



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



MARCOS PAULO SOUSA DE ARAÚJO

**ESTUDO QUÍMICO, MINERALÓGICO E CARACTERIZAÇÃO GEMOLÓGICA
DE PREHNITAS DA ILHA DE VIS, CROÁCIA**

**OURO PRETO
2024**

MARCOS PAULO SOUSA DE ARAÚJO

marcos.psa@aluno.ufop.edu.br

**ESTUDO QUÍMICO, MINERALÓGICO E CARACTERIZAÇÃO GEMOLÓGICA
DE PREHNITAS DA ILHA DE VIS, CROÁCIA**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Geólogo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano

**OURO PRETO – MG
2024**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A663e Araújo, Marcos Paulo Sousa de.
Estudo químico, mineralógico e caracterização gemológica de
prehnitas da ilha de Vis, Croácia. [manuscrito] / Marcos Paulo Sousa de
Araújo. - 2024.
57 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Mineralogia. 2. Gemologia. 3. Prehnita. 4. Croácia. I. Cipriano,
Ricardo Augusto Scholz. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 549.623.2

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Marcos Paulo Sousa de Araujo

Estudo Químico, Mineralógico, e Caracterização Gemológica de Prehnitas da Ilha de Vis, Croácia

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Geologia

Aprovada em 14 de junho de 2024

Membros da banca

Prof. Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Isaac Daniel Rudnitzki - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Leonardo Martins Graça - Universidade Federal de Ouro Preto

Prof. Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 31/07/2024



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Augusto Scholz Cipriano, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/07/2024, às 10:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0749747** e o código CRC **91F484B1**.

Dedico a meus pais, Vivi e Zuri.

Agradecimentos

A concretização deste trabalho só foi possível graças ao apoio de grandes pessoas que com perseverança, auxílio e sabedoria compartilharam grandes conhecimentos para realização deste sonho.

Dentre estas grandes pessoas merecem destaque minha companheira Vivi, que com amor e carinho me ajudou nos momentos mais difíceis e sempre me incentivou a ser a minha melhor versão. Meus Pais que sempre me apoiaram e são meu norte. Ao professor Ricardo, com grande conhecimento, apoio e com paciência fez esse trabalho se tornar possível.

Ao laboratório de Microscopia e Microanálises – Lmic., ao Laboratório de Laminação (LAMIN) e ao Laboratório de Gemologia. Aos projetos FAPEMIG PPM-00588-18, PROPP/UFOP 22/2019 (23109.004080/2019-88) e PROPP/UFOP 13/2020 (23109.000928/2020-33), CNPq 310072/2021-2., FAPEMIG Universal APQ-00764-23.

Por fim ao Prof. Dr. Vladimir Bermanec e Geol. Marko Bermanec, por fornecerem amostras e fotografias de campo e a Dra. Željka Žigovecki-Gobac pelo pelos dados de Drx.

“Qualquer que seja o fim a que o homem se proponha, qualquer que seja a ideia que imagine desenvolver, experimenta grande prazer quando o tem conseguido, grande alegria quando a vê realizada...”

Claude Henri Gorceix

Resumo

O mineral prehnita é um aluminossilicato do sistema ortorrômbico que pode ser lapidado como gema. Na Ilha de Vis, Croácia eles são encontrados na forma de seixos rolados e amígdalas em rochas magmáticas que sofreram alteração hidrotermal e metamorfismo de baixo grau. Esse mineral possui interesse gemológico devido sua beleza que é notada em seus tons de verde, o que acarreta em sua valorização com o aumento da procura por minerais de significativa beleza. Dessa forma, o mineral se torna uma alternativa de venda por ter o valor mais acessível. Para este trabalho, lâminas delgadas foram analisadas por meio do microscópio de luz transmitida. As gemas lapidadas foram caracterizadas no laboratório de gemologia e análises químicas foram feitas para determinar as características do mineral de interesse gemológico. Os dados são apresentados em tabelas, gráficos e imagens, após esses processos foram comparados com a base de dados do site *mindat.org*.

Palavras-chave: Prehnita, Gemologia, Croácia, Vis.

Abstract

The mineral prehnite is an orthorhombic aluminosilicate that can be faceted as a gemstone. On the Island of Vis, Croatia, prehnite is found as rounded pebbles and amygdules within igneous rocks that have undergone hydrothermal alteration and low-grade metamorphism. This mineral is of gemological interest due to its green hues, and with the increasing demand for aesthetically significant minerals, it can serve as an alternative due to its affordable cost. For this study, thin sections were analyzed using transmitted light microscopy, faceted gems were characterized in the gemology laboratory, and chemical analyses were conducted to determine the characteristics of the mineral of gemological interest. The data are presented in tables, graphs, and images, and compared with the database on mindat.org.

Keywords: Prehnite, Gemology, Croatia, Vis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização da área de estudo. (a) localização da Croácia no continente Europeu, mostrando alguns países próximos. (b) Localização da Ilha de Vis no Mar adriático. (c) Ilha de Vis mostrando o local de coleta das amostras, na região oeste da ilha.	12
Figura 2.1: Mapa tectônico da região Adriática.	15
Figura 2.2: Mapa da distribuição da Plataforma Adriática, na região leste do continente europeu, região do mar Adriático, mostrando a localização da ilha de Vis. As setas mostram o sentido NE-SW do maior esforço tectônico (S1).	17
Figura 2.3: Coluna Estratigráfica da ilha de Vis.	18
Figura 2.4: Mapa geológico da Ilha de Vis, Croácia.	19
Figura 2.5: Mineral prehnita em diversas formas em cores. (a) Prehnita de coloração verde e forma botridal associada a calcita e quartzo, Nova Jersey, EUA. (b) Cristais leitosos de hábito piramidal, Quebec, Canadá. (c) Cristais tabulares semiparalelos de prehnita, Rhineland-Palatinate, Alemanha.	20
Figura 2.6: Representação da estrutura cristalina da prehnita $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Íons de cálcio, alumínio, silício e oxigênio estão dispostos na rede cristalina, formando tetraedros de $[\text{SiO}_4]$ e $[\text{AlO}_4]$. Os íons de cálcio são situados entre as cadeias tetraédricas, coordenados por átomos de oxigênio. A estrutura mostra a intrincada rede de cadeias tetraédricas interconectadas, característica da prehnita, refletindo sua composição e propriedades cristalográficas específicas.	21
Figura 2.7: Agregados radiais de prehnita em amígdalas de rocha basáltica na paria de Komiža.	23
Figura 2.8: Diagrama de Pressão e temperatura de fácies metamórficas.	24
Figura 3.1: Lâminas analisadas. (a) Lâmina LSC-17 - Presença de prehnita e outros minerais transparentes, além de uma pequena faixa da rocha encaixante. (b) Lâmina LSC-18: prehnita e outros minerais transparentes. (c) Lâmina LSC-19: Rocha encaixante com cavidades e amígdalas	27
Figura 3.2: Seixos rolados de prehnita coletadas na baía de Komiža. É possível observar que os grãos foram retrabalhados por atividade marítima, possuem forma oblata, são bem arredondados e superfície polida.	27
Figura 3.3: Gemas de prehnita com diferentes cores e lapidações.	28
Figura 3.4: Desenho esquemático dos componentes básicos do MEV	30
Figura 3.5: Polariscópio do laboratório de gemologia com uma gema de prehnita.	31
Figura 3.6: Refratômetro do Laboratório de Gemologia.	32
Figura 3.7: Esquema do funcionamento do refratômetro. (a) Diagrama esquemático mostrando a luz do refratômetro incidindo sobre a gema, com alguns raios penetrando a gema e outros refletidos e direcionados para a escala. (b) Imagem da escala vista pelo sistema óptico do equipamento.	33
Figura 4.1: Prehnita (Prh) com grãos subédricos tabulares com cores de interferência mais baixas. Ao lado de clinopiroxênios (Cpx) com subédricos a anédricos com	

cores vivas de interferência. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-18. Objetiva de 5X.....	36
Figura 4.2: Agregados radiais de prehnita. A linha reta entre os agregados é formada durante o crescimento dos grãos, que mostra que eles cresceram ao mesmo tempo. Na imagem (b) podemos ver a extinção paralela do agregado à esquerda. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-18. Objetiva de 5 X.	36
Figura 4.3: Prehnita com macla, mostrada pelas setas. Um pequeno fragmento da rocha (um basalto) é visto na lâmina em coloração marrom, com a presença de argilominerais. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC -18. Objetiva de 5X.....	37
Figura 4.4: Agregado radiais de prehnita onde é possível observar as cores vivas de interferência do mineral (a) ND e (b) NC. Lâmina LSC-19. Aumento de 5X....	37
Figura 4.5: Agregados radiais de prehnita, em contato com a rocha encaixante, um basalto de matriz fina com ripas de plagioclásio, grãos de clinopiroxênio com cores de interferência alta. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-17. Objetiva de 5X.....	38
Figura 4.6: Agregados fibrosos de prehnita com cores vivas de interferência de 2ª ordem. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-17. Objetiva de 5X.	38
Figura 4.7: Agregado policristalino com grãos anédricos de prehnita. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-17. Objetiva de 5X. ...	39
Figura 4.8: Prehnita preenchendo cavidade na rocha encaixante. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-19 e aumento de 5X.	39
Figura 4.9 - Rocha encaixante (basalto) contendo amígdalas. É observado a matriz fina e ripas de plagioclásio no basalto (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-19. Objetiva de 5X.	40
Figura 4.10 – Basalto de matriz fina e com amígdala com plagioclásio e argilominerais. É possível perceber o crescimento a partir da borda da cavidade. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-17 e aumento de 5X.	40
Figura 4.11: Gemas analisadas no laboratório de gemologia. É possível observar as diferentes tonalidades que o mineral pode exibir e sua aparência transparente a translúcida.....	41
Figura 4.12: Gema iluminada observada pelo polariscópio.	42
Figura 4.13: Influência da temperatura no eixo cristalino a da prehnita.	44
Figura 4.14: Influência da temperatura no eixo cristalino b da prehnita.	45
Figura 4.15: Influência da temperatura no eixo cristalino c da prehnita.	45
Figura 4.16: Influência da temperatura nos eixos cristalinos da prehnita.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Análise das gemas de prehnita.	43
Tabela 4.2: Expansão termica da prehnitaem cada eixo cristalográfico e em volume.....	44
Tabela 4.3: Análise química do com base em porcentagem em peso do óxidos do mineral prehnita.....	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Propriedades físicas, ópticas, químicas e cristalográficas da prehnita.	22
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Apresentação.....	11
1.2	Localização	11
1.3	Formulação do Problema	12
1.4	Justificativa	13
1.5	Objetivos.....	13
1.5.1	Objetivo Geral	13
1.5.2	Objetivos Específicos	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	Geologia Regional	14
2.2	Aspectos gerais da Prehnita	20
2.3	Gemologia.....	24
3	METODOLOGIA.....	26
3.1	Considerações Iniciais	26
3.2	Origem e preparação de Amostras.....	26
3.3	Microscópio Óptico de Luz Transmitida	28
3.4	Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV	29
3.5	Descrição Gemológica.....	30
3.5.1	Polariscópio	30
3.5.2	Refratômetro	32
3.6	Estabilidade Térmica	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1	Descrição das Lâminas	35
4.1.1	Caracterização Óptica	35
4.2	Caracterização Gemológica	41
4.3	Estabilidade Térmica	43
4.4	Análise química	47
4.5	Discussão	48
5	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Nos últimos 20 anos, com o aumento do poder aquisitivo de populações de países tradicionalmente consumidores de gemas, como China e Índia, vem ocorrendo o aumento da procura por materiais gemológicos (UNCOMTRADE, 2023). Gemas tradicionais, como turmalina, berilo, esmeralda, rubi e safira, sofreram aumento de preço.(DNPM/IBGM, 2009). Devido à escassez de gemas tradicionais no mercado e exaustão de diversos depósitos, novos minerais gemológicos vem sendo apresentados ao mercado. Um exemplo de gema com potencial econômico é a prehnita, um aluminossilicato de cálcio, que possui beleza característica e interesse gemológico. Este trabalho apresenta resultados e análises de amostras de seixos provenientes de praias da ilha de Vis, Croácia, além dos seixos de rocha encaixante, lâminas delgadas polidas do mineral e gemas com lapidação variada (cabochão e facetado) utilizadas para a caracterização gemológica.

1.2 Localização

A área de coleta das amostras encontra-se na Croácia, país localizado na região leste do continente europeu (Figura 1.1 a). Com uma área de 56.00 Km² e uma população de cerca de 3,9 milhões de habitantes, o país é banhado pelo Mar Adriático, onde possui a terceira maior área costeira da região do mediterrâneo (Figura 1.1 b). Tem como parte do seu território, 78 ilhas, compondo 5,8 % da superfície terrestre do país. A maioria destas ilhas são habitadas, e são de origem carbonática, com exceção das ilhas conhecidas como Jabuka e Brusnik, que são de origem vulcânica, e a ilha de Susak, que é de composição predominantemente arenítica.(BLAŽINA *et al.*, 2015) O local específico onde as amostras foram coletadas, situa-se na ilha de Vis (Figura 1.1 c), com cerca de 90 hectares e alguns milhares de habitantes, que vivem de turismo e atividades ligadas ao mar, como pesca e construção de barcos. A ilha possui formação carbonática, com camadas de rochas vulcânicas.

A ilha de Vis possui duas cidades Vis, ocupando a parte leste da ilha, e Komiza, que ocupa a parte oeste. Esta cidade possui na extremidade oeste camadas de rochas vulcânicas, onde é encontrado o mineral, na forma de amídalas e na forma de seixos rolados, que foram coletados para análise e confecção de lâminas e gemas com lapidação tipo facetada.

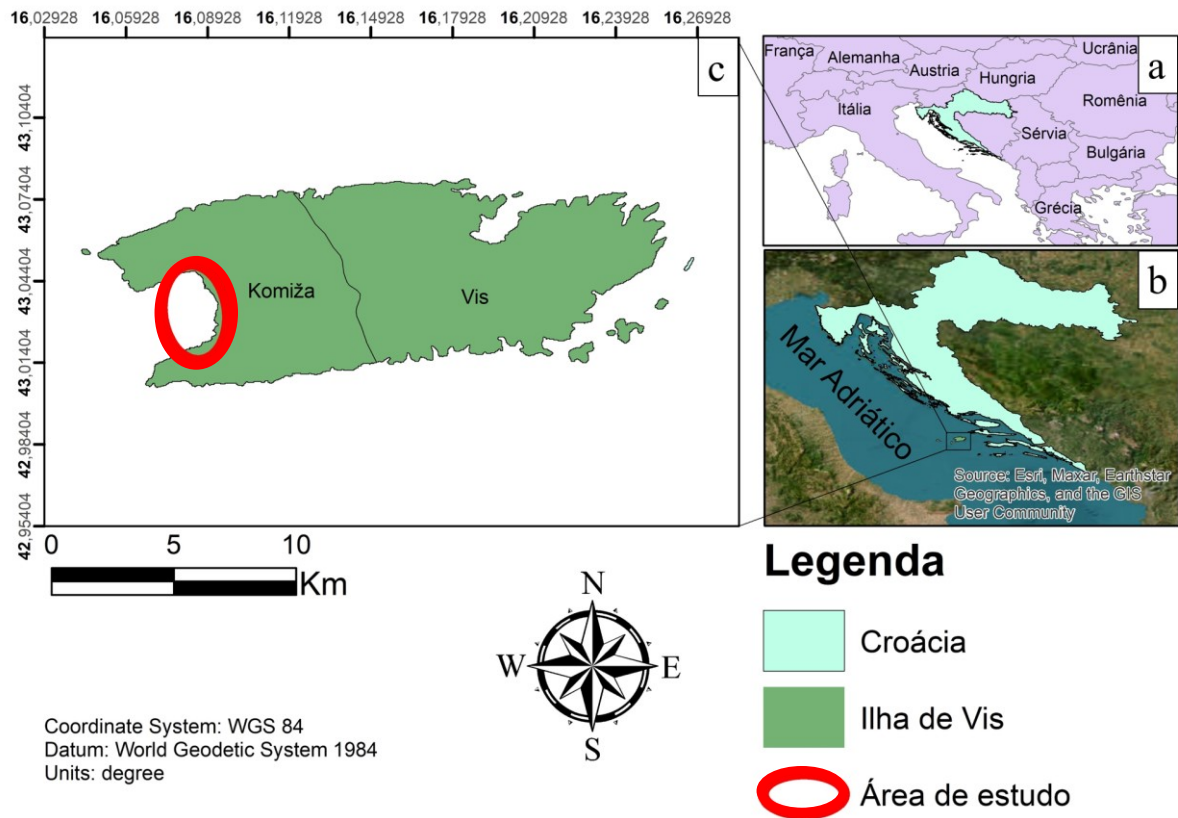


Figura 1.1: Localização da área de estudo. (a) localização da Croácia no continente Europeu, mostrando alguns países próximos. (b) Localização da Ilha de Vis no Mar adriático. (c) Ilha de Vis mostrando o local de coleta das amostras, na região oeste da ilha.

Fonte: (AUTOR, 2023).

1.3 Formulação do Problema

O uso de minerais como adorno está intimamente ligada a evolução da humanidade. Esse uso se dá por vários fatores, como crenças de propriedades místicas ou pelo simples fato de serem belas, e sempre foram artefatos admirados e utilizados junto ao corpo em cerimônias religiosas ou outros eventos desde tempos antigos. Evidências do uso e coleções de minerais gemológicos foram encontradas em achados arqueológicos das populações egípcias, greco-romanas e babilônicas (KLEIN; DUTROW, 2012).

Ao longo da história, algumas gemas ficaram famosas e são tradicionais no mercado, como: diamante, rubi, safira, turmalina, topázio e esmeralda. Devido ao aumento do poder aquisitivo da população, gemas passaram a ser parte do cotidiano de grande parte das pessoas, aumentando a demanda e conseqüentemente os valores de mercado (UNCOMTRADE, 2023). O aumento da procura, juntamente com exaustão de depósitos, fez aumentar a busca por outros

minerais gemas, como o mineral que é foco de estudo do trabalho, a prehnita, uma gema que vem ganhando espaço no mercado por sua beleza e valor comercial mais acessível.

Portanto no contexto dos aspectos apresentados surge um questionamento inevitável: o estudo e a caracterização gemológica, óptica e química, pode contribuir para o mineral prehnita ser uma gema de valor agregado no mercado?

1.4 Justificativa

Diante do problema exposto acima, há um aumento visível na demanda por gemas não convencionais, que vem ganhando espaço no mercado devido a beleza e ao valor econômico. A principal característica que leva a agregar valor para a gema é a beleza, que está diretamente relacionada as seguintes características: cor, brilho e lapidação, além da raridade e durabilidade (IBGM, 2005). Devido a fatores como o aumento da procura e dos preços, novas gemas não tão conhecidas, as chamadas gemas não convencionais, ganharam espaço no mercado para suprir as demandas. Com isso, minerais como a prehnita se destacam por suas propriedades e começam a ganhar valor de mercado, tornando esse estudo de suma importância científica, social e comercial.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar as características do mineral prehnita em lâminas delgadas, em seixos e realizar análise gemológica de gemas lapidadas do mineral, proveniente de depósitos secundários da praia de Komiža, na ilha de Vis, Croácia.

1.5.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram:

- Analisar a morfologia e textura da prehnita em lâminas delgadas;
- determinar as propriedades termomecânicas;
- determinar a composição elementar;
- realizar análise gemológica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Geologia Regional

A região do mediterrâneo está localizada entre as regiões sul do continente europeu e a parte norte do continente africano e compreende uma área em torno de grandes porções de água, onde a principal é o mar mediterrâneo. Essa área possui complexa evolução geológica com diferentes ciclos de extensão, compressão, sedimentação e erosão. Muitos autores, por meio de estudos sedimentológicos (KOCH; BELAK, 2003; PETRINJAK *et al.*, 2021), petrográficos, geoquímicos, geotectônicos (BECCALUVA *et al.*, 2007; GUERRERA *et al.*, 2016; LAVECCHIA; BELL, 2012; MCKENZIE, 1972), e geofísicos (CARBONI *et al.*, 2020; LORT, 1971), entre outros, tentam correlacionar evidências nas diversas áreas da geologia para explicar sua evolução geológica.

A região destacada acima foi formada pelo movimento do tipo “*drift*” entre as placas africanas e eurásiana. A zona de contato entre estas placas é caracterizada pela fragmentação de bordas em algumas microplacas, como a adriática, uma pequena placa que está associada a processos sísmicos e diversos falhamentos (MCKENZIE, 1972). Com uma complexa geodinâmica, a microplaca de Adria (Figura 2.1) é circundada por cinturões de deformação provenientes da colisão com a placa Eurásiana, da rotação pós colisional do Bloco da Sardenha (cinturão dos Apeninos do Norte) e de migração relacionada à subducção em direção a SE (cinturão dos Apeninos do Sul) do arco da Calábria. Aliado a isso, os numerosos registros de atividade sísmica nesta área, corroboram a teoria de muitos autores dessa ser uma região muito ativa (CONSOLE *et al.*, 1993; SCISCIANI; CALAMITA, 2009).

Percebe-se nessa região a ocorrência da Bacia Sedimentar Adriática, situada entre duas cadeias de montanhas (Appennini e Balkans) e com extensão latitudinal, com o maior eixo orientado de SE para NW medindo 800 km de comprimento e uma largura média de 180 km. Sua conexão com o mar Jônico se dá por meio do estreito de Otranto, com uma largura de 74 km (RUSSO; ARTEGIANI, 1996). A costa do mar adriático é um expressivo ambiente cárstico formado durante o período de transgressão marinha entre Pleistoceno e Holoceno (SURIC; JURAČIĆ, 2010).

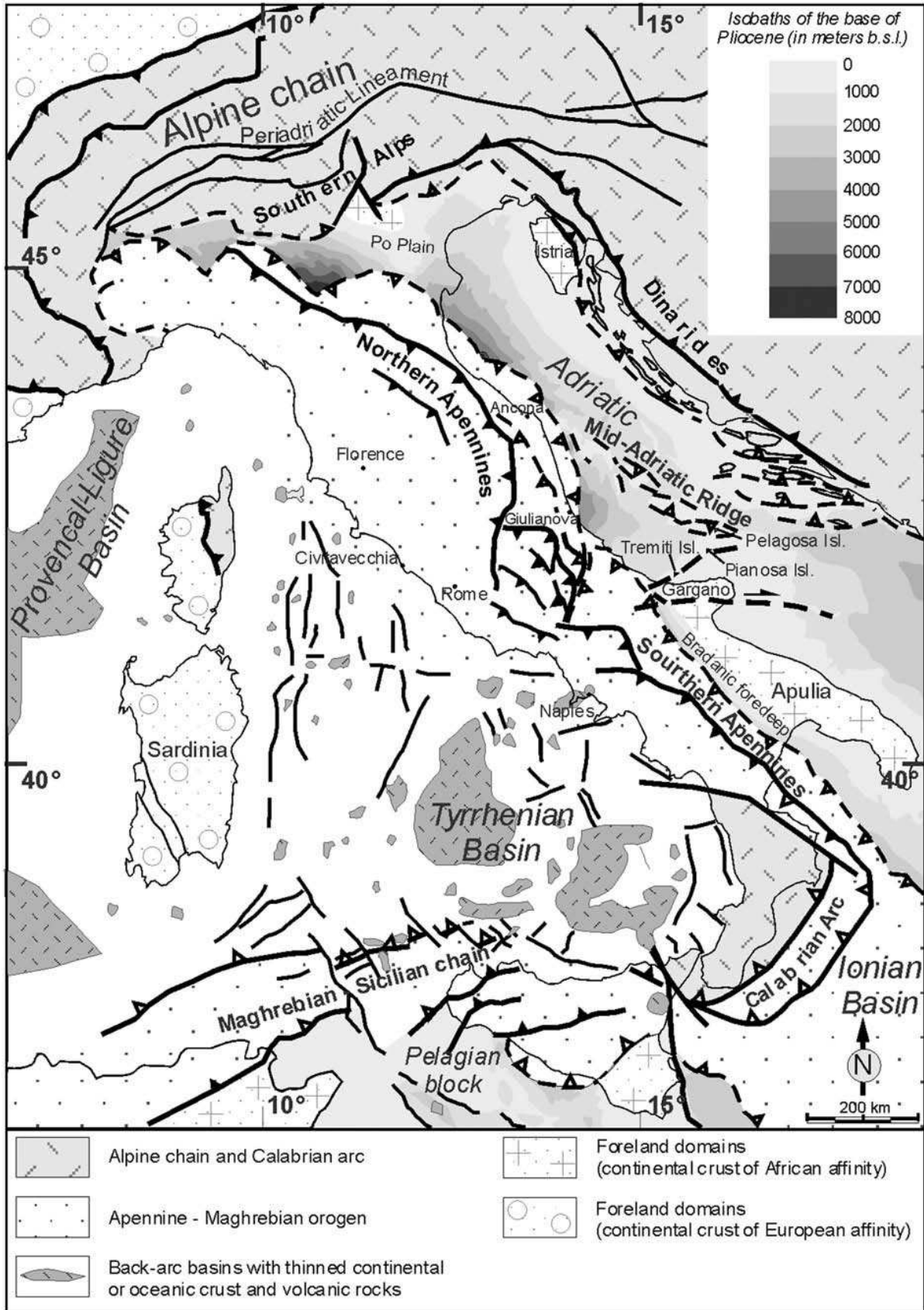


Figura 2.1: Mapa tectônico da região Adriática.

Fonte:(SCISCIANI; CALAMITA, 2009).

Na faixa situada entre os países da Itália e Croácia, encontra-se uma das mais vastas plataformas carbonáticas mesozoicas: A plataforma carbonática Adriática (Figura 2.2) (Adriatic Carbonate Platform - AdCP), que abrange o mar adriático, e os países da Itália, Eslovênia, Bósnia & Herzegovina, Montenegro, Sérvia, Albânia e Croácia. Nessa região, há registros antigos de estudos de naturalistas e geólogos sobre as paisagens e formações acerca das rochas carbonáticas, que vão desde o império romano (KRANJC, 2011). Ainda segundo o autor, o próprio termo, carste, ou “karst” tem origem de estudos de carbonatos na região do Golfo de Trieste, que fica entre a Eslovênia e a Itália. Tamanha exuberância e riqueza geológica atraem muitos turistas às paisagens naturais e cavernas imponentes que existem na região, como o caso da *Postojna Cave*, na Eslovênia, descrita pela primeira vez no século 17, é uma caverna aberta para o turismo desde 1818, e desde o ano de 1819 até 2017 recebeu cerca de 38 milhões de turistas e possui uma ferrovia instalada para este fim desde 1872 (ŠEBELA, 2019). Uma das maiores plataformas carbonáticas da região, a AdCP, compreende a maior parte de toda a sucessão carbonática que aflora na parte croata dos *Karst Dinarides* - cadeias de montanhas que divide a península Balcânica (Balcãs) do mar adriático, e são muito espessos (em locais com mais de 8 km), com uma distribuição estratigráfica desde o Permiano Médio (ou mesmo Carbonífero Superior) até o Eoceno. (VLAHOVIĆ *et al.*, 2005).

A região foi muito afetada por uma complexa geodinâmica do Mesozoico ao Cenozoico, caracterizando a região periadriática (CHANNELL; DARGENIO; HORVATH, 1979; ROSENBAUM; LISTER, 2004; USTASZEWSKI *et al.*, 2008). A evolução é registrada por uma sucessão sedimentar com vários quilômetros de espessura, que começa na fase triássica de Pangeia e vai até o último estágio de orogenia alpina, quando os cinturões orogênicos se desenvolveram ao longo das margens da plataforma.

A região de estudo, a ilha de Vis, pertence a região conhecida por “*Dalmatian Islands*” (KAPELJ *et al.*, 2002), região costeira dos países da Croácia até Montenegro, conhecida na era medieval como Dalmácia, onde possui um arquipélago com quase oitenta ilhas maiores e cerca de 500 ilhas menores, ou ilhotas, banhadas pelo mar Adriático. Situam-se em uma região de predomínio de rochas carbonáticas, com algumas exceções, onde há a ocorrência de níveis altamente retrabalhados e diápiros que contém rochas magmáticas incorporadas, com idades do Triássico médio a superior (KORBAR *et al.*, 2020).

A ilha de Vis faz parte da plataforma carbonática AdCP, e se difere substancialmente da geomorfologia cárstica habitual ao longo da costa oriental adriática devido a presença de rochas ígneas (Figura 2.3), com dois grupos principais: augita diabásio, ocorrendo nas ilhas

vizinhas de Brusnik e Jabuka, e a augita andesito, spilita-queratófiro e spilita encontrada em Vis (GOLUB; VRAGOVIC, 1975). Durante a sua consolidação, estas rochas foram afetadas pelo metamorfismo hidrotermal submarino, que causou um crescimento de minerais secundários nas amígdalas e cavidades semelhantes dentro das rochas. O magmatismo relacionado à fenda nos Dinarides ocorreu durante o Permiano Superior e o Triássico Inferior. Produziu uma série gabro-diorito-sienito-granito e uma formação extrusiva de basalto-andesito-dacito com abundantes rochas piroclásticas (PAMIĆ; BALEN, 2005).

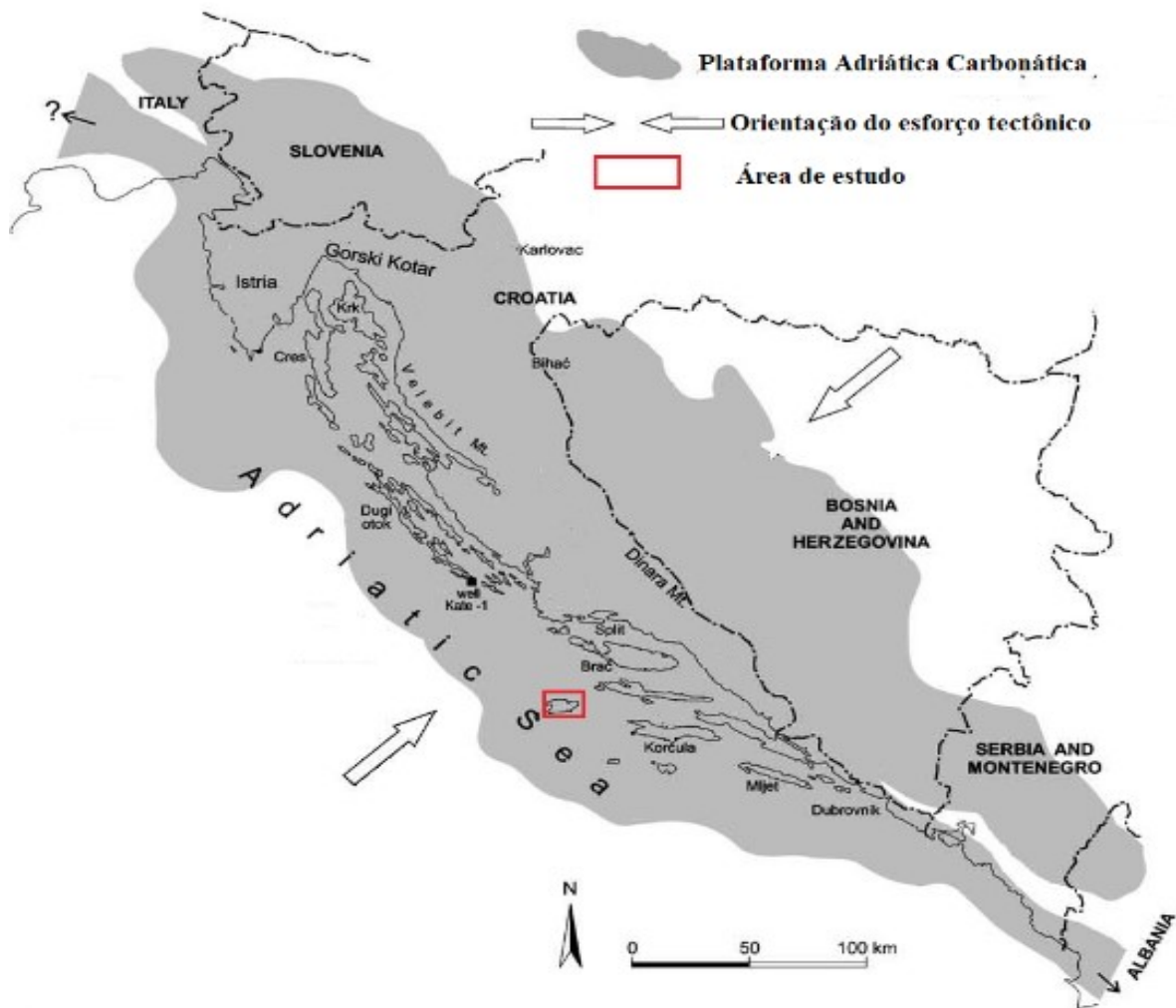


Figura 2.2: Mapa da distribuição da Plataforma Adriática, na região leste do continente europeu, região do mar Adriático, mostrando a localização da ilha de Vis. As setas mostram o sentido NE-SW do maior esforço tectônico (S1).

Fonte: Adaptado de (VLAHOVIĆ *et al.*, 2005).

A sudoeste da Plataforma Carbonática Adriática, está localizada a ilha de Vis. A geologia da ilha se dá por rochas calcárias com alguns níveis dolomíticos com camadas finas a

espessas, maciços e com estratificação, com espessuras de fina a espessa, com algumas unidades apresentando fosseis (Figura 2.3). Na parte oeste da ilha (Figura 2.4), na baía de Komiža estão situadas rochas vulcânicas que diferem da geologia cárstica habitual da região, representados por basaltos, augita andesitos, rochas piroclásticas e uma rocha vulcânica felsica albitizada conhecida como queratófiro (keratophyre). O magma parental é o mesmo, ou seja, a erupção pode ter vindo da mesma câmara magmática em duas fases distintas. As rochas cristalizadas têm quase a mesma composição, mas texturas diferentes, devido a diferentes regimes de resfriamento (PALINKAŠ; et. al, 2010)

Durante a sua consolidação, estas rochas foram afetadas pelo metamorfismo hidrotermal submarino, que causou um crescimento de minerais secundários nas amígdalas e cavidades semelhantes dentro das rochas. De acordo com (PAMIĆ; BALEN, 2005), o magmatismo relacionado à fenda nos Dinarides ocorreu durante o Permiano Superior e o Triássico Inferior. Produziu uma série gabro-diorito-sienito-granito e uma formação extrusiva de basalto-andesito-dacito com abundantes rochas piroclásticas.

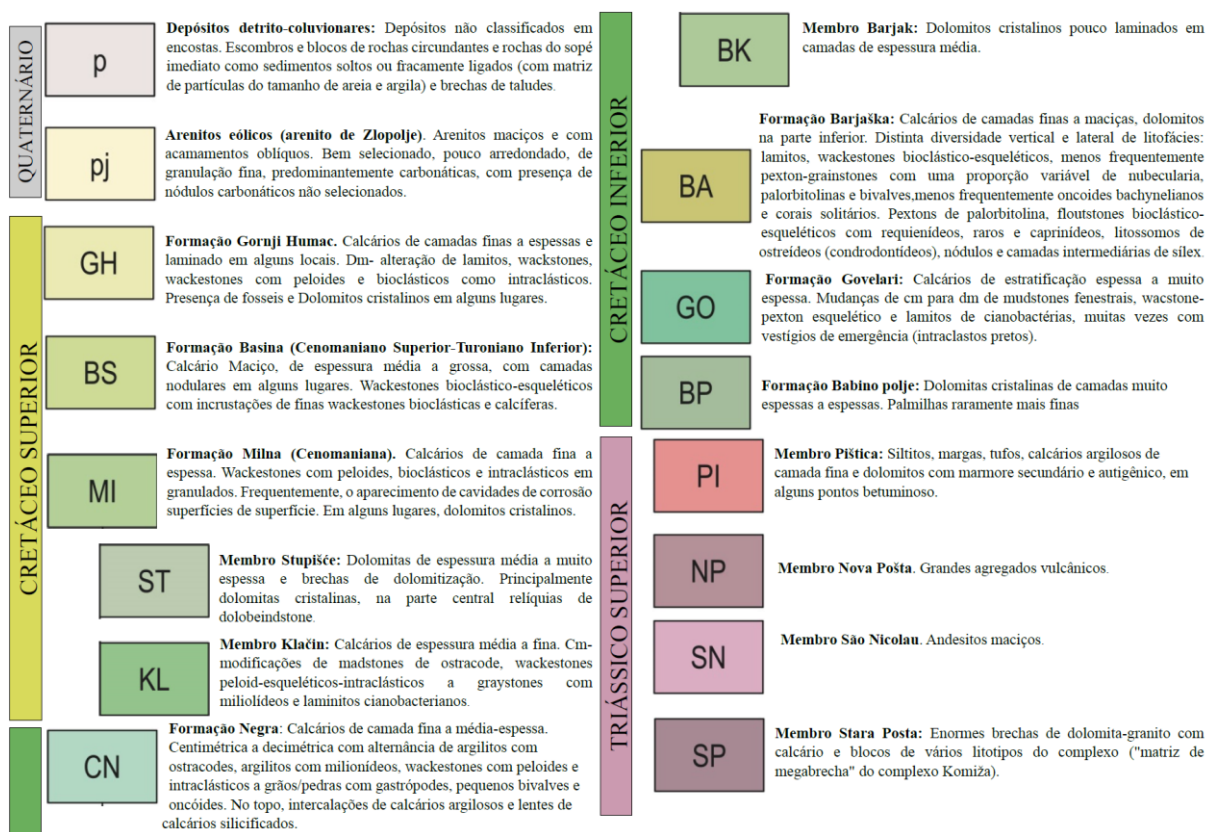


Figura 2.3: Coluna Estratigráfica da ilha de Vis.

Fonte: Modificado de (KORBAR *et al.*, 2012).

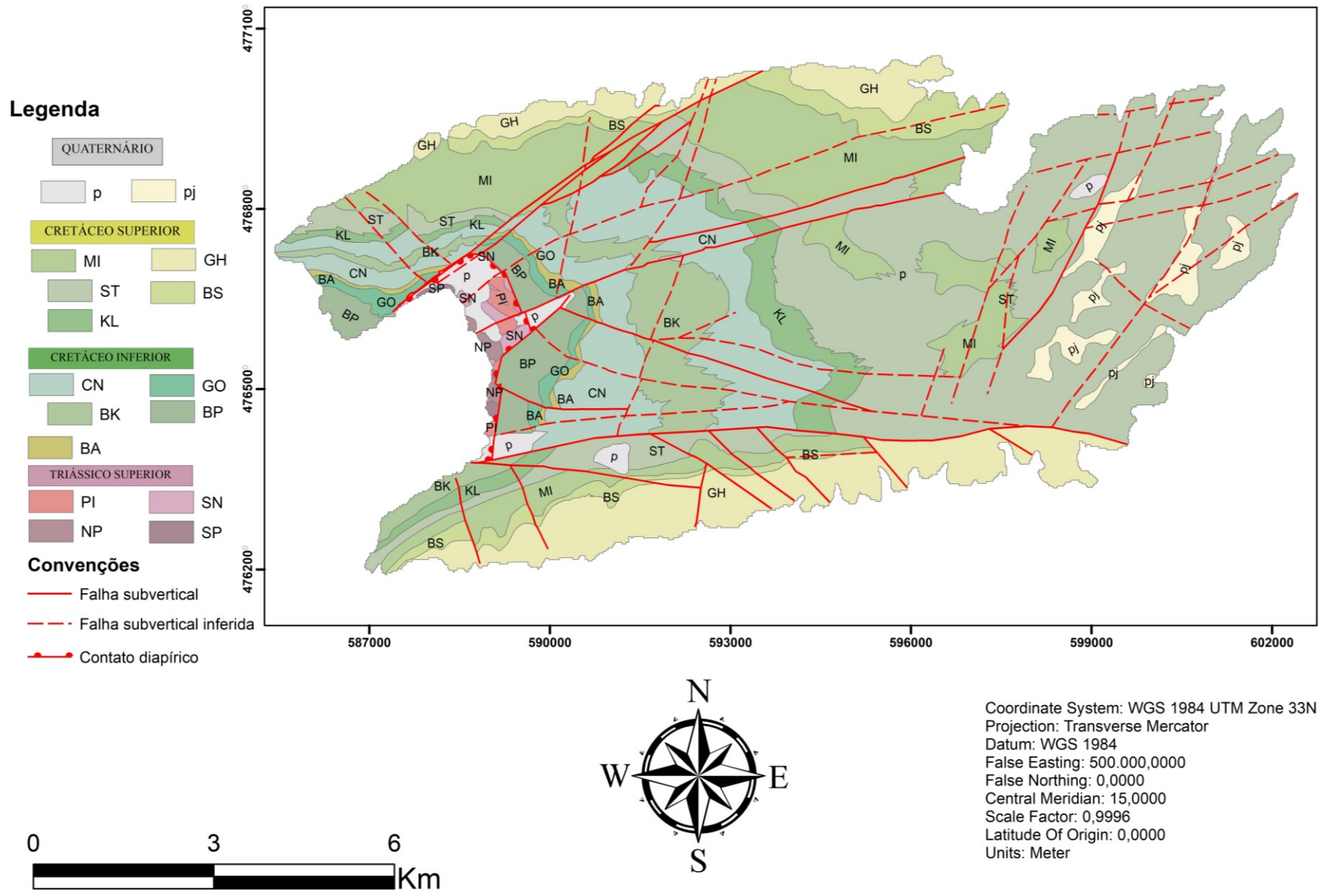


Figura 2.4: Mapa geológico da Ilha de Vis, Croácia.

Fonte: Modificado de (KORBAR *et al.*, 2012)

2.2 Aspectos gerais da prehnita

O mineral de prehnita (Figura 2.5) foi descrito pela primeira vez no ano de 1788, em uma revista alemã pelo geólogo alemão Abraham Gottlieb Werner, professor de Mineralogia em Freiburg, Alemanha. Ele foi responsável por desenvolver um sistema de classificação de cerca de 300 minerais e foi pioneiro na introdução de nomes de minerais a partir de pessoas (ATENCIO, 2012).



Figura 2.5: Mineral prehnita em diversas formas em cores. (a) Prehnita de coloração verde e forma botroidal associada a calcita e quartzo, Nova Jersey, EUA. (b) Cristais leitosos de hábito piramidal, Quebec, Canadá. (c) Cristais tabulares semiparalelos de prehnita, Rhineland-Palatinate, Alemanha.

Fonte: (MINDAT, 2023).

A prehnita possui fórmula química geral $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, com as proporções dos elementos essenciais (BEST, 2013; KLEIN; DUTROW, 2012) dada por:

- CaO: 27,1%;
- Al_2O_3 : 25,8%;
- SiO_2 : 43,7%;
- H_2O : 4,4%

O mineral é um inossilicato que se cristaliza no sistema ortorrômbico, com cristais tabulares e paralelos (ŽUNIĆ et al, 1990). Sua estrutura (Figura 2.6) é formada por tetraedros de alumínio e sílica, paralelos a $\{001\}$, direção essa na qual o mineral também se cliva (BEST, 2013; KLEIN; DUTROW, 2012). As principais características químicas, físicas e ópticas do mineral são apresentadas a seguir (Quadro 2.1).

Gemologicamente, cristais individuais são relativamente raros, assim como gemas facetadas totalmente transparentes, por isso normalmente são lapidados como cabochão. Esse mineral tem atraído atenção nos últimos tempos, principalmente por sua cor característica (IBGM, 2005; KLEIN; DUTROW, 2012; MINDAT, 2023; WANG *et al.*, 2022).

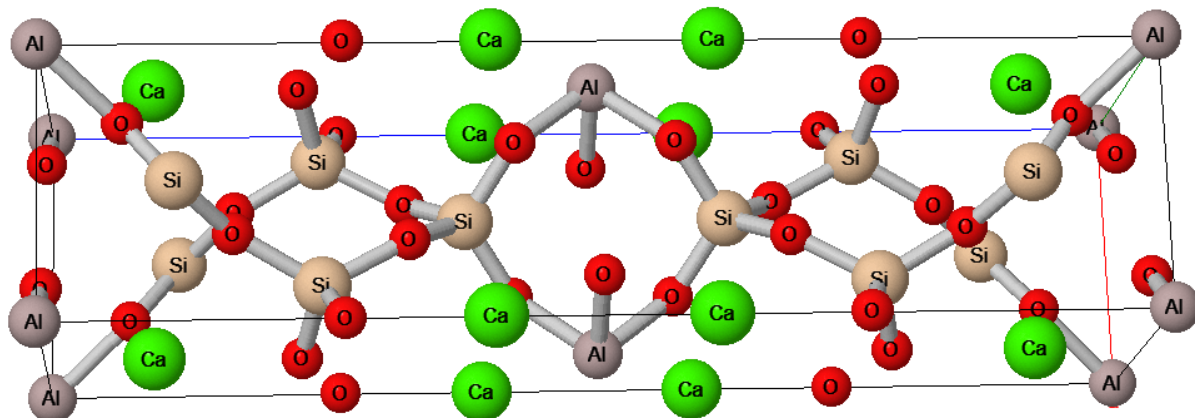


Figura 2.6: Representação da estrutura cristalina da prehnita $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Íons de cálcio, alumínio, silício e oxigênio estão dispostos na rede cristalina, formando tetraedros de $[\text{SiO}_4]$ e $[\text{AlO}_4]$. Os íons de cálcio são situados entre as cadeias tetraédricas, coordenados por átomos de oxigênio. A estrutura mostra a intrincada rede de cadeias tetraédricas interconectadas, característica da prehnita, refletindo sua composição e propriedades cristalográficas específicas.

Fonte: (MINDAT, 2023).

A prehnita é aluminossilicato de cálcio relativamente comum que ocorre como mineral primário ou secundário em rochas ígneas, metamórficas e em alguns casos, sedimentares. Apresentando principalmente como agregados radiais, maciços e botroidais. Possui larga distribuição mundial como Canadá, África do Sul, Namíbia, França, Áustria, Itália, Japão e Croácia (MINDAT, 2023; NAGASHIMA; IWASA; AKASAKA, 2018; WANG *et al.*, 2022).

Em rochas magmáticas, este mineral pode ser encontrado principalmente naquelas com características mais básicas, afetadas por processos hidrotermais ou metamórficos de baixo grau, e são menos frequentes em rochas ácidas, como granitos. Ocorre muitas vezes em veios, cavidades ou amídalas (Figura 2.7). É um mineral secundário, junto com albita, quartzo, calcita, pumpelita e clorita. Acessório de basaltos, gabros e dioritos, sua ocorrência está condicionada principalmente a proporção de cálcio na rocha. Ocorre também associado a zeólitas, calcita, epidoto, cobre e a biotita, secundariamente a clorita e hornblenda (BUCHER; GRAPES, 2011; DEER; HOWIE; ZUSSMAN, 2013; GARCÍA-GUINEA; MULAS; HUERTOS, 1982).

Quadro 2.1: Propriedades físicas, ópticas, químicas e cristalográficas da prehnita.

PROPRIEDADES FÍSICAS	
Brilho	Vítreo, perolado
Transparência	Translucido
Cor	Cinza a amarelo, amarelo esverdeado, verde claro e branco
Traço	Branco
Dureza	6,0 -6,5 na escala de Mohs
Clivagem	Boa em {001}
Fratura	Irregular
Densidade	2,8 - 2,95 g/cm ³
PROPRIEDADES ÓPTICAS	
Caráter óptico	Biaxial (+)
Ângulo 2V	58° a 68°
Birrefringência	0,021- 0,033
Relevo	Moderado
PROPRIEDADES QUÍMICAS	
Fórmula	Ca ₂ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂
Impurezas comuns	Ti, Fe, Mg, Na, K, H ₂ O
PROPRIEDADES CRISTALOGRÁFICAS	
Sistema cristalino	Ortorrômbico
Classe	mm2 – Piramidal
Classificação	Inossilicato

Fonte:(MINDAT, 2023).



Figura 2.7: Agregados radiais de prehnita em amígdalas de rocha basáltica na paria de Komiza.

Fonte: (BERMANEC, 2015).

A prehnita é um mineral que também pode ser encontrado em uma ampla variedade de rochas metamórficas, por isso é considerado um mineral metamórfico. Em um regime de aumento de temperatura a ocorrência deste mineral marca o início do processo de metamorfismo (BUCHER; GRAPES, 2011; WINTER, 2001). O próprio mineral, juntamente com a pumpelita, marca uma fácies metamórfica de baixo grau (Fácies prehnita-pumpelita), porém alguns autores (BUCHER; GRAPES, 2011), classificam essa fácies, e outras de baixo grau (como as fácies zeólia e actinolita-pumpelita), como fácies Sub Xisto Verde, “*subgreenschist*” (Figura 2.8), devido ao fato de se utilizarem outros métodos para determinar as condições de pressão e temperatura das demais fácies metamórficas.

A prehnita muitas vezes ocorre junto com outros minerais da família das zeólitas, como a laumontita, a heulandita e a analcima. A presença desses minerais pode indicar que a rocha passou por processos de metamorfismo em ambiente rico em fluidos hidrotermais (BEST, 2013; WINTER, 2001).

Em suma, a presença de prehnita, pode ser um indicador de que essas rochas passaram por processos de metamorfismo regional ou hidrotermal, expostas a pressões e temperaturas moderadas a baixas durante o processo de metamorfismo. A associação com outros minerais da família das zeólitas e a ocorrência em rochas vulcânicas metamorfizadas também podem fornecer informações importantes sobre as condições de formação da prehnita e da rocha hospedeira.

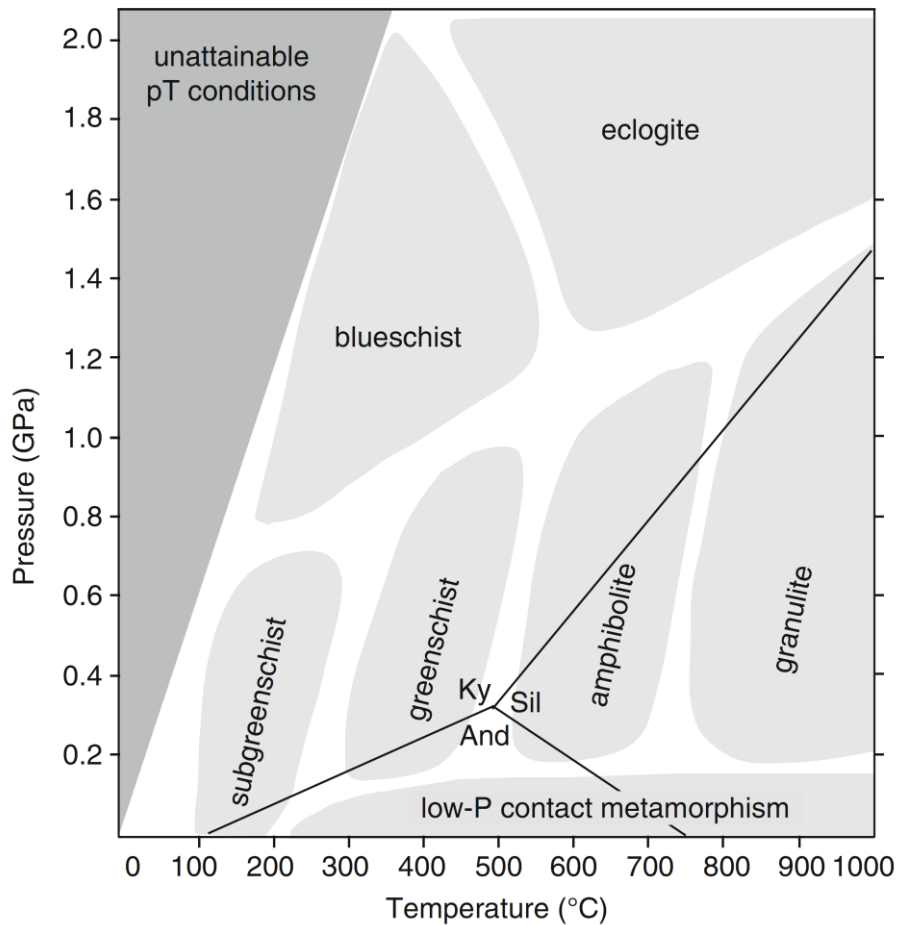


Figura 2.8: Diagrama de Pressão e temperatura de fácies metamórficas.

Fonte: (BUCHER; GRAPES, 2011).

2.3 Gemologia

A gemologia é a ciência que estuda os materiais inorgânicos, orgânicos ou sintéticos que são utilizados como adorno. Ela abrange diversas áreas do conhecimento que vão além da geologia, como a biologia, química e física (KLEIN; DUTROW, 2012).

O estudo das gemas as classifica principalmente em relação a sua origem, tendo três principais divisões: natural, sintética e artificial. As gemas naturais denominam materiais

encontrados na natureza, podendo ter sua gênese orgânica (âmbar, marfim, pérolas, etc.) ou inorgânica (minerais) (SIVISERO; FRANCO, 1987), que é o objetivo de estudo deste trabalho. Já as gemas sintéticas são feitas através de cristalização ou recristalização cuja manufatura envolve processos inteiro ou parcialmente antrópicos (SHAH, 2012). Por fim, as artificiais são aquelas que simulam ou imitam comportamentos das gemas naturais.

O mineral que ao ser lapidado possui beleza suficiente para ser utilizado em joias ou como adorno pessoal pode ser classificado como gema (KLEIN; DUTROW, 2012). Já o manual técnico de gemas (IBGM, 2005) não considera a gema pelo fato desta ser lapidada, e sim àquela que é usada como adorno devido suas características intrínsecas, como brilho, cor, dureza, raridade, entre outros. A combinação destas características associadas a contextos sociais define o valor de mercado da gema.

A procura por materiais e adornos produzidos a partir de materiais geológicos tem alta de preços e procura no mercado, assim as falsificações são comuns, forçando estudos que encontrem formas sofisticadas de identificar prováveis imitações. As propriedades das gemas são fatores importantes de identificação das mesmas afim de evitar possíveis falsificações. As principais propriedades são: sistema cristalino, dureza, clivagem, densidade relativa e as propriedades ópticas (cor, refração, pleocroísmo, transparência, brilho) (KLEIN; DUTROW, 2012; SCHUMANN, 2002).

3 METODOLOGIA

3.1 Considerações Iniciais

As amostras analisadas neste trabalho são provenientes da praia de Komiža, região oeste da ilha de Vis, Croácia. Os trabalhos de pesquisa e experimentais foram realizados nos laboratórios do Departamento de Engenharia Geológica da Escola de Minas (DEGEO). A confecção das lâminas foi realizada no Laboratório de Laminação (LAMIN). A descrição das lâminas foi feita no Laboratório de Microscopia. A descrição de gemas foi realizada no Laboratório de Gemologia. As lâminas e gemas já haviam sido preparadas previamente.

Ao longo deste capítulo serão apresentadas as etapas do trabalho, os materiais estudados, uma breve apresentação das principais características, os equipamentos utilizados no desenvolvimento do trabalho e as normas seguidas na execução de diferentes tarefas.

3.2 Origem e preparação de Amostras

Após o trabalho de campo, realizado pelo professor Dr. Vladimir Bermanec e pelo Geólogo. Marko Bermanec, que forneceram as amostras ao professor Ricardo Scholz (orientador), foram selecionadas amostras para confecção de três lâminas delgadas, LSC-17, LSC-18, LSC-19 (Figura 3.1) no Laboratório de laminação (LAMIN). Seixos da Baía de Komiža foram coletados (Figura 3.2). Seixos foram selecionados e lapidados no laboratório de Gemologia (Figura 3.3).

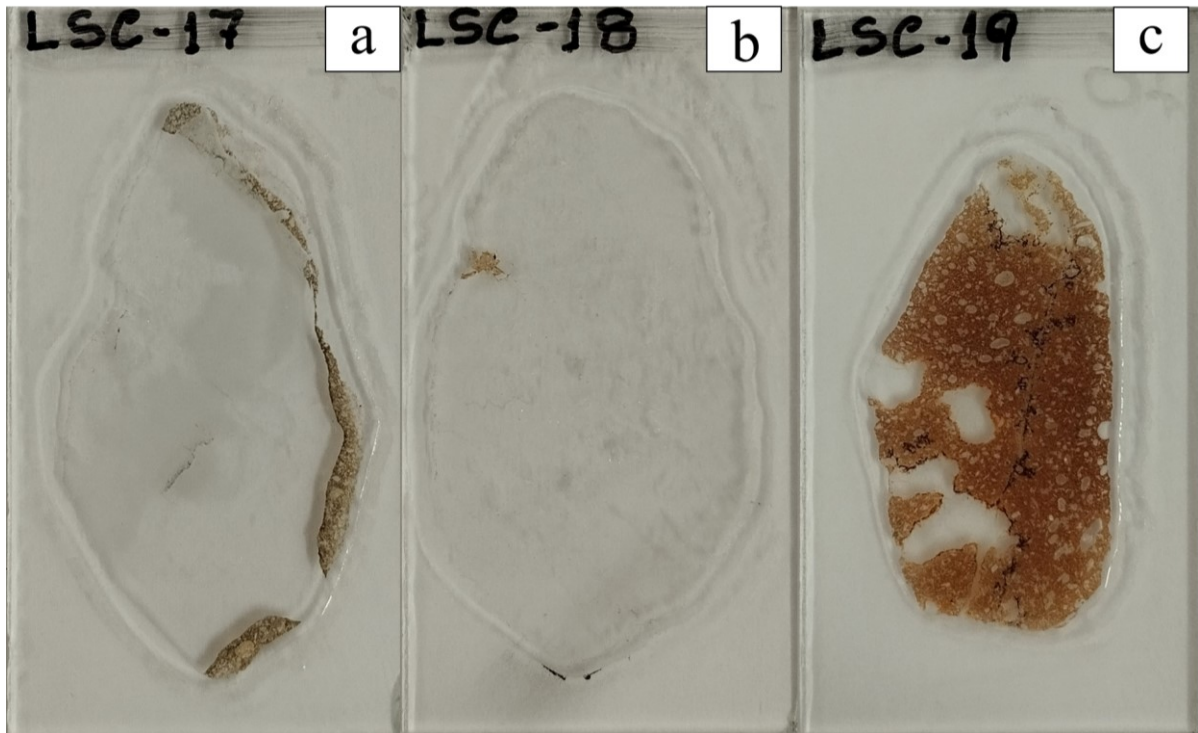


Figura 3.1: Lâminas analisadas. (a) Lâmina LSC-17 - Presença de prehnita e outros minerais transparentes, além de uma pequena faixa da rocha encaixante. (b) Lâmina LSC-18: prehnita e outros minerais transparentes. (c) Lâmina LSC-19: Rocha encaixante com cavidades e amígdalas

Fonte: (AUTOR, 2024)



Figura 3.2: Seixos rolados de prehnita coletadas na baía de Komiža. É possível observar que os grãos foram retrabalhados por atividade marítima, possuem forma oblata, são bem arredondados e superfície polida.

Fonte (AUTOR, 2024).



Figura 3.3: Gemas de prehnita com diferentes cores e lapidações.

Fonte (AUTOR, 2024).

3.3 Microscópio óptico de luz transmitida

Para a realização deste trabalho, foram descritas no laboratório de Microscopia do DEGEO as lâminas delgadas de amostras de rochas vulcânicas com amígdalas de prehnita, para essa análise foi utilizado o microscópio óptico da marca Leitz, modelo Laborlux 12 Pol S. Esse microscópio óptico utiliza a polarização da luz transmitida ou refletida, possibilitando a identificação das propriedades ópticas como, cor, relevo, índice de refração, clivagem, ângulo de extinção, pleocroísmo, texturas ou alterações, e assim caracterizar e identificar um mineral.

Para a análise de minerais transparentes a translúcidos é utilizado o sistema de luz transmitida. Neste sistema a fonte de luminosa fica situada na parte de baixo do equipamento, no qual a luz passa por um polarizador, pela platina, onde está localizada a lâmina e chega até o observador pelas lentes oculares. Neste caso, minerais opacos ficam completamente escuros, ou extintos, e para observá-los, o sistema de iluminação deve ser modificado para luz refletida, onde a fonte luminosa incide por cima do mineral, refletida e observada. Como não havia quantidades expressivas de minerais opacos, os mesmos não foram descritos.

Para observar e descrever as lâminas, foram utilizadas 4 lentes objetivas com aumentos de 5x, 10x, 20x e 50x, que através de um sistema giratório são trocadas facilmente e auxiliam na determinação das propriedades ópticas. Uma ferramenta muito útil para observar os minerais

são os polarizadores, ou luz plano paralela. Tais componentes do microscópio estão dispostos de tal maneira que o analisador está orientado de forma que a direção de polarização da luz é perpendicular a do polarizador inferior. Ao observar um mineral isotrópico com a luz plano paralela cruzada, não haverá passagem de luz e o mineral fica extinto. Se o mineral for anisotrópico, ocorre uma dupla refração e exibe cores de interferência, que podem ser mais vivas ou mais claras, dependendo das características e da seção que o mineral se encontra.

3.4 Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV

A microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é empregada em diversas áreas do conhecimento como engenharia de matérias, geologia, metalurgia, etc. Na mineralogia o conceito se baseia em projetos elaborados desde a década de 70. O uso deste equipamento é facilitado pela elevada profundidade de foco, gerando uma imagem com aparência tridimensional e a possibilidade de combinar análises microestruturais com microanálises químicas, com uma ampliação de imagem de até 300.000 vezes.

O funcionamento básico do equipamento se baseia na irradiação de feixes de elétrons sobre a superfície do mineral, com isso a imagem eletrônica formada, representa, em tons de cinza o mapeamento e a contagem de elétrons secundários e retroespalhados emitidos pelo material analisado (Figura 3.4) (MALISKA, 2005; SAMPAIO, 2016).

Os elementos químicos de uma amostra podem ser identificados por meio da irradiação característica que cada elemento emite ao ser bombardeado por um feixe de elétrons. As linhas de raios-X característicos são específicas do número atômico da amostra, e o seu comprimento de onda ou sua energia podem ser utilizados para identificar o elemento que está emitindo a radiação. Esta identificação ocorre por meio da espectroscopia por dispersão de energia (EDS), que acoplado ao MEV detecta raios X característicos dos elementos (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

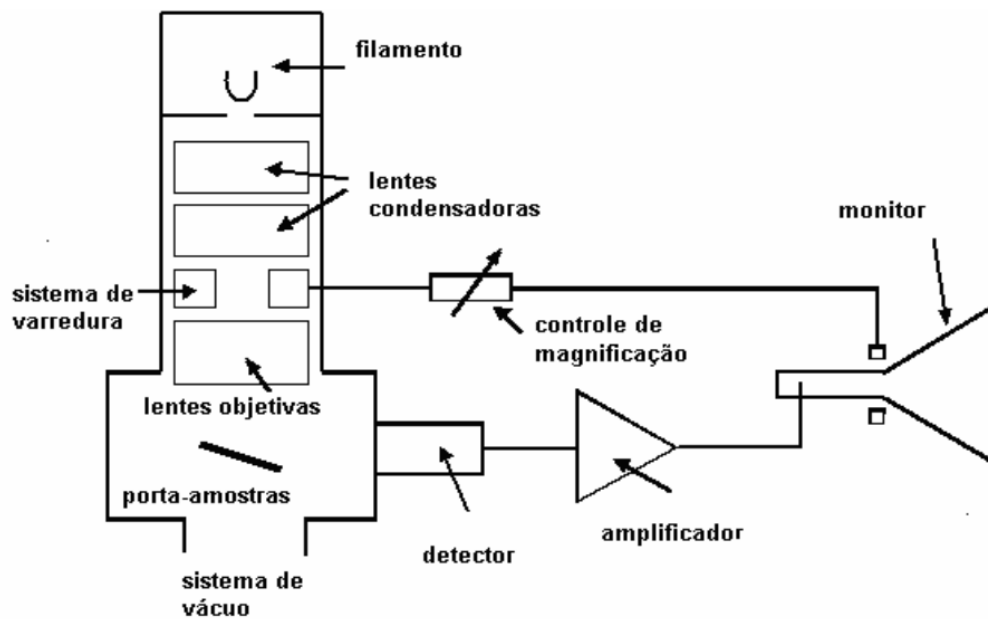


Figura 3.4: Desenho esquemático dos componentes básicos do MEV

Fonte: (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007)

A integração do MEV com o EDS desempenha um papel crucial na caracterização petrográfica, estudos petrológicos e gemológicos. Esse conjunto de técnicas é valioso para compreender a constituição e a composição das amostras estudadas, enriquecendo conhecimentos sobre as propriedades de rochas e minerais.

3.5 Descrição Gemológica

A descrição das gemas de prehnita ocorreram no Laboratório de Gemologia do DEGEO. As técnicas utilizadas são não destrutivas, para que não danifiquem o material. Os equipamentos utilizados foram o polariscópio, e o refratômetro, e a metodologia utilizada tem como base observar as características como cor, diafaneidade, pleocroísmo e índice de refração (GUINEA, 2006; WETZEL *et al.*, 2020). Abaixo são apresentados os equipamentos utilizados para o trabalho.

3.5.1 Polariscópio

O polariscópio (Figura 3.5) é um equipamento utilizado para determinar se uma gema é isotrópica ou anisotrópica. Apesar de ser possível obter esta informação por um microscópio polarizado, o polariscópio é bem mais prático e simples. Composto por uma fonte luminosa na parte de baixo, e por de duas placas polarizadas colocadas uma sobre a outra, o observador

coloca a gema sobre fonte luminosa e analisa a gema através dos polaroides. Estes são ajustado de tal modo que seus planos de polarização fiquem cruzados, evitando a passagem de luz através do polaroide superior. Ao ser rotacionada 360° sobre a superfície iluminada, podem ocorrer quatro casos distintos que auxiliam na caracterização da gema:

- (I) A gema ficar sempre extinta – isótropa ou não tem arranjo cristalino (como o vidro, por exemplo);
- (II) se ficar sempre iluminada – anisótropa e policristalina;
- (III) ficar quatro vezes luminosa e quatro vezes extinta – anisótropa e monocristalina;
- (IV) extinção anômala – não é possível uma conclusão.



Figura 3.5: Polariscópio do laboratório de gemologia com uma gema de prehnita.

Fonte: (AUTOR,2023)

3.5.2 Refratômetro

Outra importante característica utilizada na caracterização e identificação de gemas é o Índice de Refração (IR). Existem vários tipos de refratômetros, mas todos utilizam o mesmo princípio: o ângulo crítico para reflexão total (KLEIN; DUTROW, 2012).

As leituras do IR foram realizados no refratômetro modelo FGR-003 (Figura 3.6), utilizando a gema facetada, pois é necessário que a gema tenha faces polidas, planas, sem fraturas ou inclusões na faceta para realizar as leituras, não sendo possível com gemas do tipo cabochão.

Para utilizar o equipamento, uma faceta da gema é colocada sobre a superfície polida do refratômetro junto com o líquido de contato que possui índice de refração conhecido de 1,81. A fonte luminosa do equipamento atinge a gema com vários ângulos de incidência. Alguns destes raios de luz são absorvidos e outros não. Quando os raios de luz incidem na gema com um ângulo superior ao ângulo crítico para reflexão, eles são totalmente refletidos de volta e direcionados para uma escala, na qual sua imagem é refletida por um espelho e observada através de uma lente ocular (Figura 3.7).



Figura 3.6: Refratômetro do Laboratório de Gemologia.

Fonte: (AUTOR, 2023)

Após realizar a primeira leitura, a gema é rotacionada levemente, mantendo a mesma faceta apoiada para baixo e uma nova leitura é realizada. Esse procedimento é continuado até se

obter cerca de 10 leituras de modo que a gema rotacione 360°. Após as leituras, os maiores e menores índices de refração são analisados e comparados com a literatura existente.

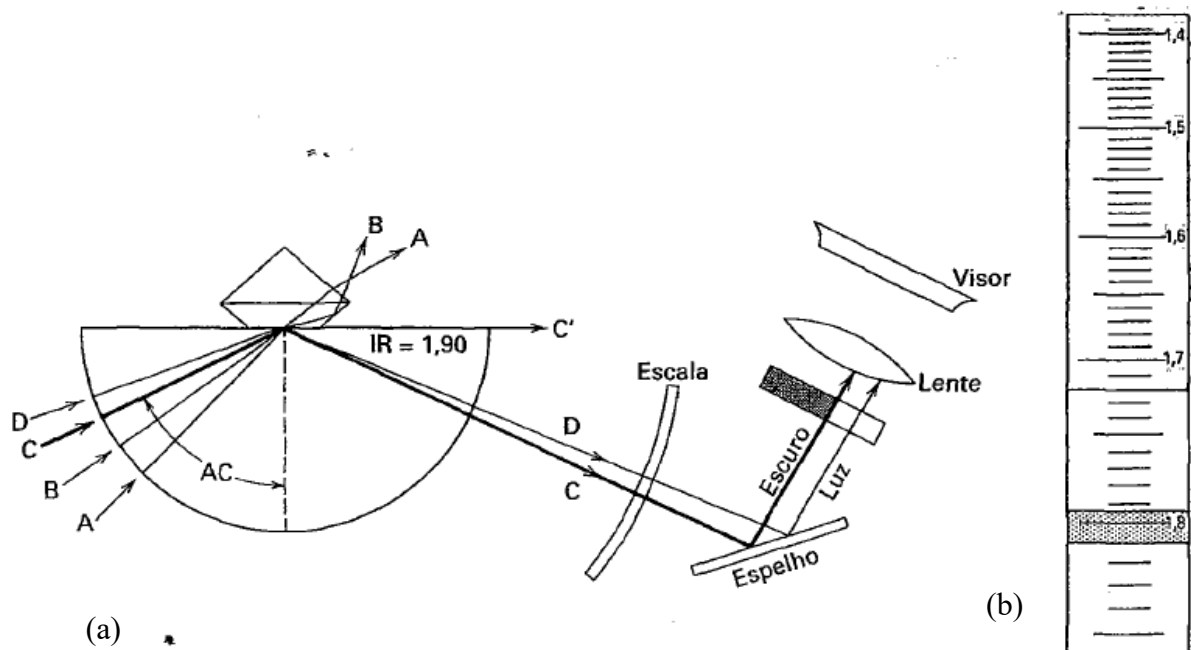


Figura 3.7: Esquema do funcionamento do refratômetro. (a) Diagrama esquemático mostrando a luz do refratômetro incidindo sobre a gema, com alguns raios penetrando a gema e outros refletidos e direcionados para a escala. (b) Imagem da escala vista pelo sistema óptico do equipamento.

Fonte: (KLEIN; DUTROW, 2012)

3.6 Estabilidade Térmica

O processo de análise de estabilidade térmica de minerais pode fornecer valiosas informações sobre o mineral, como o ambiente em que este pode se formar, quais elementos e minerais são essenciais para sua formação, e após sua degradação, quais serão os minerais formados.

O equilíbrio de fases experimentais combinado com relações deduzidas quimiograficamente são bem representativas e compatíveis com as ocorrências naturais de prehnita em veios hidrotermais, cavidades e amígdalas em rochas basálticas e sedimentos metaclásticos de baixo grau (LIOU, 1971).

O limite superior de temperatura da prehnita foi determinado por difração de raios X em pó com aumento gradual do programa de temperatura. Os dados foram coletados utilizando um difratômetro Anton Paar HTK 1200 N Empyrean com tubo de raios X de Cu a 45 kV e corrente de 40 mA. O perfil foi obtido entre $2,0080^\circ$ e $69,9740^\circ$ em 2θ utilizando intervalo de passos

de $0,0170^\circ$ e tempo de contagem de passos de 10,1600 s. As análises dos padrões de raios X foram realizadas por atribuição de picos utilizando o software HighScore Plus. O software Unitcell foi utilizado para calcular os parâmetros da célula unitária (HOLLAND; REDFERN, 1997).

O experimento feito e os dados aqui analisados foram cedidos ao professor orientador e utilizados nesse trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no decorrer do trabalho experimental e também foi feita a sua interpretação. A metodologia utilizada foi a seguinte: os resultados referentes a cada assunto estudado são apresentados e logo depois é feita a sua análise. Os resultados são apresentados em tabelas, gráficos e imagens, de modo a proporcionar uma leitura de fácil compreensão.

4.1 Descrição das Lâminas

As lâminas LSC-17, LSC-18 e LSC-19 (Figura 3.1) foram analisadas e suas principais características observadas no microscópio óptico foram descritas a seguir.

4.1.1 Caracterização Óptica

Em lâmina delgada, a prehnita é incolor de relevo moderado a alto, e possui intensas cores de interferência que vão até a segunda ordem, porém podem apresentar cores de interferência mais baixa (Figura 4.1). Alguns agregados radiais possuem extinção paralela (Figura 4.2) e em poucos casos, alguns agregados podem apresentar maclas (Figura 4.3). Os minerais observados em lâminas dificilmente se apresentaram como grãos únicos e na maioria das vezes estão como agregados radiais (Figura 4.2, Figura 4.4 e Figura 4.5), e menos frequente como agregados fibrosos (Figura 4.6) e policristalinos (Figura 4.7). Em contato com a rocha encaixante, pode ocorrer preenchendo de amígdalas e cavidades (Figura 4.8). A rocha encaixante é um basalto, e possui granulação fina, ripas de plagioclásio e matriz vítrea com argilominerais e algumas amígdalas (Figura 4.9 e Figura 4.10).

O caráter óptico biaxial positivo, definido na literatura (MELGAREJO, 1997; MINDAT, 2023) não foi observado nas lâminas analisadas. As imagens obtidas a partir do microscópio óptico foram através de lentes objetivas com o aumento de 5 X, o diâmetro observado nas lentes oculares é de 4,4 mm. Todas as imagens obtidas são exibidas com e sem a luz plano polarizada inserida.

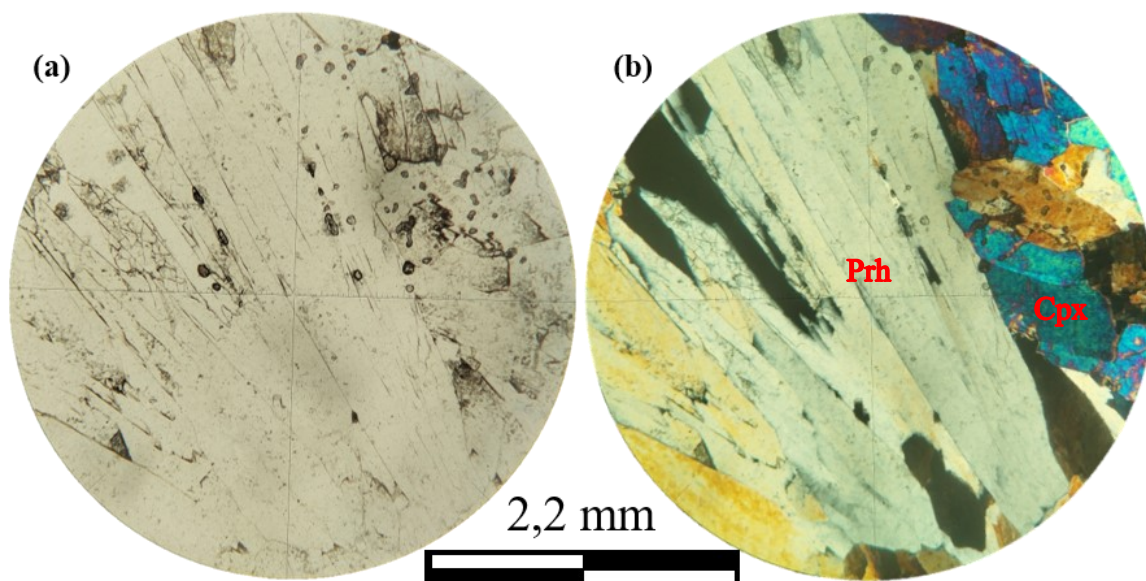


Figura 4.1: Prehnita (Prh) com grãos subédricos tabulares com cores de interferência mais baixas. Ao lado de clinopiroxênios (Cpx) com subédricos a anédricos com cores vivas de interferência. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-18. Objetiva de 5X.

Fonte: (AUTOR, 2023).

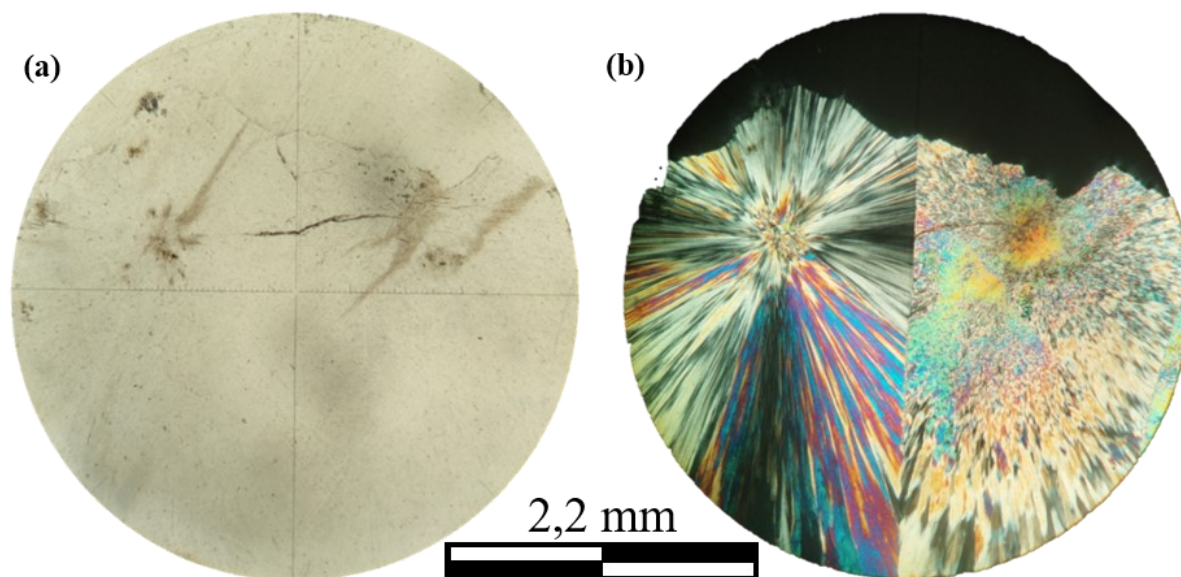


Figura 4.2: Agregados radiais de prehnita. A linha reta entre os agregados é formada durante o crescimento dos grãos, que mostra que eles cresceram ao mesmo tempo. Na imagem (b) podemos ver a extinção paralela do agregado à esquerda. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-18. Objetiva de 5X.

Fonte: (AUTOR, 2023).

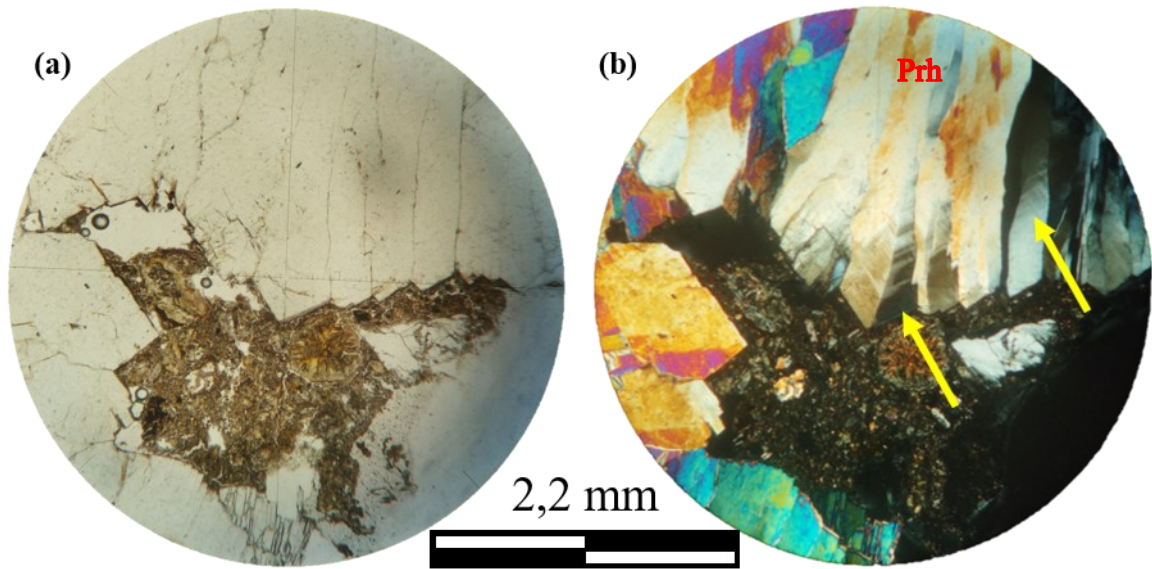


Figura 4.3: Prehnita com macla, mostrada pelas setas. Um pequeno fragmento da rocha (um basalto) é visto na lâmina em coloração marrom, com a presença de argilominerais. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC -18. Objetiva de 5X.

Fonte: (AUTOR, 2023).

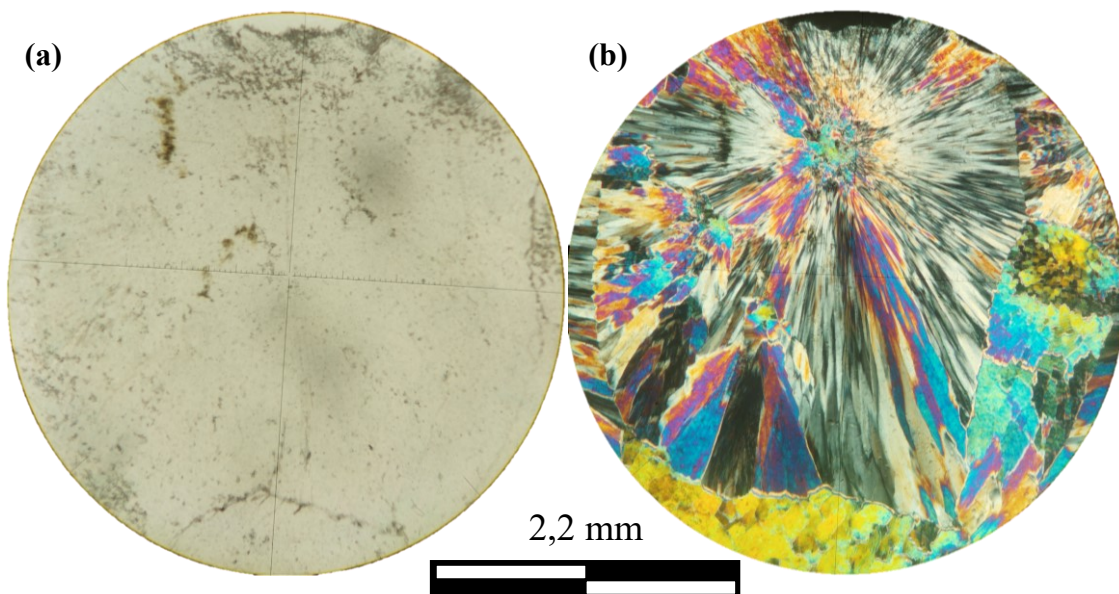


Figura 4.4: Agregado radiais de prehnita onde é possível observar as cores vivas de interferência do mineral (a) ND e (b) NC. Lâmina LSC-19. Aumento de 5X.

Fonte: (AUTOR, 2023).

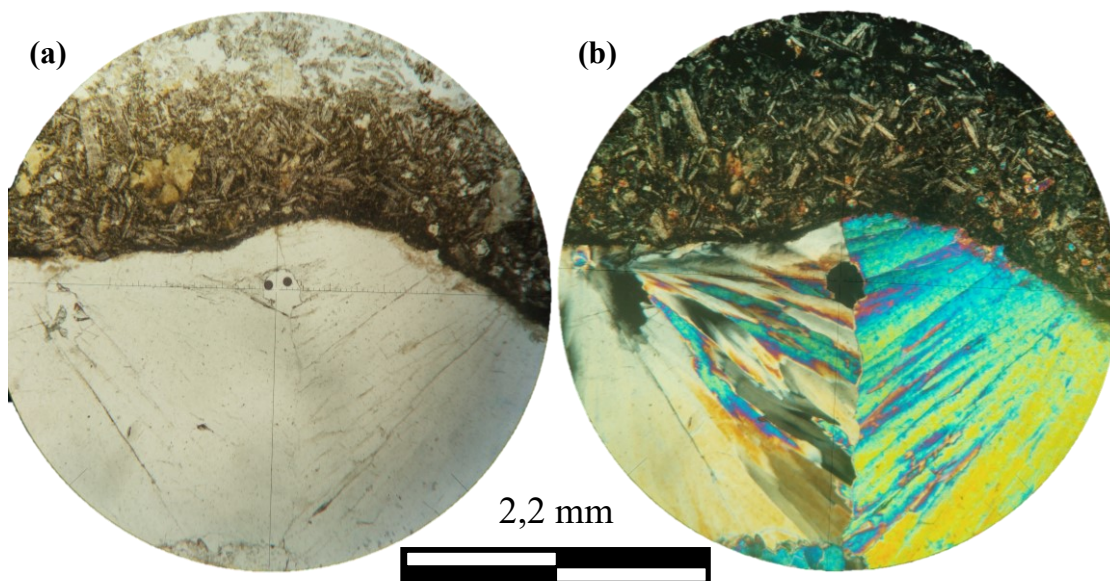


Figura 4.5: Agregados radiais de prehnita, em contato com a rocha encaixante, um basalto de matriz fina com ripas de plagioclásio, grãos de clinopiroxênio com cores de interferência alta. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-17. Objetiva de 5X.

Fonte: (AUTOR, 2023).

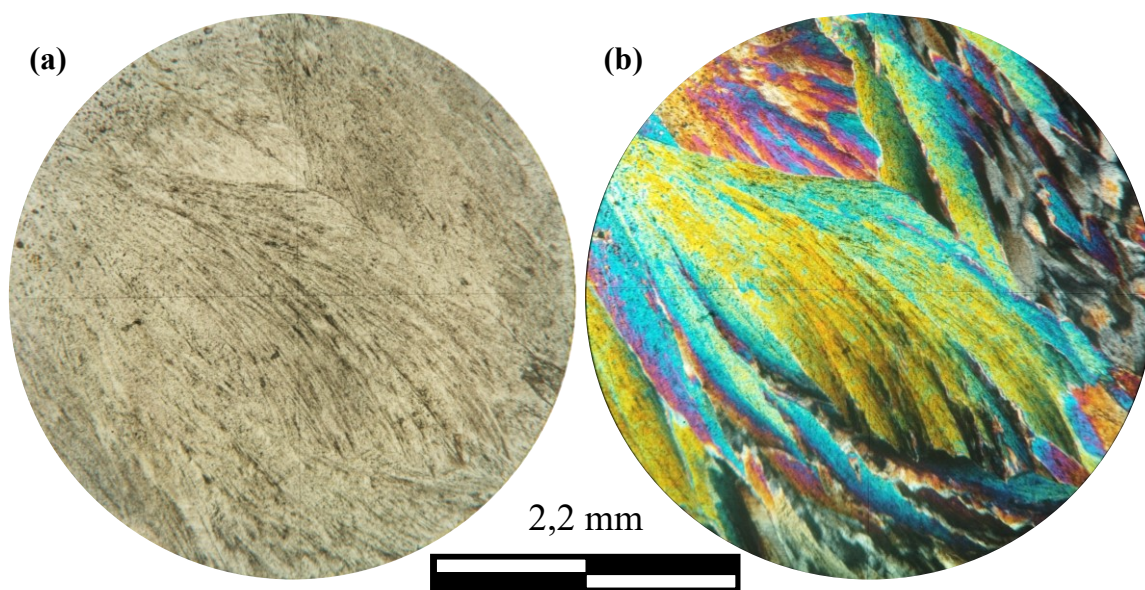


Figura 4.6: Agregados fibrosos de prehnita com cores vivas de interferência de 2ª ordem. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-17. Objetiva de 5X.

Fonte: (AUTOR, 2023).

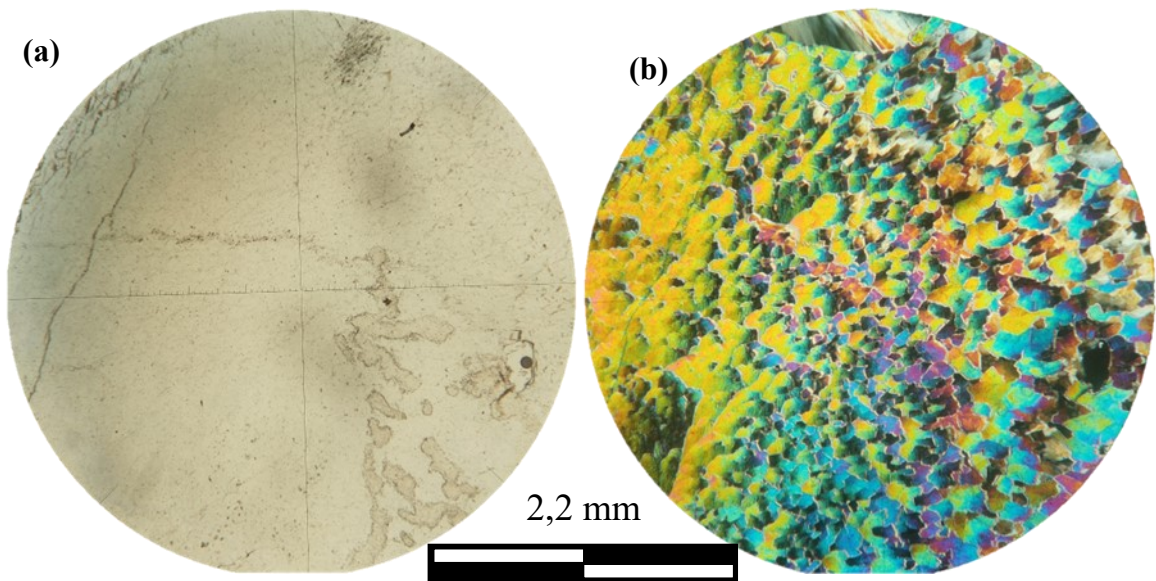


Figura 4.7: Agravado policristalino com grãos anédricos de prehnita. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-17. Objetiva de 5X.

Fonte: (AUTOR, 2023).

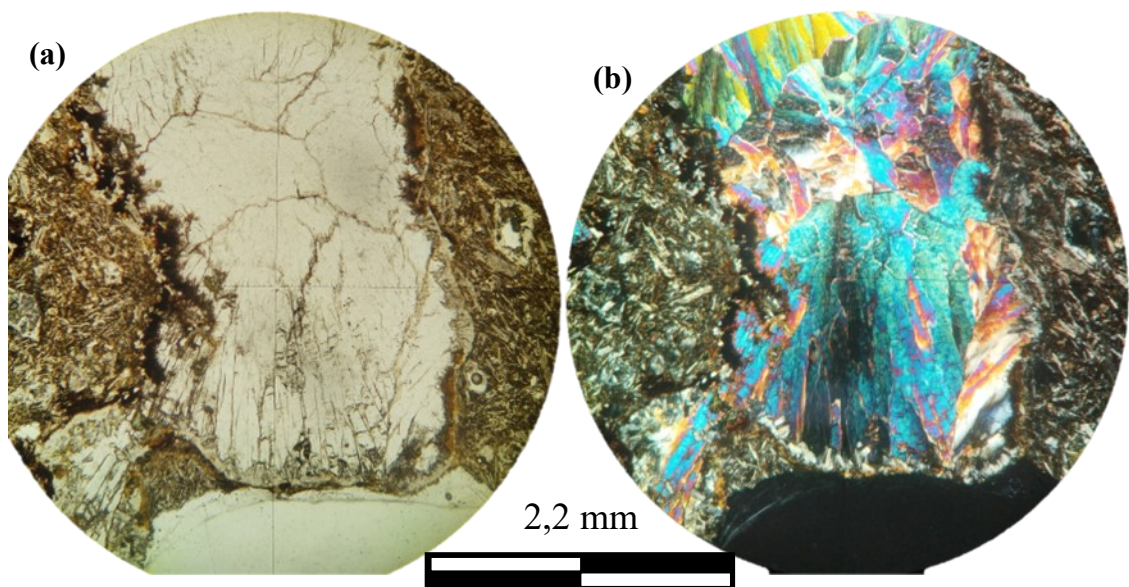


Figura 4.8: Prehnita preenchendo cavidade na rocha encaixante. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-19 e aumento de 5X.

Fonte: (AUTOR, 2023).

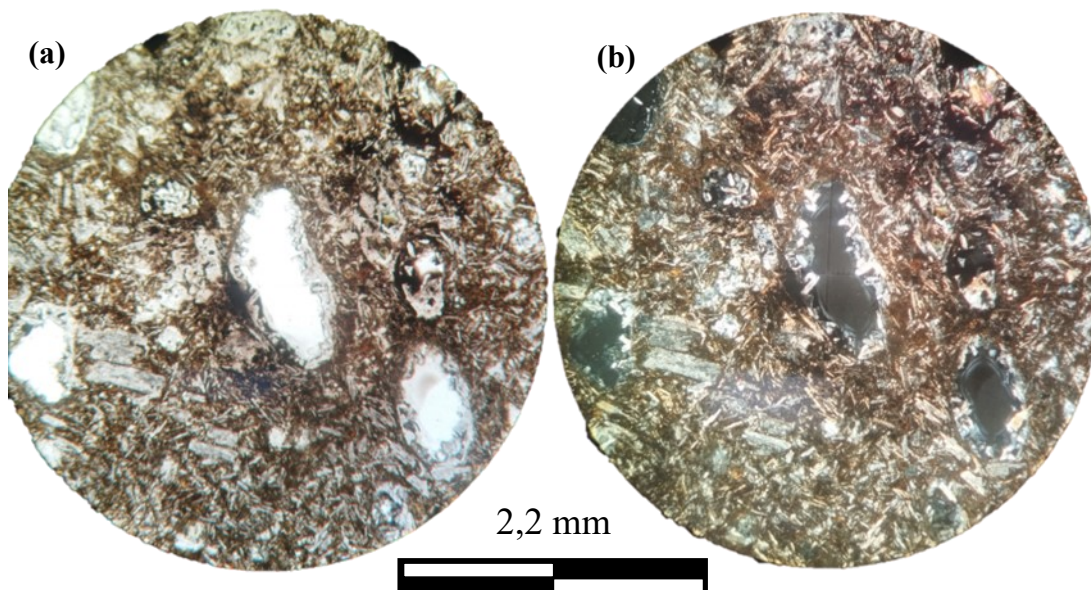


Figura 4.9 - Rocha encaixante (basalto) contendo amígdalas. É observado a matriz fina e ripas de plagioclásio no basalto (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-19. Objetiva de 5X.

Fonte: Autor, 2023

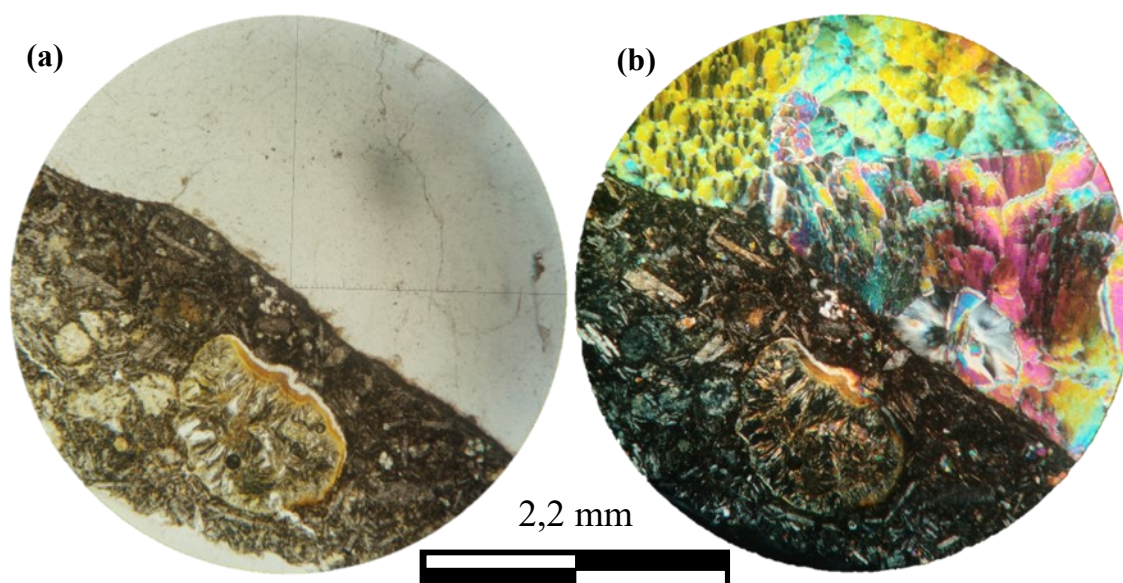


Figura 4.10 – Basalto de matriz fina e com amígdala com plagioclásio e argilominerais. É possível perceber o crescimento a partir da borda da cavidade. (a) Sem luz plano polarizada, (b) com a luz plano polarizada. Lâmina LSC-17 e aumento de 5X.

Fonte: Autor, 2023

4.2 Caracterização Gemológica

Após confecção das gemas (Figura 3.3), algumas delas foram selecionadas para análise. Para resultados mais concisos são necessárias gemas de “melhor qualidade”, ou seja, transparentes e facetas planas sem fraturas nem inclusões.

Observando as cores, inclusões, fraturas e facetas, foram selecionadas três gemas (Figura 4.11) para análise no laboratório de gemologia, utilizando o polariscópio e o refratômetro.

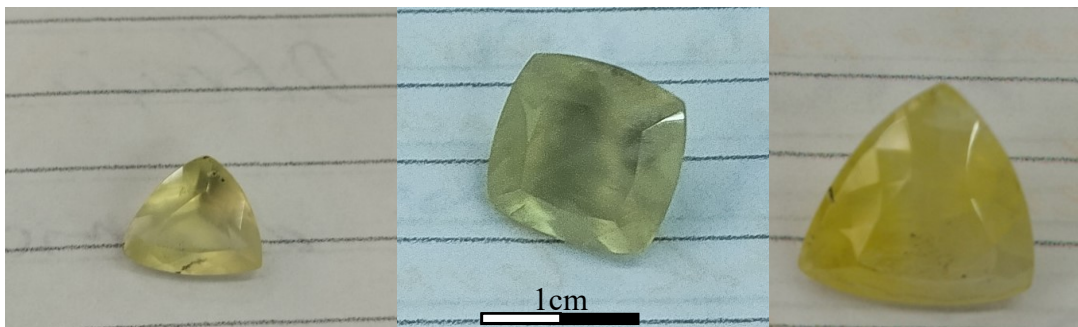


Figura 4.11: Gemas analisadas no laboratório de gemologia. É possível observar as diferentes tonalidades que o mineral pode exibir e sua aparência transparente a translúcida.

Fonte: (AUTOR, 2023).

O primeiro passo foi utilizar o polariscópio para análise das gemas, onde foi observada que ao rotacionar as gemas 360°, elas ficaram o tempo todo luminosas (Figura 4.12), constatando que as gemas aqui apresentadas eram anisótropas e policristalinas.



Figura 4.12: Gema iluminada observada pelo polariscópio.

Fonte: (AUTOR, 2023).

As gemas, foram observadas no refratômetro, onde a cada leitura os valores maiores e menores (N_1 e N_2) dos índices de refração foram anotados e posteriormente foi realizada a análise para descobrir que o mineral gema é biaxial, com sinal óptico positivo. Todas as gemas são transparentes a translúcidas, possuem coloração em tons de verde a amarelo.

A partir dos valores obtidos de N_α , N_β e N_γ foi feita a subtração entre N_γ e N_α para se obter os valores de birrefringência. O sinal óptico é obtido pelas diferenças entre N_β e N_α , e entre N_γ e N_β . Na primeira gema esta diferença é igual a zero, não sendo possível definir o sinal óptico.

Para a prehnita, os valores tabelados de índice de refração e birrefringência são: N_α – 1,611 a 1,632, e N_β – 1,615 a 1,642 e N_γ - 1,632 a 1,665 e a birrefringência variando entre 0,021 a 0,033 (MINDAT, 2023). Os dados obtidos são apresentados (Tabela 4.1), mostrando que os valores estão de acordo com os valores de referência. Os valores de N_α variam de 1,611 a 1,615; de N_β estão entre 1,627 e 1,628 e N_γ varia de 1,641 a 1,644. Os valores de birrefringência estão entre 0,026 e 0,032.

Tabela 4.1: Análise das gemas de prehnita.

Cor da gema		Verde claro		Verde claro		Verde amarelado	
Diafanidade		Transparente		Transparente		Transparente	
Pleocroísmo		Ausente		Ausente		Ausente	
Polariscopia		Sempre Luminoso		Sempre Luminoso		Sempre Luminoso	
Refratometria		N1	N2	N1	N2	N1	N2
Leituras	1	1,620	1,635	1,616	1,638	1,623	1,638
	2	1,623	1,638	1,615	1,630	1,621	1,627
	3	1,619	1,641	1,618	1,623	1,620	1,628
	4	1,615	1,643	1,620	1,635	1,619	1,633
	5	1,612	1,639	1,622	1,637	1,621	1,635
	6	1,621	1,628	1,618	1,638	1,623	1,641
	7	1,611	1,633	1,615	1,641	1,620	1,642
	8	1,618	1,643	1,622	1,637	1,623	1,644
	9	1,615	1,641	1,619	1,639	1,625	1,638
	10	1,619	1,635	1,619	1,640	1,615	1,631
Caráter Óptico							
$N\alpha$		1,611		1,615		1,615	
$N\beta$	biaxial	1,627		1,627		1,628	
$N\gamma$		1,643		1,641		1,644	
Birrefringência		0,032		0,026		0,029	
Sinal óptico		Positivo				Positivo	

Fonte: (AUTOR,2024)

4.3 Estabilidade Térmica

Como resultado do aquecimento gradual, os cálculos de células unitárias mostram valores mais elevados a cada etapa do processo de recozimento (Tabela 4.2). A primeira desintegração notável da estrutura cristalina ocorre à temperatura de 750 °C. Depois disso, o recozimento a 850 °C fornece evidências claras de degradação da prehnita à medida que os parâmetros estruturais diminuem significativamente. A quebra está associada principalmente à remoção de grupos OH⁻ da estrutura. A prehnita torna-se assim instável e se desintegra em anortita + wollastonita + H₂O, (COOMBS *et al.*, 1959; LIOU, 1971; NEWTON, 1966). No entanto, esta reação é considerada metaestável, uma vez que às condições sob as quais ela ocorre estão dentro dos campos de estabilidade de outras assembleias do sistema CaO-SiO₂-Al₂O₃-H₂O, ou seja, zoisita + quartzo ou zoisita + grossularita. A temperatura mínima para a coexistência estável de anortita + wollastonita é 600 °C a 2 kbar (NEWTON, 1966). Os dados aqui apresentados aumentaram a estabilidade da prehnita em temperaturas significativamente mais altas do que as avaliadas.

Tabela 4.2: Expansão termica da prehnitaem cada eixo cristalográfico e em volume.

T (°C)	a (Å)	b (Å)	c (Å)	V (Å ³)
25	4,62880	5,47600	18,46900	468,14
50	4,62980	5,48060	18,47900	468,89
100	4,63100	5,48640	18,50210	470,09
150	4,63260	5,48850	18,48630	470,03
200	4,63000	5,47920	18,48400	468,91
250	4,63760	5,48580	18,51700	471,09
300	4,63310	5,48260	18,50900	470,16
350	4,63240	5,48850	18,52620	471,03
400	4,63860	5,49330	18,55000	472,68
450	4,63910	5,49130	18,54670	472,47
500	4,64690	5,49810	18,54800	473,89
550	4,64330	5,49350	18,54290	472,99
600	4,64550	5,49450	18,54960	473,47
650	4,64860	5,49570	18,57070	474,43
700	4,65110	5,49950	18,57980	475,25
750*	4,64560	5,49720	18,58270	474,56
800	4,64530	5,50420	18,56900	474,78
850	Degradação total			

*Degradação Parcial

Fonte: (AUTOR, 2024).

Foram gerados gráficos para visualizar os dados gerados pela tabela acima (Figura 4.13, Figura 4.14, Figura 4.15 e Figura 4.16).

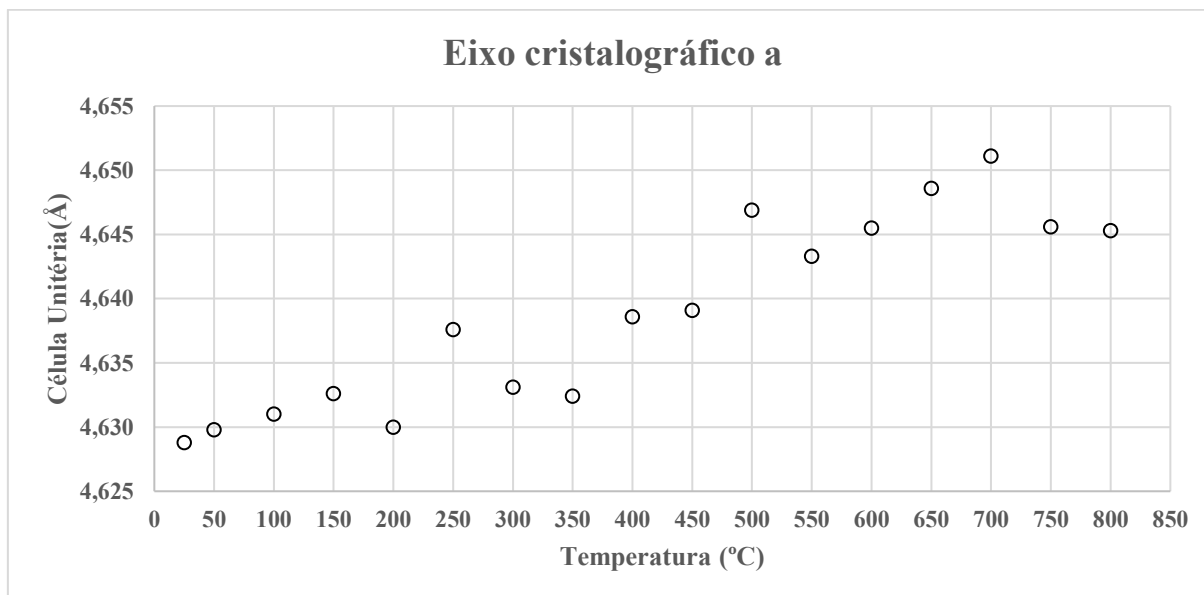


Figura 4.13: Influência da temperatura no eixo cristalográfico a da prehnita.

Fonte:(AUTOR,2024).

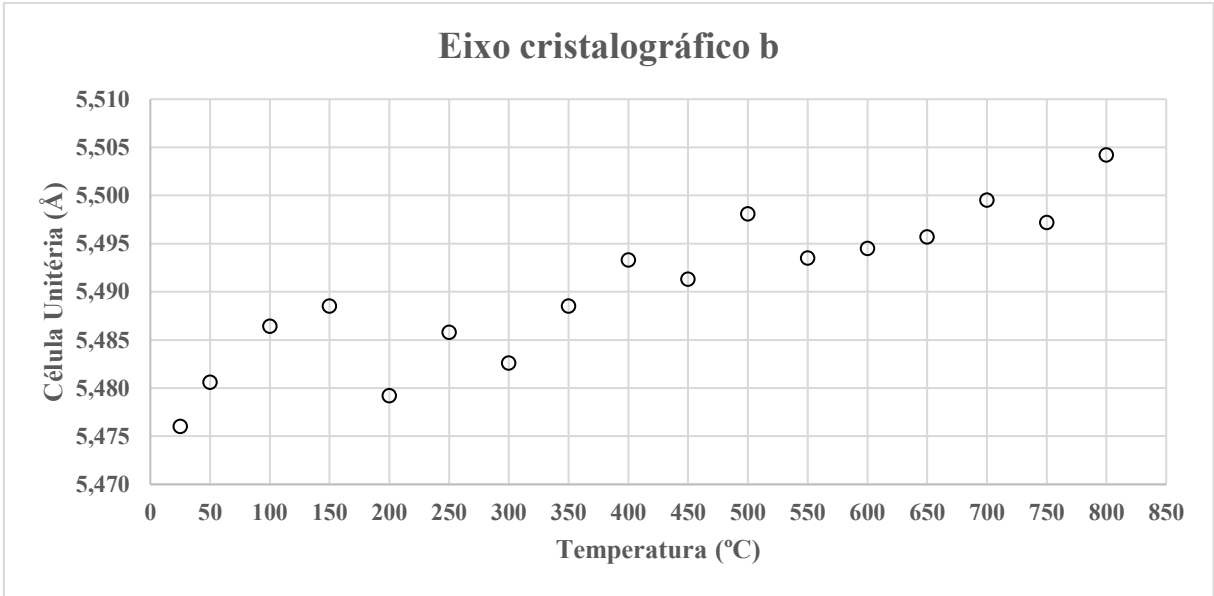


Figura 4.14: Influência da temperatura no eixo cristalino b da prehnita.

Fonte:(AUTOR, 2024).

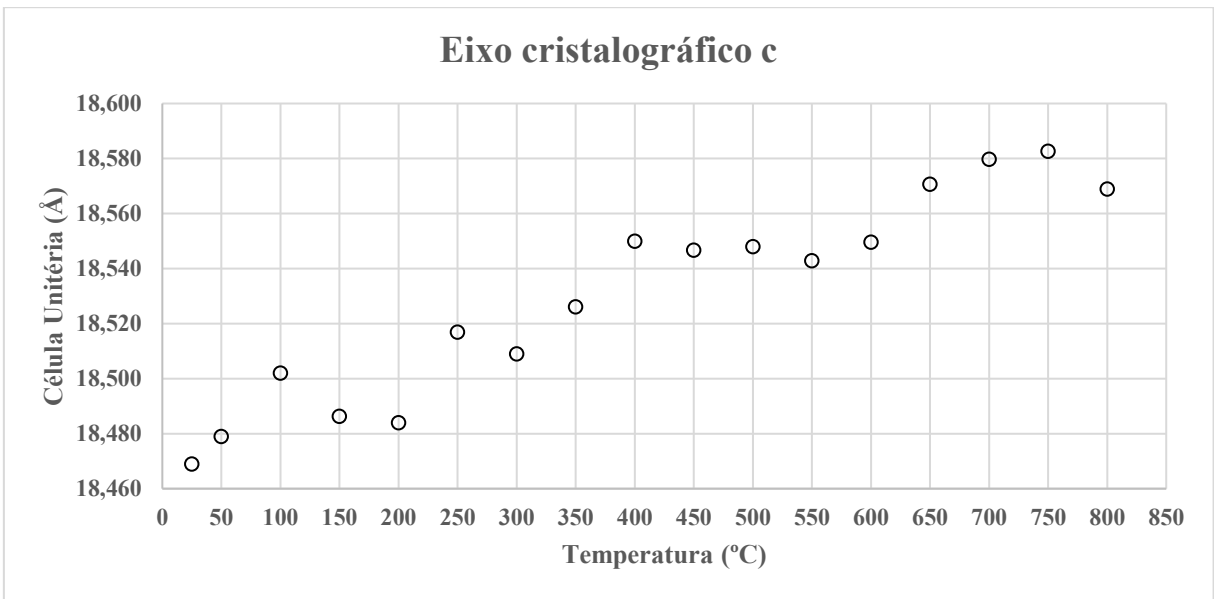


Figura 4.15: Influência da temperatura no eixo cristalino c da prehnita

Fonte: (AUTOR, 2024).

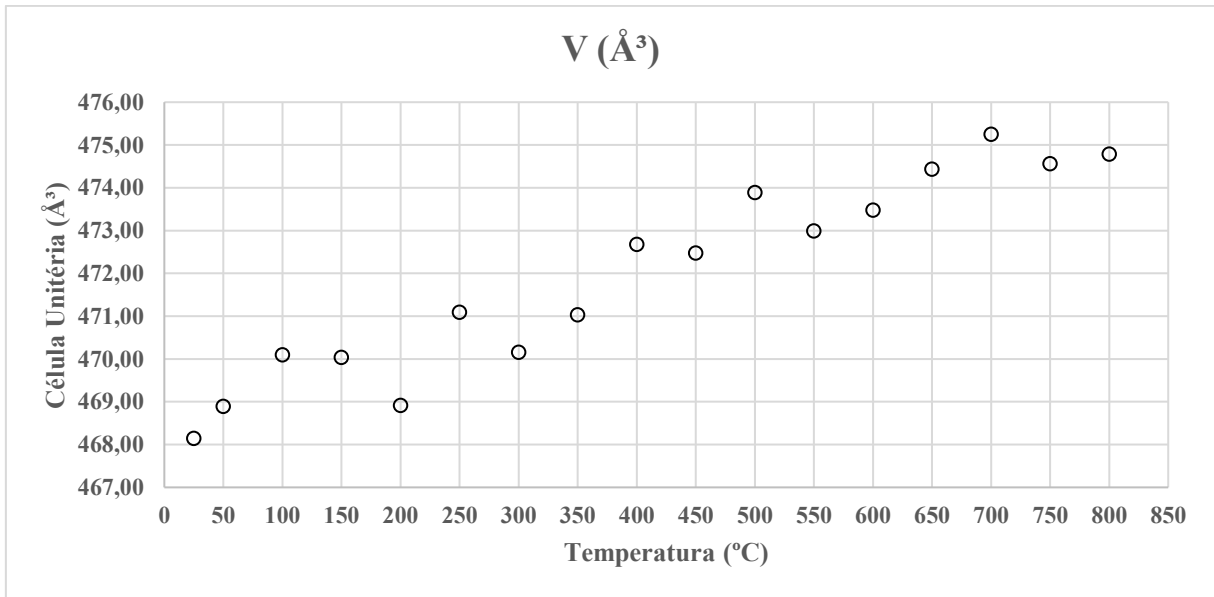


Figura 4.16: Influência da temperatura nos eixos cristalinos da prehnita

Fonte: (AUTOR,2024).

A partir dos dados obtidos e dos gráficos gerados foram determinadas as fórmulas da taxa de expansão (Δ) de cada eixo e do volume através de cálculo da tendência linear:

- Eixo a (Å):

$$y = 4,6277 + (2,7564 \times 10^{-5})x \quad (1)$$

$$\Delta a = 2,7564 \times 10^{-5} \quad (2)$$

- Eixo b (Å):

$$y = 5,4789 + (2,8351 \times 10^{-5})x \quad (3)$$

$$\Delta b = 2,8351 \times 10^{-5} \quad (4)$$

- Eixo c (Å):

$$y = 18,4735 + (1,410 \times 10^{-4})x \quad (5)$$

$$\Delta c = 1,410 \times 10^{-4} \quad (6)$$

- Volume (Å³):

$$y = 468,388 + (8,84 \times 10^{-3})x \quad (7)$$

$$\Delta V = 8,84 \times 10^{-3} \quad (8)$$

4.4 Análise química

A partir de dados de análise química são feitos cálculos da fórmula mineral e comparados com a literatura existente. A metodologia é baseada na fórmula mineral para silicatos hidratados (KLEIN; DUTROW, 2012).

Foram feitas análises à partir dos resultados obtidos da porcentagem em peso dos óxidos, onde os resultados e os cálculos para obtenção da fórmula química são mostrados na Tabela 4.3. A primeira coluna exibe os resultados obtidos com a porcentagem em peso dos óxidos. A segunda coluna mostra o peso molecular do elemento ou dos óxidos. Enquanto a terceira coluna exibe as proporções moleculares através da razão entre a porcentagem em peso e o peso molecular. Na quarta coluna foi realizado o cálculo das proporções de cátions e a coluna 5 fornece a contribuição total de (O, OH) para cada “molécula” da coluna 3. A prehnita possui 12 (O + OH) e a soma da coluna 5 é dividida por 12. Esse valor é multiplicado pelas proporções da coluna 4, resultando na coluna 5 onde se obtém as fórmulas minerais.

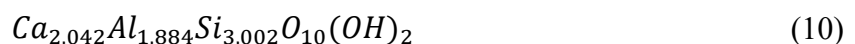
Tabela 4.3: Análise química do com base em porcentagem em peso dos óxidos do mineral prehnita.

	1	2	3	4	5	6
	% em peso	Peso molecular	Proporções moleculares	Nº de Cátions	Nº Total de (O, OH)	Cátions na base de 12 (O, OH)
F	0,030	18,988	0,002	0,002	0,000	0,007
SiO ₂	43,446	60,084	0,723	0,723	1,446	3,002
Cr ₂ O ₃	0,000	135,99	0,000	0,000	0,000	0,000
Na ₂ O	0,089	61,979	0,001	0,003	0,001	0,012
K ₂ O	0,021	94,195	0,000	0,0004	0,0002	0,002
FeO	1,123	71,844	0,016	0,016	0,016	0,065
MgO	0,014	40,304	0,0003	0,0003	0,0003	0,001
CaO	27,572	56,077	0,492	0,492	0,492	2,042
Al ₂ O ₃	23,132	101,961	0,227	0,454	0,681	1,884
H ₂ O	4,573	18,0148	0,254	0,508	0,254	2,108
TOTAL					2,890	

Fonte: (AUTOR,2024)

$$\text{Fator oxigênio: } \frac{12}{2,890} = 4,1523155 \quad (9)$$

Podemos assim descrever a fórmula química da prehnita como:



4.5 Discussão

Neste capítulo, discutimos os principais resultados obtidos durante a caracterização óptica, gemológica, térmica e química da prehnita proveniente da Ilha de Vis, Croácia. A análise detalhada dessas propriedades nos permite entender melhor o potencial deste mineral enquanto gema comercial e suas possíveis implicações geológicas.

A análise petrográfica das lâminas delgadas, utilizando microscópio óptica de luz transmitida, revelou que a prehnita apresenta-se incolor, com relevo moderado a alto, exibindo cores de interferência que alcançam até a segunda ordem. Essas características ópticas são equivalentes com a literatura.

A estabilidade térmica das prehnitas, que mantêm sua integridade estrutural até aproximadamente 750°C e começam a se decompor completamente a partir de 850°C, indica uma resistência térmica significativa. Este comportamento está associado a processos de cristalização hidrotermal e metamorfismo de baixo grau em rochas ígneas.

A caracterização gemológica, realizada com o auxílio de um polariscópio e de um refratômetro, confirmou que as gemas de prehnita são anisotrópicas, policristalinas, de caráter óptico positivo. Os índices de refração (N_{α} , N_{β} e N_{γ}) variaram entre 1,611 e 1,644, com birrefringência entre 0,026 e 0,032.

As gemas de prehnita da Ilha de Vis exibem uma gama de cores que variam do verde ao amarelo, apresentando algumas inclusões. No mercado gemológico atual, gemas com essas características têm um valor significativo, especialmente em mercados emergentes como o chinês e o indiano.

5 CONCLUSÃO

Com base na análise detalhada das prehnitas da Ilha de Vis, Croácia, esse estudo conclui que o mineral possui características mineralógicas, químicas e gemológicas que evidenciam seu potencial para o uso, venda e consumo como material gemológico.

As análises mostraram que as prehnitas são anisotrópicas e policristalinas, transparentes a translúcidas e variações de cor entre verde e amarelo, o que aumenta sua atratividade no mercado de gemas, e são comparáveis a outras gemas de alto valor comercial, como a jadeíta, esfena, peridoto e algumas variedades de água marinha verde.

As propriedades de birrefringência variando de 0,021 a 0,033 e índices de refração entre 1,611 e 1,644 são consistentes com os valores registrados na literatura, confirmando a identidade do mineral.

A estabilidade térmica do mineral revela a desintegração da estrutura cristalina em torno de 750°C e uma degradação completa a 850°C. Esta desintegração está associada à remoção de grupos hidroxila (OH⁻) da estrutura, levando à formação de anortita e wollastonita, conforme descrito por (COOMBS *et al.*, 1959; LIOU, 1971; NEWTON, 1966). Esses dados elevam o entendimento sobre a estabilidade térmica da prehnita, indicando que este mineral pode suportar condições de temperatura mais elevadas do que previamente avaliadas.

A prehnita é encontrada preenchendo amígdalas e cavidades em basaltos, sugerindo um ambiente de formação hidrotermal pós-magmático. A análise microscópica das lâminas delgadas revelou que a prehnita ocorre frequentemente como agregados radiais, fibrosos e policristalinos, preenchendo amígdalas na rocha encaixante. A rocha hospedeira, um basalto de granulação fina, indica um ambiente de cristalização rápida e subsequente alteração hidrotermal.

Em suma, a prehnita da Ilha de Vis possui um conjunto de características que a tornam uma gema competitiva no mercado. Afinal, ela apresenta uma beleza que atrai clientes em potencial, além de possuir um valor de mercado acessível, potencializando um capital de giro lucrativo e que pode vir a ser consolidado de forma eficaz e lucrativa.

Sua gama de cores destaca seu potencial para aplicação gemológica. Esse mineral mostra-se promissor para um mercado crescente de gemas como adorno, especialmente considerando a facilidade de extração e/ou coleta, pois o mineral é encontrado como seixos rolados na baía de Komiža.

Ao longo do estudo, a pesquisa se desenvolveu em busca da resposta para o questionamento inicial que foi colocado sobre a potencialidade comercial da prehnita. Portanto, esse trabalho se encerra com a certeza de que sim, a prehnita, encontrada como seixos na ilha de Vis, Croácia possui potencial para ser lapidada como gema de valor agregado no mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATENCIO, D. História da Mineralogia. Em: **Licenciatura em Ciências - Evolução das Ciências II**. 1ª ed. São Paulo: USP, 2012. p. 58–75.

BECCALUVA, L. *et al.* Intraplate lithospheric and plume-related components in the Adriatic domain: nephelinite to tholeiite magma generation in the Paleogene Veneto Volcanic Province, Southern Alps. **Geological Society of America**, p. 131–152, jan. 2007.

BERMANEC, M. **Field photos**. Vis, Croacia, 2015.

BEST, M. G. **Igneous and metamorphic petrology**. 2ª ed. 2003.

BLAŽINA, B. *et al.* **The Adriatic Sea and islands**. Disponível em: <<https://www.croatia.eu/index.php/en/home-en/geography-and-population/adriatic-sea-and-islands>>. Acesso em: 29 fev. 2024.

BUCHER, K.; GRAPES, R. **Petrogenesis of Metamorphic Rocks**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011.

CARBONI, F. *et al.* Geological and geophysical study of a thin-skinned tectonic wedge formed during an early collisional stage: the Trasimeno Tectonic Wedge (Northern Apennines, Italy). **Geological Magazine**, v. 157, n. 2, p. 213–232, 27 fev. 2020.

CHANNELL, J.; DARGENIO, B.; HORVATH, F. Adria, the African promontory, in mesozoic Mediterranean palaeogeography. **Earth-Science Reviews**, v. 15, n. 3, p. 213–292, nov. 1979.

CONSOLE, R. *et al.* Seismicity of the Adriatic microplate. **Tectonophysics**, v. 218, n. 4, p. 343–354, fev. 1993.

COOMBS, D. S. *et al.* The zeolite facies, with comments on the interpretation of hydrothermal syntheses. **Geochimica et cosmochimica acta**, v. 17, n. 1–2, p. 53–107, 1959.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. EdiPUCRS, 2007.

DNPM/IBGM, D. N. D. P. M. **Boletim Referencial de Preços de Diamantes e Gemas de Cor**. 2. ed. 2009.

GOLUB, L.; VRAGOVIC, M. Eruptivne stijene dalmatinskih otoka Les roches éruptives des îles dalmates. **Acta geologica**, v. 8, p. 19–63, 1975.

GUERRERA, F. *et al.* Volcaniclastites as a key for geodynamic constraints in the evolution of the central-western Mediterranean region: an overview. **Asian Academic Research Journal of Multidisciplinary**, p. 179–217, out. 2016.

GUINEA, G. J. Curso de Gemología. Guión Docente. **LABORATORIO DEL PAOF DE ARTIGAS (URUGUAY)**, 2006.

HOLLAND, T. J. B.; REDFERN, S. A. T. Unit cell refinement from powder diffraction data; the use of regression diagnostics. **Mineralogical Magazine**, v. 61, n. 1, p. 65–77, 1997.

IBGM - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEMAS E METAIS PRECIOSOS. **Manual Técnico de Gemas**. 3^a ed. Brasília: 2005.

KAPELJ, J. *et al.* Recent hydrogeologic study of the Vis island. **Geologija**, v. 45, n. 2, p. 419–426, 30 dez. 2002.

KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais**. 23^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

KOCH, G.; BELAK, M. **Evaporitic-carbonate deposits of Komiza diapiric structure (Island of Vis, Croatia): their palynostratigraphy and sedimentological features**. 2003. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:132393015>>

KORBAR, T. *et al.* **Osnovna geološka karta Republike Hrvatske mjerila 1:50 000 – list: Vis 3 i Biševo 1**. Hrvatski geološki institut Zagreb, 2012.

KORBAR, T. *et al.* Maastrichtian to Palaeocene and Eocene pelagic carbonates on the island of Svetac (central Adriatic, Croatia). **Geologia Croatica**, v. 73, n. 2, p. 95–106, 24 jun. 2020.

KRANJC, A. The Origin and evolution of the term “Karst”. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 19, p. 567–570, 2011.

LAVECCHIA, G.; BELL, K. Magmatic Zonation of Italy: A Tool to Understanding Mediterranean Geodynamics. Em: FRANCESCO STOPPA (Ed.). **Updates in Volcanology - A Comprehensive Approach to Volcanological Problems**. InTech, 2012. p. 153–178.

LIU, J. G. **Synthesis and stability relations of prehnite, Ca Al Si O₃(OH): American Mineralogist**. Mineral. 1971.

LORT, J. M. The tectonics of the eastern Mediterranean: A geophysical review. **Reviews of Geophysics**, v. 9, n. 2, p. 189–216, 14 maio 1971.

MALISKA, A. M. **Microscopia Eletrônica de Varredura**. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina Laboratório de Caracterização Microestrutural e Análise de Imagens. 2005.

MCKENZIE, D. Active Tectonics of the Mediterranean Region. **Geophysical Journal International**, v. 30, n. 2, p. 109–185, 1 dez. 1972.

MELGAREJO, J. C. **Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada**. Edicions de la Universitat de Barcelona-Fundacio Folch, 1997. v. 2

MINDAT. **Prehnite**. Disponível em: <<https://www.mindat.org/min-3277.html>>. Acesso em: 21 nov. 2023.

NEWTON, R. C. Some calc-silicate equilibrium relations. **American journal of science**, v. 264, n. 3, p. 204–222, 1966.

PALINKAŠ, L. A. *et al.* **Volcanoes in the Adriatic Sea: Permo-Triassic magmatism on the Adriatic-Dinaridic carbonate platform**. Szeged: Dep. of Mineralogy, Geochemistry and Petrology Univ. of Szeged, 2010. v. 8

PAMIĆ, J.; BALEN, D. Interaction between Permo-Triassic rifting, magmatism and initiation of the Adriatic-Dinaridic carbonate platform (ADCP). **Acta Geologica Hungarica**, v. 48, n. 2, p. 181–204, 2005.

PETRINJAK, K. *et al.* Megabeds in Istrian Flysch as markers of synsedimentary tectonics within the Dinaric foredeep (Croatia). **Geologia Croatica**, v. 74, n. 2, p. 99–120, 30 jun. 2021.

ROSENBAUM, G.; LISTER, G. S. Neogene and Quaternary rollback evolution of the Tyrrhenian Sea, the Apennines, and the Sicilian Maghrebides. **Tectonics**, v. 23, n. 1, p. n/a-n/a, fev. 2004.

RUSSO, A.; ARTEGIANI, A. Adriatic Sea hydrography. **Scientia Marina**, v. 60, p. 33–43, 1996.

SAMPAIO, N. P. **Construção de banco de dados de minerais brasileiros para Analisador Mineral Integrado, acoplado a sistema MEV-EDS automatizado**. Mestrado em Engenharia de Materiais—Ouro Preto: UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto, 2016.

SCHUMANN, W. **Gemas do Mundo**. 9^a ed. São Paulo: Editora Disal, 2002.

SCISCIANI, V.; CALAMITA, F. Active intraplate deformation within Adria: Examples from the Adriatic region. **Tectonophysics**, v. 476, n. 1–2, p. 57–72, out. 2009.

ŠEBELA, S. Postojna—Planina Cave System, Slovenia. Em: **Encyclopedia of Caves**. 3^a ed. Elsevier, 2019. p. 812–821.

SHAH, R. **The analysis of natural gemstones and their synthetic counterparts using analytical spectroscopy methods**. Edinburgh: Edinburgh Napier University, 2012.

SIVISERO, D. P.; FRANCO, R. P. Conceito, Nomenclatura e Classificação das Gemas. **Revista Escola de Minas**, 40(3), p. 3–7, 1987.

SURIĆ, M.; JURAČIĆ, M. Late Pleistocene – Holocene environmental changes – records from submerged speleothems along the Eastern Adriatic coast (Croatia). **Geologia Croatica**, v. 63, n. 2, 2 jun. 2010.

UNCOMTRADE, - UNITED NATIONS COMMODITY TRADE. **Importações de pedras preciosas lapidadas e não lapidadas no período de 2002-2022**. Disponível em: <<https://comtradeplus.un.org/TradeFlow?Frequency=A&Flows=M&CommodityCodes=710310&Partners=0&Reporters=all&period=2002&AggregateBy=none&BreakdownMode=plus>>. Acesso em: 29 fev. 2024.

USTASZEWSKI, K. *et al.* A map-view restoration of the Alpine-Carpathian-Dinaridic system for the Early Miocene. **Swiss Journal of Geosciences**, v. 101, n. S1, p. 273–294, 8 set. 2008.

VLAHOVIĆ, I. *et al.* Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 220, n. 3–4, p. 333–360, maio 2005.

WANG, Q. *et al.* Study of the mechanism of color change of prehnite after heat treatment. **RSC Advances**, v. 12, n. 5, p. 3044–3054, 2022.

WETZEL, R. S. *et al.* **Mineralogia**. Porto Alegre. 2020

WINTER, J. D. **An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology**. 1. ed. Prentice Hall, 2001.

ŽUNIĆ, T. B.; ŠČAVNIČAR, S.; MOLIN, G. Crystal structure of prehnite from Komiža. **European Journal of Mineralogy**, v. 2, n. 5, p. 731–734, 4 out. 1990.