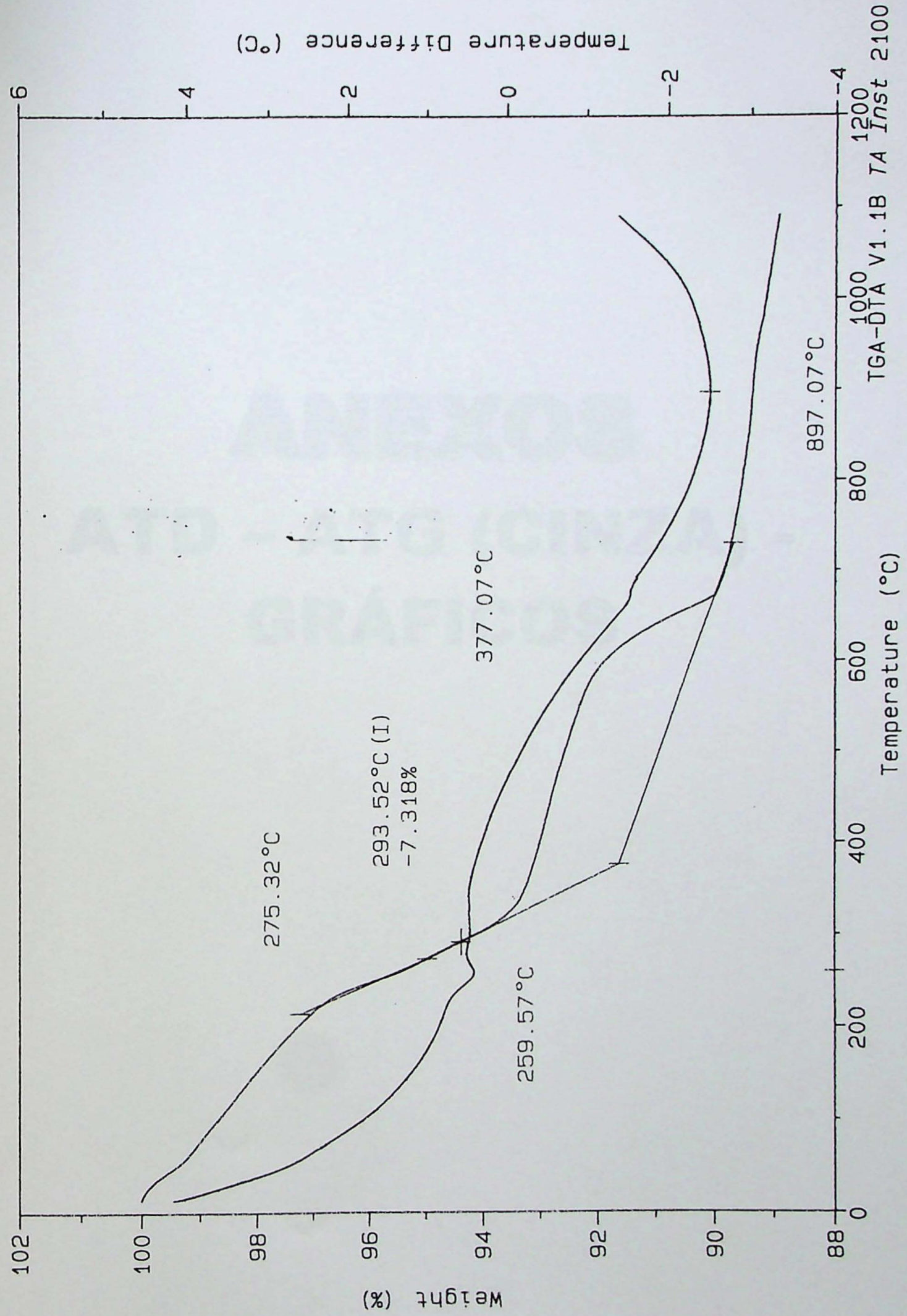
Comment: 10°C/MIN. 1100°C/MIN. CADINHO DE ALUMINA COM PURGA DE 100ML AR



Method: ITCAM

Run Date: 12-Jul-02 11:44

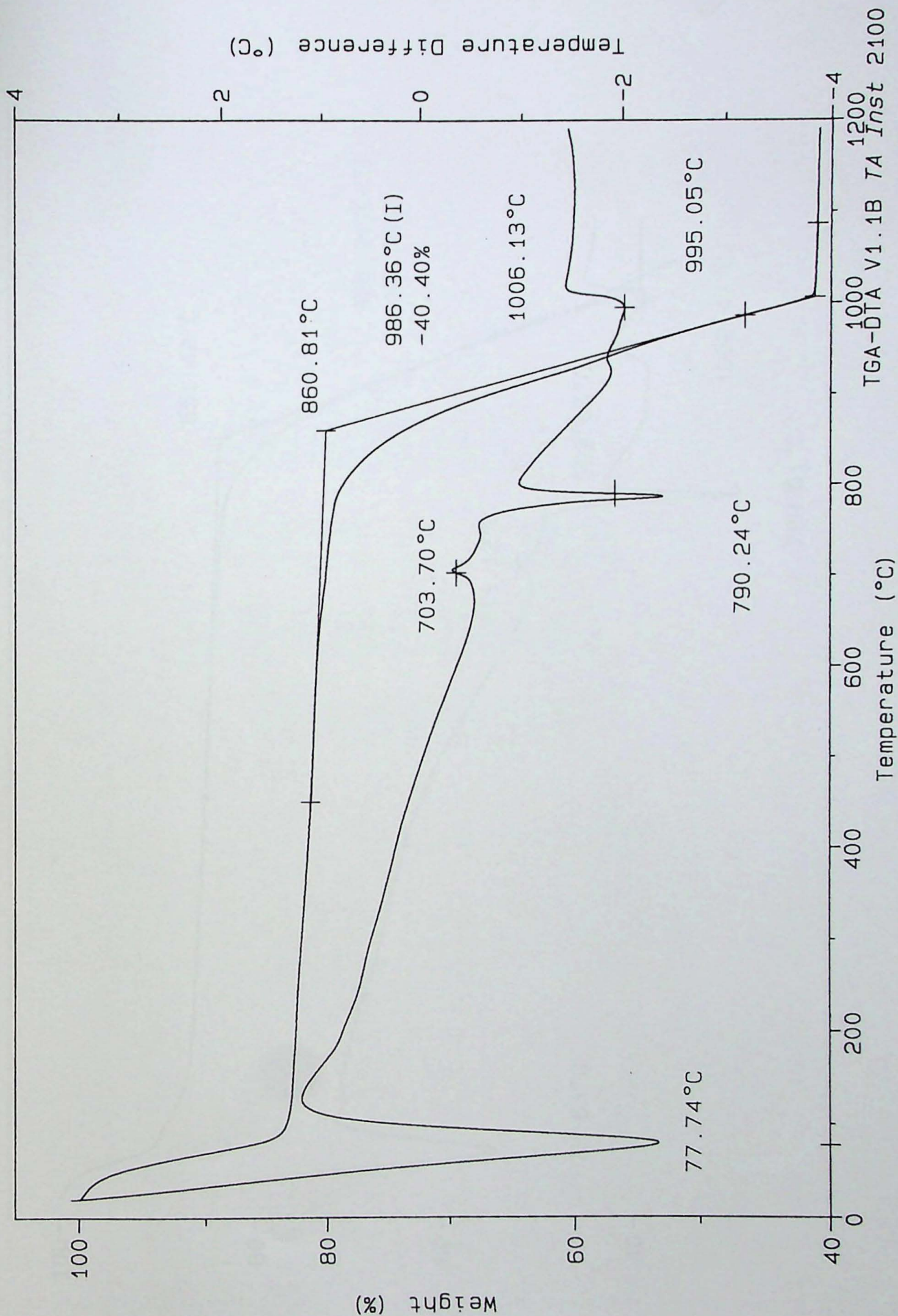
Comment: 10°C/MIN. 1100°C/MIN. CADINHO DE ALUMINA COM PURGA DE 100ML N2



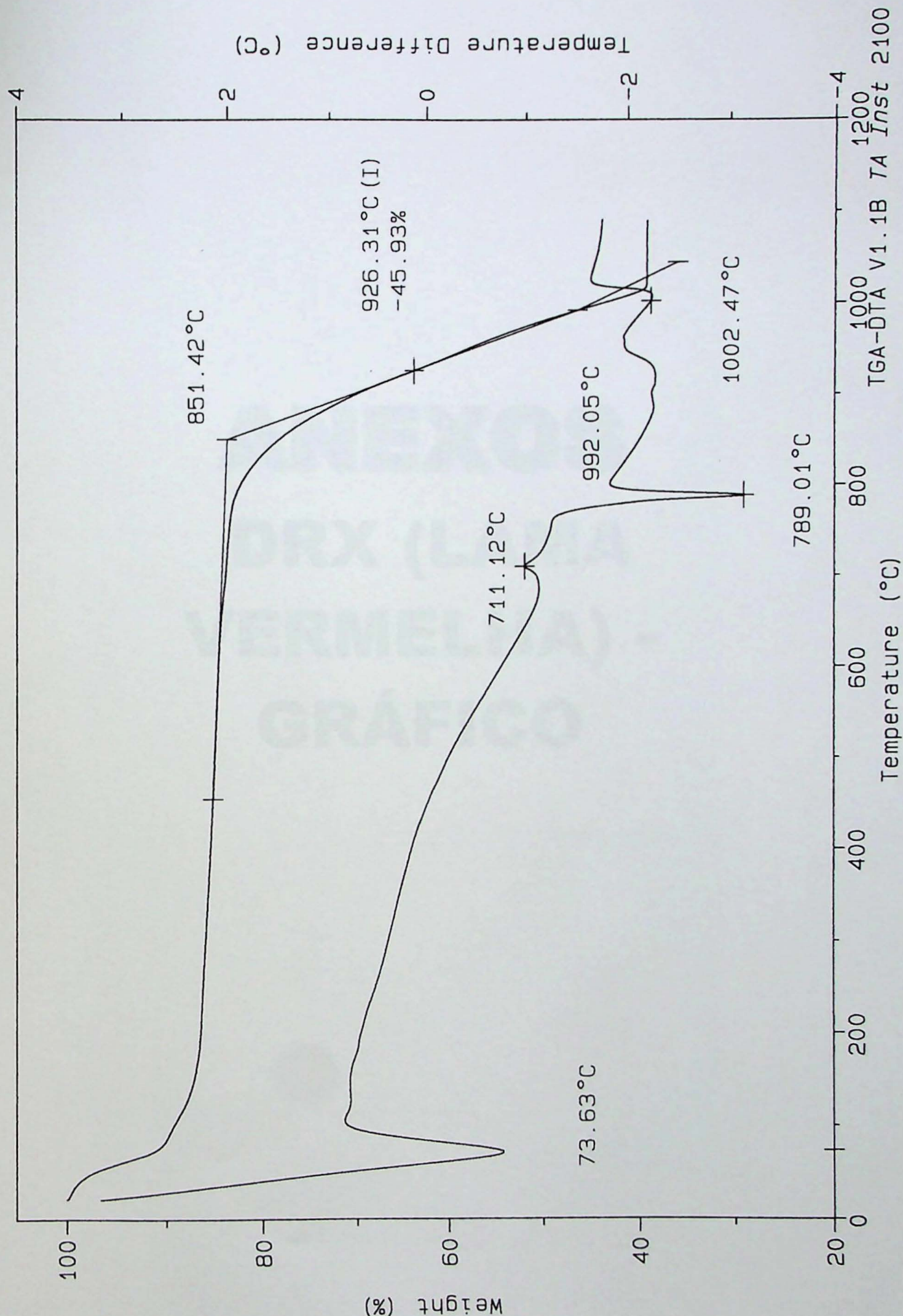
ANEXOS

ATD – ATG (CINZA) - GRÁFICOS

Size: 19.2034 mg
Operator: VERONICA
Method: IURI
Run Date: 19-Oct-02 11:35
Comment: 10°C/MIN. 1200°C/MIN. CADINHO DE ALUMINA COM PURGA DE 100ML AR

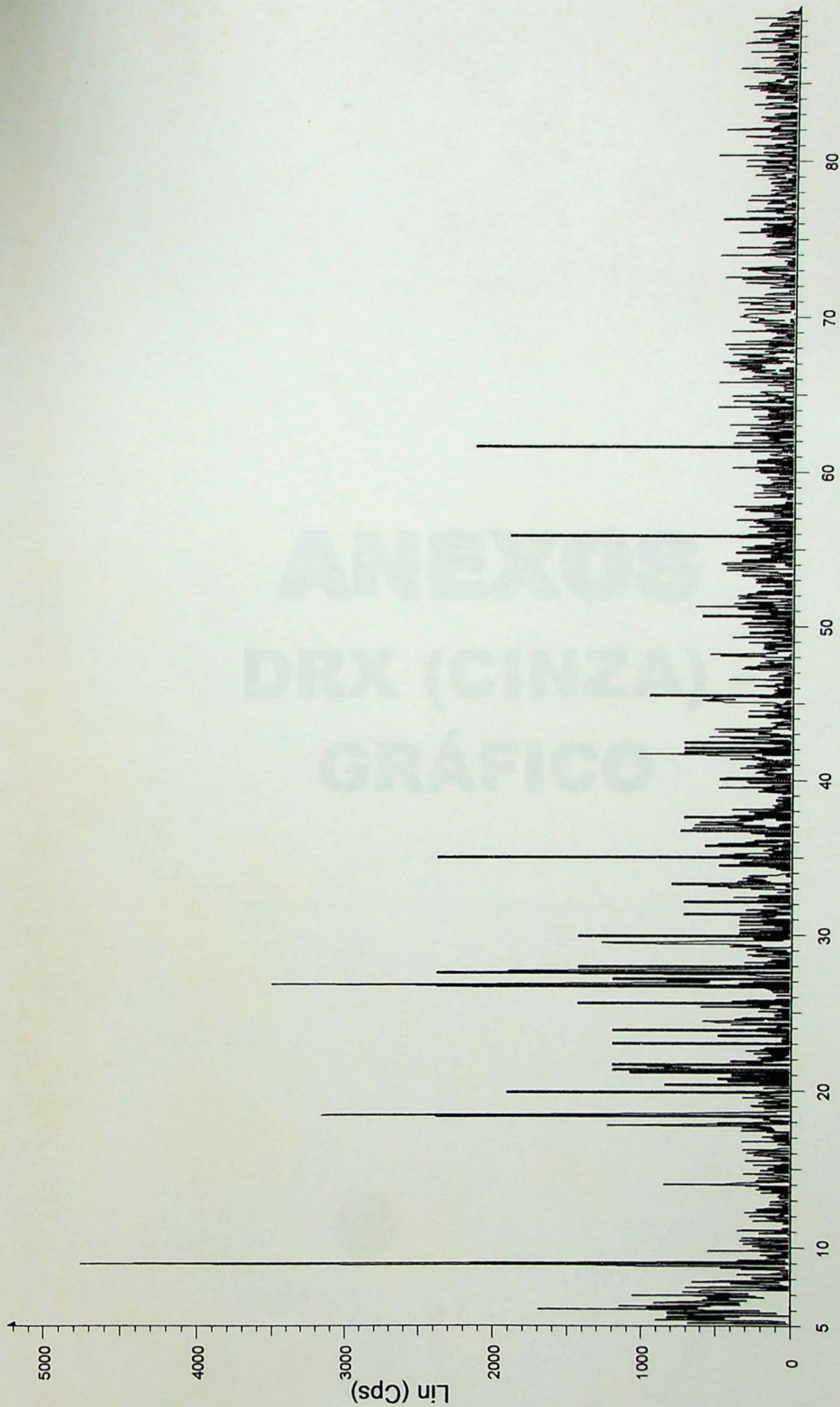


Operator: YEHUNICA
Run Date: 9-Oct-02 09:30
Method: CHRISTINE
Comment: 10°C/MIN. 1100°C/MIN. CADINHO DE ALUMINA COM PURGA DE 100ML N2



ANEXOS
DRX (LAMA
VERMELHA) -
GRÁFICO

Lama Vermelha



2-Theta - Scale

☒ Lama Vermelha - File: lamayuri.RAW - Type: PSD fast-scan - Start: 5.000 ° - End: 89.917 ° - Step: 0.042 ° - Step time: 0.1 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 56 s - 2-Theta Operations: Background 1,000, 1,000 | Import

☒ 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primit

☒ 119-0932 (I) - Microcline, intermediate - KAlSi₃O₈ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Triclinic - a 8.560 - b 12.97 - c 7.210 - alpha 90.3 - beta 116.1 - gamma 89.00 - Base-

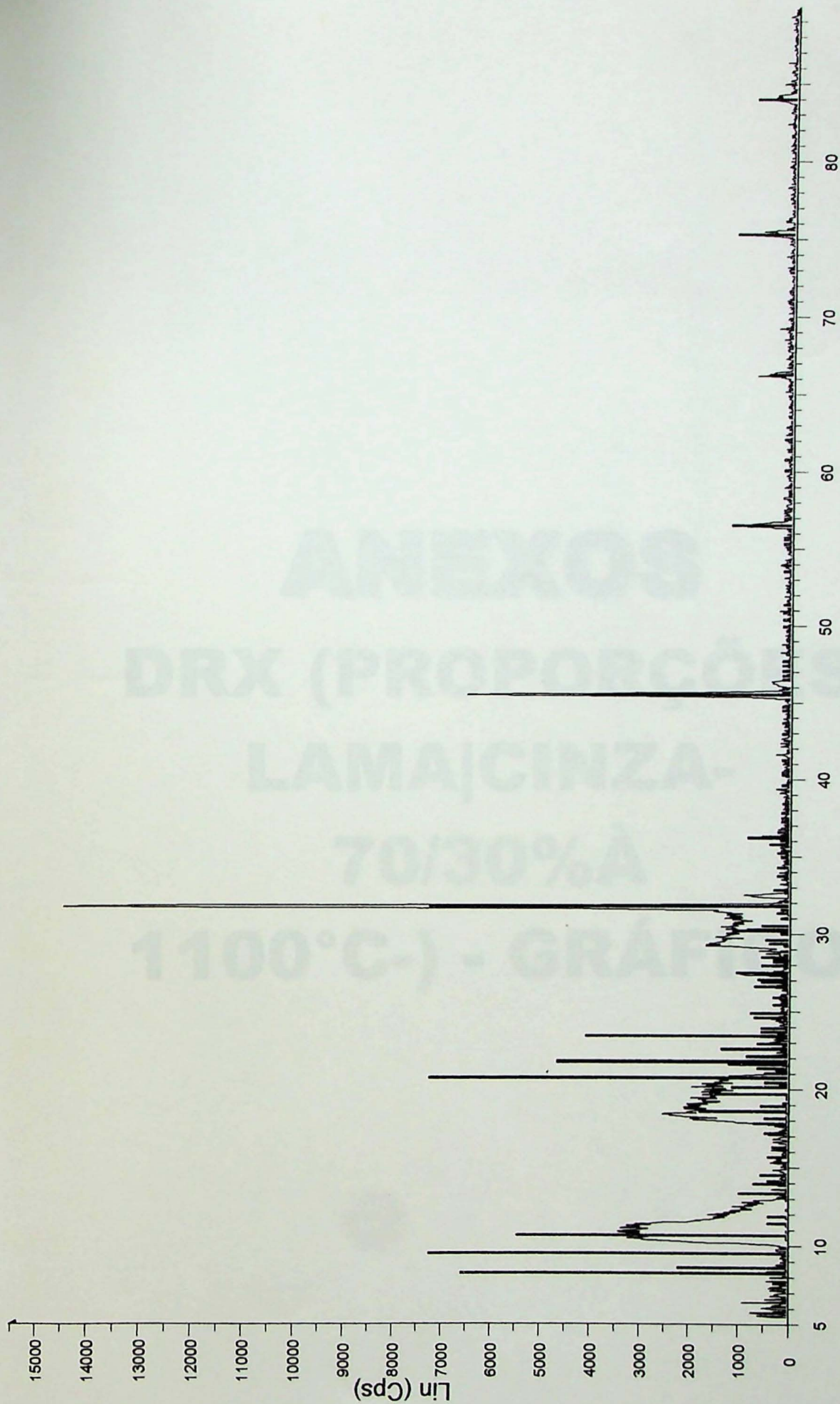
☒ 119-0814 (I) - Muscovite-2M1, V-rich - K(Al,V)₂(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Monoclinic - a 5.193 - b 9.045 - c 20.044 - alpha 90.000 - beta 95.8 - g

☒ 70-2038 (C) - Gibbsite - Al(OH)₃ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Monoclinic - a 8.684 - b 5.078 - c 9.736 - alpha 90.000 - beta 94.54 - gamma 90.000 - Primitive - P21/

☒ 79-0007 (C) - Hematite - Fe₂O₃ - Y: 16.67 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal (Rh) - a 5.02850 - b 5.02850 - c 13.73600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 -

☒ 81-0464 (C) - Goethite, syn - FeO(OH) - Y: 25.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Orthorhombic - a 4.60480 - b 9.95950 - c 3.02300 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.00

ANEXOS
DRX (CINZA) -
GRÁFICO



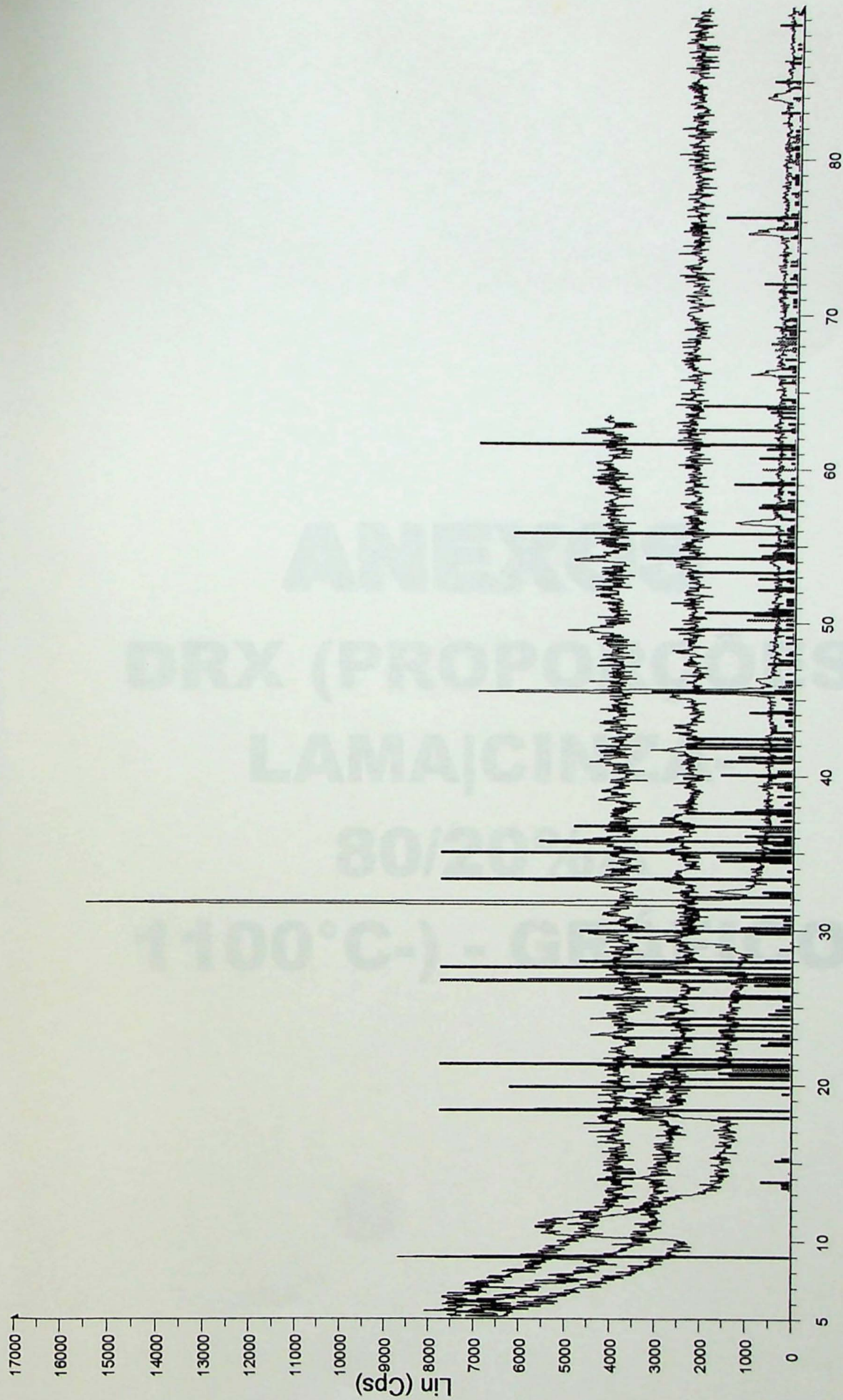
2-Theta - Scale

☒ Cinza de Palha de Arroz - File: arroz Yuri.RAW - Type: PSD fast-scan - Start: 5.000 ° - End: 89.917 ° - Step: 0.042 ° - Step time: 0.1 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 51
Operations: Background 1,000, 1,000 | Import

☒ 71-0261 (C) - Tridymite - SiO₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Triclinic - a 9.93200 - b 17.21600 - c 81.86400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centred - F
☒ 75-0306 (C) - Halite - NaCl - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Cubic - a 5.64000 - b 5.64000 - c 5.64000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centred - F
☒ 51-1377 (*) - Silicon Oxide SSZ-23 - SiO₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Monoclinic - a 13.119 - b 21.771 - c 13.705 - alpha 90.000 - beta 102.513 - gamma 90.000 -

ANEXOS
DRX (PROPORÇÕES-
LAMA|CINZA-
70/30%À
1100°C-) - GRÁFICO

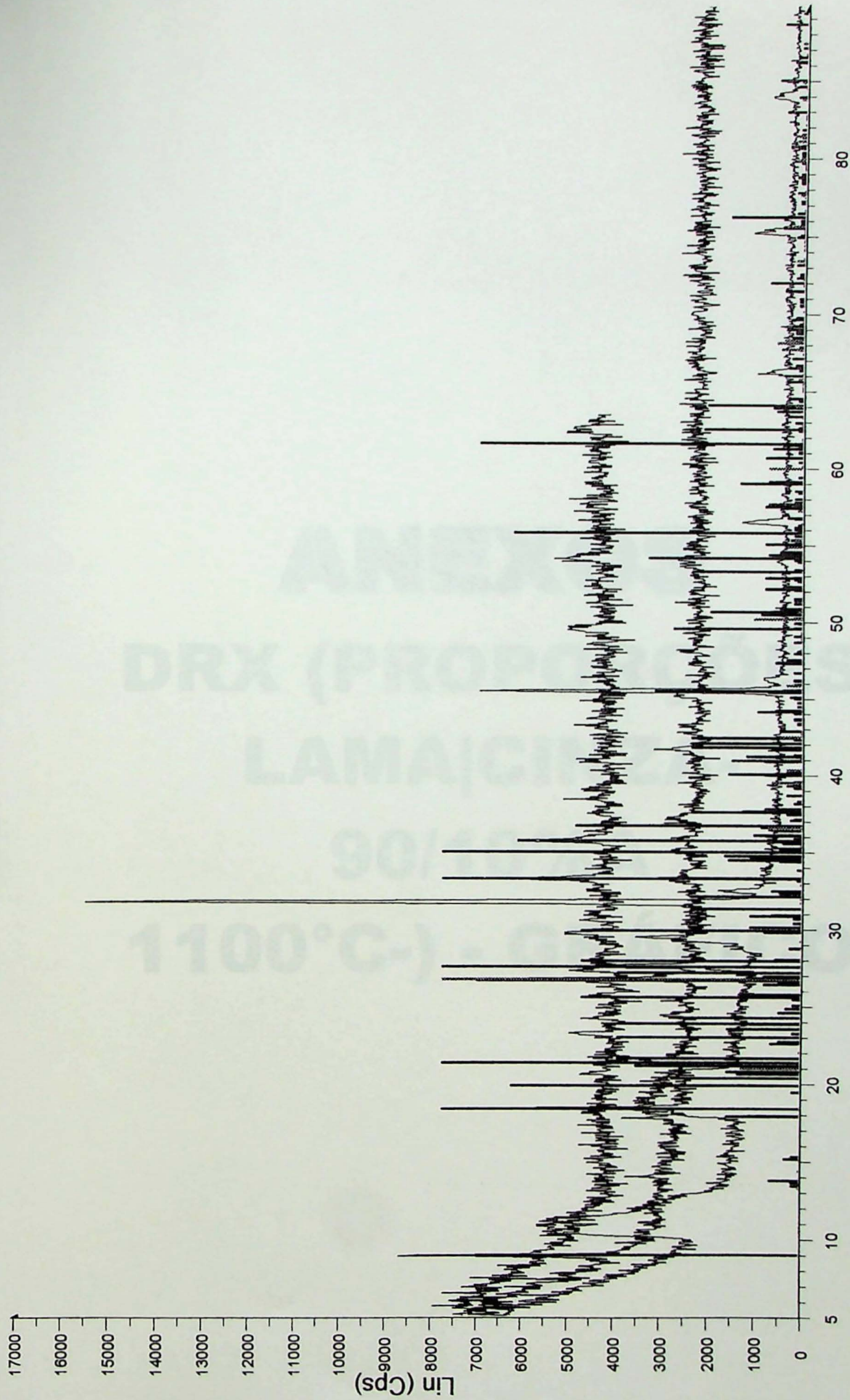
Lama Vermelha



2-Theta - Scale

- ☒ Lama Vermelha - File: lamayuri.RAW - Type: PSD fast-scan - Start: 5.000 ° - End: 8
Operations: Import
- ☒ Cinza de Palha de Arroz - File: arrozuri.RAW - Type: PSD fast-scan - Start: 5.000 °
Operations: Import
- ☒ c:\data\daniellyuri\70_30 1100.RAW - File: 70_30 1100.RAW - Type: PSD fast-scan
Operations: Import
- ☐ 81-0464 (C) - Goethite, syn - FeO(OH) - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Orth
- ☐ 19-0814 (I) - Muscovite-2M1, V-rich - K(Al,V)2(Si,Al)4O10(OH)2 - Y: 50.00 % - d x b
- ☐ 79-0007 (C) - Hematite - Fe2O3 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal
- ☐ 70-2038 (C) - Gibbsite - Al(OH)3 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Monoclinic
- ☐ 19-0932 (I) - Microcline, intermediate - KAlSi3O8 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54
- ☐ 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal

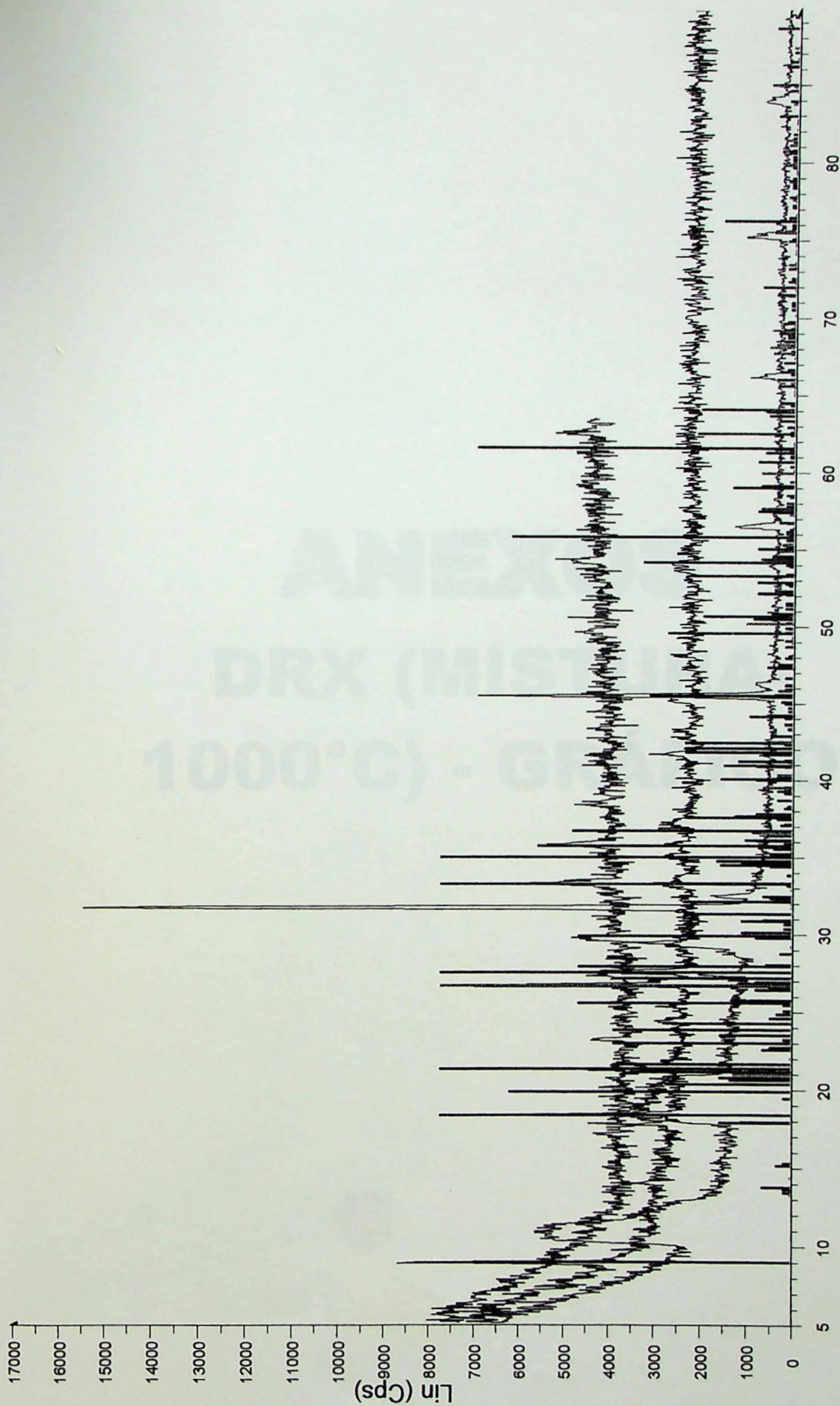
$$\text{K}(\text{Al}_2\text{V}_2\text{ZrSi}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot \text{Y}) \cdot 50.00\% - \text{d x b}$$



2-Theta - Scale

- ☒ Lama Vermelha - File: lamayuri.RAW - Type: PSD fast-scan - Start: 5.000 ° - End: 8
Operations: Import
- ☒ Cinza de Palha de Arroz - File: arrozuri.RAW - Type: PSD fast-scan - Start: 5.000 °
Operations: Import
- ☒ c:\data\daniel\yuri\80_20_1100.RAW - File: 80_20_1100.RAW - Type: PSD fast-scan
Operations: Import
- ☐ 81-0464 (C) - Goethite, syn - FeO(OH) - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Orth
- ☐ 19-0814 (I) - Muscovite-2M1, V-rich - K(Al,V)2(Si,Al)4O10(OH)2 - Y: 50.00 % - d x b
- ☐ 79-0007 (C) - Hematite - Fe2O3 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal
- ☐ 70-2038 (C) - Gibbsite - Al(OH)3 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Monoclinic
- ☐ 19-0932 (I) - Microcline, intermediate - KAlSi3O8 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54
- ☐ 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal

ANEXOS
DRX (PROPORÇÕES-
LAMA|CINZA-
90/10%À
1100°C-) - GRÁFICO



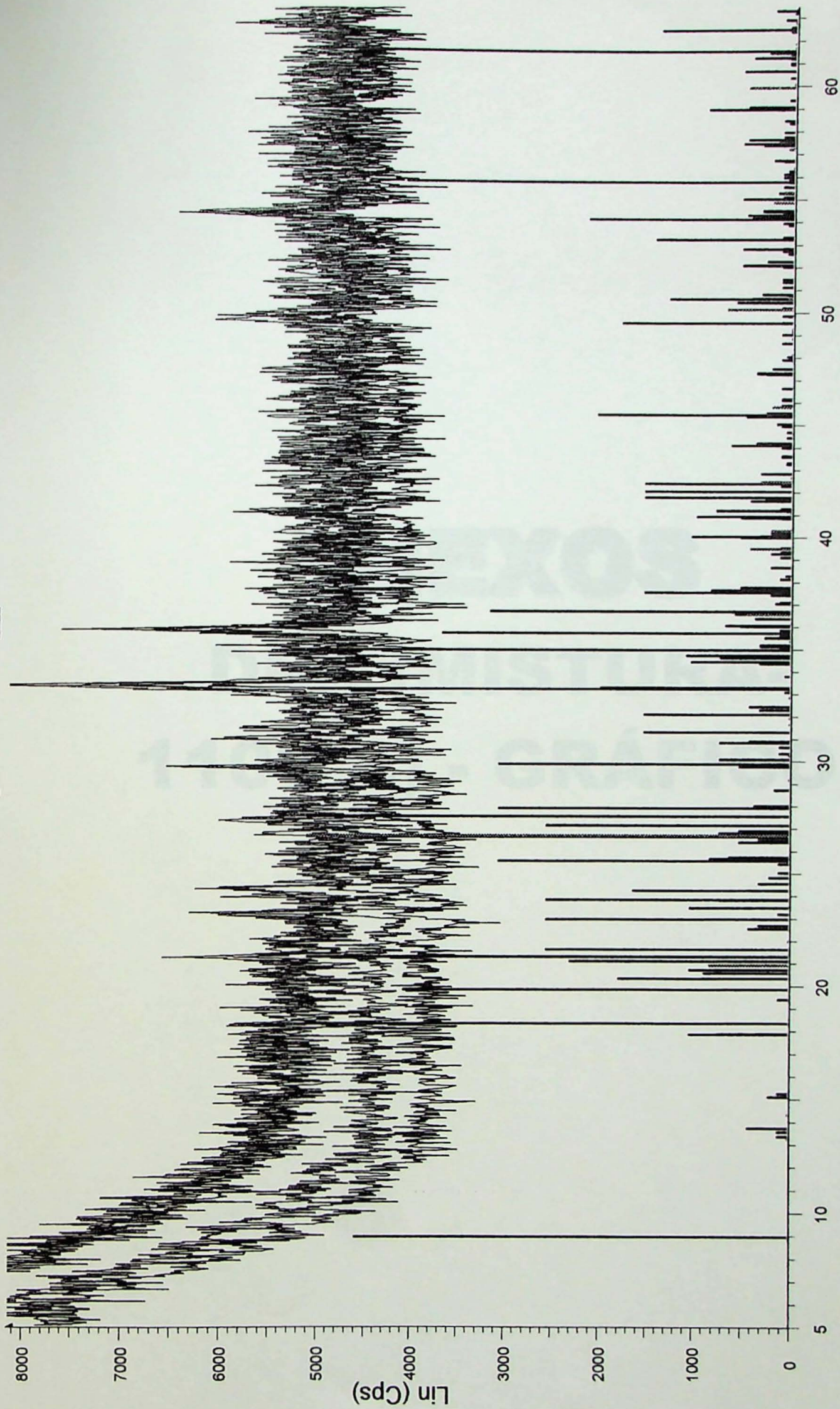
2-Theta - Scale

- ☒ Lama Vermelha - File: lamayuri.RAW - Type: PSD fast-scan - Start: 5.000 ° - End: 80.000 ° - Operations: Import
- ☒ Cinza de Palha de Arroz - File: arrozuri.RAW - Type: PSD fast-scan - Start: 5.000 ° - End: 80.000 ° - Operations: Import
- ☒ c:\data\daniellyuri\90_10 1100.RAW - File: 90_10 1100.RAW - Type: PSD fast-scan - Operations: Import
- ☒ 81-0464 (C) - Goethite, syn - $\text{FeO}(\text{OH})$ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Orth
- ☒ 19-0814 (I) - Muscovite-2M1, V-rich - $\text{K}(\text{Al,V})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - Y: 50.00 % - d x b

- ☒ 79-0007 (C) - Hematite - Fe_2O_3 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal
- ☒ 70-2038 (C) - Gibbsite - $\text{Al}(\text{OH})_3$ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Monoclinic
- ☒ 19-0932 (I) - Microcline, intermediate - KAlSi_3O_8 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54
- ☒ 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal

ANEXOS

**DRX (MISTURA-
1000°C) - GRÁFICO**



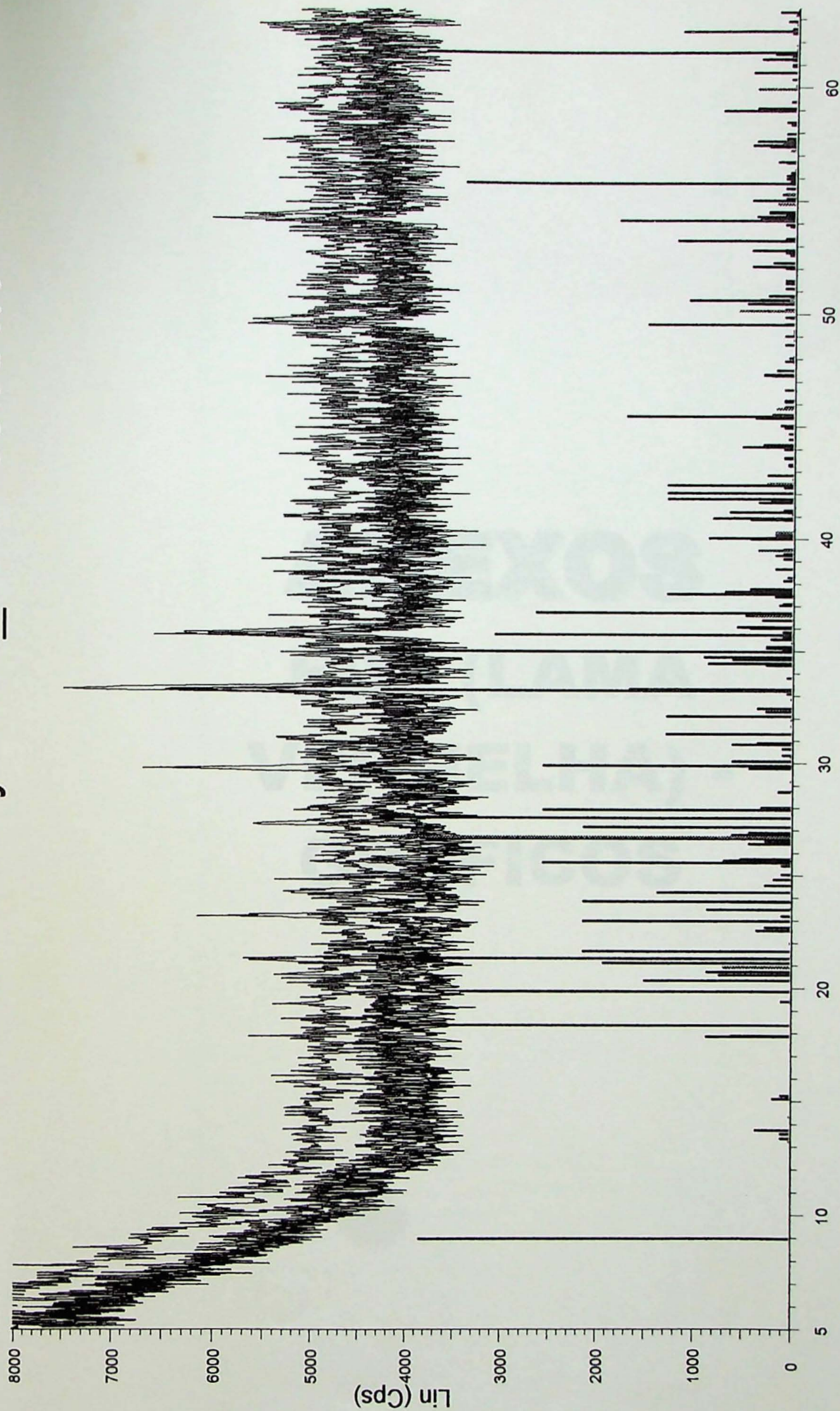
2-Theta - Scale

- ☒ c:\data\daniellyun\90_10 1000.RAW - File: 90_10 1000.RAW - Type: PSD fast-scan
Operations: Import
- ☒ c:\data\daniellyun\85_15 1000.RAW - File: 85_15 1000.RAW - Type: PSD fast-scan
Operations: Import
- ☒ c:\data\daniellyun\80_20 1000.RAW - File: 80_20 1000.RAW - Type: PSD fast-scan
Operations: Import
- ☒ c:\data\daniellyun\75_25 1000.RAW - File: 75_25 1000.RAW - Type: PSD fast-scan
Operations: Import

- ☒ c:\data\daniellyun\70_30 1000.RAW - File: 70_30 1000.RAW - Type: PSD fast-scan
Operations: Import
- ☒ 81-0464 (C) - Goethite, syn - FeO(OH) - Y: 50.00 % - d x by: 1, - WL: 1.54056 - Orth
- ☒ 19-0814 (I) - Muscovite-2M1, V-rich - K(Al,V)2(Si,Al)4O10(OH)2 - Y: 50.00 % - d x b
- ☒ 79-0007 (C) - Hematite - Fe2O3 - Y: 50.00 % - d x by: 1, - WL: 1.54056 - Hexagonal
- ☒ 70-2038 (C) - Gibbsite - Al(OH)3 - Y: 50.00 % - d x by: 1, - WL: 1.54056 - Monoclinic
- ☒ 19-0932 (I) - Microcline, intermediate - KAlSi3O8 - Y: 50.00 % - d x by: 1, - WL: 1.54
- ☒ 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 50.00 % - d x by: 1, - WL: 1.54056 - Hexagonal

ANEXOS

**DRX (MISTURA-
1100°C) - GRÁFICO**



2-Theta - Scale

☒ c:\data\daniel\yuri\90_10_1100.RAW - File: 90_10_1100.RAW - Type: PSD fast-scan
Operations: Import

☒ c:\data\daniel\yuri\85_15_1100.RAW - File: 85_15_1100.RAW - Type: PSD fast-scan
Operations: Import

☒ c:\data\daniel\yuri\80_20_1100.RAW - File: 80_20_1100.RAW - Type: PSD fast-scan
Operations: Import

☒ c:\data\daniel\yuri\75_25_1100.RAW - File: 75_25_1100.RAW - Type: PSD fast-scan
Operations: Import

☒ c:\data\daniel\yuri\70_30_1100.RAW - File: 70_30_1100.RAW - Type: PSD fast-scan
Operations: Import

☒ 81-0464 (C) - Goethite, syn - FeO(OH) - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Orth

☒ 19-0814 (I) - Muscovite-2M1, V-rich - K(Al,V)2(Si,Al)4O10(OH)2 - Y: 50.00 % - d x b

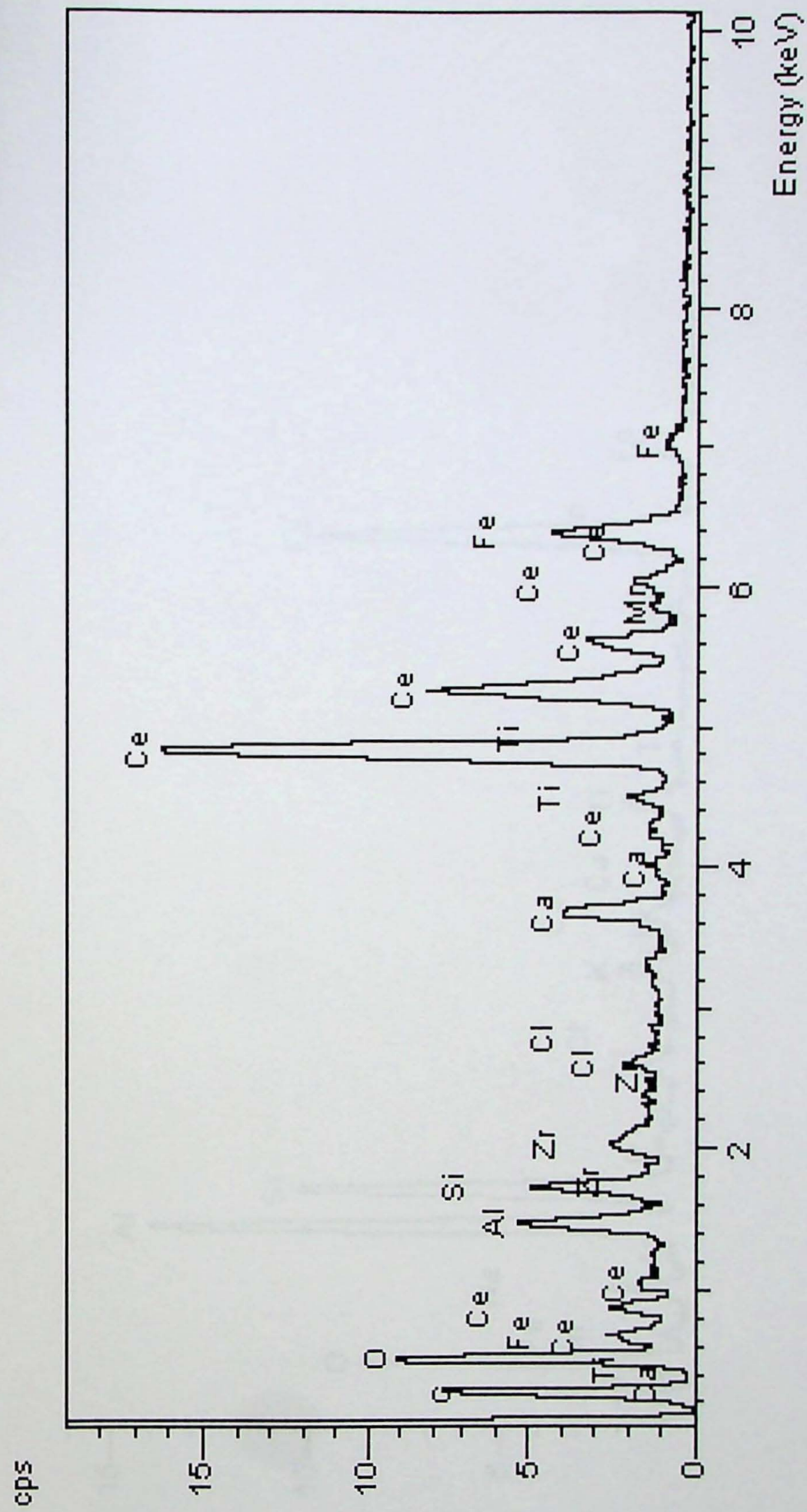
☒ 79-0007 (C) - Hematite - Fe2O3 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal

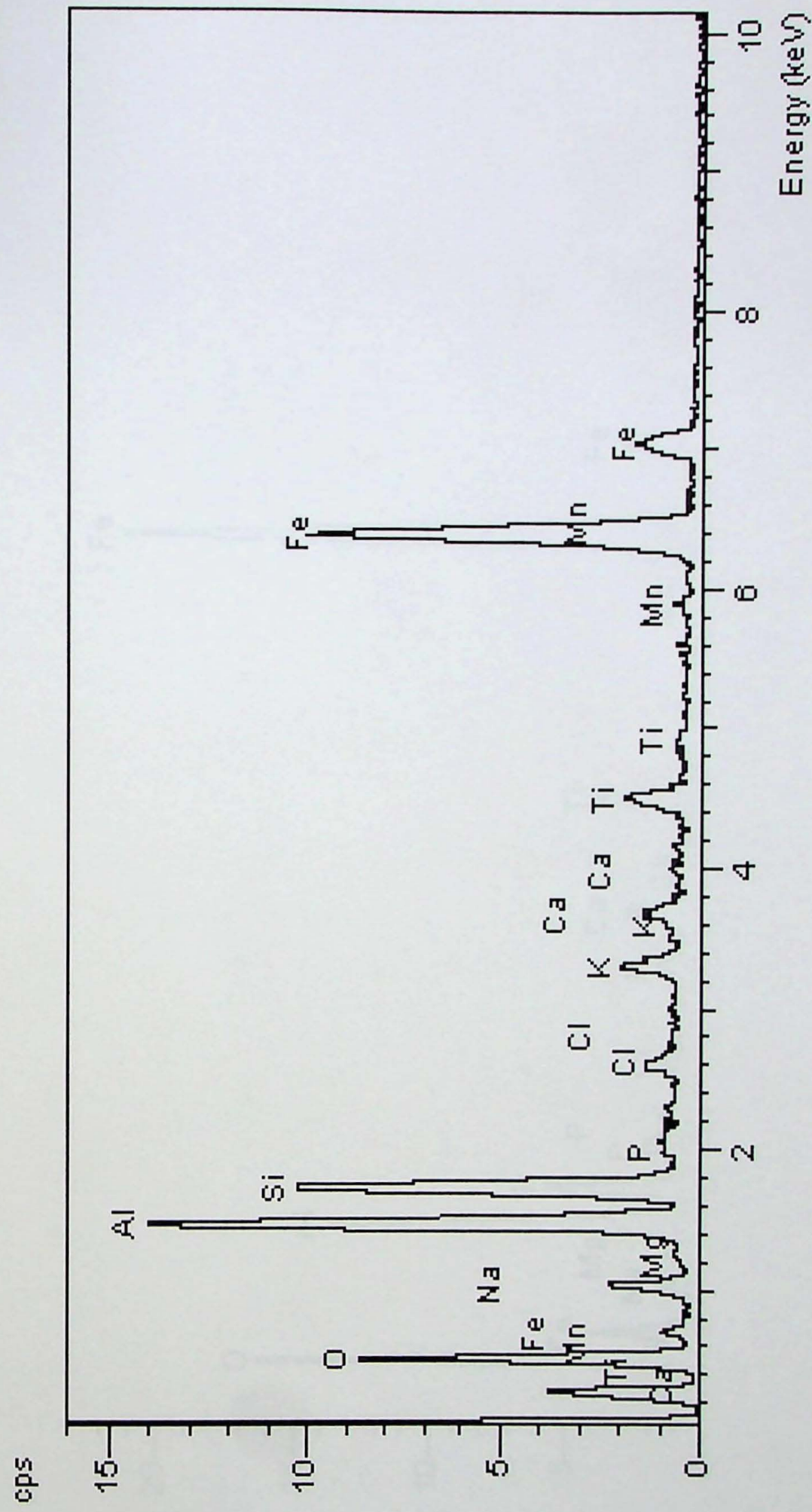
☒ 70-2038 (C) - Gibbsite - Al(OH)3 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Monoclinic

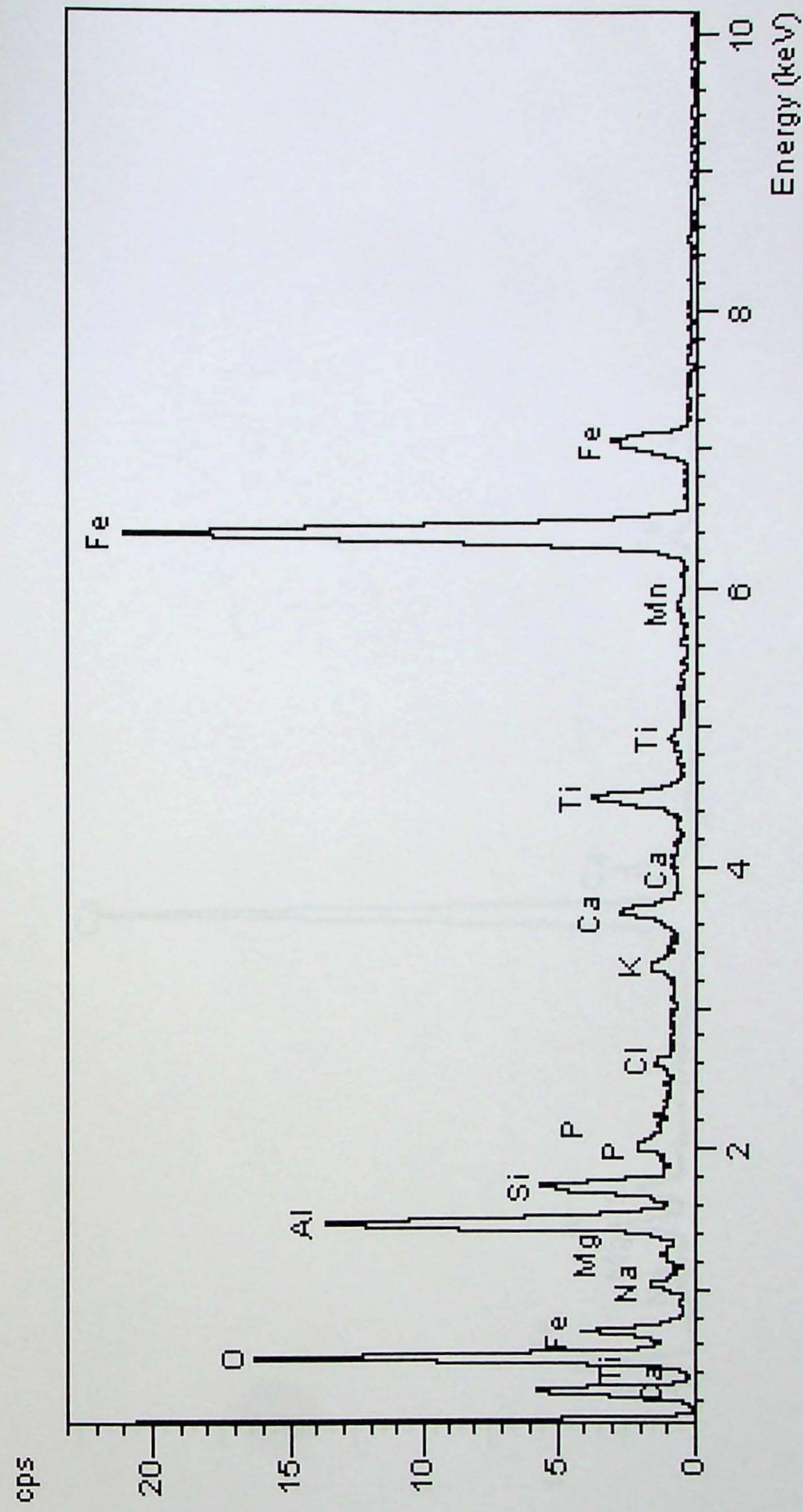
☒ 19-0932 (I) - Microcline, intermediate - KAlSi3O8 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54

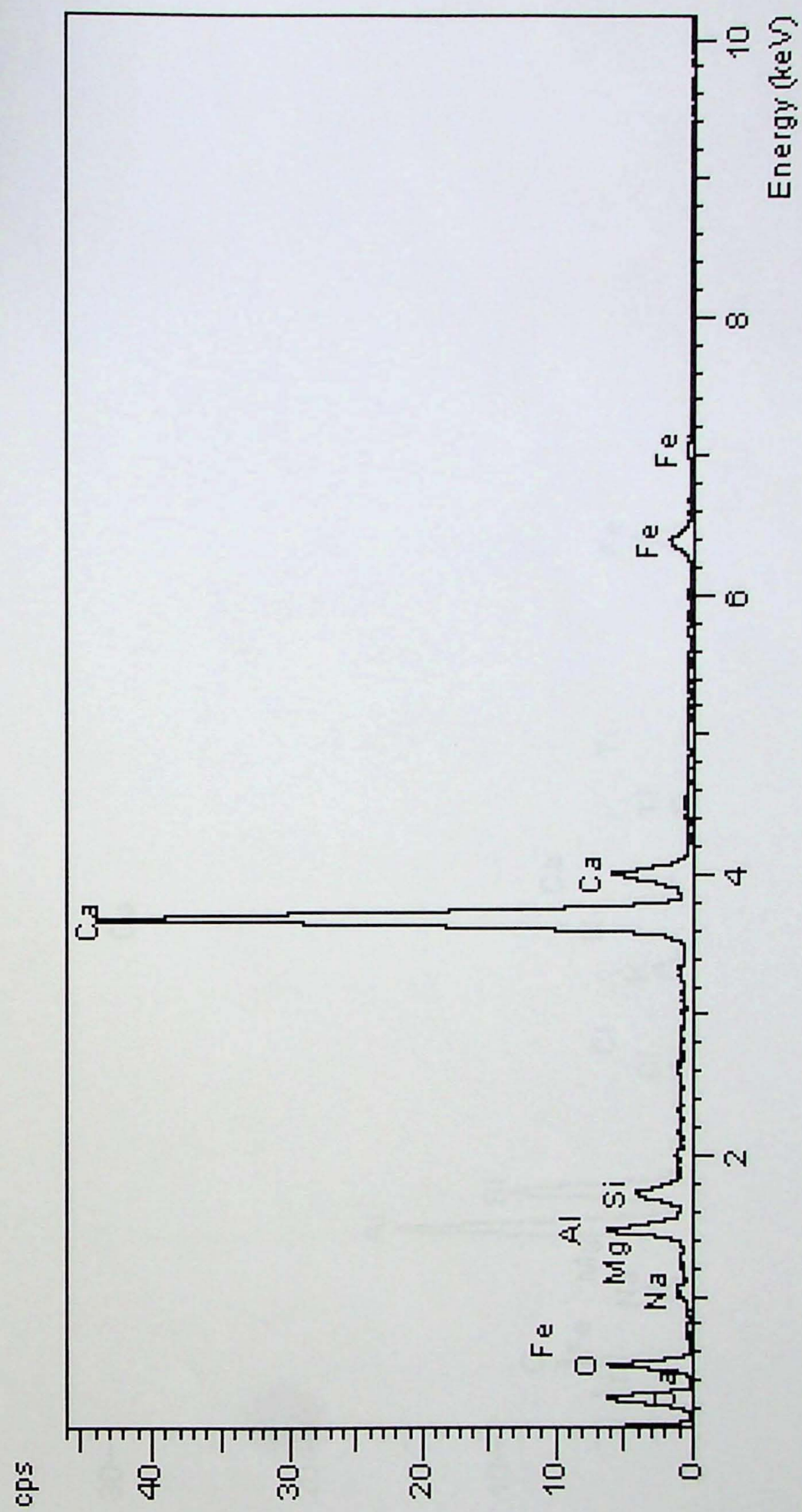
☒ 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Hexagonal

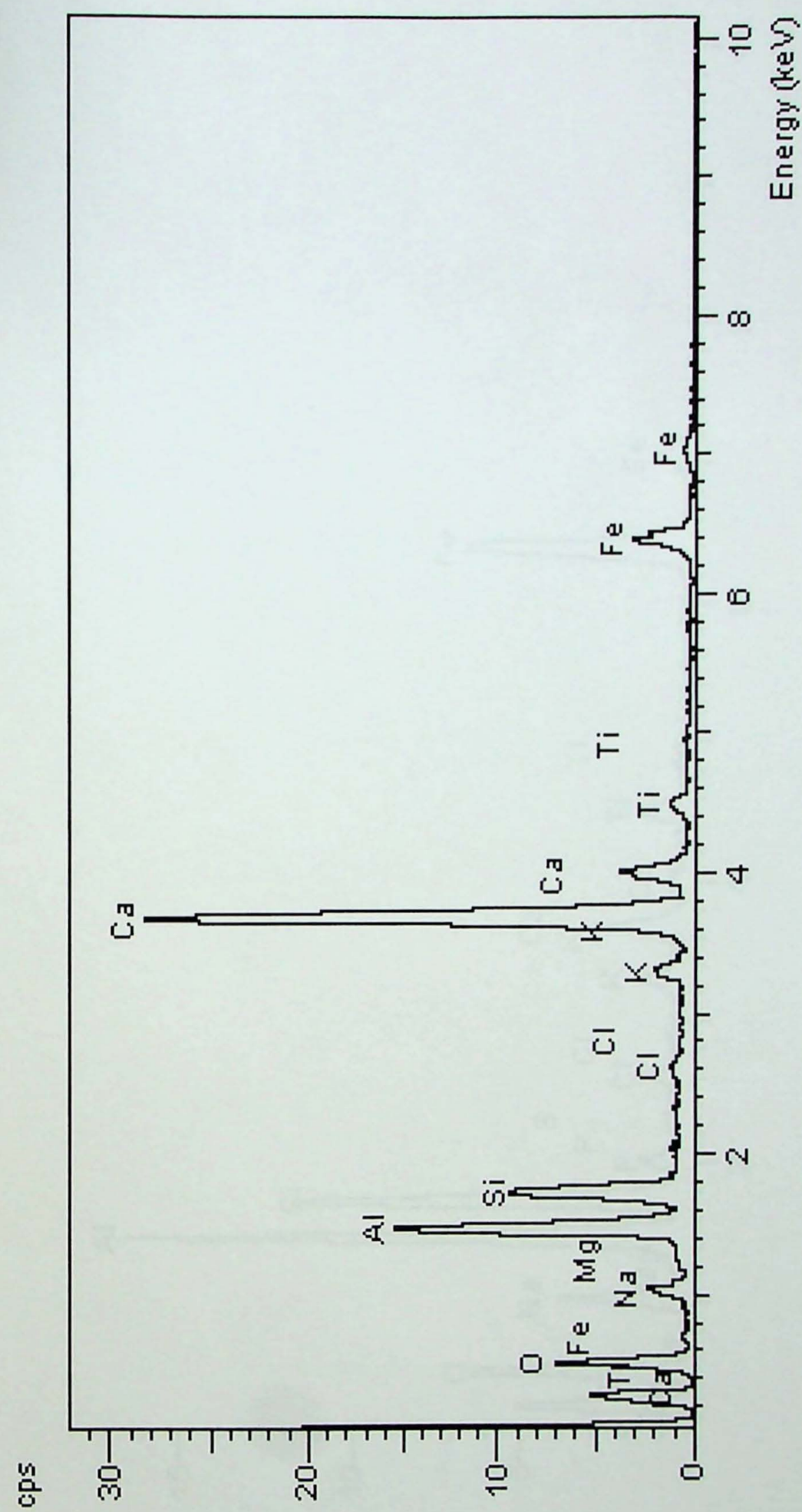
ANEXOS
EDS (LAMA
VERMELHA) -
GRÁFICOS

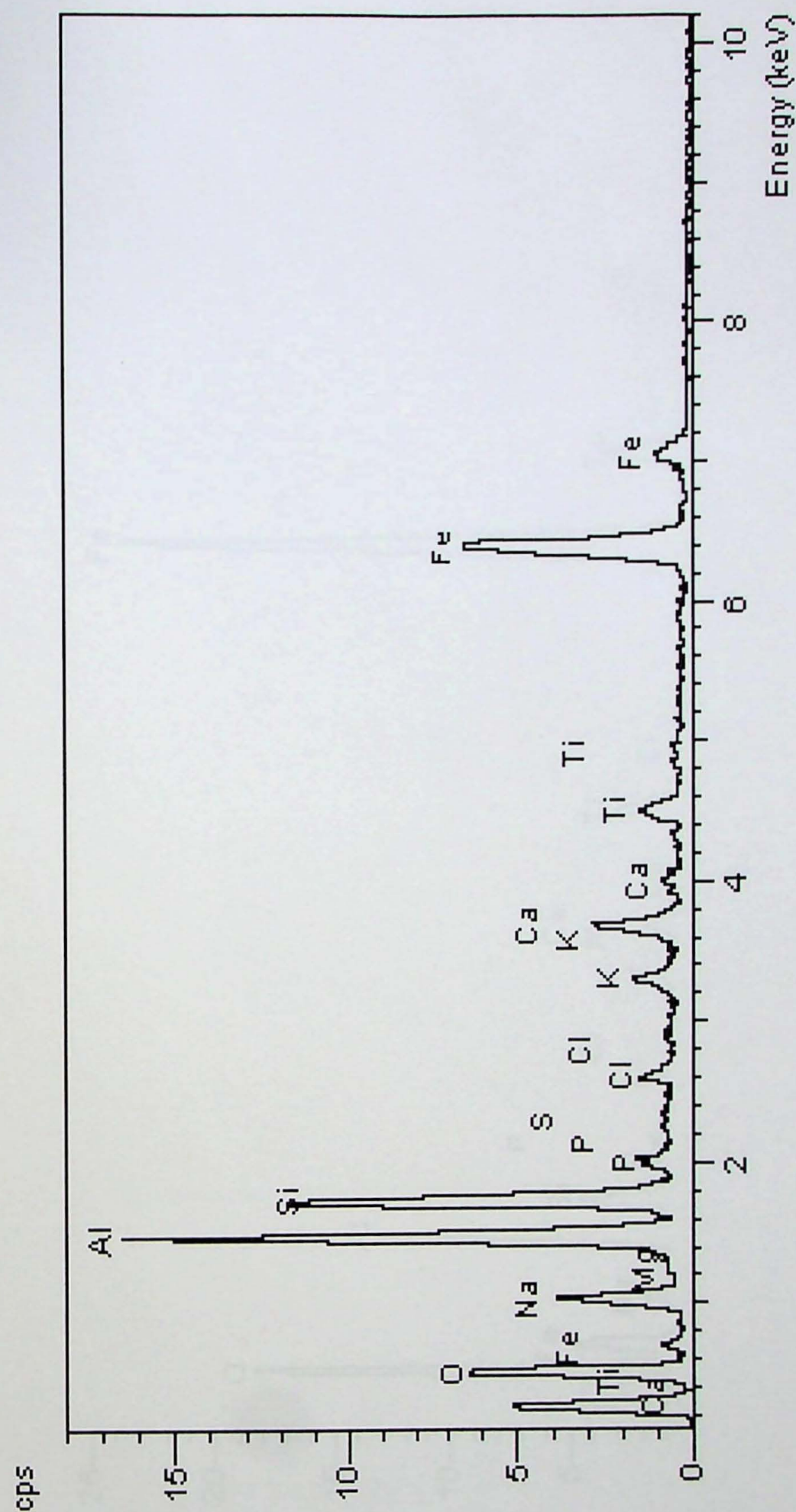


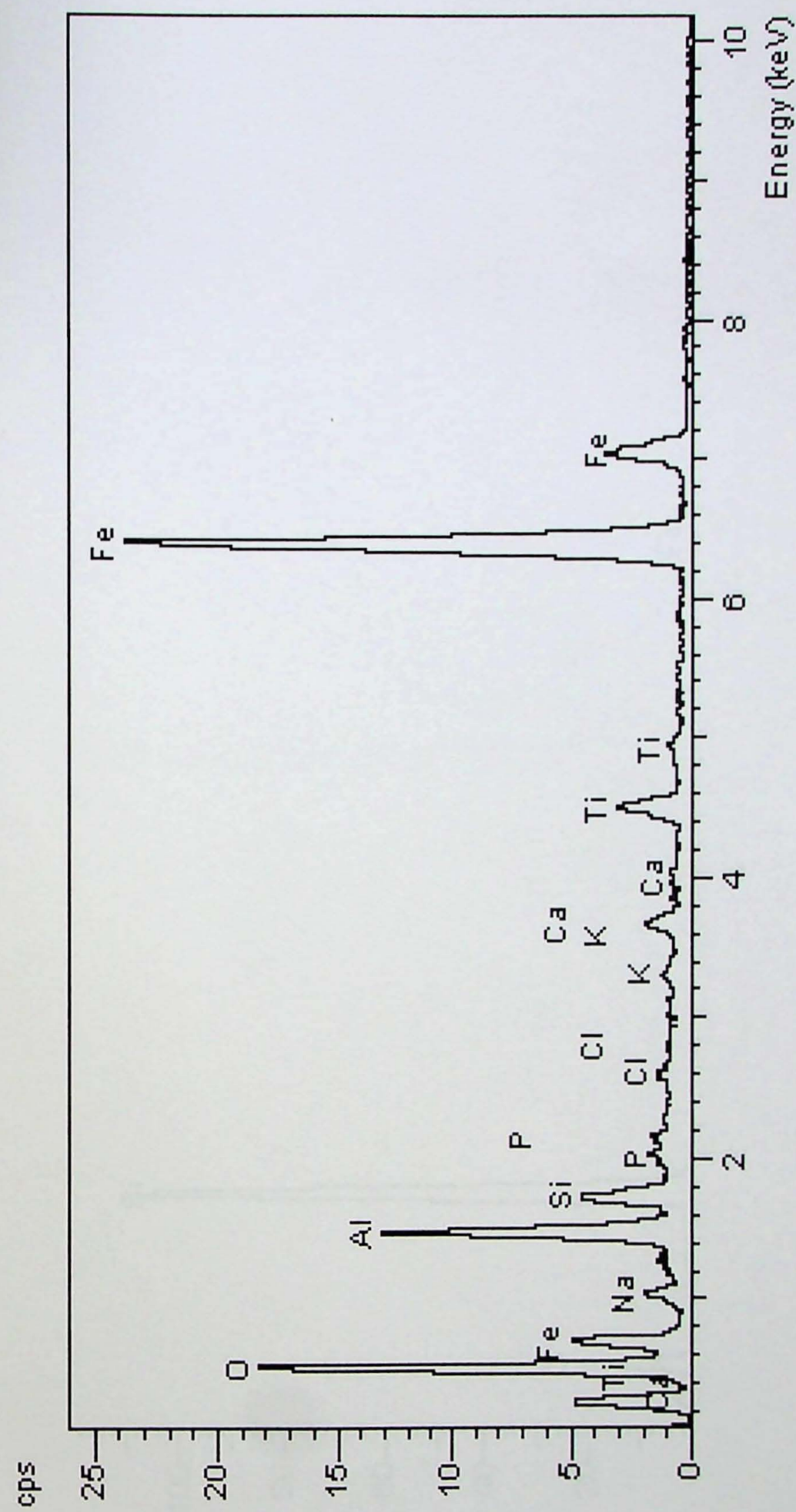


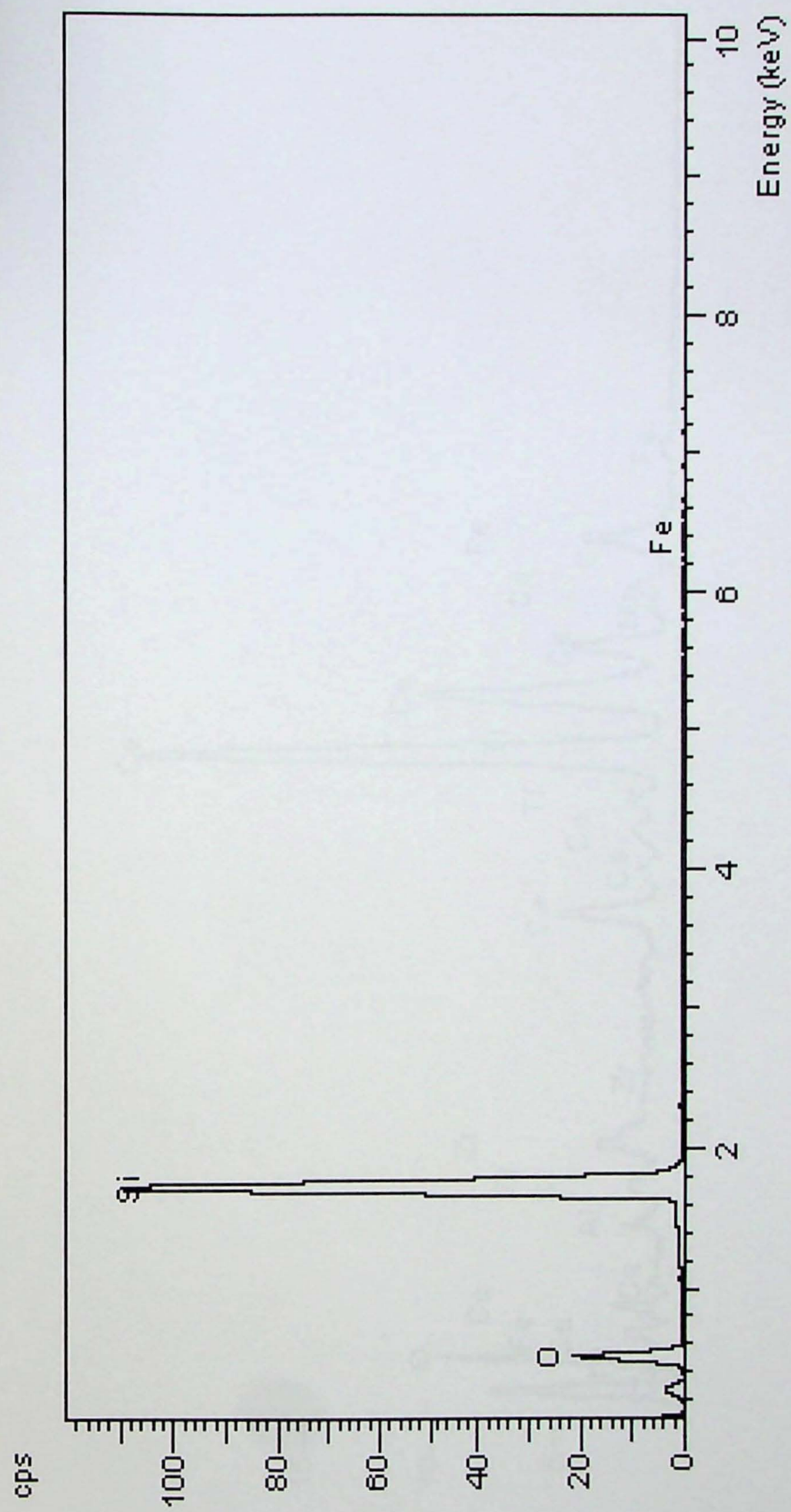


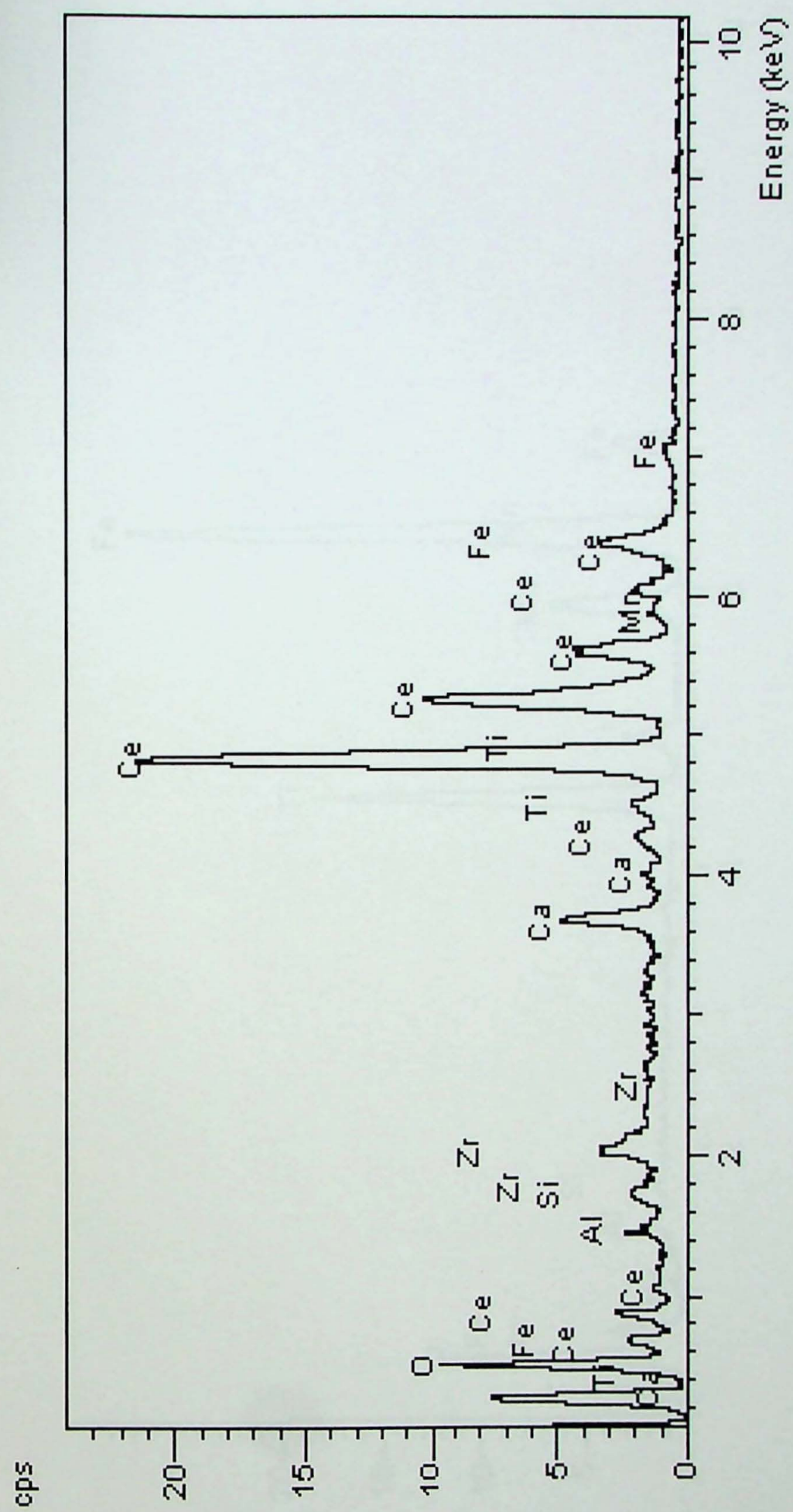


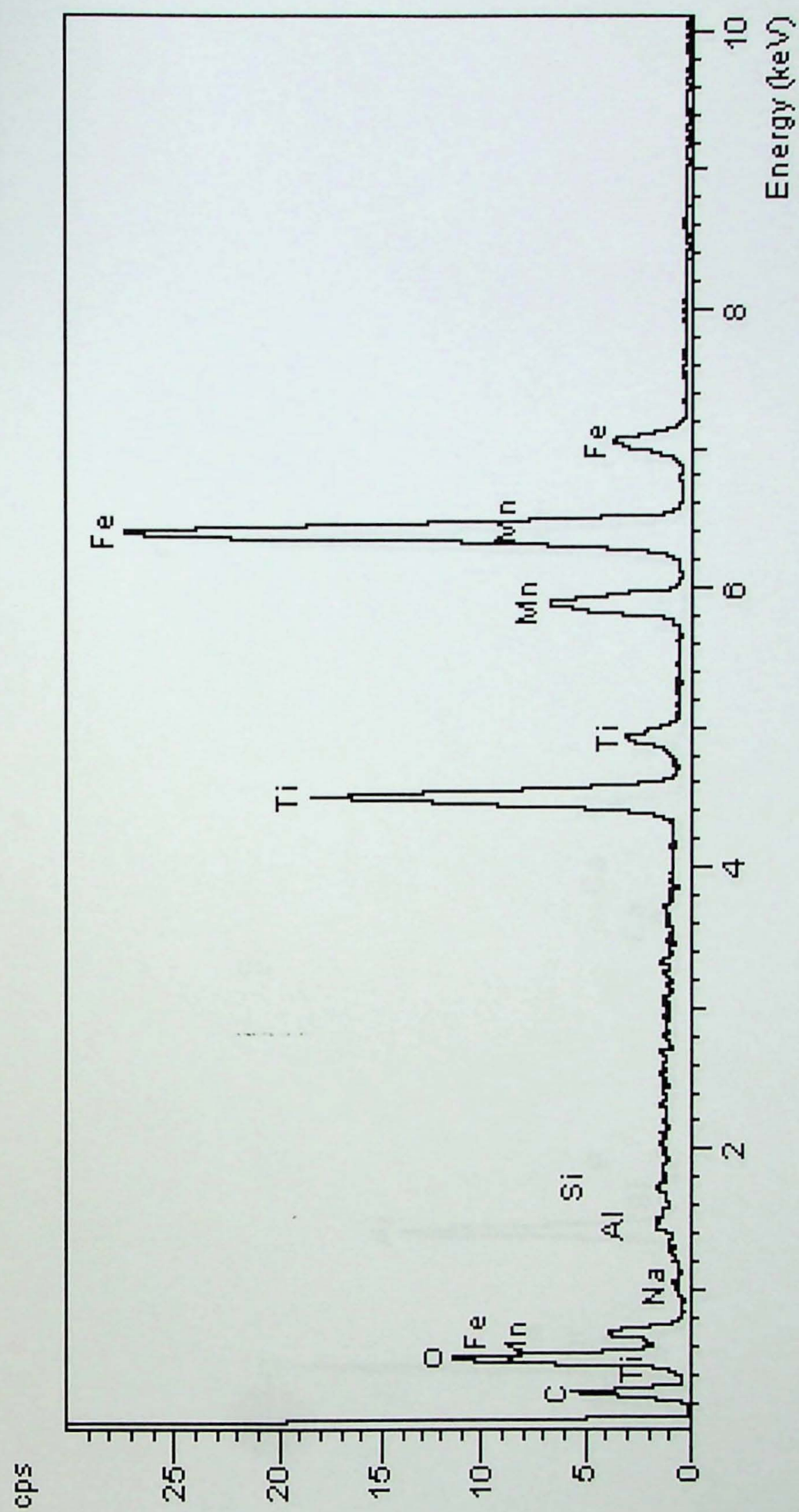


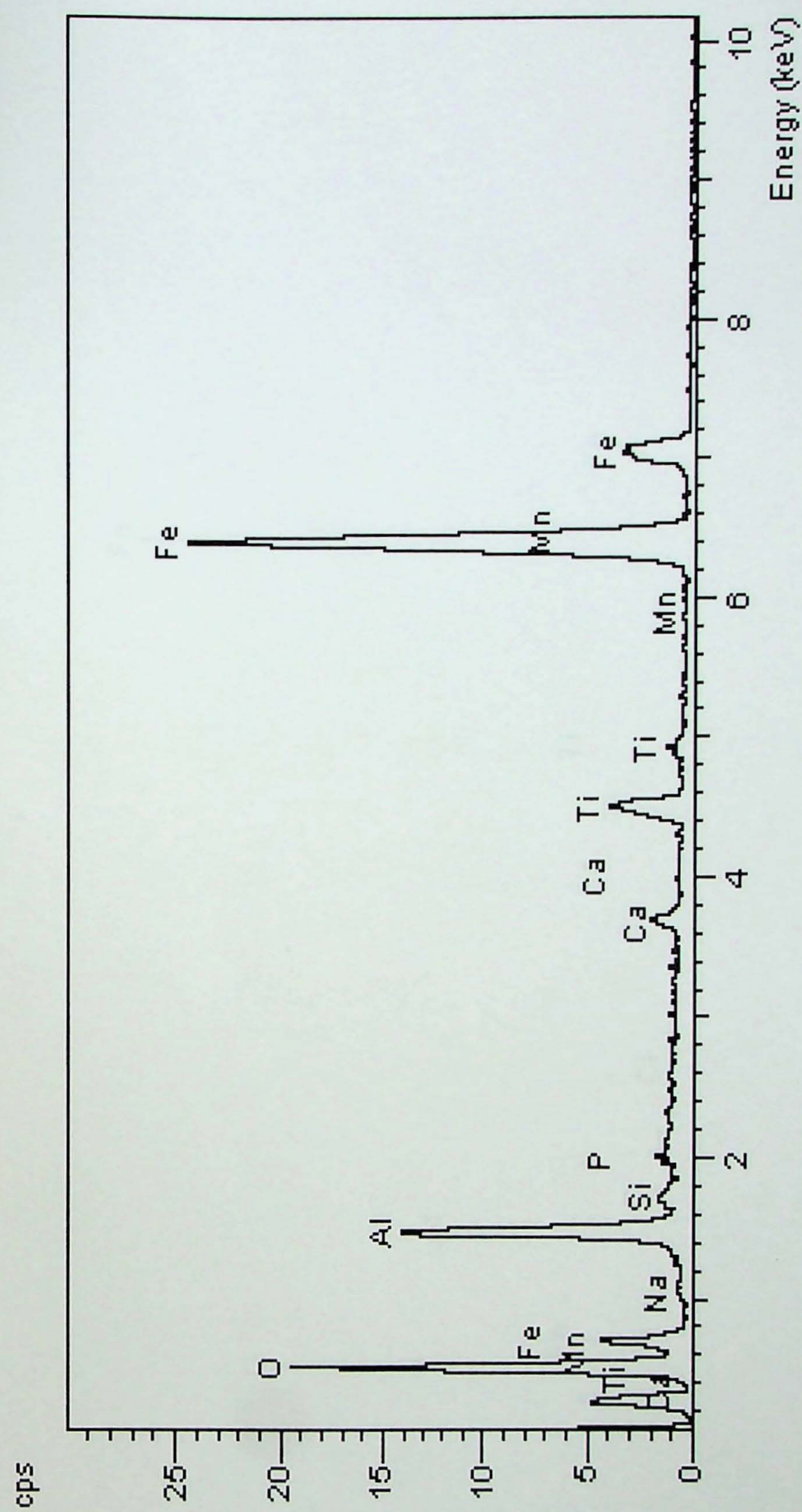


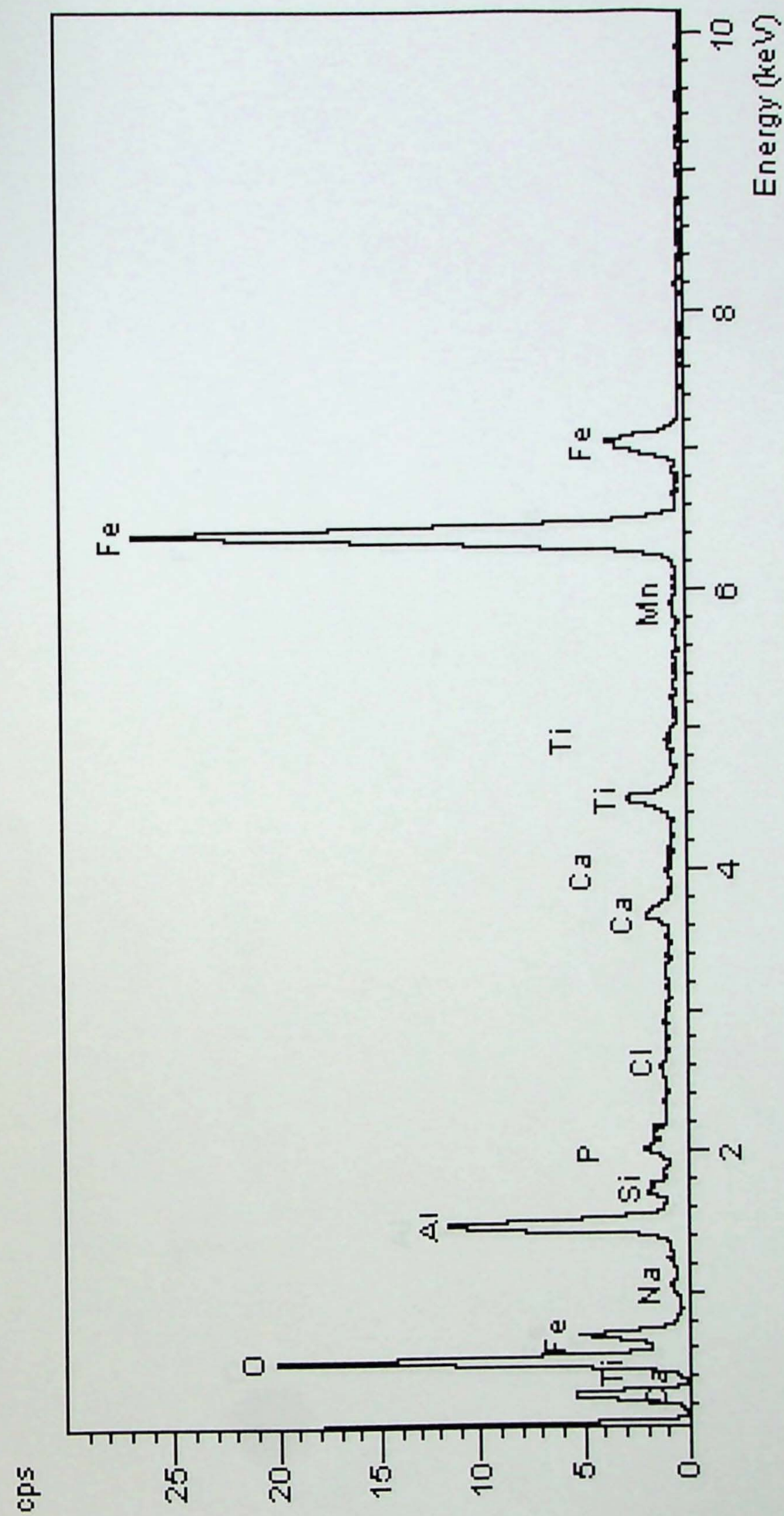


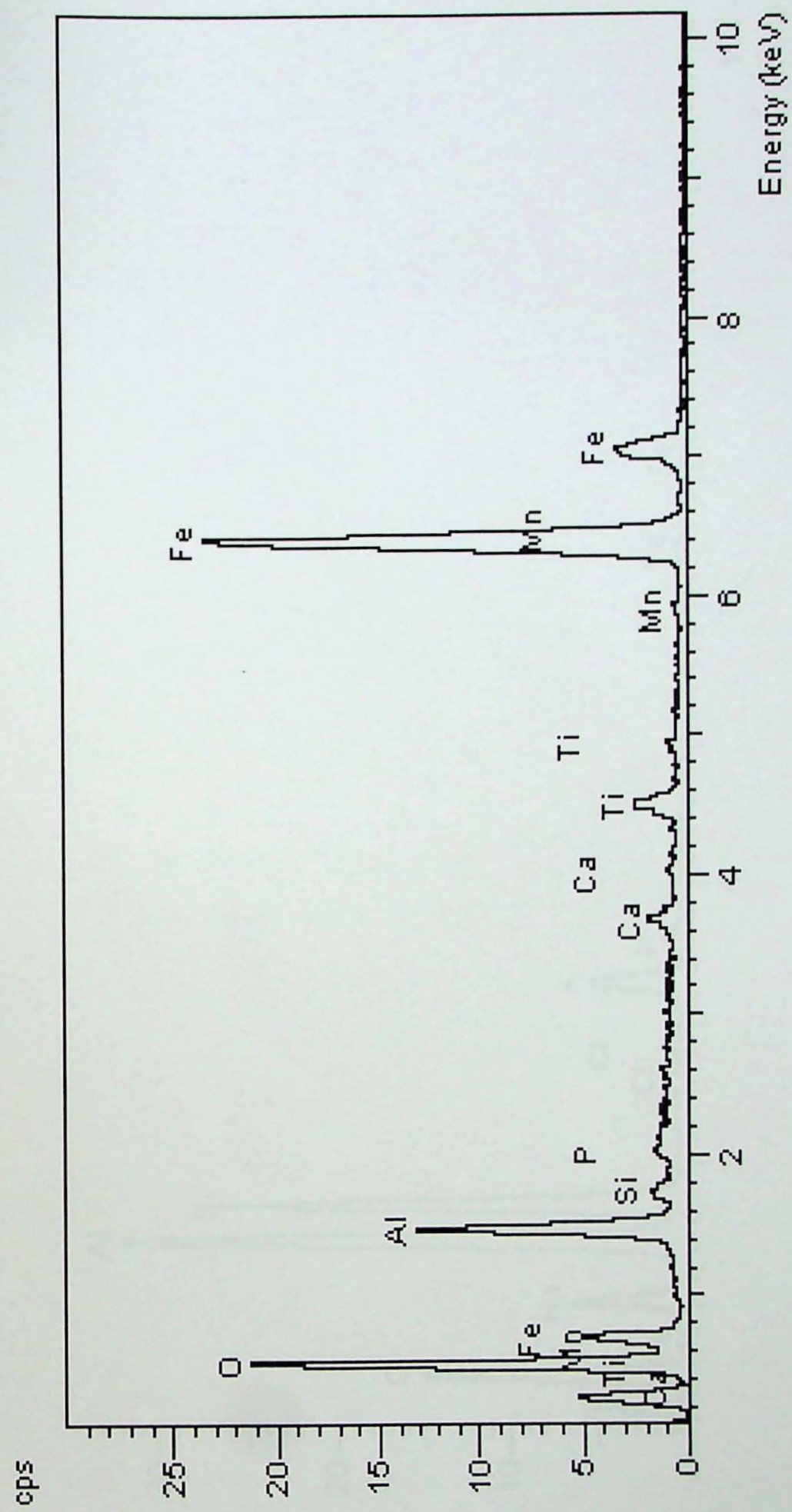


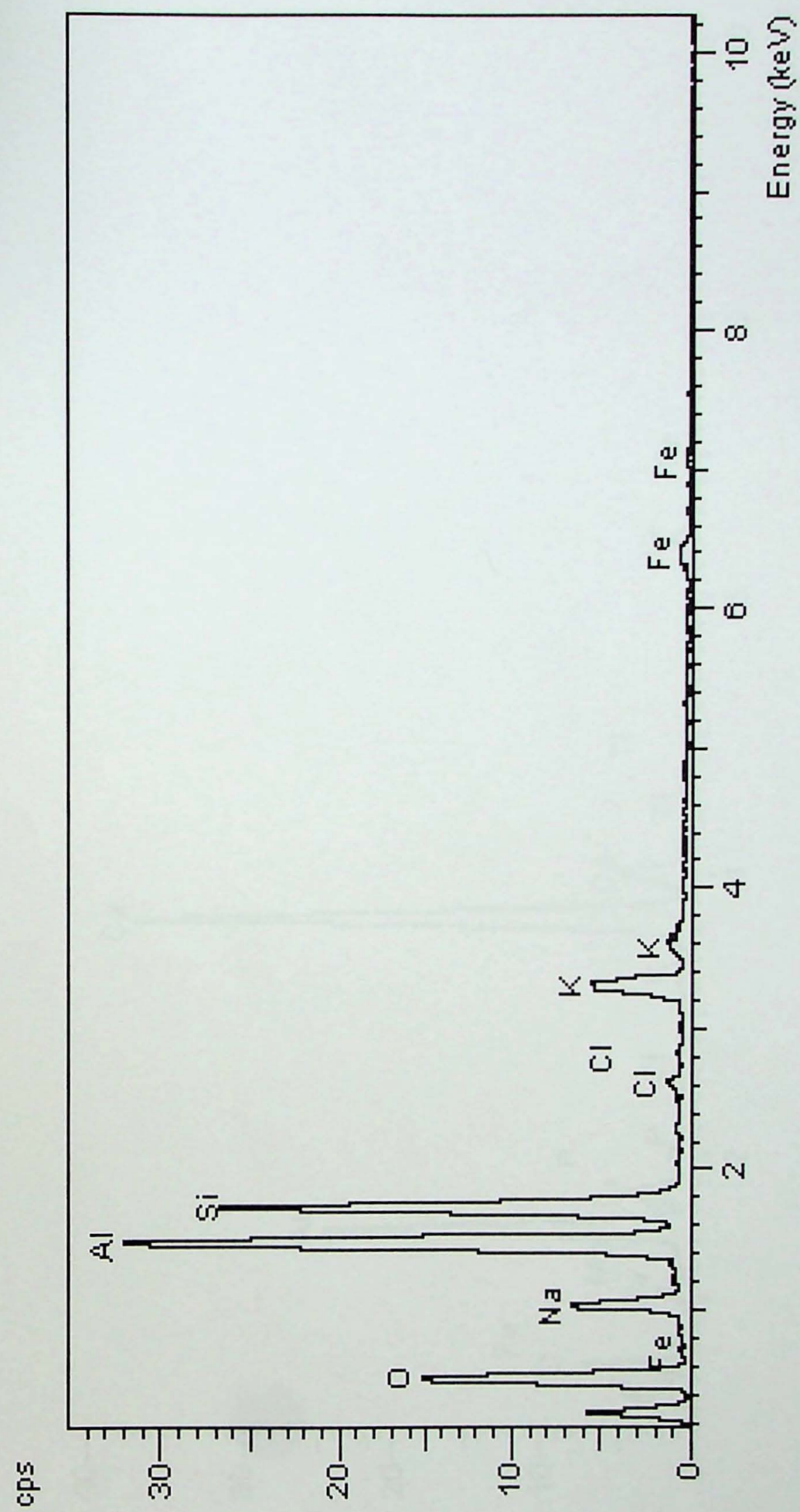


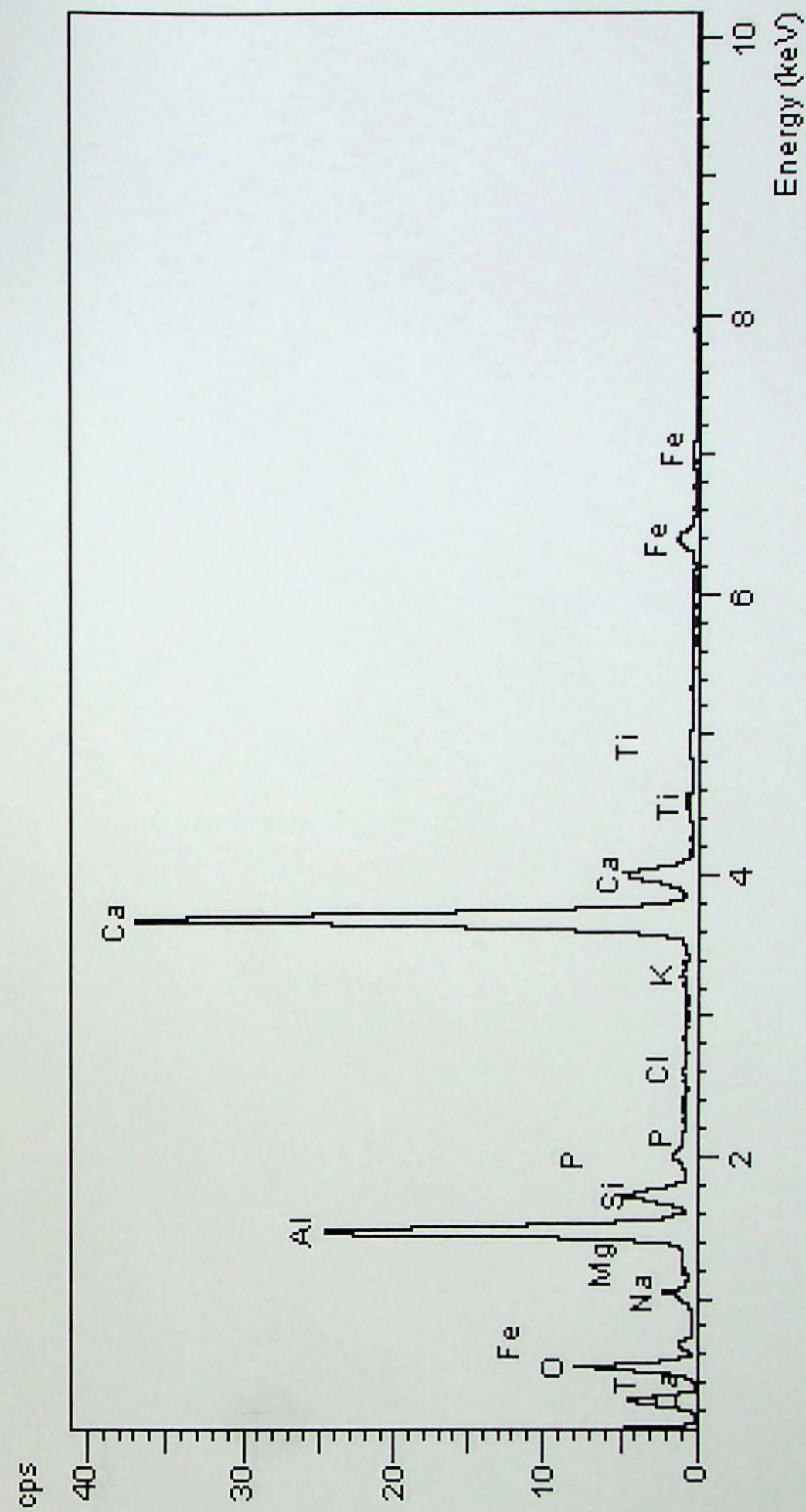


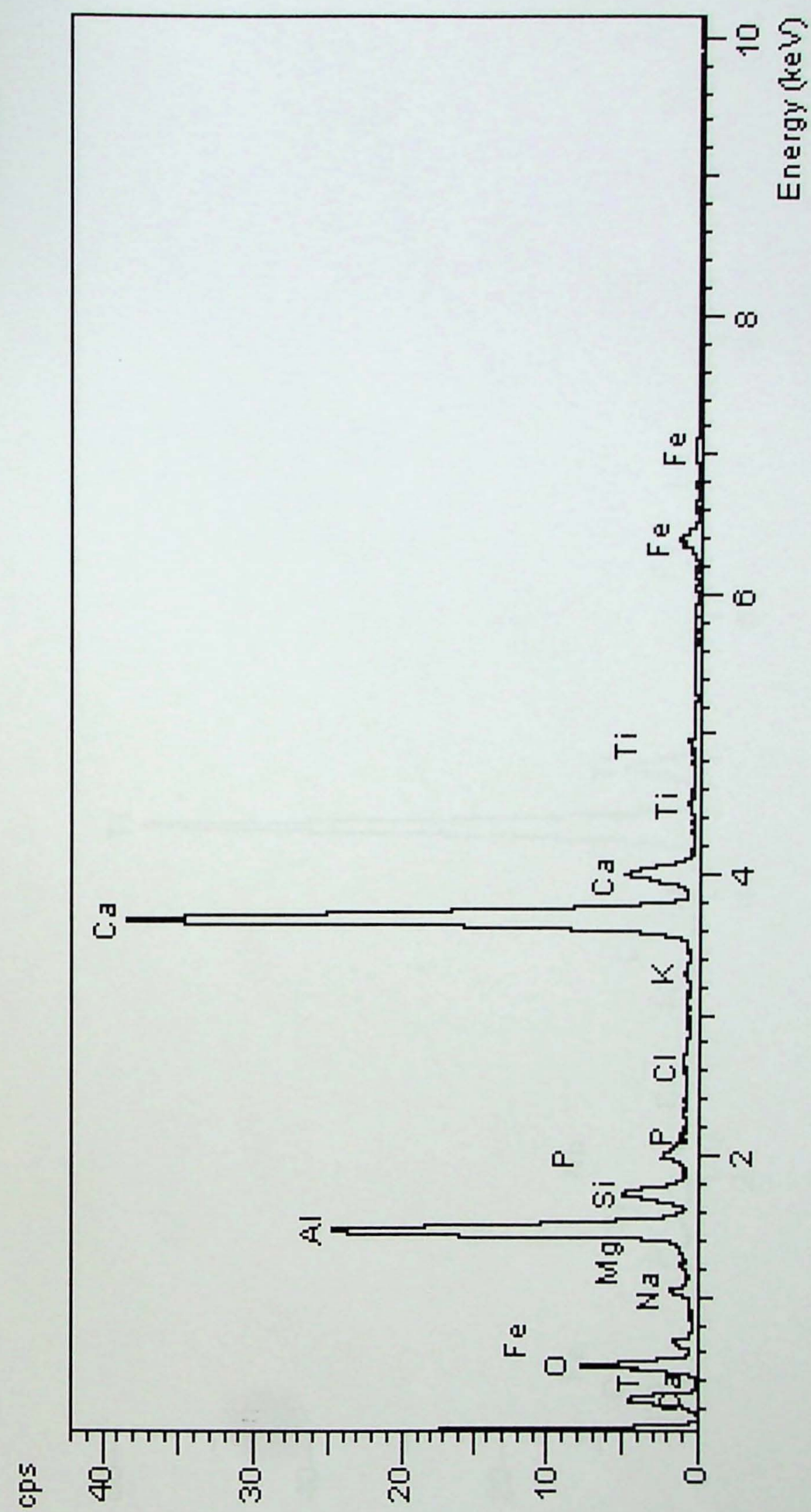


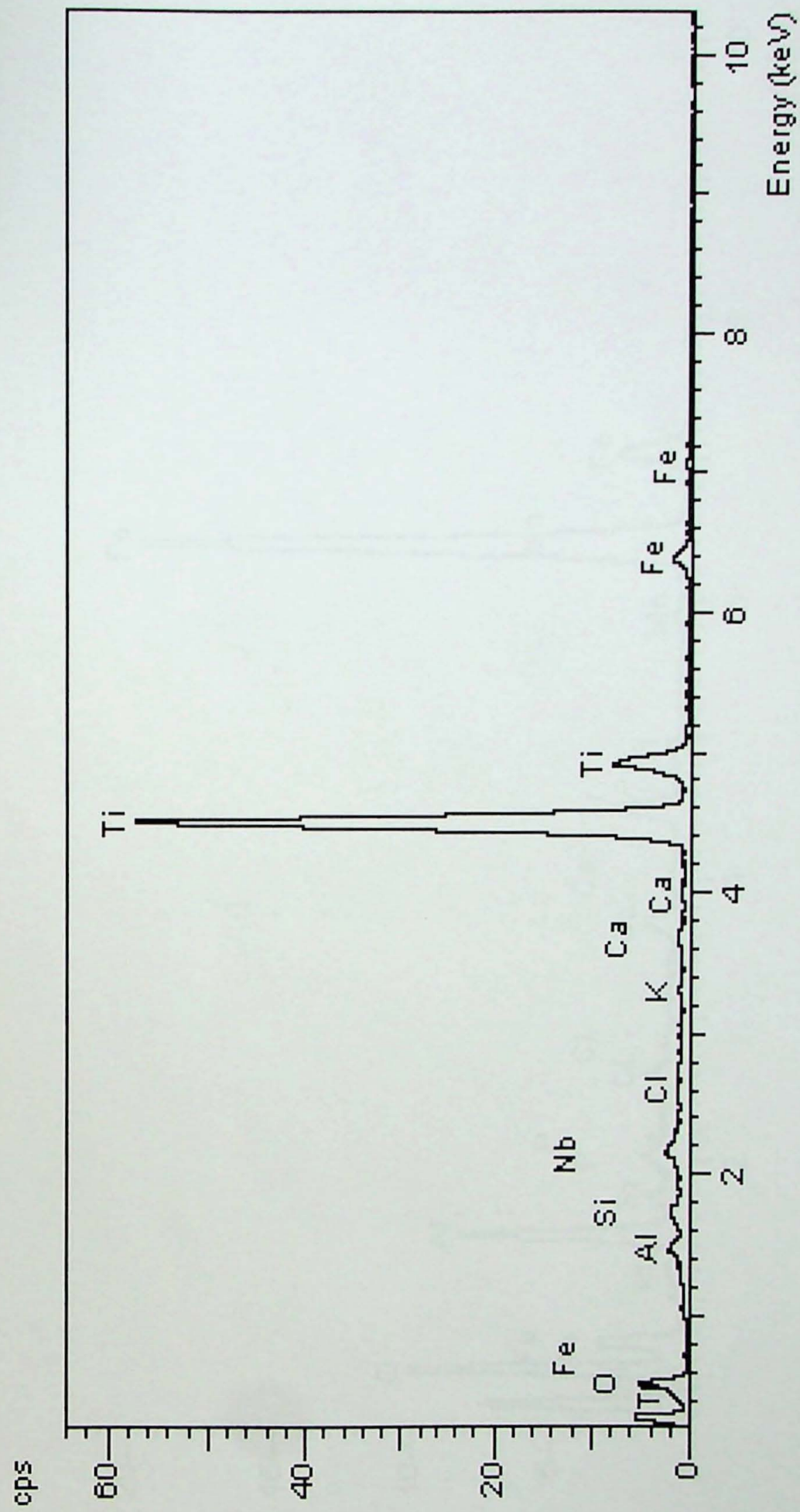


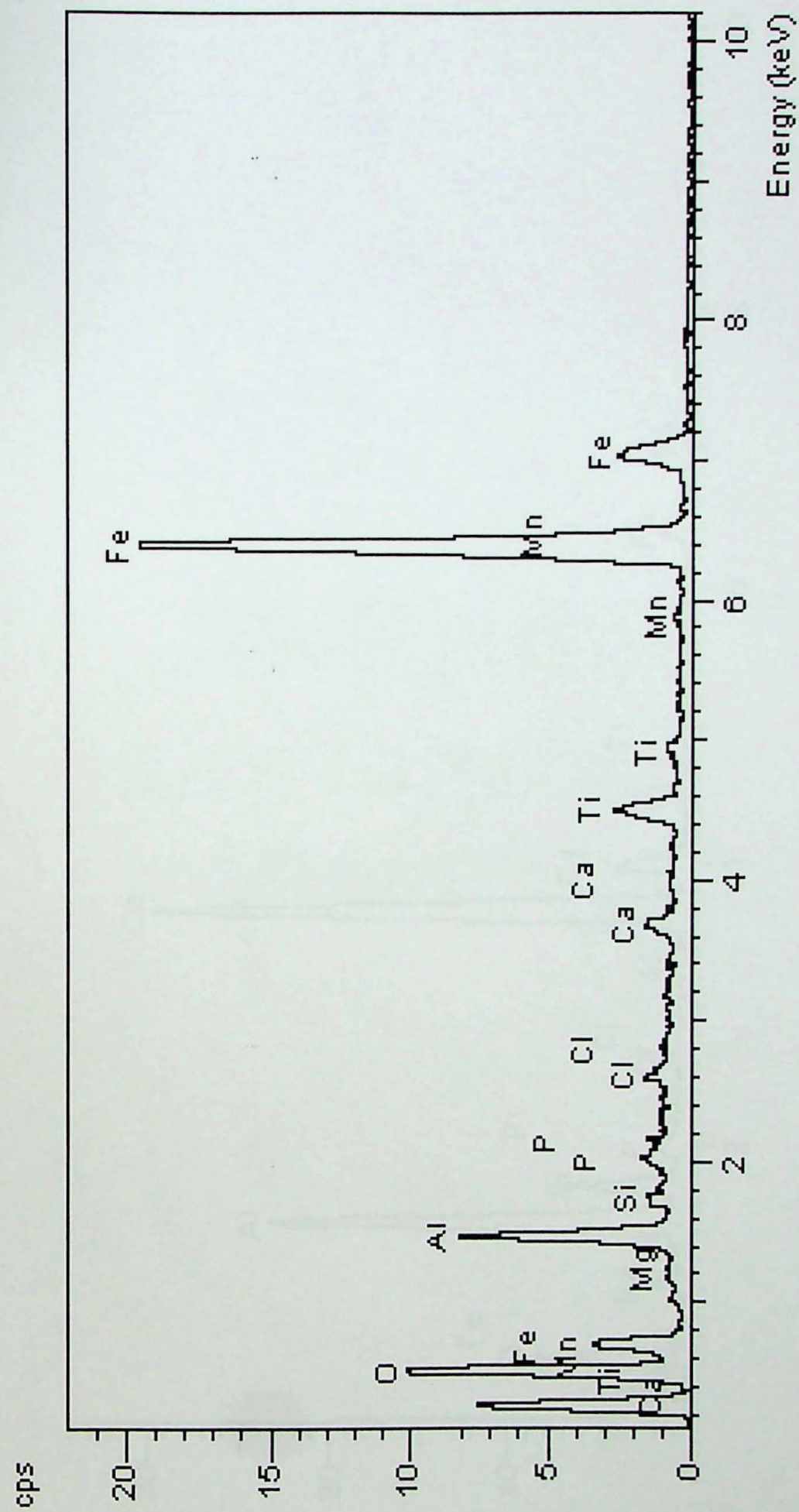


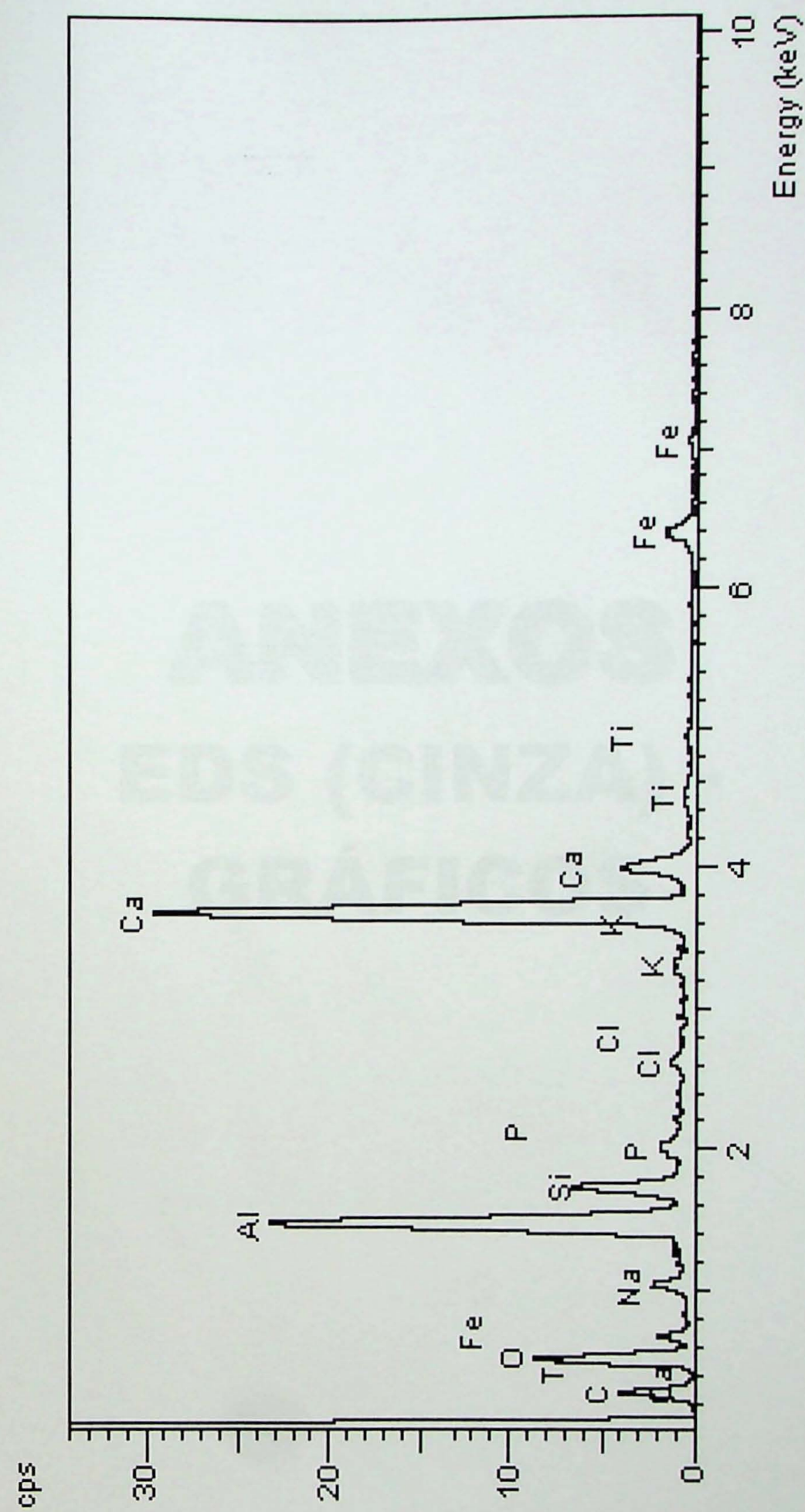








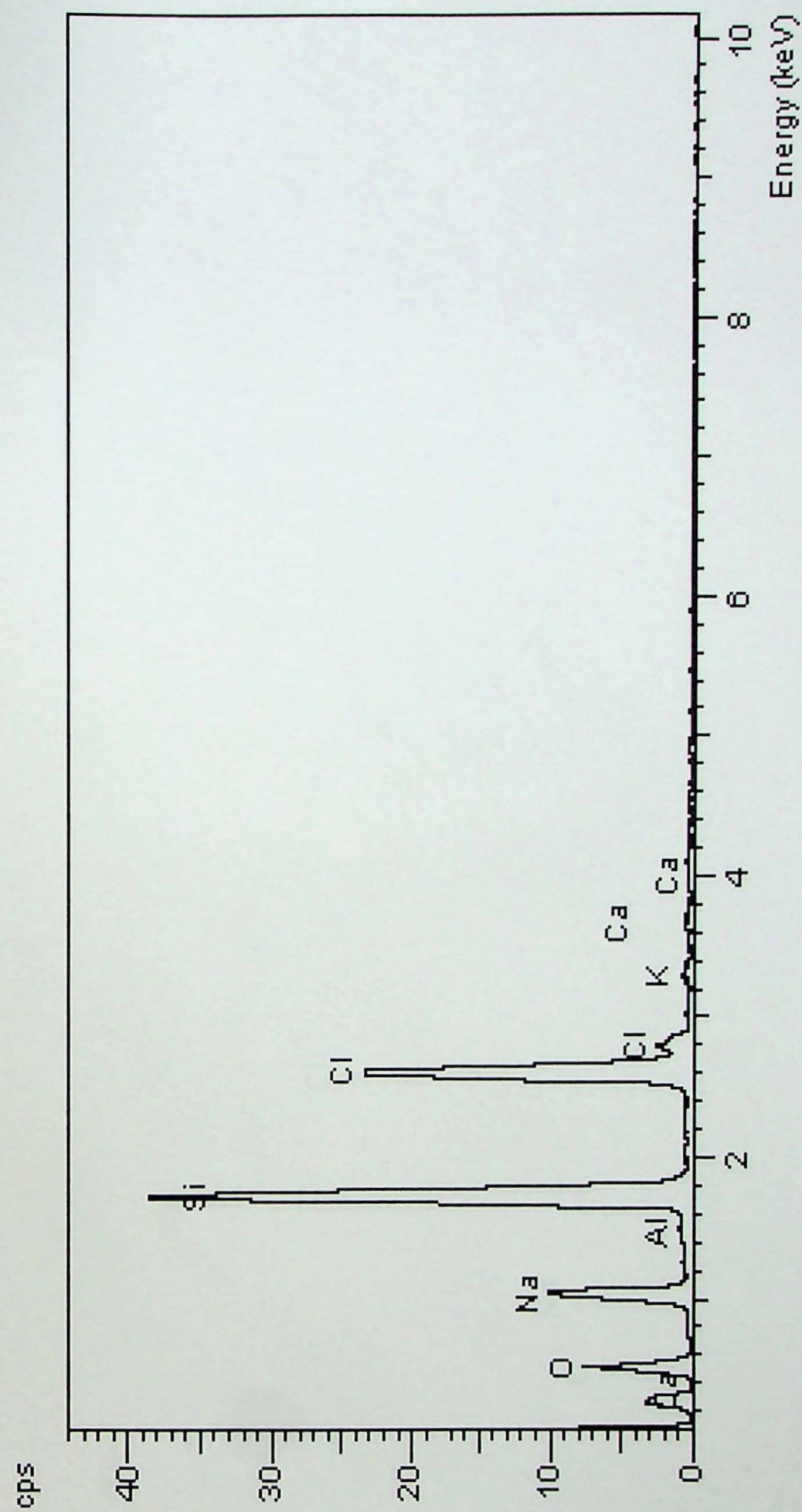


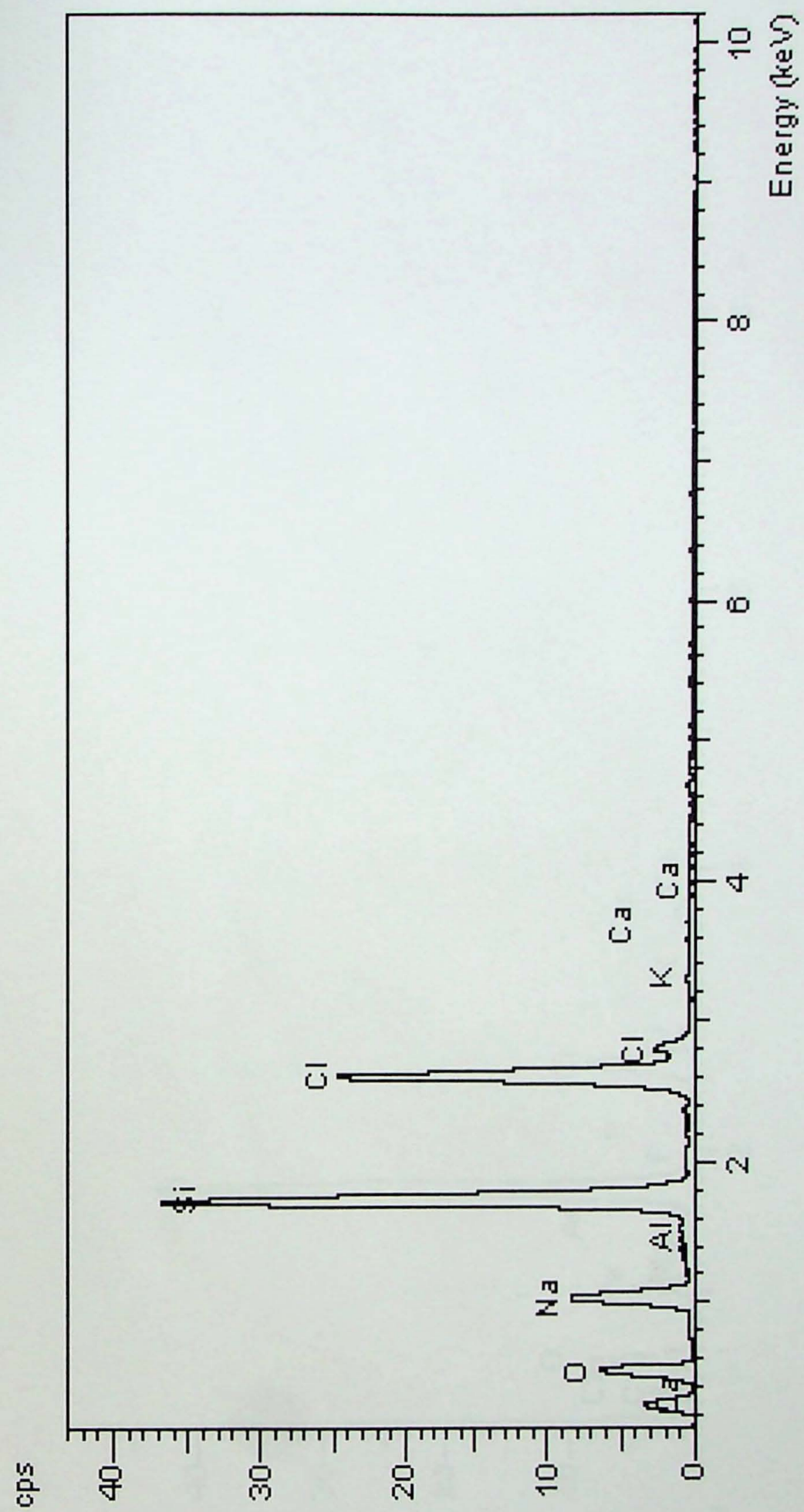


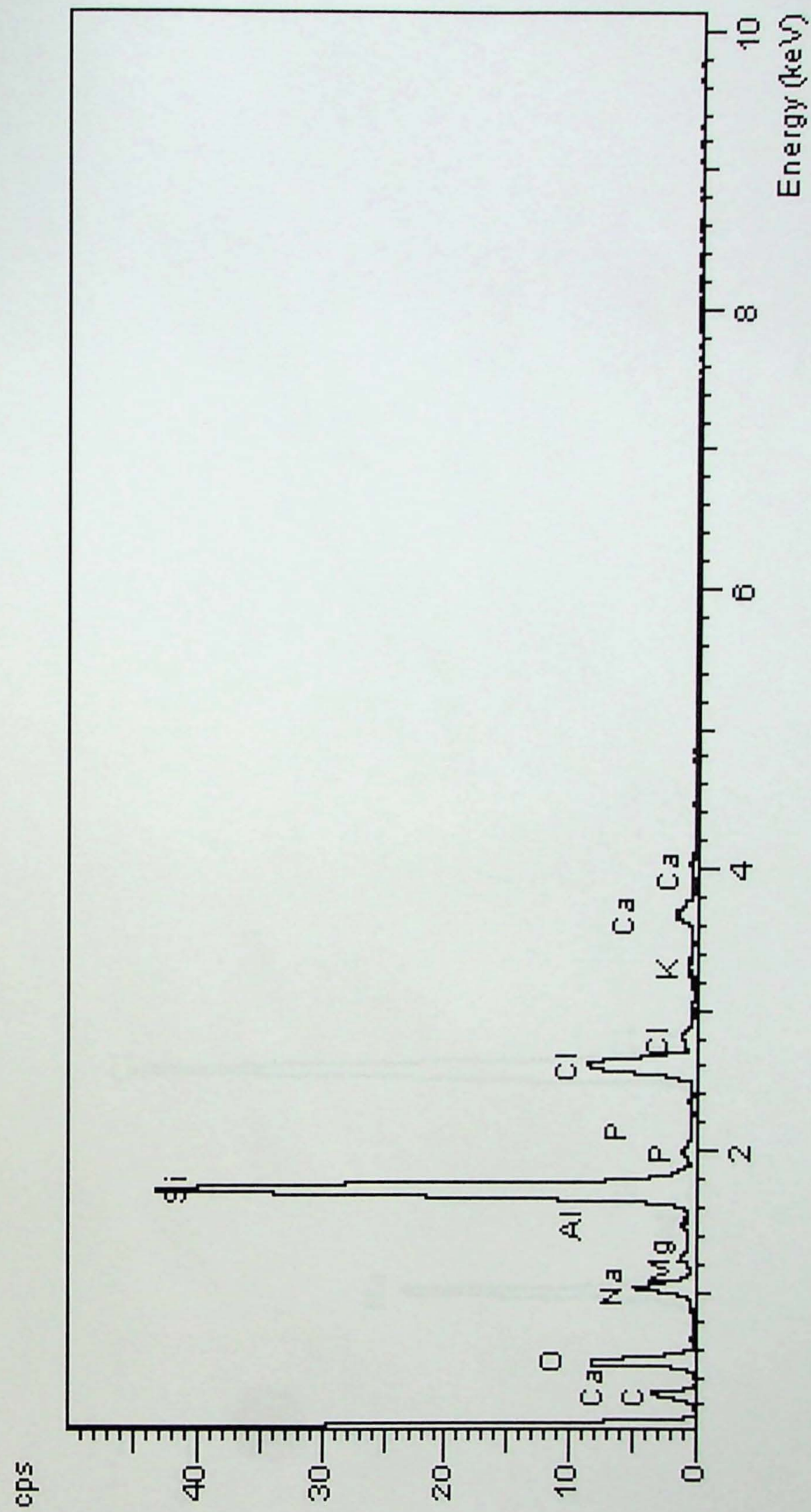
ANEXOS

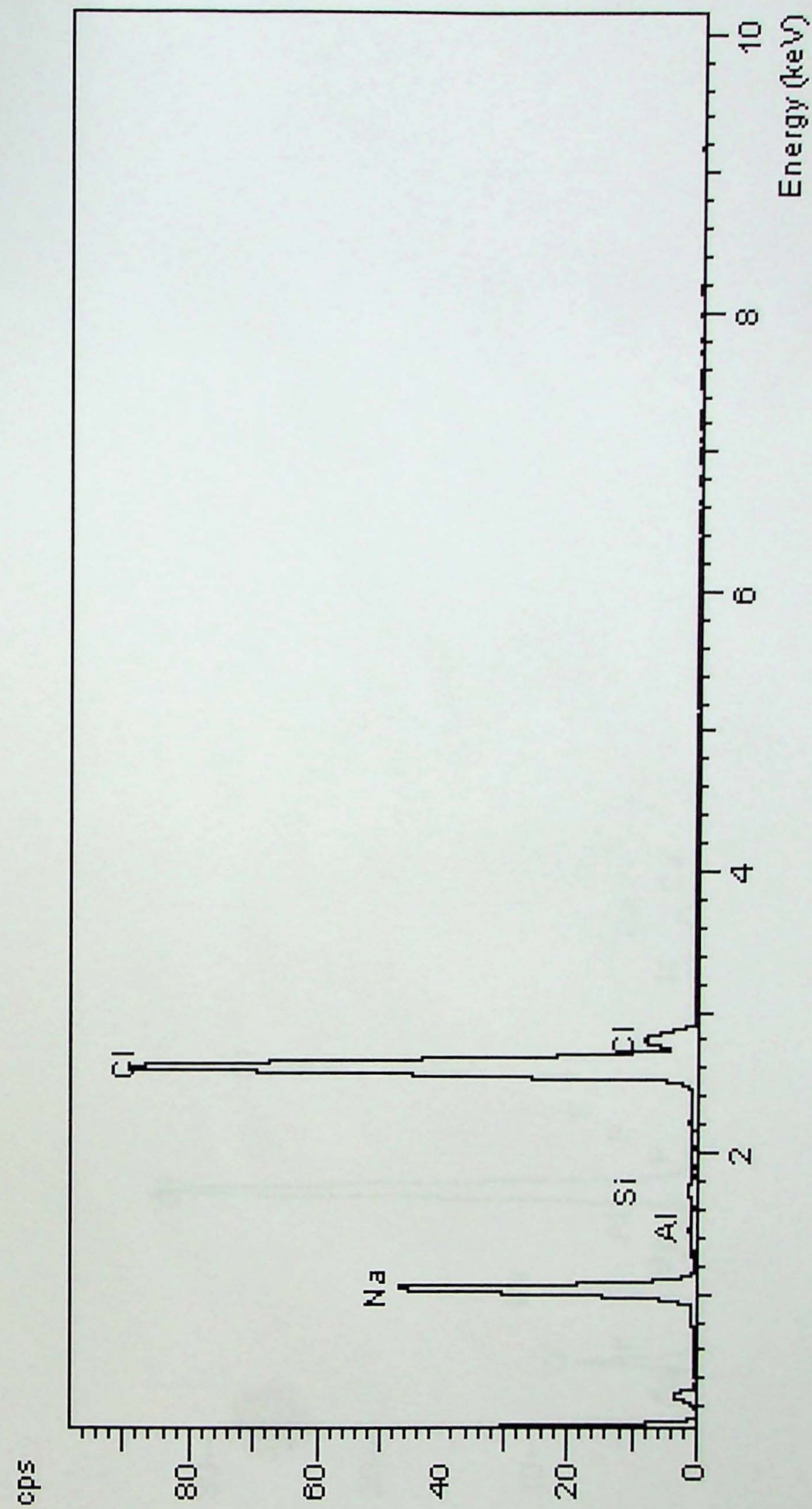
EDS (CINZA) -

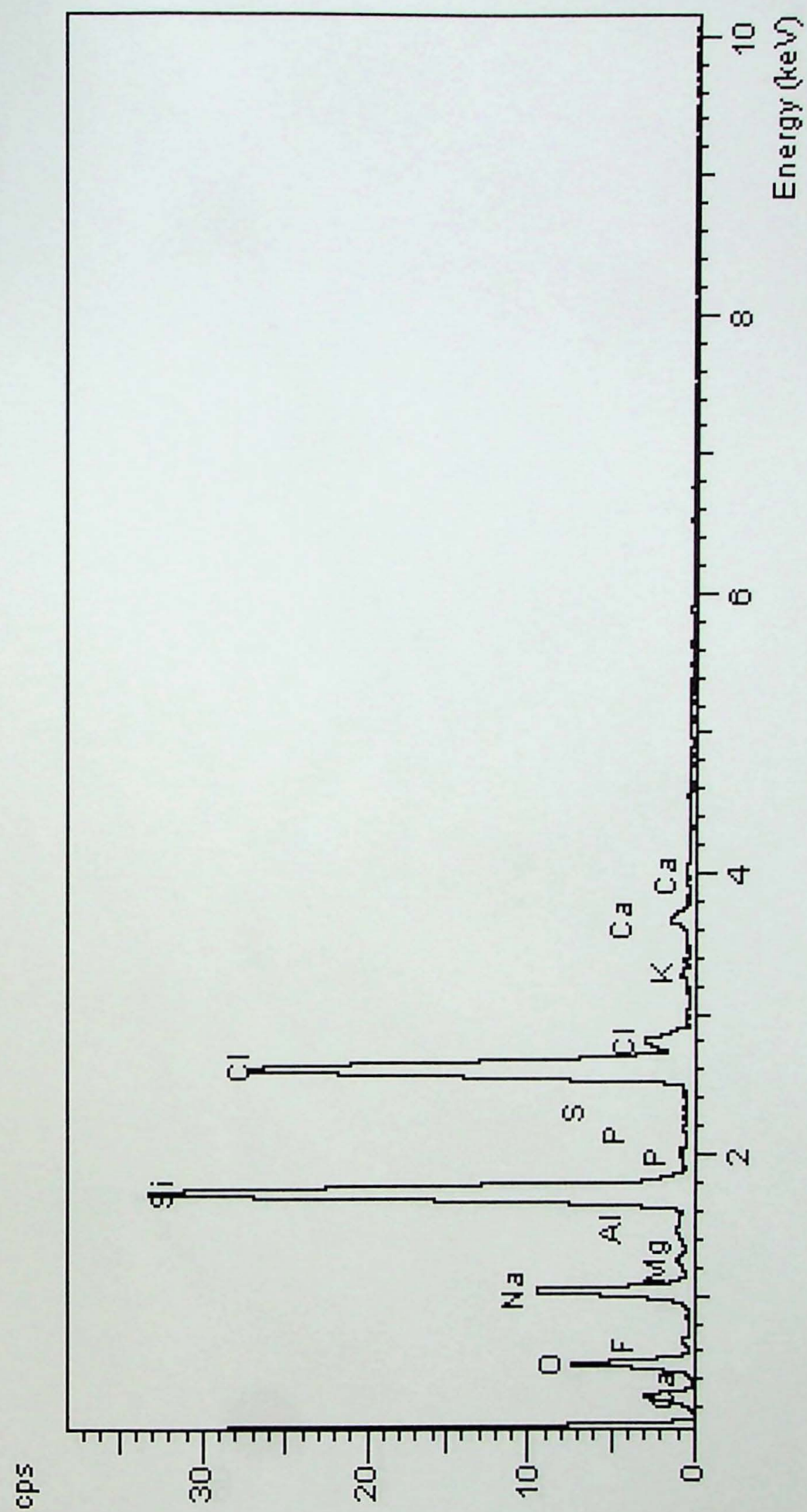
GRÁFICOS

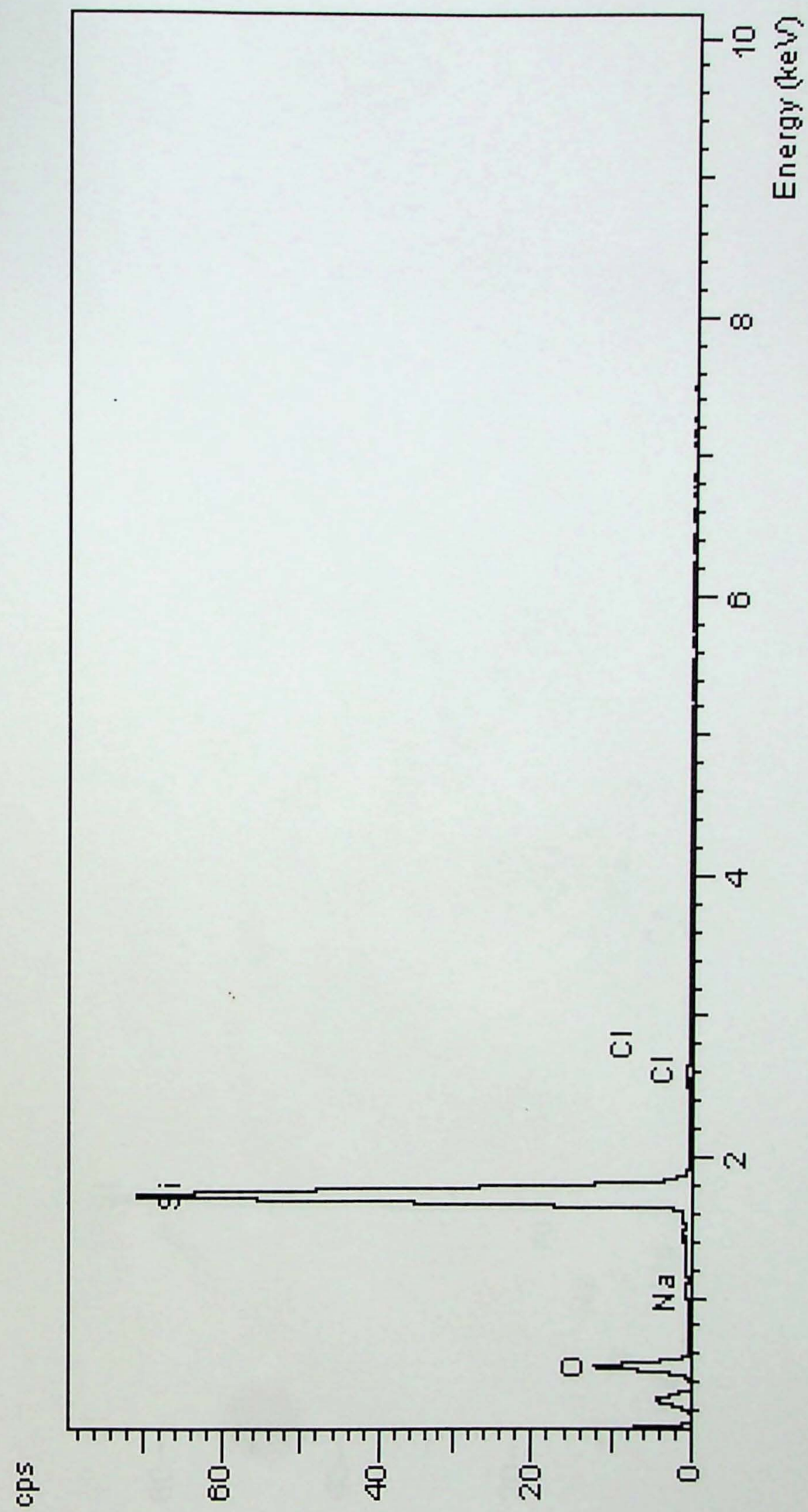


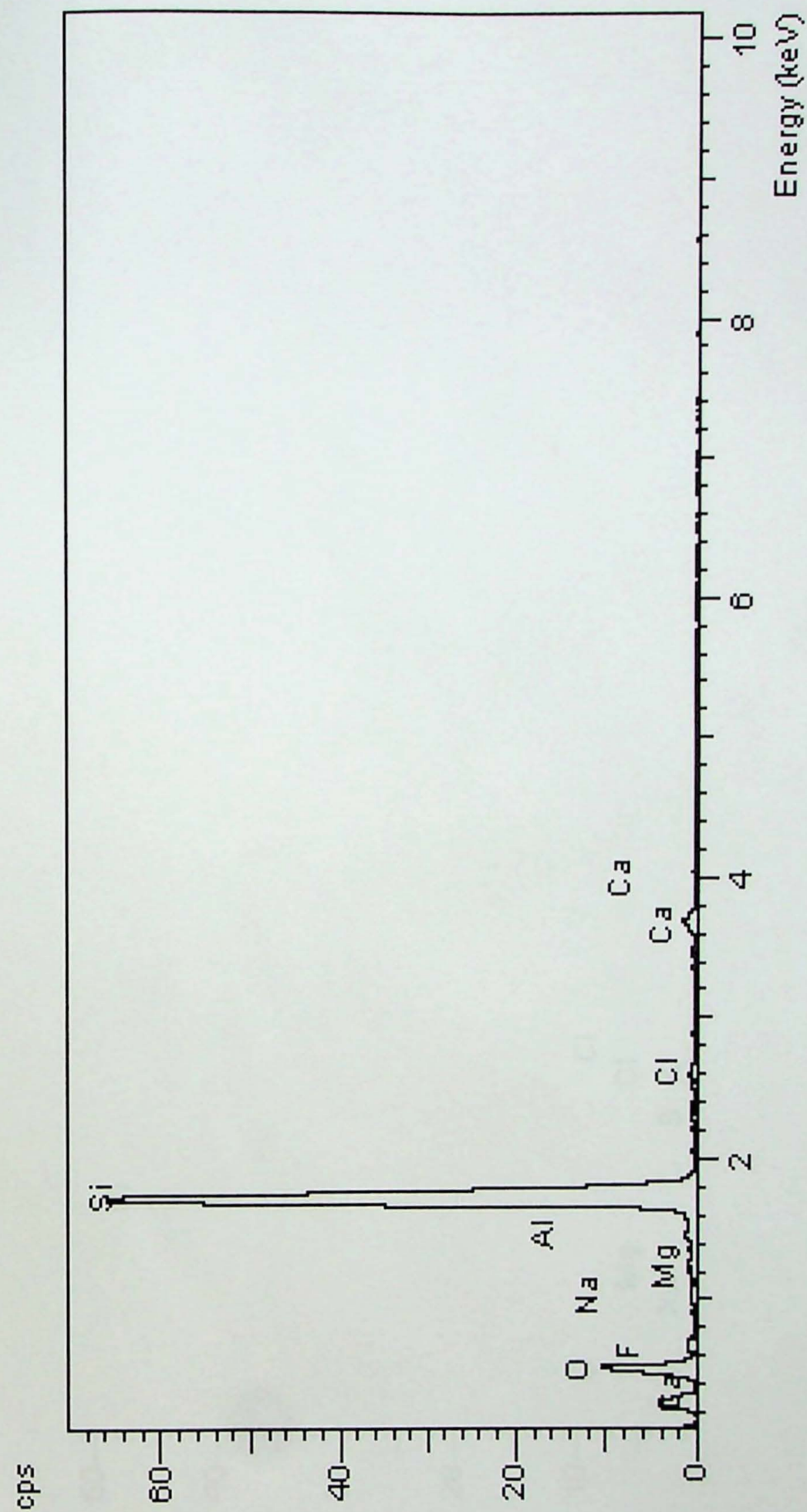


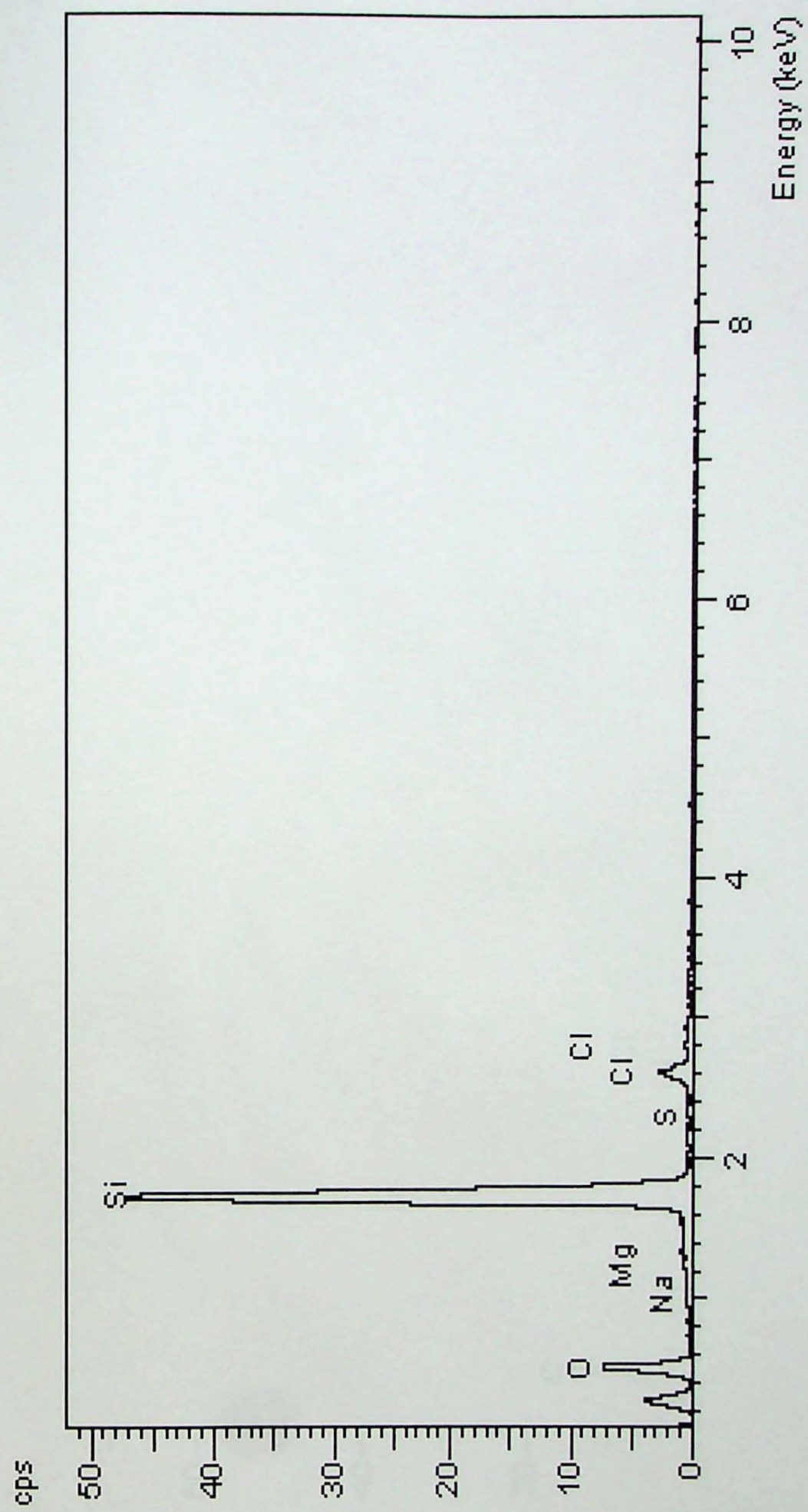


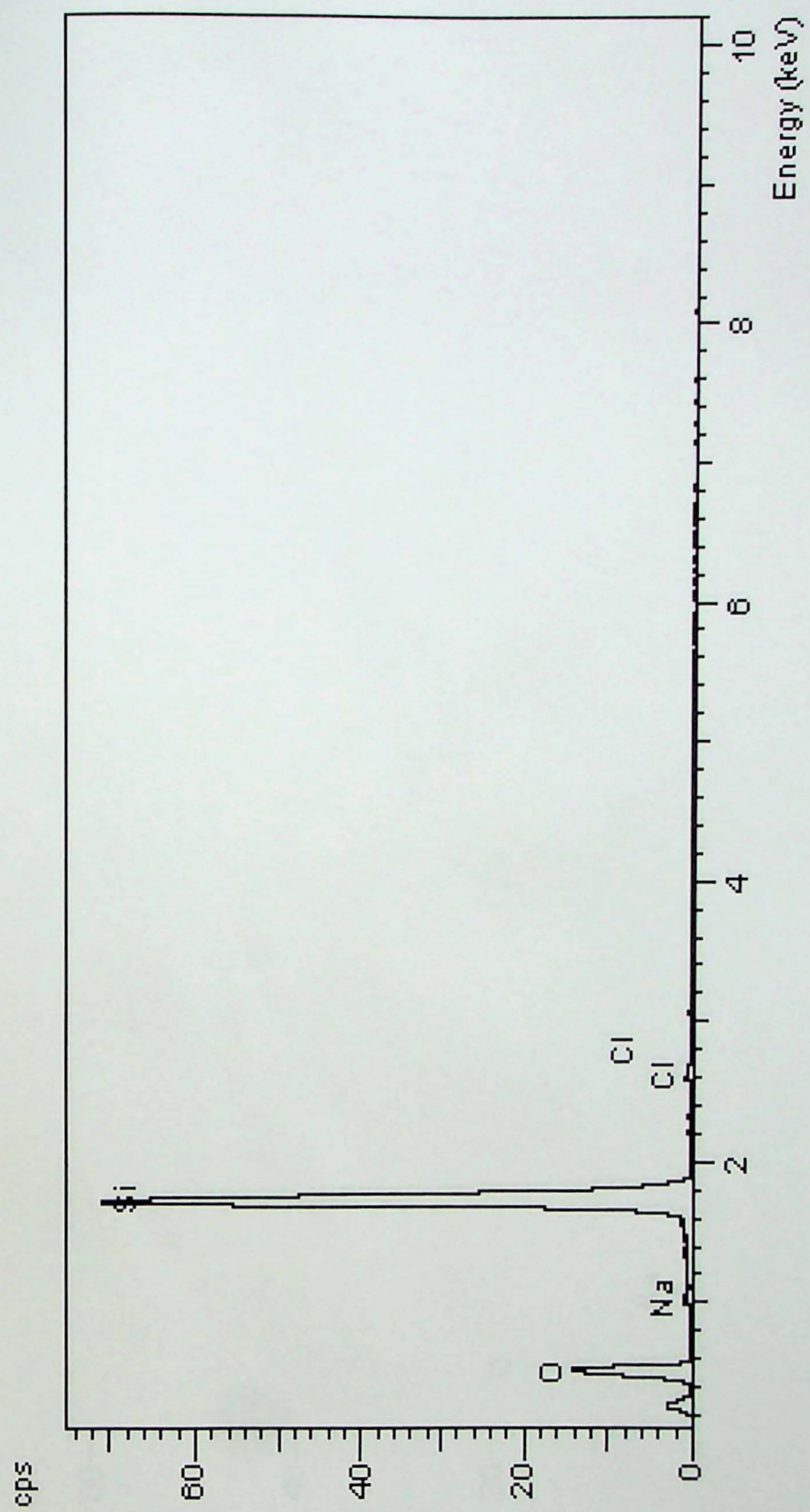


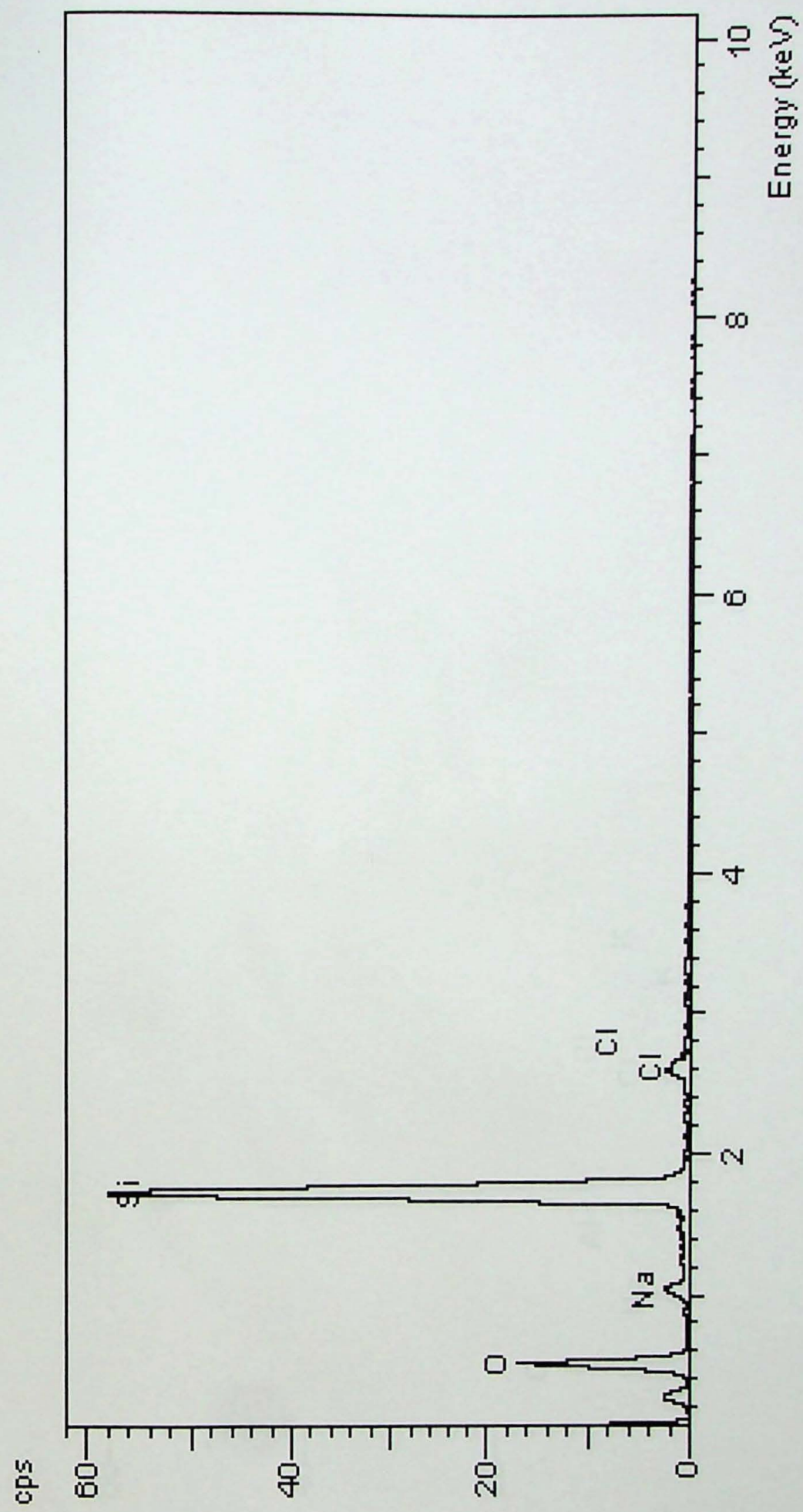


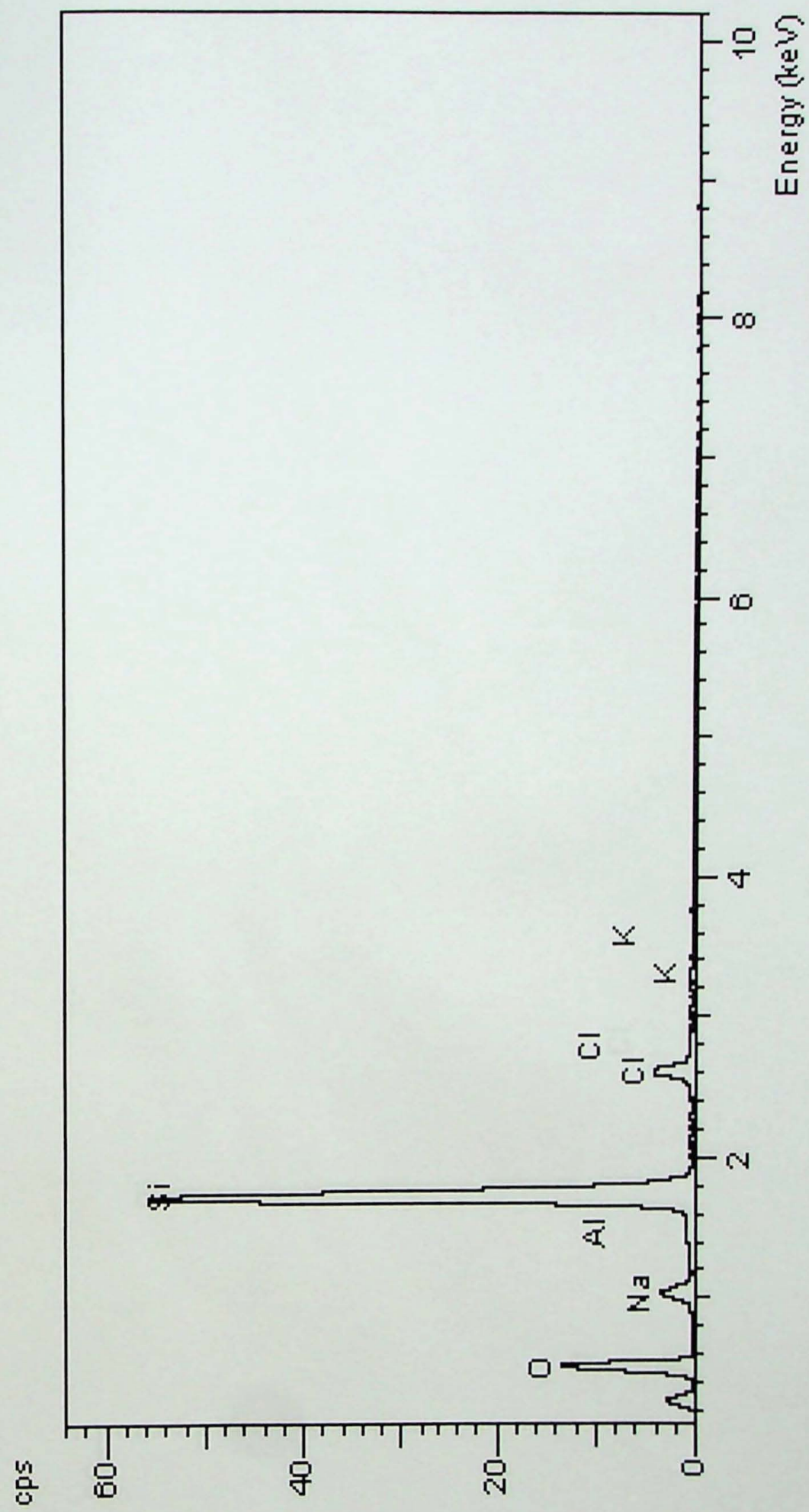


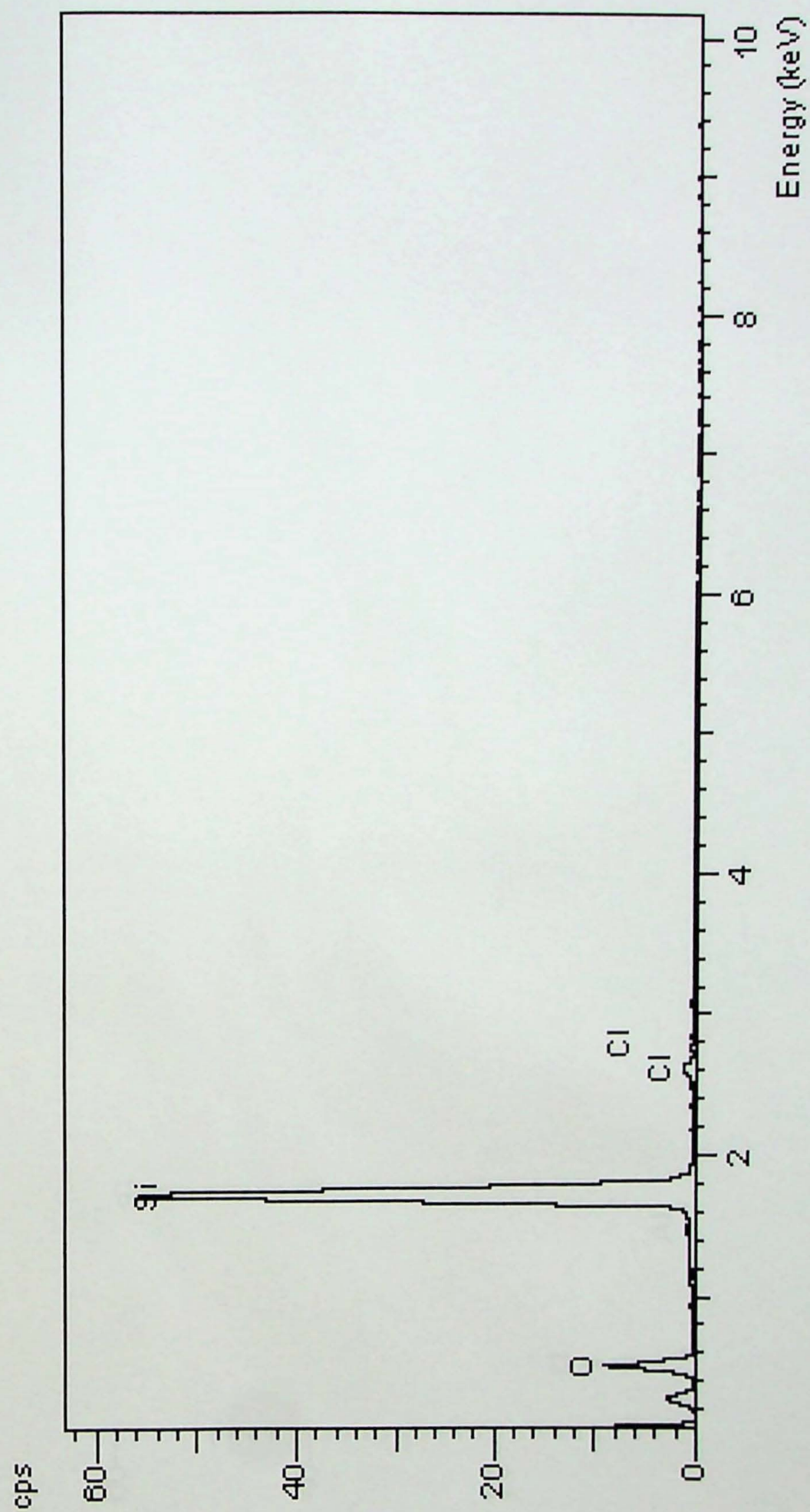


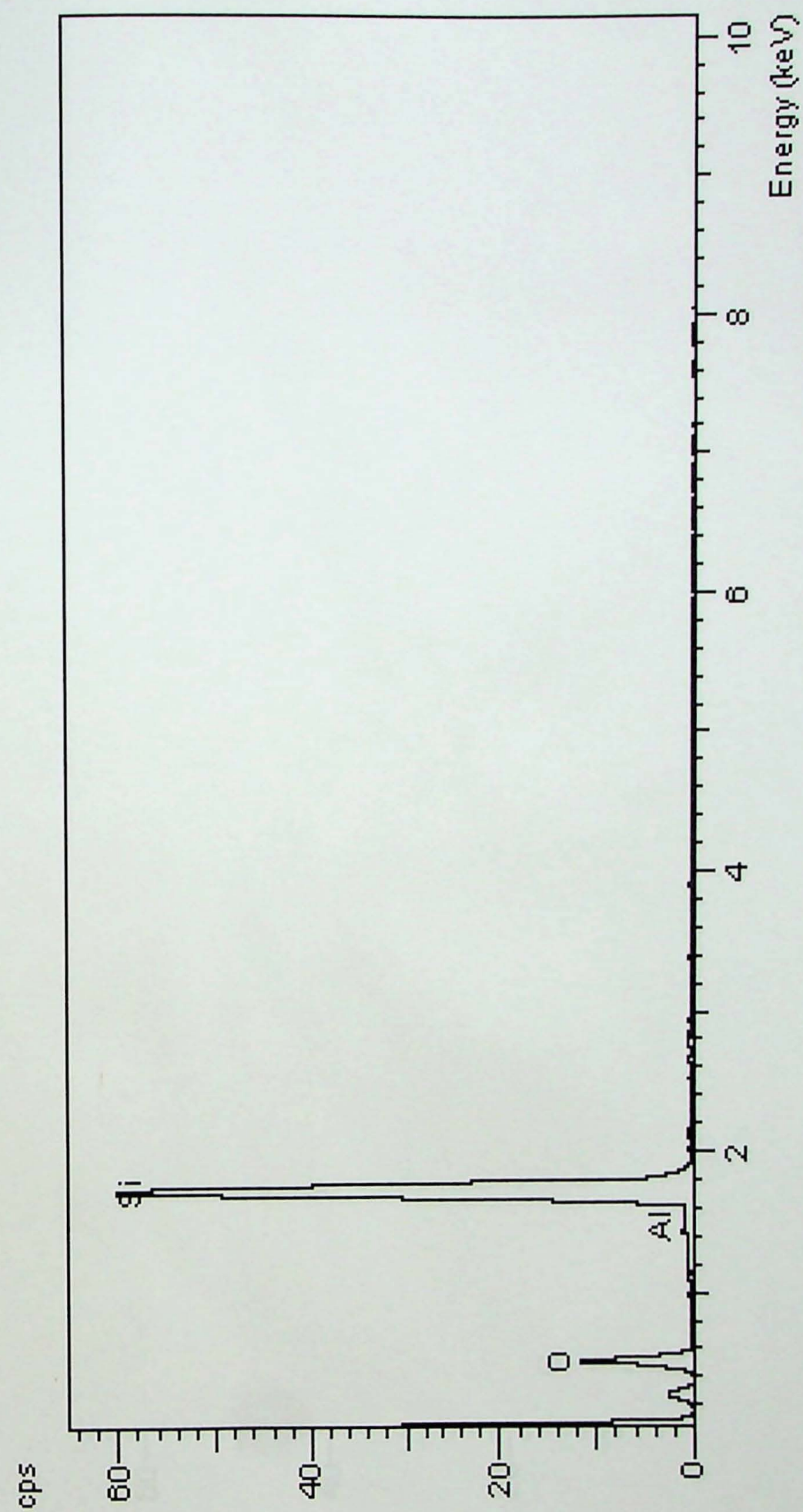


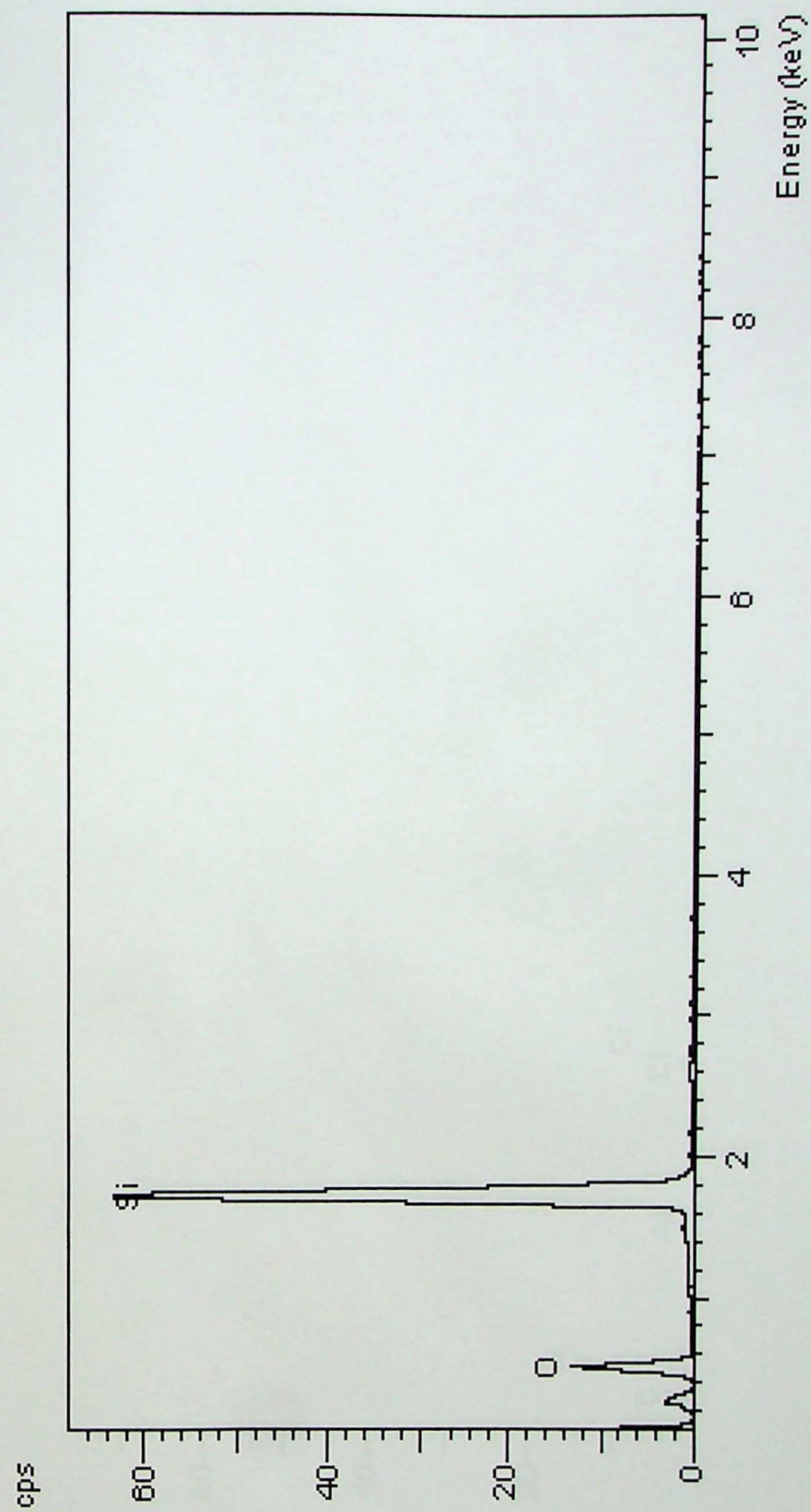


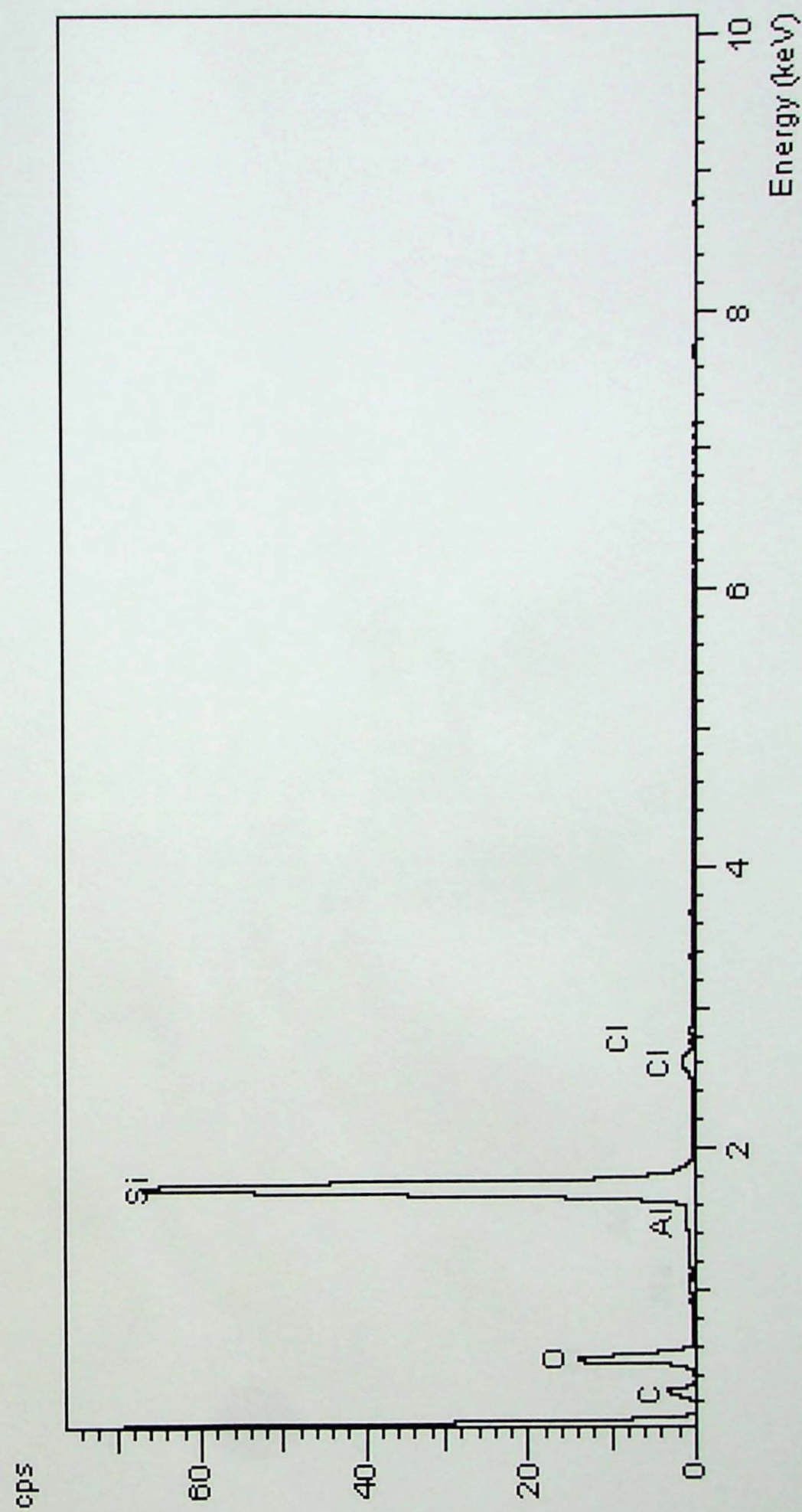


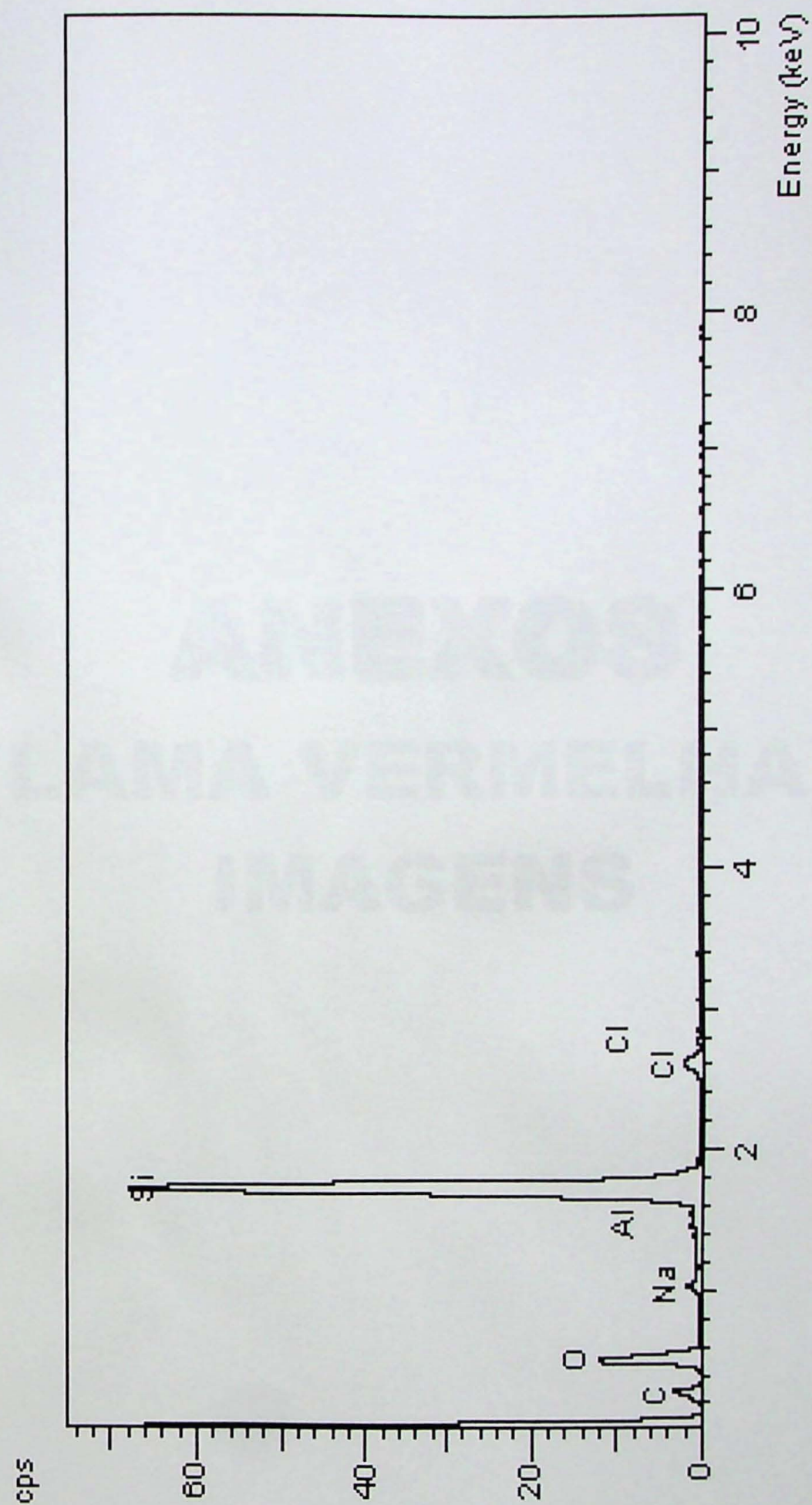




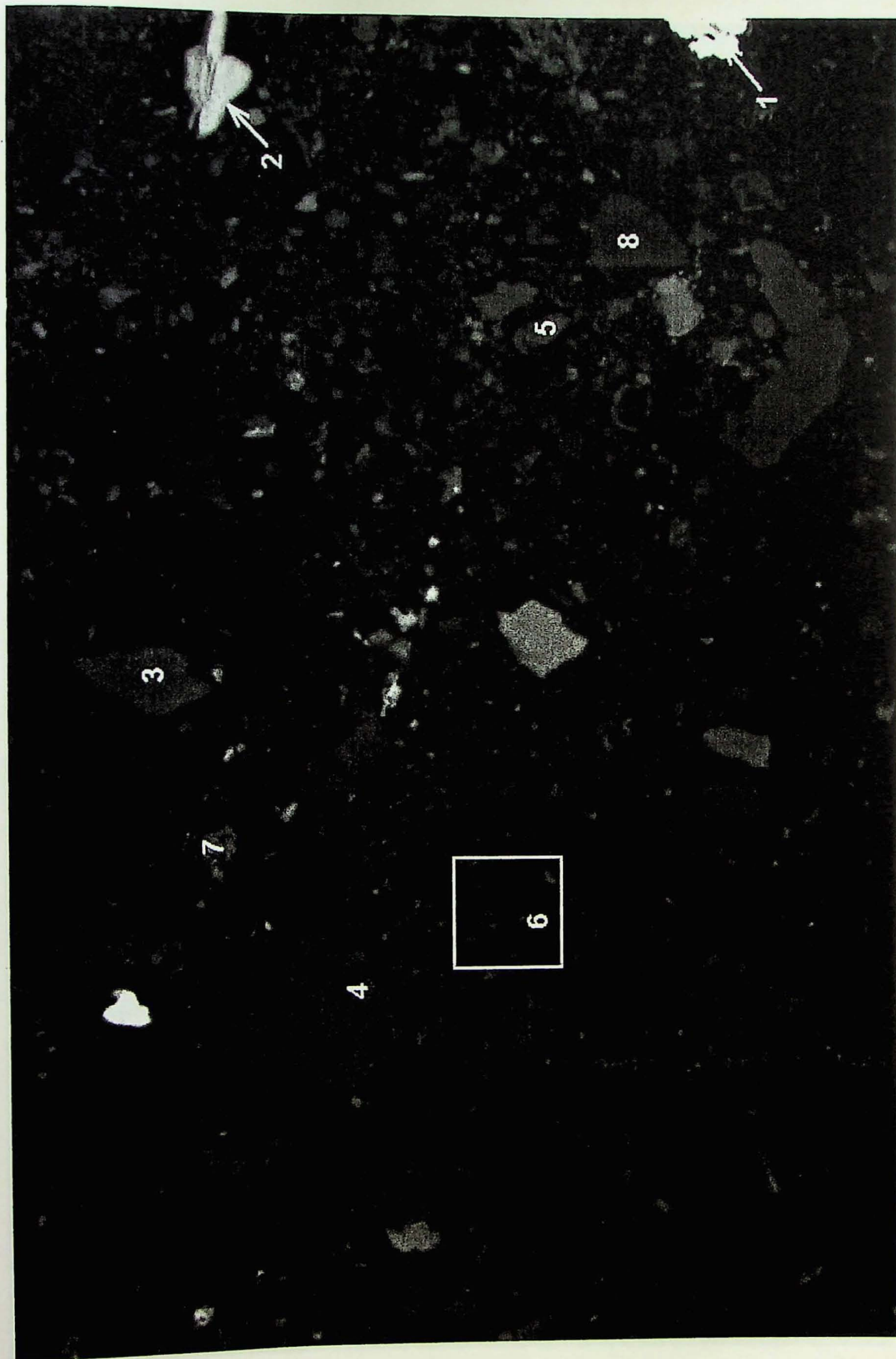








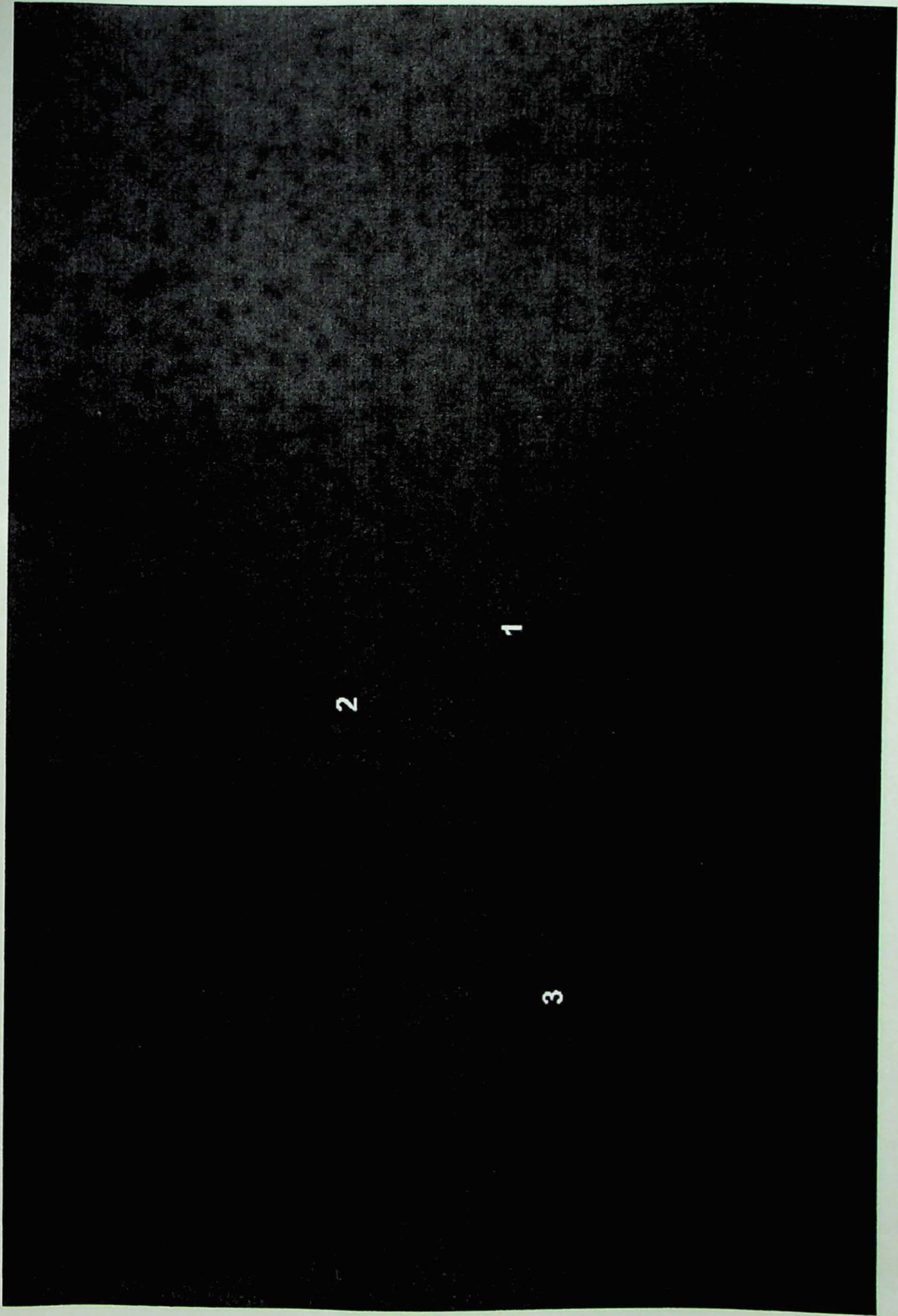
ANEXOS
(LAMA VERMELHA) -
IMAGENS





ANEXOS

(CINZA) - IMAGENS









8

9

10

11

15

14

16

17

18

