

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA PRELIMINAR DE OPALAS
DO PIAUÍ E BAHIA**

Rafael Alves Mota

Orientador: Prof. Dr. Rainer Aloys Schultz Guttler

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2004/23)**

**SÃO PAULO
2004**

TF
M917
RA.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Caracterização Mineralógica Preliminar de Opalas
do Paiuí e Bahia**

Rafael Alves Motta



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Rayner Aloys Schültz-Güttler _____

Prof. Dr. Fabio Ramos _____

Prof. Dr. Paulo César Boggiani _____

São Paulo

2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900016336

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA PRELIMINAR DE OPALAS
DO PIAUÍ E BAHIA**

Rafael Alves Mota

Orientador: Prof. Dr. Rainer Aloys Schultz Guttler

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2004/23)**

**SÃO PAULO
2004**

DOAÇÃO	IGC/USP
Data: 27 / 06 / 05	

**À MEUS PAIS DEDICO ESTE TRABALHO
COM MUITO AMOR**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente meus mais sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. Rainer Schultz Guttler pela orientação e principalmente, paciência, dedicada no decorrer deste trabalho.

Meus pais, Alberto e Donina, minhas irmãs, Andrezza e Fernanda pelo apoio e amor incondicional.

Minha namorada Mariana, por ter um motivo para sorrir mesmo diante de alguma adversidade.

Aos companheiros que dividiram comigo os bons e maus momentos desta trajetória: Dentão, Coxa, Tarcinho e Giba (agregados), Joe, Kagohara, Frozô, Carra, Cheng, Severino, Macaco, Ceará, Falcon, Tabajara, Karla Perez, Urubu, 2D, Frangolino, Horácio, AB, Angélica, Traçado, Klein, Rã, Débora, Rodado, Chico Beiço, Camila, Propika, Frutinha, Araci e muitos outros que por ventura eu tenha esquecido.

Aos funcionários e demais docentes que de alguma forma, fizeram parte desta exaustiva e gratificante jornada.

Muito obrigado a todos !!!!!!!!!!!

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	02
I. Índice de Tabelas e Fotos.....	04
II. Índice de anexos.....	05
Resumo.....	06
<i>Abstract</i>	07
1. Introdução.....	08
2. Objetivos.....	09
3. Levantamento bibliográfico.....	09
4. Materiais e métodos.....	14
4.1. Densidade e índice de refração.....	14
4.2. Difratomia de Raio-X.....	15
4.3. Fluorescência de Raio-X.....	16
5. Desenvolvimento do trabalho.....	18
6. Resultados obtidos.....	19
6.1. Descrição macroscópica das amostras.....	19
6.2. Densidade e índice de refração.....	22
6.3. Difratomia de Raio-X.....	23
6.4. Fluorescência de Raio-X.....	25
6.4.1. Efeitos do metassomatismo.....	26
6.5. Ensaio de perda ao fogo.....	27
7. Conclusões.....	28
8. Referências bibliográficas.....	29
9. Anexos.....	31

ÍNDICE DE TABELAS E FOTOS

Tabela 1 – Reservas de opalas em Pedro II, no Piauí.....12

Tabela 2 – Atividades realizadas.....18

Tabela 3 – Amostras analisadas e os métodos.....22

Tabela 4 – Densidade e índice de refração.....23

Tabela 5 – Correlação entre os valores de d e e $\Delta 2\theta$ para as opalas analisadas.....24

Tabela 6 - Elementos maiores de Opala “Olho de gato” e de um serpentinito próximo da ocorrência.....25

Tabela 7 – Elementos traços de Opala “Olho de gato” e de um serpentinito próximo da ocorrência.....26

Tabela 8 – Moles per 6 oxigênio dos elementos químicos da opala “Olho de gato” e de um serpentinito próximo da ocorrência.....27

Tabela 9 – Quantidade de água em amostras de opala.....27

Foto 01 – “Opala de Fogo” (PI).....19

Foto 02 – “Opala Mel” (BA).....19

Foto 03 - Opala “Olho de Gato” (BA).....20

Foto 04 – Veios de crisotila em um serpentinito.....20

ANEXOS

Anexo 1 – Esboço geológico da região de Pedro II no Piauí e da região centro-norte do estado da Bahia

Anexo 2– Difratoformas de Raio-X

Anexo 3 – Fotografias de amostras de opalas

RESUMO

O presente trabalho é uma contribuição para o conhecimento sobre opalas, em destaque suas características mineralógicas. Estas provindas de novas ocorrências ainda não estudadas nos estados do Piauí e da Bahia.

O trabalho de caracterização envolveu experimentos como a determinação dos parâmetros físicos de densidade e índice de refração, Difratomia e Fluorescência de Raio-X.

No Piauí, a ocorrência estudada localiza-se próximo à mina de Pedro II, importante produtora de opalas, configurando como a primeira no cenário nacional. Nesta localidade ocorrem as variedades "Opala Nobre", com seu jogo de cores, alcançando um elevado valor comercial, e a "Opala de Fogo", com sua coloração vermelha característica.

Já na Bahia foram estudadas duas ocorrências: a primeira localizada na mina da Fazenda Piabas, próxima à jazida de esmeralda de Socotó, no município de Jaguarari, onde ocorre a variedade "Olho de Gato", com seu aspecto fibroso e coloração esverdeada; a segunda, uma mina perto do vilarejo de Várzea do Poço, próxima ao município de Jacobina, onde ocorre opala da variedade "Mel".

ABSTRACT

This work is a contribution to the knowledge about opals, and , especially, about their mineralogical characteristics. The opals studied here come from new and not yet described deposits situated in the states of Piauí and Bahia.

The experimental part of the study involved the determination of the physical data like density and refraction index, x-ray diffraction and chemical analysis by X-ray fluorescence.

Some of the samples, mainly the fire opals , come from a new deposit in the Piauí state, near the famous opal mine Pedro II, one of the most productive opal mine of Brasil. There, one can find precious opal with play of colors and fire opal of reddish to orange coloration.

The other studied sample come from new deposits in Bahia: the first ones from the Piabas farm near the famous emerald deposit Socotó in the Jaguarari county, where a "catseye" type of opal occurs with a peculiar fibrous habit and greenish color.

The samples of the second locality come from Varzea do Poço, near Jacobina, and are of the type patch opal with an attractive honey yellow color.

It could be shown that most opals are of the opal A and opal T. The precious opal from Piauí is only opal A.

The most important result is the fact that the "catseye" opal was derived by silicification of an serpentinite, forming a groundmass of sepiolithe with veins of former chrysotile, now replaced by greenish fibrous opal.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa estabelecer um início de classificação mineralógica de opalas providas de ocorrências novas e ainda não estudadas próximas à regiões produtoras destas gemas. São elas:

- Próxima da mina de Pedro II, no Piauí, sendo esta a principal produtora de opalas do Brasil onde ocorrem as variedades "Opala de Fogo" e "Opala Nobre";
- A região da Fazenda Piabas, localizada próxima ao depósito de esmeralda de Socotó no município de Jaguarari, na Bahia;
- A da mina perto do vilarejo de Várzea do Poço, próxima ao município de Jacobina, também na Bahia.

Vale salientar que o trabalho não visa um estudo mais detalhado das características geológicas, como a gênese dos depósitos e características das rochas hospedeiras.

A etimologia do nome opala é oriunda do sânscrito, da palavra *upala* e significa pedra ou "pedra preciosa" (Schumann 1995).

As opalas são encontradas sob várias formas, as quais são divididas de acordo com sua cor, textura e composição. São elas: a opala nobre, com jogo de cores, as opalas comuns, pelas quais não há interesse gemológico relevante (amarela, castanha ou preta de brilho ceroso ou opaca, sem jogo de cores), a opala leitosa, a opala lenhosa (madeira opalizada), a hidrofana (variedade leitosa, porosa que ao ser mergulhada em água se torna transparente), hialita (transparente e de brilho vítreo), opala musgo, jaspopala, entre outras (Dana 1969).

Dentre suas utilizações, podemos citar a indústria cerâmica, a indústria química, como material de isolamento e proteção contra ácidos, etc. Na qualidade de gema, a opala é lapidada em formas redondas (cabochão). Algumas variedades são utilizadas para a produção de peças ornamentais.

O Brasil ocupa um lugar de destaque no mercado mundial, sendo o segundo maior produtor de opalas, estas de excelente qualidade, apresentando alta resistência às mudanças de temperatura e dureza muito elevada.

2. METAS E OBJETIVOS

O trabalho apresentado aqui tem por objetivo estabelecer um início de caracterização mineralógica de opalas brasileiras provindas de três ocorrências novas e ainda não estudadas, como a da mina perto do vilarejo de Várzea do Poço, próxima a cidade de Jacobina, e a da Fazenda Piabas, localizada próxima ao município de Jaguarari, na Bahia; e de uma perto da mina de Pedro II, no Estado do Piauí, sendo esta última a principal produtora de opalas do Brasil.

Outro objetivo do trabalho é disponibilizar uma boa documentação de opalas, que serão fotografadas, a fim de poderem ser consultadas para trabalhos futuros, gerando maior conhecimento de seus aspectos e particularidades visuais, pois se tratando de uma gema, o aspecto visual é de grande importância, principalmente no que se relaciona ao seu valor comercial.

3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Características físicas, químicas, cristalográficas e mineralógicas das opalas

No que diz respeito à cristalografia, as opalas são comumente descritas como sílica gel amorfa, mas este estado amorfo é questionável (Graetsch 1994). É sabido que a opala é composta estruturalmente, de forma mais ou menos ordenada, por um arranjo de empacotamento denso de esferas submicroscópicas compostas de sílica amorfa (Opala-A) e muitas vezes de dois minerais cristalinos adicionais: a cristobalita (Opala-C), e a tridimita (Opala-T), porém muitas vezes com diferentes graus de desordem. Estes três componentes podem também ocorrer simultaneamente. Sua composição química é $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ e apresenta um teor de água variando entre 4 e 9%, podendo chegar a 30%.

Distingue-se de variedades criptocristalinas de quartzo por sua menor dureza e sua densidade relativa mais baixa, devido à presença da água (Dana 1969).

O tamanho dessas esferas, a distância intersticial entre elas e o grau de ordenamento em escala micrométrica ditam, através de refração da luz branca, o jogo de cores que a opala nobre irá apresentar. Todas as opalas comuns, chamadas “potch opal” e sem jogo de cores não apresentam esta regularidade nas esferas.

As muitas cores apresentadas por estas opalas (verde, amarelo, vermelho, laranja, azul, rosa) resultam de inclusões de material corado e finamente disperso como hematita, crisocola, sulfeto de antimônio e outros (Hyrsl 2001).

Listamos abaixo algumas características gerais e propriedades físico-químicas das opalas:

Dureza: 5,5 a 6,5

Comportamento óptico: isotrópico

Traço: branco

Clivagem / Fratura: conchoidal a irregular (fratura)

Propriedades químicas: solúvel em HF e KOH, não funde na chama.

Formada em rochas sedimentares e vulcânicas, através da infiltração de soluções ricas em sílica de baixa temperatura, a opala é composta essencialmente de sílica, com água de teor de hidratação variável. As opalas podem com o tempo perder seu teor de água e se cristalizar sob a forma de calcedônia. Uma pequena porcentagem de elementos adicionais como o alumínio, ferro, magnésio e sódio, na forma de pequenos grãos minerais submicroscópicos, podem estar presentes impondo certas cores nas amostras.

Ocorrência de opalas no Brasil

O Brasil é o segundo maior produtor de opalas nobres do mundo, procedentes quase que na totalidade da região de Pedro II, no nordeste do estado do Piauí (Roberto e Souza, 1991).

As opalas de Pedro II, além de sua beleza, apresentam duas características que permitem sua colocação em posição de destaque no mercado internacional, ou seja, alta resistência à mudanças de temperatura e dureza muito elevada para este tipo de gema.

Serão estudadas também ocorrências de opalas no estado da Bahia, mais precisamente nas regiões da Fazenda Piabas, localizada próxima ao município de Jaguarari e a da mina perto do vilarejo de Várzea do Poço, próxima ao município de Jacobina. Para ter uma idéia da geologia regional e do ambiente de ocorrência das opalas segue uma breve descrição das áreas em estudo.

Região de Pedro II (Piauí) - Geologia Regional

Na região de Pedro II ocorrem sedimentos das Formações Serra Grande, Pimenteiras, Cabeças e Longá, extensas soleiras e diques de diabásio, sedimentos terciários lateríticos e sedimentos aluvionares recentes (Roberto e Souza, 1991) observado na **Figura 1**, em anexo.

A Formação Serra Grande é constituída de arenitos de cores cremes e esbranquiçados finos, médios e grosseiros, micáceos, caoliníticos com intercalações de siltito e folhelhos róseos a cinza. Ocorrem camadas de conglomerado com seixos e blocos de diversos tamanhos, notadamente na parte basal.

A Formação Pimenteiras é constituída por uma alternância de arenitos cremes, siltitos e folhelhos cinza e aroxeados com a leitamento regular ondulado, marcas de vermes, *flaser* e níveis de arenitos com *box works* de hematita. O contato inferior com a Formação Serra Grande é concordante e o superior com a Formação Cabeças é gradacional.

A Formação Cabeças é constituída de arenitos claros, brancos e cinza, amarelados, às vezes avermelhados, médios a grosseiros, freqüentemente conglomeráticos, e muito pouco argilosos. O contato superior com a Formação Longá é concordante.

A Formação Longá é representada predominantemente por folhelhos e siltitos cinza-escuro a pretos em geral carbonosos, com intercalações de arenitos finos de cor branca-amarelada e laminadas.

O Jurássico está representado por inúmeras intrusões de diabásio (*sills*). Algumas formações foram mais atingidas que outras. As intrusões atingiram os folhelhos e arenitos, evitando os arenitos compactos. Por isso, na Formação Longá encontram-se muitos *sills*.

Os sedimentos terciários lateríticos estão localizados nas partes superiores do diabásio. A expressão mais típica ocorre na Serra dos Matões, ao norte de Pedro II.

O Quaternário possui pouca expressão em área.

Região de Pedro II (Piauí) – Depósitos primários

Constituem todos os depósitos que ocorrem preenchendo fraturas e fendas nos arenitos silicificados, argilas e diabásio. A recuperação da opala nesse tipo de depósito é bastante difícil devido ao elevado grau de silicificação dos arenitos e também por se localizar em níveis profundos.

Os principais depósitos são Boi Morto, Roça e Mamoeiro. Além destas existem na região mais ocorrências com predominância de opala tipo opala de fogo, objeto do presente trabalho.

Região de Pedro II (Piauí) – Depósitos secundários

São depósitos originados a partir da erosão de depósitos primários, cujo material foi transportado por meio de águas pluviais ou por gravidade para os leitos dos cursos d'água. Esses depósitos são heterogêneos e irregulares formados por dois horizontes sedimentares, repousando sobre o diabásio alterado. Constituem extensas faixas de garimpagem.

Aspectos da gênese das opalas

A gênese da opala de Pedro II até o presente não foi claramente definida. Acredita-se que esteja nitidamente associada a o *sill* de diabásio cuja intrusão tenha provocado fraturas, fendas, planos de escorregamento, fissuras e diáclases de dimensões e extensões variáveis, acarretando espaços vazios nas rochas adjacentes.

No trabalho de Roberto e Souza (1991) foram discutidas várias teorias da formação.

Cassedane (1971) assinala que a intrusão de diabásio não parece ter sido a única responsável pela mineralização, pois durante esta, efetuaram-se importantes circulações de águas quentes dissolvendo a sílica dos arenitos e siltitos, precipitando-a posteriormente. Este fato foi comprovado pela presença de opala misturada com argila esverdeada preenchendo fraturas no próprio diabásio.

Nen e Urbano (1974), porém, acham que soluções emanando do diabásio durante ou logo após a intrusão percolaram as fendas e fraturas precipitando sílica gel formando a opala. Trabalhos mais recentes como Samama et al.(1983) acreditam que a opala se formou a partir de um sistema hidrotermal produzido pela intrusão do *sill*, ou devido a migração de sílica a partir de uma superfície laterítica antiga.

Reservas

As reservas abaixo discriminadas referem-se aos depósitos de Boi Morto e Mamoeiro. São reservas aprovadas pelo DNPM (Roberto e Souza 1991).

Tipo de opala	Medida (g)	Indicada (g)	Inferida (g)
Lapidável	643.831	2.654.137	1.248.054
Cascalho	1.804.694	8.033.724	2.956.242
Artesanato e coleção	2.667.343	10.794.031	5.354.818
Refugo	494.503	1.240.702	1.664.015
Total	5.610.371	22.722.594	11.223.129

Tabela 1 – Reservas de opalas em Pedro II, no Piauí

A opala lapidável é classificada em vários tipos em função da cor, número de cores presentes, sua distribuição, presença de fraturas e tamanho das pedras.

No próximo item listaremos algumas características geológicas dos depósitos de opala na Bahia.

Ocorrências de opalas na Bahia

A ocorrência de opala do Piauí é bem conhecida por muitos anos. Na literatura existem pouquíssimos relatos de opalas em outras partes do Brasil. Por isso as ocorrências descritas a seguir são de um certo interesse tanto de cunho gemológico como geológico. Estas ocorrências ainda não foram mencionadas nem descritas na literatura geológica e conseqüentemente, o relato exposto aqui é a primeira caracterização.

Será exposto uma breve síntese dos dois depósitos de opalas como a da mina de Várzea do Poço, próxima à cidade homônima e a da localidade Socotó, na Fazenda Piabas, localizada no município de Jaguarari, ambas no Estado da Bahia.

Na região de Várzea do Poço (Mascarenhas et. al., 1998), em contato tectônico com monzogranitos, quartzossienitos e granodioritos, ocorre uma associação, da base para o topo, de rochas ultramáficas hornblenditas, anfibolitos, calcissilicáticas, formações ferríferas e metacherts, chamado Greenstonebelt Mundo Novo, o qual segue até Juazeiro do Norte.

As opalas nessa região ocorrem preenchendo fraturas hidrotermais numa zona fortemente fraturada (zona regional de cisalhamento). O tipo de opala encontrada nessa região é conhecida como opala "mel", indicando uma variedade comum de opala, mas com certo aspecto decorativo para a confecção de bijuterias, por exemplo.

Já a região de Socotó, da Fazenda Piabas, está inserida no contexto geológico do batólito de Campo Formoso (Couto, da Silva e Lima 1991) que ocupa uma área semicircular de aproximadamente 700 quilômetros quadrados e compreende um complexo de rochas félsicas, potássico sódicas, predominantemente graníticas, com variações para tipos petrográficos definidos como adamelitos e granodioritos.

Na parte norte deste corpo, existe uma diversidade de rochas de vários tipos petrográficos, ocorrendo como enclaves, além de manifestações pegmatíticas, desde quartzitos relacionados aos metassedimentos, que compõem a serra de Jacobina, até anfibolitos, metabasitos e metaultrabasitos.

As rochas graníticas/granodioríticas deste batólito apresentam idade isocrônica de 1911 ± 13 ma. para o evento da intrusão. Principalmente nos contatos externos desta intrusão ocorrem rochas ultramáficas, e entre eles serpentinitos e serpentinitos alterados portadores de

opalas. A circulação de água nestes serpentinitos modificou profundamente o quimismo das rochas ultramáficas originais pela lixiviação de elementos, como por exemplo, o magnésio, e pelo aporte de quantidades grandes de sílica. Através da silicificação destas rochas ultrabásicas ocorre a formação de sepiolita e ao longo das fendas no serpentinito ocorre o replaçamento da serpentina pela opala. A preservação da textura antiga de crisotila forma então uma opala orientada. Assim é formada este tipo de opala da variedade “Olho de Gato” em semelhança com a formação do “Olho de Tigre” na África do Sul.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente trabalho foram analisadas um total de trinta e nove amostras.

Para a caracterização do material foram determinados os Índices de Refração e a Densidade. A fim de caracterização estrutural das opalas e para a distinção entre opala-A, opala C e opala T foram efetuadas análises de Difractometria de Raio-X. A Fluorescência de Raio-X foi utilizada para analisar o quimismo e, a partir disto a origem provável da opala olho de gato. Nos sub-itens abaixo encontra-se uma breve descrição desses métodos.

4.1. Densidade e Índice de Refração

Para a determinação das propriedades físicas como índice de refração e densidade, foram utilizados os equipamentos disponíveis no Laboratório de Gemologia localizado neste Instituto.

Para o parâmetro da densidade foi utilizada uma balança hidrostática onde se mede a massa da amostra no ar e posteriormente a massa desta mesma amostra imersa em um fluido, no caso a água, com umas gotas de detergente para eliminar bolhas de ar. Com estes dados aplica-se a relação abaixo e obtém-se a densidade.

$$d = \frac{m_{\text{ar}}}{m_{\text{água}} - m_{\text{ar}}} \times d_{\text{água}}$$

Para este parâmetro foram analisadas um total de dezessete amostras.

Para a determinação do índice de refração foi utilizado um aparelho chamado Refratômetro por meio do qual se analisa uma face polida (lapidada) de uma amostra onde se aplica um feixe de luz amarela que ao refletir nesta face lapidada nos dá o índice de refração.

Na superfície onde é colocada a amostra é aplicada uma gota de Líquido de Anderson. Para este parâmetro foram analisadas um total de sete amostras.

4.2. Difratometria de Raio-X

Quando uma onda eletromagnética interage com os elétrons do átomo de um cristal, estes entram em ressonância com a radiação, gerando ondas com a mesma energia da onda incidente, e se espalhando isotropicamente.

A onda espalhada por um elétron interage com a espalhada pelos outros elétrons. Esta interação pode ser construtiva ou destrutiva, dependendo de parâmetros como o comprimento de onda λ da radiação incidente, o ângulo de incidência θ desta radiação, e da distância d entre planos atômicos do cristal. Para que a interação seja construtiva estes parâmetros devem cumprir duas condições:

→ As ondas espalhadas por átomos de um mesmo plano devem estar em fase, o que é obtido quando o ângulo do raio incidente for igual ao ângulo do difratado, e estiverem no mesmo plano normal à superfície refletora.

→ A diferença entre o percurso dos raios em dois planos sucessivos seja igual a um número inteiro de comprimentos de onda.

Estas duas condições são expressas através da Lei de Bragg:

$$n\lambda = 2d.\text{sen}\theta$$

onde:

λ = comprimento de onda

θ = ângulo entre o feixe e o cristal

d = distância entre os dois planos

n = número de comprimento de onda X.

Da equação de Bragg pode-se deduzir que o valor d , ou o plano cristalográfico, característico para cada estrutura é determinado conhecendo-se o λ da radiação e o ângulo θ . A radiação é dada pelo tubo de raio-X (Cu, Mo, Fe), o ângulo θ ou, mais precisamente 2θ , é mostrado num gráfico, o difratograma. A interpretação do conjunto dos d permite a determinação da estrutura cristalina, e, conseqüentemente do mineral.

4.3. Fluorescência de Raio-X

A irradiação e a excitação dos elétrons de uma dada substância por meio de um feixe de raios-X, emanado de um tubo operado em condições de alta voltagem, trazem como resultado a produção de uma radiação secundária (fluorescente) característica dos elementos químicos presentes na fase (Gomes 1984), em função dos níveis dos orbitais. Assim tem-se radiação K, alfa, beta, L e M com os seus comprimentos de onda λ respectivos. Conhecendo-se os ângulos de reflexão e as intensidades dessa radiação, é possível não apenas a identificação dos elementos químicos como também a determinação de sua quantidade. Como a emissão é feita em todas as direções, torna-se, por sua vez, necessário contar com o auxílio de dispositivos especiais (colimadores) tendo por finalidade selecionar a radiação, transformando-a em um feixe de raios paralelos, que irá incidir sobre a superfície plana de um cristal analisador, quebrando paralelamente à direção dos planos de difração em uso. Esses raios serão então difratados pelo cristal, segundo a lei de Bragg,

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

em que n é a ordem de difração e λ , o comprimento de onda dos raios difratados segundo o ângulo θ , a partir de planos de difração no cristal espaçados de uma distância d . O arranjo geométrico mais difundido conta com um segundo colimador deslocando-se a um ângulo de 2θ , relativamente ao primeiro, e permitindo a passagem dos raios difratados do cristal para o detector. Com o auxílio de um goniômetro, cristal e detector são movimentados em conjunto, fazendo sempre ângulos de θ e 2θ , respectivamente, em relação ao colimador primário. Tendo então d fixo, θ conhecido determina-se os λ específicos para cada nível de orbital de um elemento específico.

Tubos de Raio-X

Os tubos representam a fonte da emissão primária que atingirá a amostra e, como tal, devem satisfazer à condição básica de ser capaz de gerar um feixe de raios X muito intenso, visto que a intensidade da radiação fluorescente é diretamente proporcional à da radiação incidente.

Colimadores

Para que sejam satisfeitas as condições de reflexão de Bragg para um cristal plano, faz-se indispensável que os raios X incidentes formem um feixe paralelo. Isto é conseguido mediante o emprego de colimadores, freqüentemente em número de dois, que têm assim por finalidade eliminar todas as radiações indesejáveis, aumentando-se com isso a resolução das linhas espectrais. Os colimadores consistem em uma série de placas paralelas, muito finas e igualmente espaçadas, de níquel ou molibdênio, em geral conhecidas como *Soller slits*.

Cristais analisadores

Os cristais têm por função básica difratar, segundo a lei de Bragg, os raios X que serão objetos de análise. Eles são planos, fazendo uso de colimadores, ou curvos, com o mercado dispondo de um número elevado de variedades.

Detectores

A função básica dos detectores é converter a energia dos fótons de raios X absorvidos em pulsos elétricos, como resultado da ionização dos átomos do gás armazenado em seu interior. Essa interação dá lugar à ejeção fotoelétrica de elétrons e à emissão do característico de raios X, que, em colisões subseqüentes com os átomos do gás, irão produzir pares de íons consistindo em um elétron e em um cátion.

O Espectrômetro de Fluorescência de Raio-X utilizado neste experimento é da marca Phillips modelo PW2400 pertencente ao laboratório de Fluorescência de Raio-X do DMG-IG/USP.

Em respeito ao tratamento das amostras seguiu-se do modo rotineiro, onde foram moídas em uma panela de ágata e posteriormente transformadas em pastilhas prensadas para poderem ser introduzidas no espectrômetro e analisadas.

5. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O princípio do trabalho compreendeu a fase de levantamento bibliográfico preliminar juntamente com a seleção das amostras a serem estudadas e em quais métodos seriam analisadas. Vale ressaltar que esta fase de levantamento bibliográfico foi realizada durante todo o período de desenvolvimento do referido trabalho visto que a literatura disponível relativa ao estudo de gemas como a opala é escasso. Após esse prazo foi entregue o Projeto Inicial.

Posteriormente foram realizados ensaios para a determinação de propriedades físicas como a densidade e o índice de refração.

Logo após, as análises laboratoriais realizadas foram a Difratometria de Raio-X, com a análise de onze amostras, sendo que apenas cinco ficaram prontas até a entrega do Relatório Parcial, e a Fluorescência de Raio-X, com a análise de duas amostras e posteriormente foi efetuado uma seleção de amostras para a confecção de um relatório fotográfico.

Após a conclusão destas etapas realizou-se a interpretação dos resultados obtidos e a confecção do texto final, revisado e entregue na data de 20 de dezembro de 2004.

Segue abaixo um esquema com as atividades e o referido período em que foram efetivamente realizadas.

	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Seleção de Amostras									
Levantamento Bibliográfico									
Entrega do Projeto Inicial									
Densidade									
Índice de Refração									
Difratometria de Raio-X									
Fluorescência de Raio-X									
Entrega do Relatório Parcial									
Arquivo Fotográfico									
Interpretações e Discussões									
Confecção do Texto									
Entrega da Monografia									

Tabela 2 – Atividades efetivamente realizadas

Dificuldades encontradas durante todo o trabalho foram consideráveis.

Uma delas foi a alta carga horária das disciplinas cursadas ao longo do ano de 2004 (Geologia Histórica e do Brasil, Prospeção, Pesquisa e Avaliação de Jazidas, ambas anuais, e Hidrogeologia, ministrada no segundo semestre), sendo estas, disciplinas intensas que exigem uma grande dedicação extra-classe, como por exemplo trabalhos de campo, exercícios e um número significativo de provas durante o ano.

Juntamente a isso, um estágio extracurricular onde tinha-se que cumprir uma certa carga horária semanal, a qual no presente caso chegou muitas vezes a 15 (quinze horas) semanais.

Estes fatores fizeram com que o desenvolvimento deste trabalho ficasse um tanto prejudicado, já que um trabalho de classificação mineralógica exigiria um tempo muito maior que o disponível.

Fora isso, o período de paralisação na USP nos meses de Julho e Agosto, interromperam as atividades laboratoriais e a pesquisa bibliográfica, pois a biblioteca que neste tempo também permaneceu fechada, também prejudicou o desenvolvimento do trabalho.

6. RESULTADOS OBTIDOS

6.1. Descrição macroscópica das amostras

As amostras utilizadas para caracterização mineralógica neste trabalho podem ser divididas em cinco variedades cuja descrição se encontra logo abaixo e, ao final deste tópico, uma tabela com esses grupos e em quais métodos foram analisadas.

A **“Opala de Fogo”** provinda de uma região próxima da mina de Pedro II no Piauí. Caracterizada por sua coloração avermelhada forte, brilho vítreo e relativa transparência. A rocha hospedeira nesse caso é um arenito silicificado com uma quantidade apreciável de quartzo e opacos (sulfetos) e a opala ocorre preenchendo fraturas nessa rochas. Essa variedade de opala não apresenta jogo de cores.



Foto 01 – “Opala de Fogo” (PI)

Ainda na região de Pedro II no Piauí temos amostras da “Opala Nobre” de coloração esbranquiçada, brilho sedoso e com um fraco jogo de cores. Como nesse caso só possuímos a opala sem fragmentos da rocha hospedeira, não podemos dizer nada à respeito.

A “Opala Mel” provinda de uma mina perto do vilarejo de Várzea do Poço próxima à cidade de Jacobina na Bahia. Esse tipo de opala apresenta uma coloração que vai do amarelo claro até o castanho. Apresenta um brilho vítreo e variando de transparente a translúcido. Pode conter hidróxido de manganês sob a forma de dendritos em seu interior. A rocha hospedeira no caso é um quartzito bastante deformado.



Foto 02 – “Opala Mel” (BA)

Na região de Socotó na Fazenda Piabas no município de Jaguarari na Bahia ocorre a variedade chamada de “Opala Olho de Gato”, caracterizada por seu aspecto fibroso (acicular) e coloração esverdeada. Ocorre em níveis substituindo a serpentina dentro de uma massa mais ou menos homogênea de sepiolita.



Foto 03 - Opala "Olho de Gato" (BA)

A serpentina, no caso a crisotila, com hábito fibroso, é um mineral comum, amplamente distribuído, usualmente como produto de alteração de algum silicato magnesiano, especialmente olivina, anfibólio e piroxênio.



Foto 04 – Veios de crisotila em um serpentinito

A última variedade estudada para fins comparativos ocorre na região dos Andes, no caso chamada de "Opala Andina", apresenta coloração azulada a esverdeada e brilho vítreo com hidróxido de manganês sob a forma de dendritos em seu interior. Como nesse caso só possuímos amostras de opala com a ausência da rocha hospedeira não podemos dizer nada à respeito.

Os ensaios realizados no decorrer deste trabalho encontram-se esquematizados na tabela abaixo:

	Densidade	Índice de Refração	Difratometria de Raio-X	Fluorescência de Raio-X
Opala de Fogo (PI)				
Opala Nobre (PI)				
Opala Mel (BA)				
Opala Olho de Gato (BA)				
Opala Andina				

Tabela 3 – Amostras analisadas e os métodos

6.2. Densidade e Índice de Refração

Após as análises, cujos resultados estão apresentados na Tabela 4 podemos observar que a densidade das amostras de opala variam de 1,96 a 2,20 g/cm³ com uma média de 2,13g/cm³. Segundo Tröger 1979, os valores de densidade para opalas devem se situar entre 2,0 a 2,20 g/cm³, portanto, os valores encontrados, estão dentro da normalidade, com exceção à amostra de “Opala Nobre” do Piauí, que apresentou um valor de 1,96 g/cm³.

Em relação aos índices de refração, que segundo Tröger 1979 devem estar entre 1,44 e 1,46, os valores encontrados estão absolutamente dentro da normalidade.

Enseli et al. 2003 reportou valores entre 1,963 e 2,285 g/cm³ para densidade e 1,425 a 1,445 para índice de refração em opalas do tipo CT (cristobalita) provenientes da Turquia. Já Graetsch 1994, valores entre 1,963 e 2,177 g/cm³ e 1,43 a 1,46 respectivamente.

Ao comparar os valores encontrados nas análises aos valores vistos em literatura percebe-se uma grande coerência.

	Índice de Refração (n)	Densidade (d=g/cm ³)	Massa no ar (g)	Massa na água (g)
BA (mel)	1,447	2,10	2,565	1,354
BA (mel)	1,445	-	-	-
BA (mel)	1,450	2,12	9,210	4,88
BA (mel)	1,452	2,15	9,510	5,10
BA (mel)	-	2,14	9,56	5,09
BA (mel)	-	2,16	4,22	2,27
BA (mel)	-	2,19	3,22	1,75
BA (mel)	-	2,16	14,02	7,52
BA (mel)	-	2,18	5,145	2,79
BA (mel)	-	2,13	4,19	2,22
BA (mel)	-	2,19	2,425	1,32
BA (mel)	-	2,20	2,83	1,545
BA (mel)	-	2,17	3,205	1,725
BA (mel)	-	2,13	12,12	6,425
PI (nobre)	-	1,96	20,90	10,640
PI (fogo)	-	2,12	23,13	12,24
PI (fogo)	1,438	2,00	6,985	3,510
Andes	1,46	-	-	-
Andes	1,452	2,11	3,54	1,87

Tabela 4 – Densidade e índice de refração

6.3. Difratometria de Raio-X

Para este método foram analisadas no total onze amostras. O aparelho utilizado para a Difratometria de Raio-X é da marca SIEMENS modelo D5000. A condição de operação é de 40KV e 40 μ A com uma varredura iniciando em 3,00° e terminando em 65,00° com um passo de 0,05° e tempo de um segundo. Os softwares para interpretação utilizados foram DIFFRAC Plus, PDF 2 e RELEASE 2001.

Na tabela 5 temos a amostra, os picos encontrados e os respectivos valores de $\Delta 2\theta$ e d.

Amostra	$\Delta 2\theta$	d (4Å)	d (4,3Å)	Tipo de opala
Opala Mel – BA (1)	1,75	4,111	4,269	Opala-A e Opala-T
Opala Mel – BA (2)	1,87	4,119	4,302	Opala-A e Opala-T
Opala Mel – BA (3)	2,00	4,119	4,302	Opala-T
Opala Mel – BA (4)	1,62	4,112	4,306	Opala-T
Opala Mel – BA (5)	1,75	4,120	4,289	Opala-T
Opala Mel – BA (6)	1,75	4,116	4,287	Opala-T
Opala Olho de Gato – BA	1,37	4,120	4,308	Opala-A e Opala-T
Opala Olho de Gato – BA (2)	1,75	4,120	4,308	Opala-A e Opala-T
Opala Serpentina	2,37	4,120	4,287	Opala-A
Opala Andina	1,75	4,116	4,319	Opala-T e Opala-CT
Opala Nobre – PI	5,87	4,115	-	Opala-A

Tabela 5 – Correlação entre os valores de d e $\Delta 2\theta$ para as opalas analisados.

Pelos resultados das análises conclui-se que as amostras de “opala mel” são principalmente do tipo T, tridimita com duas amostras (1 e 2) também contendo opala-A, (amorfa) com $\Delta 2\theta$ variando entre 1,625 e 2,00. Amostras de opalas “olho de gato” contém opalas do tipo A e T com $\Delta 2\theta$ variando de 1,375 a 1,75. A amostra de “opala andina” apresenta opalas do tipo T e CT, cristobalita com $\Delta 2\theta$ de 1,75 e a “opala nobre”, do Piauí, é composta apenas por opala amorfa com $\Delta 2\theta$ de 5,875. O $\Delta 2\theta$ é relativo ao grau de desordem de tridimita e ao tamanho das esferas da sílica amorfa. Assim, quanto mais desordenados os componentes da opala se mostram, mais largo é o valor de $\Delta 2\theta$.

O fator para o ordenamento é a temperatura de formação da opala. Quanto mais alta a temperatura menor será o $\Delta 2\theta$. Com isso conclui-se que a “opala nobre” do Piauí foi formada em condições de temperatura muito menores que as opalas encontradas na Bahia, tanto a “opala mel” quanto a “opala olho de gato”. Comparando-se os valores de Δ destas com aquele da opala Andina, percebe-se semelhança nos valores e conseqüentemente pode-se deduzir condições semelhantes de formação.

Analisando as distâncias d de todas as amostras percebe-se que apresentam uma pequena variação de 4,111 a 4,120 para os picos de 4 Å e 4,269 a 4,319 para os picos de 4,3 Å. Comparando estes valores com os encontrados por Enseli et al. 2003 em opalas da Turquia que variam 4,086 a 4,144 para dezesseis amostras de opalas-CT, percebe-se que os valores encontrados estão dentro deste intervalo.

6.4. Fluorescência de Raio-X

Foram realizadas, no laboratório de Fluorescência de Raio-X do DMG-IG/USP, a análise de duas amostras, ambas da região da Fazenda Piabas, no município de Jaguarari – BA, sendo a primeira a opala substituindo a crisotila no serpentinito, e a segunda, de um serpentinito pouco alterado próximo da ocorrência. Já que a Opala normalmente é associada mais com rochas sedimentares, achou-se necessário uma análise detalhada para afirmar ou excluir uma origem sedimentar desta variedade de sílica. Assim, além dos elementos maiores foram determinados também os elementos traços.

AMOSTRA/ELEMENTO	OPALA	SERPENTINITO	L. D.
SiO ₂	84,37	41,84	0,01
Al ₂ O ₃	0,97	1,65	0,01
MnO	0,193	0,074	0,002
MgO	5,50	40,11	0,01
CaO	<0,01	0,01	0,01
Na ₂ O	0,03	<0,02	0,02
K ₂ O	<0,01	<0,01	0,01
TiO ₂	0,044	0,126	0,007
P ₂ O ₅	0,012	0,012	0,003
Fe ₂ O ₃	4,53	2,73	0,01
Loi	4,15	12,81	0,01

L.D. – Limite de detecção; Loi - % de água.

Tabela 6 - Elementos maiores de Opala “Olho de gato” e de um serpentinito próximo da ocorrência. Porcentagem em peso.

Analisando os dados mostrados na tabela 6 nota-se altos teores de sílica e magnésio em ambas as amostras. Os teores dos elementos principais do serpentinito correspondem bem à composição de uma rocha de tipo Wehrlita. Em comparação observa-se, na opala em relação ao serpentinito, o aumento do SiO₂ e a redução do MgO e de água de 12,81 para 4,15, valor semelhante ao encontrado no ensaio de perda ao fogo.

AMOSTRA/ELEMENTO	OPALA	SERPENTINITO	L. D.
Ba	165	31	7
Ce	<12	<12	12
Cl	41	121	39
Co	120	79	2
Cr	7453	3755	5
Cu	13	4	2
F	<355	<355	355
Ga	9	2	1
La	10	9	9
Nb	12	3	1
Nd	26	<23	23
Ni	1219	1230	3
Pb	<4	<4	4
Rb	1	1	1
S	<150	<150	150
Sc	<4	12	4
Sr	3	3	1
Th	<2	<2	2
U	5	3	2
V	22	55	3
Y	2	1	1
Zn	40	27	2
Zr	15	12	1

Tabela 7 – Elementos traços de Opala “Olho de gato” e de um serpentinito próximo da ocorrência. (elementos expressos em ppm)

Analisando os elementos traços indicados na tabela 7 observa-se a presença de altos teores de Ni e Cr em ambas amostras. As únicas rochas com altos teores de Ni e Cr são rochas da família das ultramáficas, confirmando assim a origem da opala a partir de uma rocha máfica/ultramáfica, no caso o serpentinito. Assim, exclui-se definitivamente uma possível origem sedimentar desta variedade de opala. Os aspectos macroscópicos de amostras de mão contendo a opala “Olho de Gato” mostravam veios de opala em meio a uma massa esverdeada de sepiolita com uma estrutura macroscópica típica de um serpentinito tectonizado.

6.4.1. Estimativa de efeito do metassomatismo

Para uma análise de adição e subtração de elementos químicos em sistemas abertos de metassomatismo como no presente caso, é aconselhável um cálculo de proporções moleculares dos óxidos (Deer 1966). Procede-se assim como no cálculo de uma fórmula estrutural e refere-se as quantidades para um parâmetro de seis oxigênios. Assim será possível deduzir as mudanças químicas nas rochas comparadas. Os resultados destes cálculos são mostrados na tabela 8.

OPALA "OLHO DE GATO"		SERPENTINITO	
Elementos	Moles per 6 oxigênio	Elementos	Moles per 6 oxigênio
Si	2,6	Si	1,27
Al	0,035	Al	0,06
Mn	0,005	Mn	0,002
Mg	0,025	Mg	1,812
Na	0,0018	Ca	0,0003
Ti	0,001	Ti	0,003
P	0,0003	P	0,0003
Fe	0,1	Fe	0,0623
OH	0,84	OH	2,592

Tabela 8 – Moles de elementos químicos per 6 oxigênios da opala "Olho de gato" e de um serpentinito próximo da ocorrência.

Os dados expostos na tabela 8 mostram um substancial acréscimo de silício, 2,6 moles contra 1,2, contrastando com uma grande perda de magnésio, 0,025 versus 1,812 moles, e água nas amostras de opala em relação ao serpentinito.

6.5. Ensaio de perda ao fogo

Foram aquecidas em forno a 600°C por 1h 45 min dois conjuntos de amostras de opala tipo "mel", sendo o primeiro conjunto composto por quatro amostras e o segundo por cinco amostras.

Os dados coletados estão expostos na tabela abaixo.

Amostras	Massa	Massa após a queima	Perda	% de água
1	2,0978 g	2,0031 g	0,0947 g	4,51 %
2	3,5912 g	3,4229 g	0,1683 g	4,65 %

Tabela 9 – Quantidade de água em amostras de opala

A porcentagem de água encontrada, em torno de 4,5 %, está dentro do esperado para opalas e é semelhante ao valor determinado pela Fluorescência de Raio-X para a opala "Olho de Gato" que foi de 4,15%.

7. CONCLUSÕES

Na região próxima à mina de Pedro II no Piauí, temos as opalas das variedades “Nobre” com um relativo jogo de cores e a “Fogo”, vermelha de brilho vítreo que ocorrem preenchendo fraturas e fendas nos arenitos silicificados, argilas e diabásio. Já na região de Jacobina na Bahia, ocorre a variedade “Mel”, de coloração amarelo-esverdeada, variando de clara à escura, que surge preenchendo fraturas hidrotermais numa zona fortemente fraturada. Na região de Jaguarari, também na Bahia, temos a “Opala Olho de Gato”, esverdeada com um aspecto fibroso, que ocorre substituindo a crisotila num serpentinito.

As opalas da variedade “Mel” são principalmente do tipo T, tridimita podendo também conter opala-A coexistindo. As opalas “Olho de Gato” contêm opalas do tipo A e T. A variedade “Nobre” contém apenas opala do tipo A.

O teor de água nas amostras gira em torno de 4,5%.

No caso das opalas de Piauí, a sua formação é certamente ligada aos fatores descritos acima com a forte influência do *sill* de diabásio.

Infelizmente, a geologia regional e local das ocorrências da Bahia, tanto de Várzea do Poço como de Socotó é muito pouco estudada. Assim, não se sabe nada sobre os fatores da formação e os sistemas hidrotermais, os quais depositavam a sílica formando as opalas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Couto, P. A.; Silva, E. A.; Lima, R. (1991) Garimpos de esmeralda de Carnaíba e Socotó, Bahia. In. Schobbenhaus, C., Teixeira de Queiroz, E., Coelho, C. E. S. Principais depósitos minerais do Brasil. Volume IV, Parte A, Gemas e Rochas Ornamentais. DNPM, Brasília p. (259-269).
- Dana, J. D. (1969) Manual de Mineralogia V. 2. Ed. Ao Livro Técnico. Rio de Janeiro. 287p.
- Deer, F. R. S.; Howie, R. A.; Zussman, J. (1966) An introduction to the rock-forming minerals. Ed. Longman. London. 527p.
- Esenli, F.; Kumbasar, I.; Esenli, V.; Kirikoglu, S. (2003) A study on characteristics of some opals from Turkey. N. Jb. Min. Mh. 2003, (177-192) Stuttgart.
- Fritsch, E.; Ostrooumov, M.; Rondeau, B.; Barreau, A.; Albertini, D.; Marie, A. M.; Lasnier, B.; Wery, J. (2001) Mexican gem opals: Nano and micro-structure, origin of colour, and comparison with other common opals of gemmological significance. In. XXVIII INTERNATIONAL GEMMOLOGICAL CONFERENCE - Madrid
- Gomes, C. B. (1984) Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia. Ed. Edgaed Blucher Ltda. São Paulo. 218p.
- Graetsch, H. (1994) Structural characteristics of opaline and microcrystalline silica minerals. Reviews in Mineralogy v. 29. (209-232) Mineralogical Society of America
- Hyrsl, J. (2001) Gemstones of Peru, Abstracts. In. XXVIII INTERNATIONAL GEMMOLOGICAL CONFERENCE – Madrid

Inda, H. E. V., Barbosa, J. F. (1978) Mapa geológico do Estado da Bahia. CPM, Salvador.

Mascarenhas, J. F., Ledru, P., Souza, S. L., Conceição Filho, V. M., Melo, L. F. A., Lorenzo, C. L., Milési, J. P. (1998) Série de Arquivos Abertos. n° 13, Geologia e recursos minerais do Grupo Jacobina e da Parte sul do Greenstonebelt de Mundo Novo. CBPM, Salvador 1998, 58p.

Mori, P.E. & Correia, C.T. 2000. Técnicas instrumentais aplicadas a análise química. Apostila da disciplina GMG-381. IG-USP.

Roberto, F. A. C.; Souza, V. C. (1991) Depósitos de opala de Pedroll, Piauí. In. Schobbenhaus, C., Teixeira de Queiroz, E., Coelho, C. E. S. (1991) Principais depósitos minerais do Brasil. Volume IV, Parte A, Gemas e Rochas Ornamentais. DNPM, Brasília, p. (337-346).

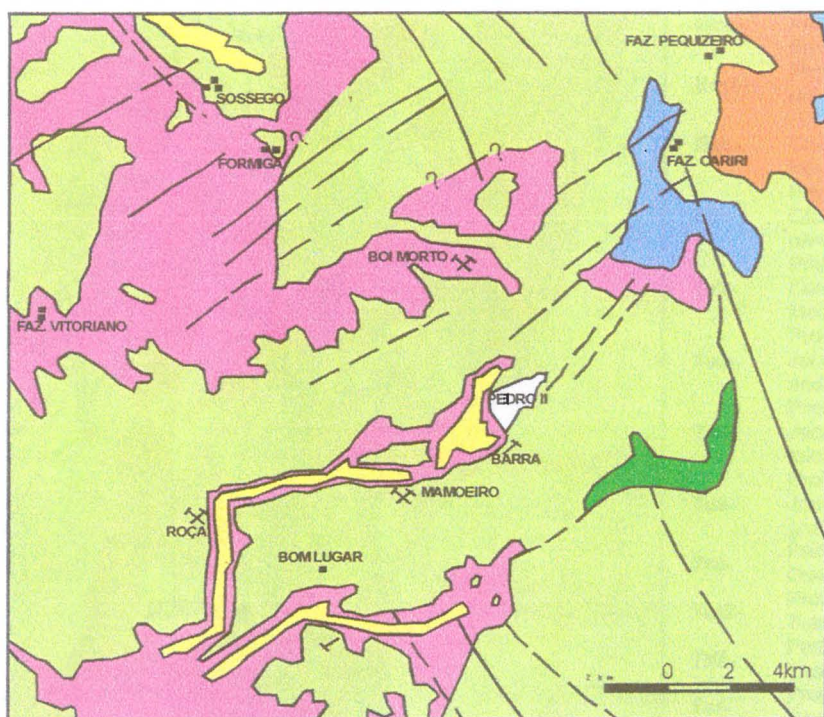
Schumann, W. (1995) Gemas do Mundo. 8ª Edição. Editora. Ao livro Técnico.

Soares Filho, F. C.; (1989) Rochas, minerais e pedras preciosas do Brasil – Belo Horizonte

Tröger, W. E. (1979) Optical determination of rock-forming minerals Ed. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart. 188p.

Anexo 1

**Esboço geológico da região de Pedro II no Piauí e da
região centro-norte do estado da Bahia**



CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

———— CONTATO DEFINIDO ESTRATIGRÁFICO

— ? — ? —
CONTATO INFERIDO








— — —
FALHA INFERIDA

———— LINEAMENTO

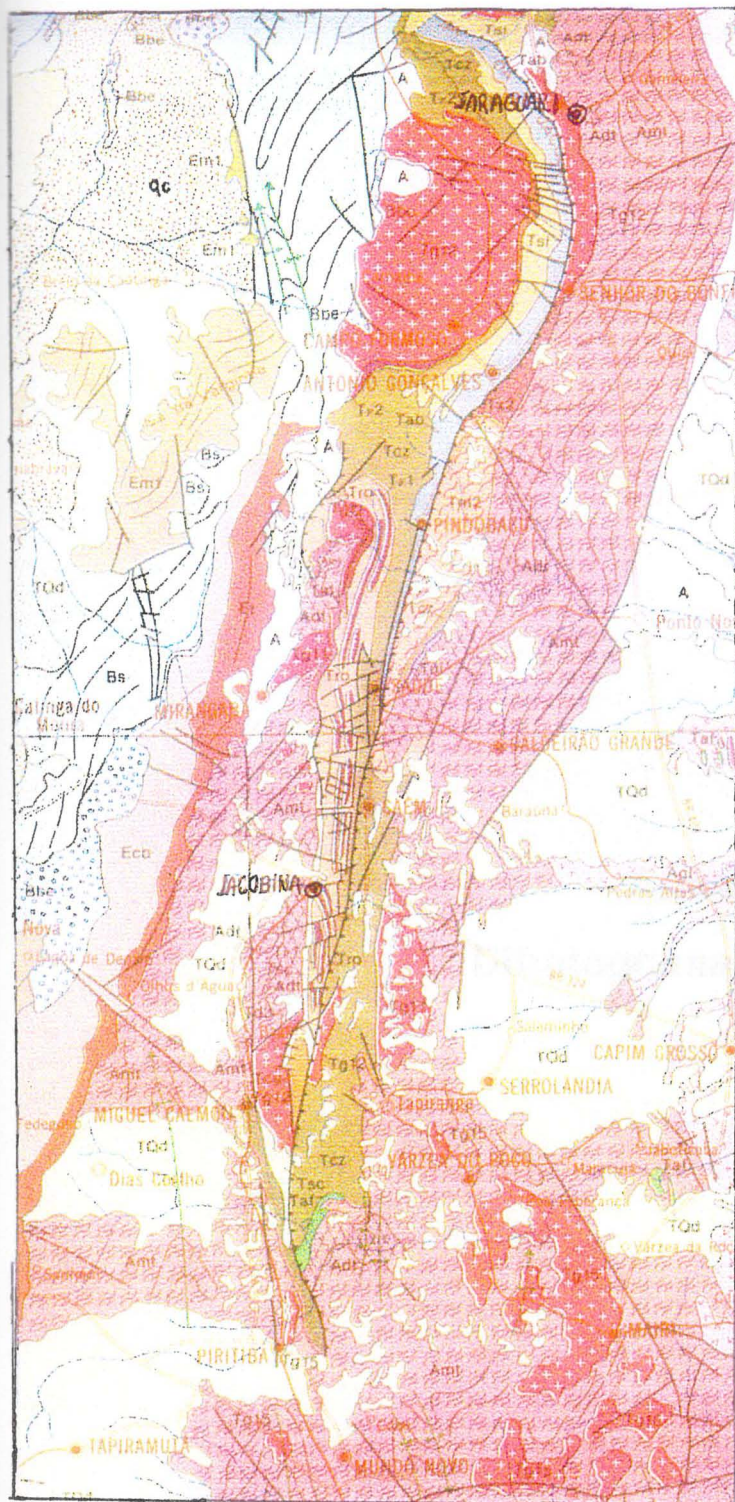
↗
GARIMPO EM ATIVIDADE

↘
GARIMPO ABANDONADO

✕
MINA EM ATIVIDADE

	Aluviões	Quaternário
	Cobertura laterítica	Terciário
	Diabásio	Jurássico
	Formação Longá	Devoniano
	Formação Cabeças	
	Formação Pimenteiras	
	Formação S. Grande	Siluro-devoniano

**Figura 1 – Esboço geológico da região de Pedro II, no Piauí
(Roberto e Souza 1991)**



Escala 1: 1 000 000

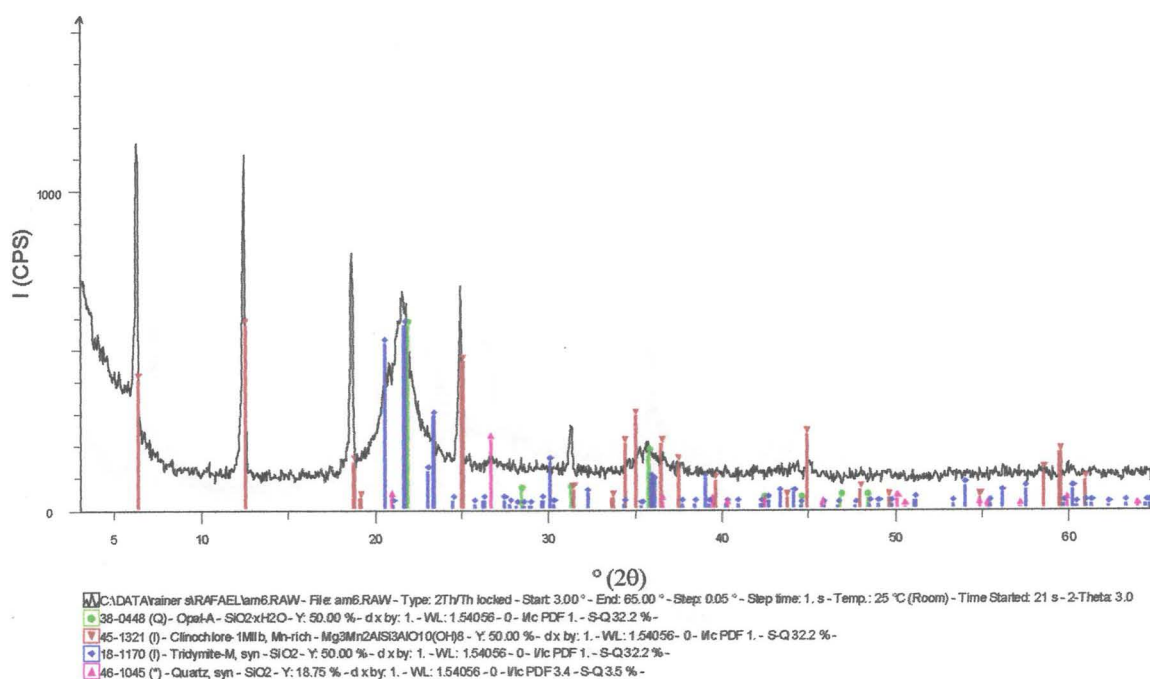
Figura 2 – Esboço geológico da região de Jaguarari e Jacobina, na Bahia
(Inda e Barbosa 1978)

- Qc-** quaternário
Fm. Caatinga: brechas calcárias sedimentares.
- TQd-** Terciário e Quaternário
Coberturas arenosas detríticas.
- Bs-** Proterozóico superior. Supergrupo São Francisco.
Conjunto carbonático pelítico não dividido.
- Bbe-** Proterozóico superior. Supergrupo São Francisco.
Fm. Bebedouro: conglomerados polimictitos e metassiltitos.
- Em1-** Proterozóico médio. Membro inferior: arenitos médios a finos.
- Ecb-** Proterozóico médio. Supergrupo Espinhaço. Grupo Chapada Diamantina. Fm. Caboclo: siltitos com intercalações de arenitos e margas.
- Et-** Proterozóico médio. Supergrupo Espinhaço. Grupo Chapada Diamantina. Fm. Tombador: quartzitos com níveis de metassiltitos e conglomerados.
- Tv2-** Proterozóico inferior. Complexo vulcano-sedimentar de Contendas-Mirante. Sequência inferior.
Metavulcânicas ácidas.
- Tab-** Proterozóico inferior. Complexo metamórfico de Jacobina. Fm. Água Branca: filitos, quartzitos e andaluzita cianita xisto
- Tsl-** Proterozóico inferior. Complexo metamórfico de Jacobina. Fm. Serra da Alegria: filitos quartzitos e mica xistos.
- Tcz-** Proterozóico inferior. Complexo metamórfico de Jacobina. Fm. Cruz das Almas: quartzitos, xistos, gnaisses e leptitos.
- Tro-** Proterozóico inferior. Grupo Jacobina. Fm. Rio do Ouro: andaluzita, xistos e quartzitos.
- Tm2-** Proterozóico inferior. Complexo Basal Transamazônico. Plagioclásio-gnaisses
- Tx2-** Proterozóico inferior. Complexo Basal Transamazônico. Xistos da região de Jacobina.
- Taf-** Proterozóico inferior. Complexo Basal Transamazônico. Orto e para-anfibolitos
- Tg11-** Proterozóico inferior. Intrusivas transamazônicas ácidas e intermediárias. Granito da região de Serrolândia.
- Tg12-** Proterozóico inferior. Complexo Vulcano-sedimentar. Uauá-Serrinha. Intrusivas transamazônicas ácidas e intermediárias. Granitos de Miguel Calmon, Campo Formoso, Camaliba e Juazeiro.
- Tg15-** Proterozóico inferior. Intrusivas transamazônicas ácidas e intermediárias. Granitos de Macajuba, tanquinho e Ipecaetá.
- Agl-** Arqueano. Piroxênio-granulitos, enderbitos, charnockitos e quartzitos
- Amb-** Arqueano. Metalexitos. Quartzitos
- A-** Arqueano ultrabásicas. Conjunto não dividido de associações de rochas metamórficas em diversas fácies, rochas migmatíticas e intrusivas diversas.

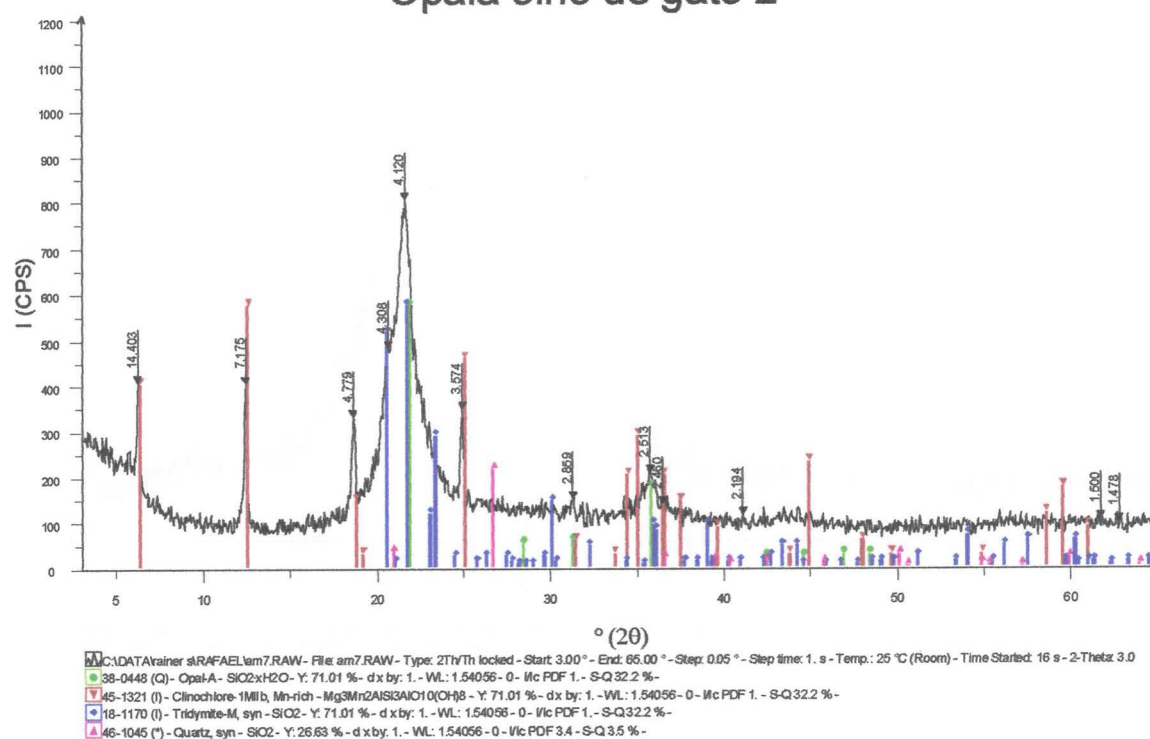
Anexo 2

Difratogramas de Raio-X

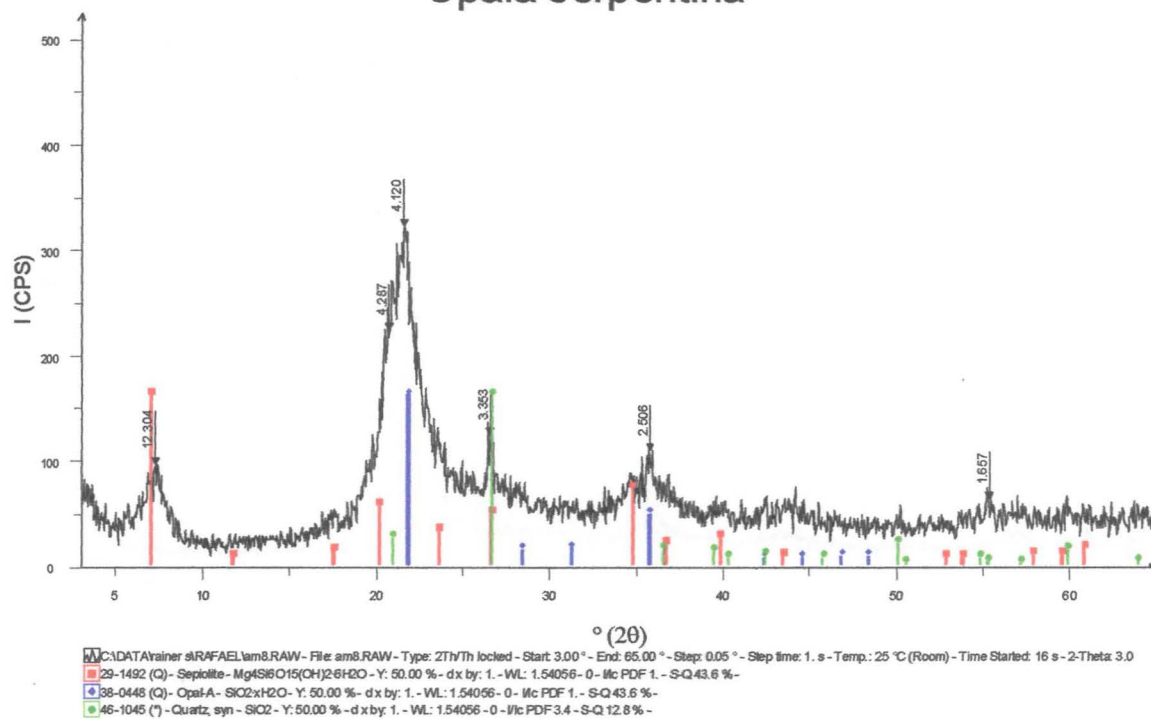
Opala olho de gato



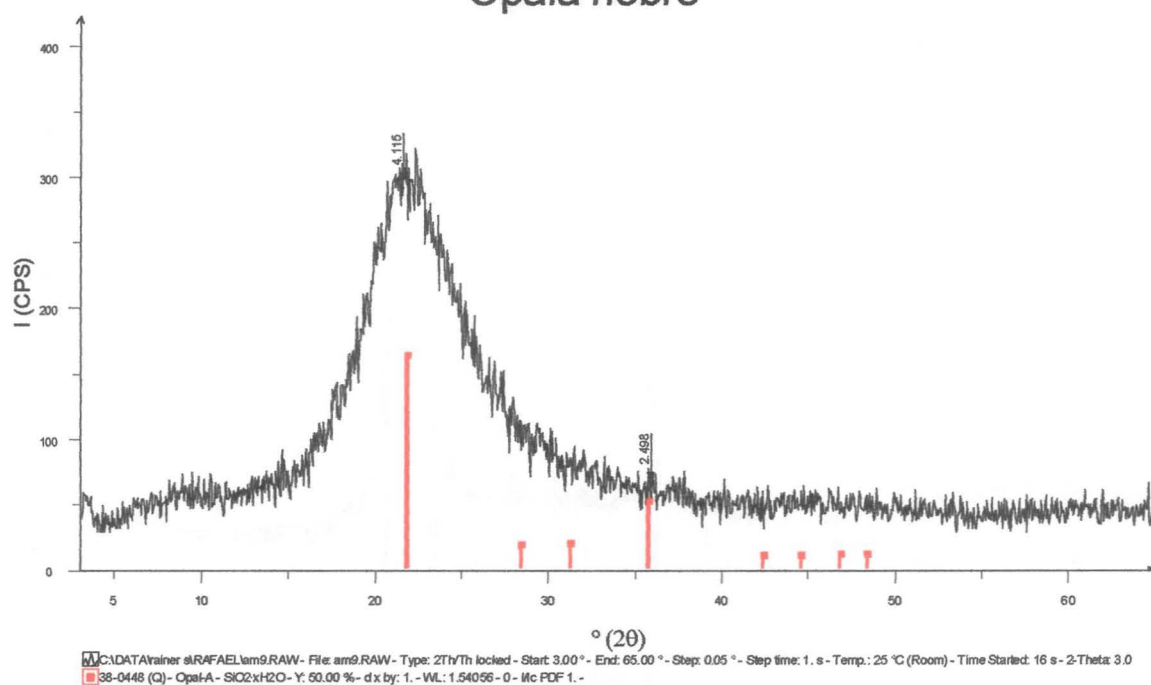
Opala olho de gato 2



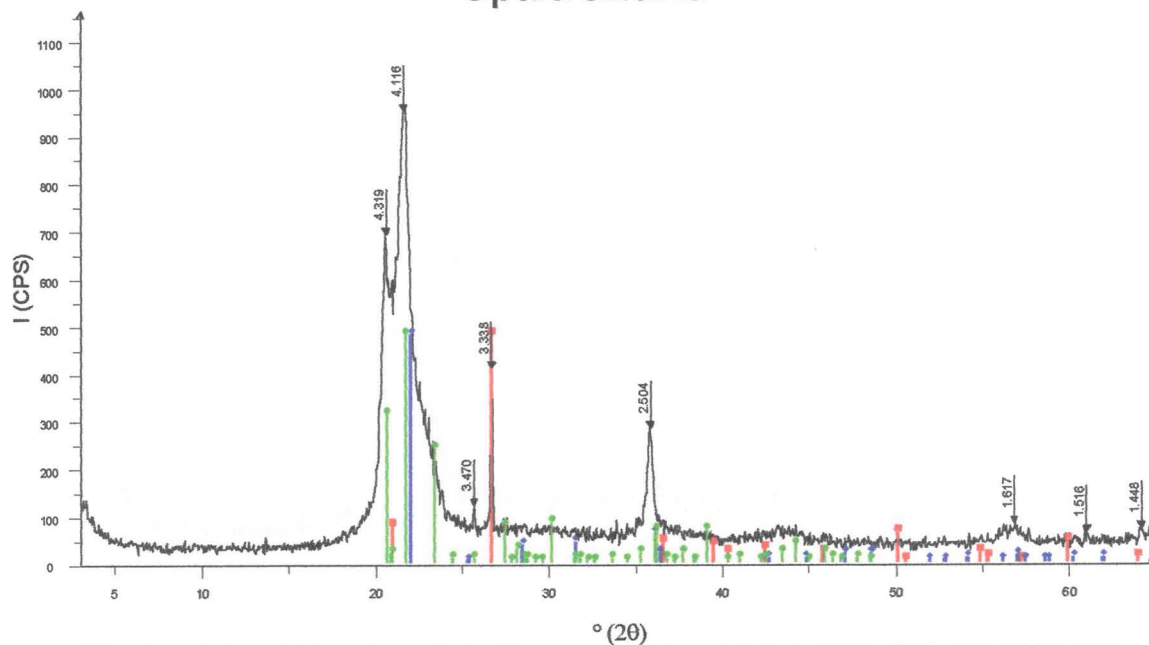
Opala serpentina



Opala nobre

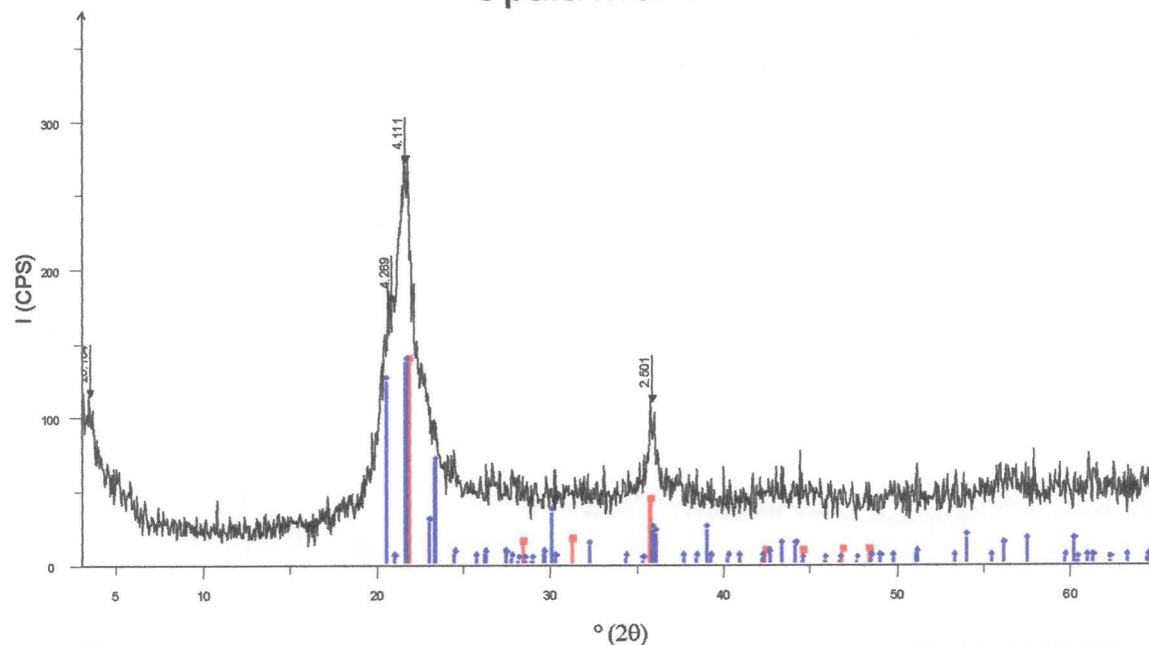


Opala andina



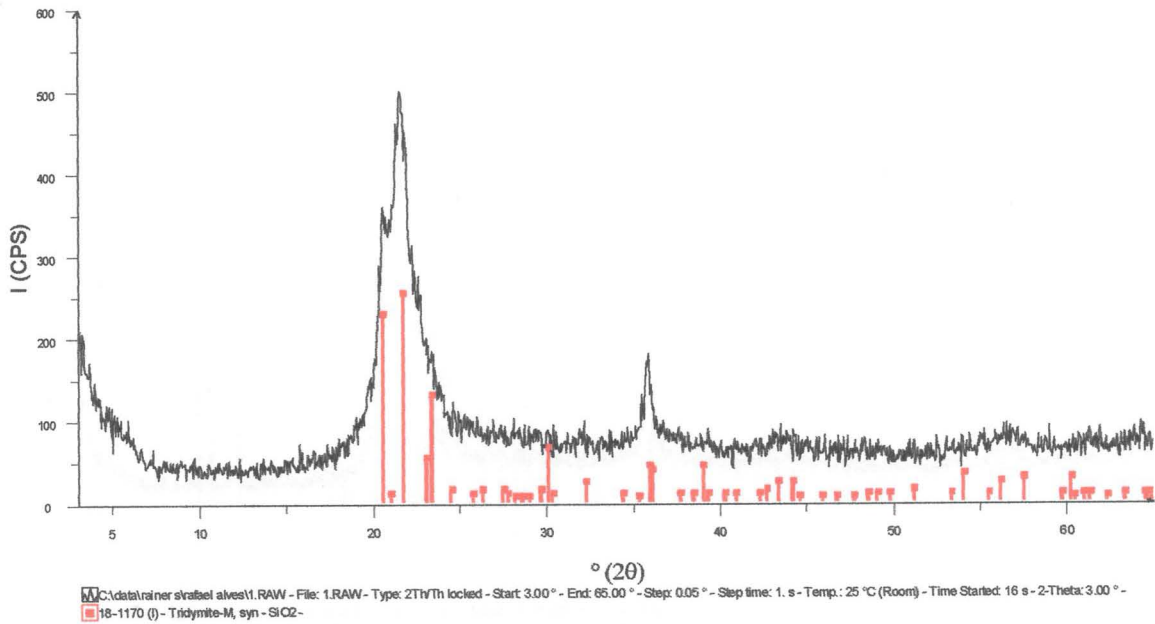
\\c:\data\rainer sl\RAFAEL\am10.RAW - File: am10.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.00 ° - End: 65.00 ° - Step: 0.05 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2-Theta:
 16-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - 0 - I/c PDF 3.4 - S-Q 12.8 % -
 39-1425 (*) - Cristobalite, syn - SiO₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - 0 - I/c PDF 1. - S-Q 43.6 % -
 16-0152 (Q) - Tridymite - SiO₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - 0 - I/c PDF 1. - S-Q 43.6 % -

Opala mel 1

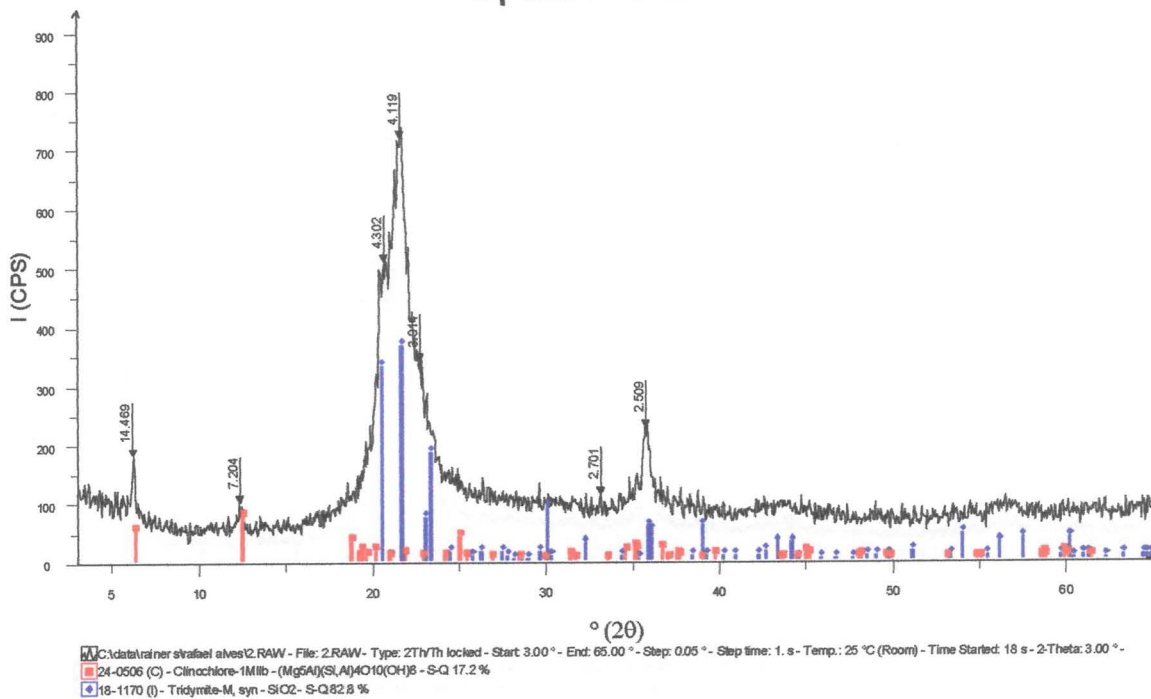


\\c:\data\rainer sl\rafael\opala ba.RAW - File: opala ba.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.00 ° - End: 65.00 ° - Step: 0.05 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2-Theta:
 38-0448 (Q) - Opal-A - SiO₂xH₂O - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - 0 - I/c PDF 1. - S-Q 50.0 % -
 16-1170 (Q) - Tridymite-M, syn - SiO₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - 0 - I/c PDF 1. - S-Q 50.0 % -

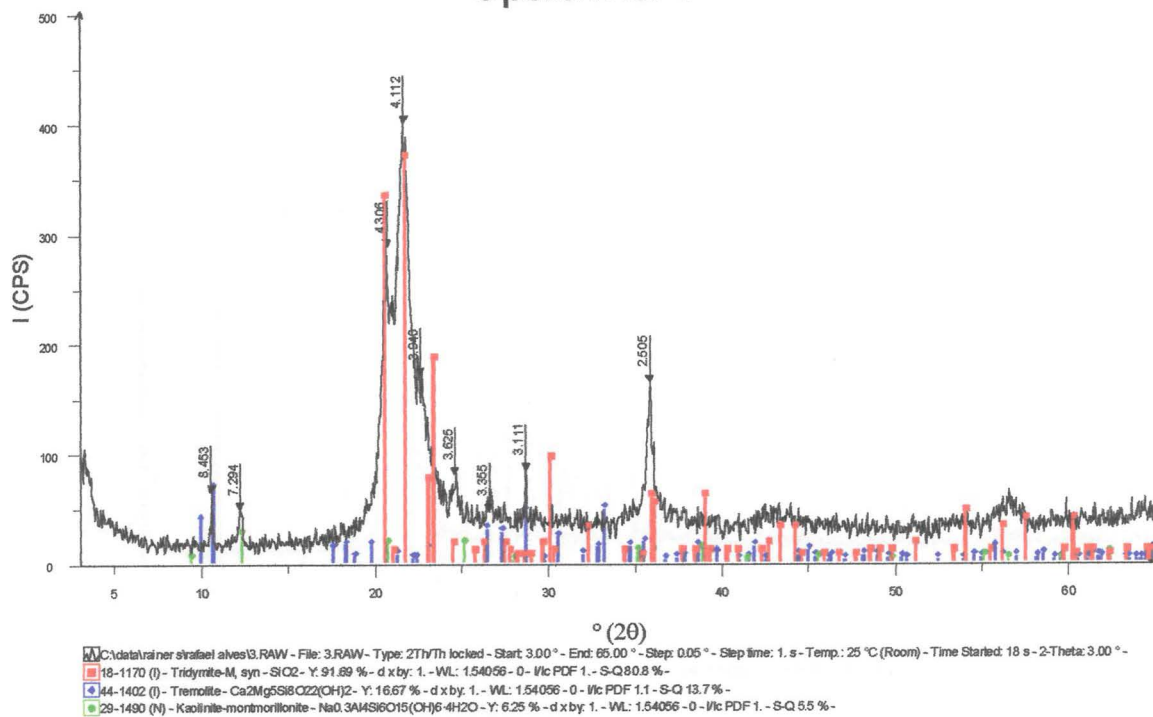
Opala mel 2



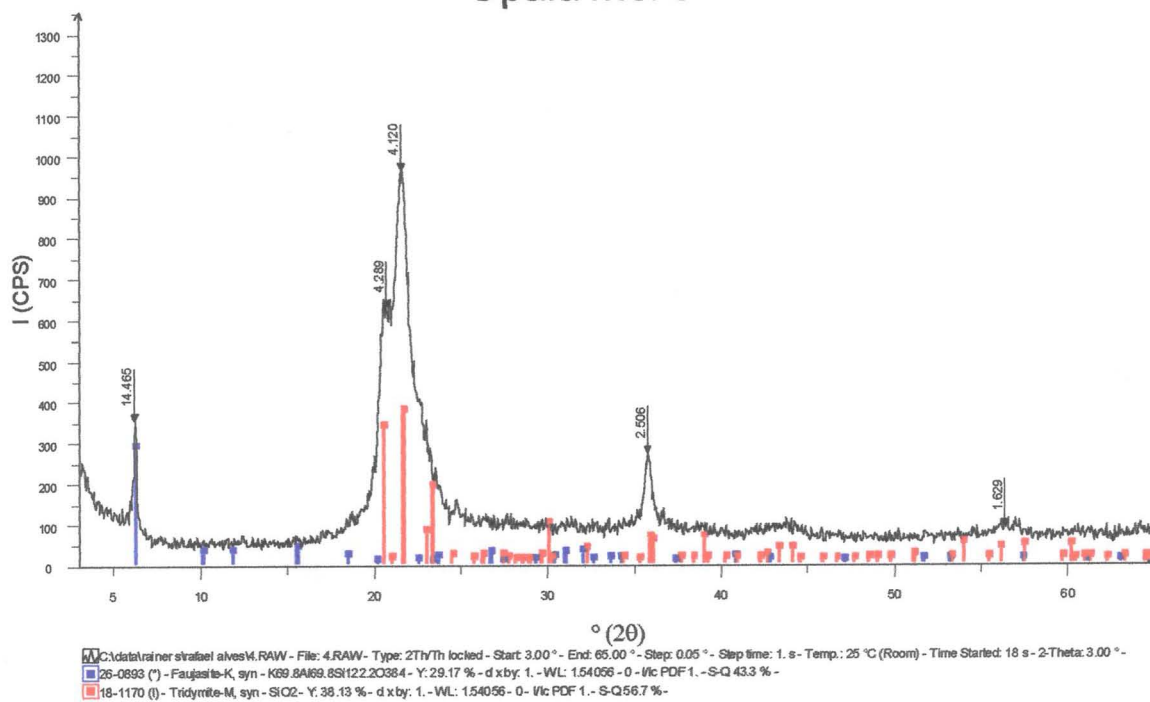
Opala mel 3



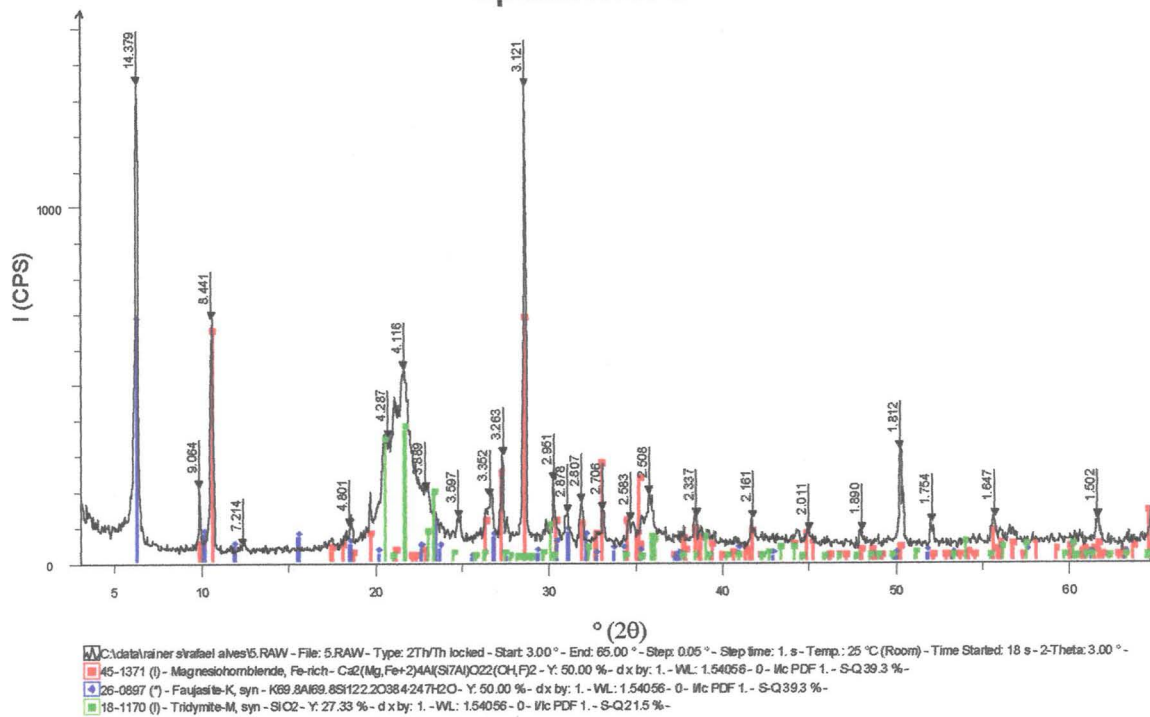
Opala mel 4



Opala mel 5



opala mel 6



Anexo 3

Fotografias de amostras de opalas



Foto 5 – Opala “Olho de Gato”



**Foto 6 – Opala “Olho de Gato” em um
serpentinito alterado**



Foto 7 – Serpentinito deformado com dobras tectônicas



Foto 8 - Opaia “Olho de Gato” na rocha hospedeira

De acordo,



Rafael Alves Mota



Prof. Dr. Rainer Aloys Schultz Güttler

São Paulo, 20 de dezembro de 2004