



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

GABRIELA MEIRELES ROSA

**ANÁLISE MORFOESTRUTURAL, MINERALÓGICA E LITOGEOQUÍMICA DAS
OCORRÊNCIAS DE KIMBERLITOS DA REGIÃO DE DOM EXPEDITO LOPES -
PROVÍNCIA KIMBERLÍTICA DE PICOS, PIAUÍ**

FORTALEZA

2020

GABRIELA MEIRELES ROSA

ANÁLISE MORFOESTRUTURAL, MINERALÓGICA E LITOGEOQUÍMICA DAS
OCORRÊNCIAS DE KIMBERLITOS DA REGIÃO DE DOM EXPEDITO LOPES -
PROVÍNCIA KIMBERLÍTICA DE PICOS, PIAUÍ

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geociências. Área de concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.

Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R694a Rosa, Gabriela Meireles.
Análise morfoestrutural, mineralógica e litogeoquímica das ocorrências de kimberlitos da região de Dom Expedito Lopes - província kimberlítica de Picos, Piauí / Gabriela Meireles Rosa. – 2020.
92 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto.
1. Kimberlito. 2. Perovskita. 3. Diamante. I. Título.

CDD 551

GABRIELA MEIRELES ROSA

ANÁLISE MORFOESTRUTURAL, MINERALÓGICA E LITOGEOQUÍMICA DAS
OCORRÊNCIAS DE KIMBERLITOS DA REGIÃO DE DOM EXPEDITO LOPES -
PROVÍNCIA KIMBERLÍTICA DE PICOS, PIAUÍ

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geociências. Área de concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.

Aprovada em 28/02/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dra. Irani Clezar Mattos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Jackson Alves Martins
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dra. Martha Noélia Lima
Universidade Federal de Goiás (UFG)

Prof^ª. Dra. Fernanda Gervasoni
Universidade Federal de Goiás (UFG)

À Deus.

À minha família: Maria Flor, Luan, Dora,
Carol, Loro, Jeremias, Cosme e Damiana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos órgãos financiadores deste trabalho: CNPq e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Estudos Geotectônicos (INCTET) – com coordenação do professor Emérito Reinhardt Adolf Fuck – que possibilitou e viabilizou a realização do projeto.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) presente em minha trajetória acadêmica por tantos anos, da graduação ao doutorado.

À Universidade Federal de Goiás (UFG) na figura de professores tão atenciosos e queridos, como a Dra Martha Noélia Lima e a Dra Fernanda Gervasoni, que me acolheram e me ajudaram em uma etapa tão importante na finalização da tese.

À Universidade de Brasília (UnB) representada pelo Professor Emérito Reinhardt Adolf Fuck, que não mediu esforços para realização das análises feitas no Canadá.

Ao Instituto Federal do Piauí (IFPI) por ter tido tamanha sensibilidade em me ajudar com a licença capacitação ao longo de tantos anos da pós-graduação, em especial, ao Diretor Geral do Campus Pedro II, Nonato Silva, ao Reitor Paulo Henrique Lima, e à minha amiga geóloga Telma que está nessa caminhada comigo há quase 10 anos de serviço público federal.

Ao meu orientador Dr. José de Araújo Nogueira Neto, por ter me dado suporte em mais essa etapa acadêmica, que sem dúvida foi a mais longa e difícil. E por não ter desistido de mim nos momentos de desânimo, mesmo com todos os percalços que tivemos ao longo da pesquisa. Um ser humano e pesquisador incrível que me espelha como docente e tenho eterna gratidão por todos os ensinamentos passados ao longo desses anos.

Ao Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LME) do Departamento de Geologia da UFC, nas figuras dos meus amigos Leal, Joel e Agnaldo, que me ajudaram não somente com análises, mas como incentivadores durante todo o doutorado.

Ao meu amigo de turma e geólogo Dr Jackson Alves, que nos ajudou em diversas etapas do doutorado, sempre solícito e presente desde a fase de campo até a defesa.

À todos os professores e funcionários do DEGEO que contribuíram ao longo desses anos para minha aprendizagem, em especial, às Professoras Dra Irani Mattos e Dra Tereza Neri.

À todos amigos que não me deixaram desistir desse título tão árduo: Débora Luzinete, Samya Kelly (e toda família), Edilza, Sânia, Nathália, Ana Cláudia, Kézia, Diones, Renatinha, Débora Macedo, Andressa, Narelle, Leiliane, Glória, Daniel, Nalva, Cyntia, e aos meus alunos que me transmitiram força durante todo esse processo.

À minha família que cresceu e me apoiou incondicionalmente, na figura do meu esposo Luan e minha bebê Maria Flor, que estava na barriga no dia da apresentação da tese (7-8 meses), além do apoio da minha mãe, irmã e meus 4 bichinhos de estimação.

E por fim, ao meu bom Deus e à minha mãezinha Nossa Senhora, por ter realizado tantas bênçãos e milagres em minha vida.

Gratidão.

"Fazemos planos para nossa vida, mas é o Senhor quem orienta os nossos passos."
(PROVÉRBIOS 16:9).

RESUMO

Os Kimberlitos são rochas vulcânicas de origem profunda no manto, que costumam se manifestar nas zonas de crátons e tendem a ocorrer em aglomerados ou províncias. Tanto no Brasil como em outras partes do mundo, apresentam-se extremamente alterados, com grande variedade mineralógica e textural. No estado do Piauí foram descobertos 51 corpos kimberlíticos que estão agrupados em sete grupos distintos e compõem as Províncias de Gilbués e Picos. Esta tese objetiva: correlacionar morfoestruturalmente as províncias kimberlíticas de Picos e Gilbués através de sensoriamento remoto e com base nos aspectos morfológicos superficiais existentes; analisar petrograficamente amostras obtidas dos corpos kimberlíticos de Picos; realizar análises mineralógicas com a utilização de Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e Espectroscopia por energia dispersiva (EDS); e analisar do ponto de vista litogeoquímico amostras de kimberlitos com a utilização da espectrometria de emissão de plasma ICP-MS. A correlação morfoestrutural entre as duas províncias do estado indica um forte padrão de drenagem em ambas, com forma de relevo positiva na de Picos e lineamentos com um trend regional NE-NW. Admite-se que os kimberlitos estejam alojados em rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba; e temporalmente os de Picos sejam mais jovens que os de Gilbués. As condições das rochas aflorantes no mapeamento geológico realizado indicou maior ou menor grau de alteração, o que levou a concentração das coletas em afloramentos mais preservados no município de Dom Expedito Lopes. Petrograficamente, os kimberlitos de Dom Expedito Lopes exibem variação mineralógica com presença de minerais, tais como: granada, perovskita, cr-espínélio, olivina, serpentina, clinopiroxênio, enstatita, apatita, e ilmenita. As análises mineraloquímicas por MEV-EDS corroboram com a petrografia e trazem melhor caracterização na identificação dos kimberlitos e definição dos principais elementos constituintes dos minerais. Pode-se afirmar que os kimberlitos da região de Picos são carentes de investigação mais detalhada, tendo em vista que as pesquisas a respeito ficam quase sempre em sigilo, de posse dos detentores dos direitos minerários. A referida área não é explorada, ao contrário da Província Kimberlítica de Gilbués que é garimpada há mais de 70 anos, porém, segundo dados atuais do DNPM, é requerida por uma empresa diamantífera estrangeira. No entanto, é controverso se esses corpos são realmente férteis. Contudo, é importante atribuir as intrusões prevalecentes na Província Kimberlítica de Picos à fácies de Cratera, devido ao alto teor de Si proveniente das rochas encaixantes, indicando contaminação crustal.

Palavras-chave: Kimberlito. Perovskita. Diamante.

ABSTRACT

Kimberlites are volcanic rocks of deep origin in the mantle, which usually manifest themselves in the craton zones and tend to occur in clusters or provinces. Both in Brazil and in other parts of the world, they are extremely altered, with a great mineralogical and textural variety. In the state of Piauí, 51 Kimberlitic bodies were discovered, which are grouped into seven distinct groups and make up the Gilbués and Picos Provinces. This thesis aims: to morphostructurally correlate the Kimberlitic provinces of Picos and Gilbués through remote sensing and based on the existing superficial morphological aspects; petrographically analyze samples obtained from the Picos kimberlitic bodies; perform mineralogical analysis using Scanning Electron Microscope (MEV) and dispersive energy spectroscopy (EDS); and to analyze kimberlite samples from the lithochemical point of view using the ICP-MS plasma emission spectrometry. The morphostructural correlation between the two provinces of the state indicates a strong drainage pattern in both, with a positive relief shape in the Picos and lineaments with a regional NE-NW trend. It is admitted that the kimberlites are housed in sedimentary rocks of the Parnaíba Basin; and temporarily those in Picos are younger than those in Gilbués. The conditions of the outcropping rocks in the geological mapping carried out indicated a greater or lesser degree of alteration, which led to the concentration of collections in more preserved outcrops in the municipality of Dom Expedito Lopes. Petrographically, Dom Expedito Lopes' kimberlites exhibit mineralogical variation with the presence of minerals, such as: garnet, perovskite, cr-spinel, olivine, serpentine, clinopyroxene, enstatite, apatite, and ilmenite. The mineralochemical analyzes by MEV-EDS corroborate with petrography and bring better characterization in the identification of kimberlites and definition of the main constituent elements of the minerals. It can be said that the kimberlites of the Picos region are in need of more detailed investigation, considering that research on this subject is almost always confidential, held by mining rights holders. This area is not explored, unlike the Kimberlitic Province of Gilbués, which has been mined for more than 70 years, however, according to current DNPM data, it is required by a foreign diamond company. However, it is controversial whether these bodies are truly fertile. However, it is important to attribute the prevailing intrusions in the Kimberlitic Province of Picos to the Crater facies, due to the high content of Si coming from the embedding rocks, indicating crustal contamination.

Keywords: Kimberlite. Perovskite. Diamond.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Mapa de localização da área de estudo com destaque para os pontos mapeados.....	18
Figura 2 –	Estruturas do embasamento da bacia do Parnaíba, pertencente ao Ciclo Brasileiro.....	21
Figura 3 –	Mapa da Bacia do Parnaíba.....	22
Figura 4 –	Mapa geológico simplificado da Bacia do Parnaíba, mostrando os limites com o embasamento e outras bacias.....	23
Figura 5 –	Mapa geológico com a localização da província kimberlítica de Gilbués.....	26
Figura 6 –	Mapa geológico com a localização da província kimberlítica de Picos.....	27
Figura 7 –	Modelo de sistema magmático de um kimberlito e suas fácies.....	33
Figura 8 –	Microscópio petrográfico do Laboratório de Microscopia do DEGEO-UFC.....	37
Figura 9 –	Microscópio petrográfico do Laboratório de Microscopia do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Goiás (UFG).....	38
Figura 10 –	Microscópio eletrônico de varredura (MEV) do Laboratório de Microscopia Eletrônica (LME) do Departamento de Geologia da UFC....	39
Figura 11 –	Espectômetro de emissão de plasma ICP-ES e ICP-MS da empresa <i>Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.</i> em Vancouver – Canadá.....	40
Figura 12 –	Preparação das amostras de kimberlitos para envio postal para <i>Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.</i> em Vancouver – Canadá.....	41
Figura 13 –	Arenito em amostra de mão.....	42
Figura 14 –	Kimberlito em amostra de mão e em afloramento.....	43
Figura 15 –	Diabásio em amostra de mão.....	43
Figura 16 –	Mapa de localização das Províncias Kimberlíticas de Picos e Gilbués, Piauí, Brasil.....	51
Figura 17 –	Principais campos kimberlíticos do Brasil.....	52
Figura 18 –	Mapa de relevo sombreado e representação dos lineamentos (-) e (+) da Província Kimberlítica de Picos.....	53
Figura 19 –	Mapa de relevo sombreado e representação dos lineamentos (-) e (+) da Província Kimberlítica de Gilbués.....	54

Figura 20 – Diagramas de roseta indicando um <i>trend</i> NE-NW para a Província Kimberlítica de Picos.....	54
Figura 21 – Diagramas de roseta indicando um <i>trend</i> NE-NW para a Província Kimberlítica de Gilbués.....	55
Figura 22 – (A) Imagem Landsat 8, composição RGB 432 - cor natural, com resolução espacial de 30m; e (B) Imagem Landsat 8, composição RGB 764 - falsa cor, com resolução espacial de 30m, da Província Kimberlítica de Picos.....	56
Figura 23 – (A) Imagem Landsat 8, composição RGB 432 - cor natural, com resolução espacial de 30m; e (B) Imagem Landsat 8, composição RGB 764 - falsa cor, com resolução espacial de 30m, da Província Kimberlítica de Gilbués.....	56
Figura 24 – (A) Modelo digital do terreno (MDT) da Província Kimberlítica de Picos; e (B) Modelo digital do terreno (MDT) da Província Kimberlítica de Gilbués.....	57
Figura 25 – Aspecto textural dos kimberlitos da região de Dom Expedito Lopes. (A) Textura inequigranular, composta por autólitos de olivina e clinopiroxênio em matriz ígnea afanítica; (B) Minerais fortemente serpentinizados.....	63
Figura 26 – Aspectos petrográficos do mineral olivina. (A) Megacristal fraturado exibindo alteração intensa; (B) Macrocristal serpentizado observado ao microscópio petrográfico com borda de alteração; (C) e (D) Cristais observados ao microscópio eletrônico de varredura com formas anédricas, constituindo a fase mais abundante nos kimberlitos.....	64
Figura 27 – Química mineral das olivinas. (A) Diagrama de classificação segundo as relações de $(Fe_2/(Fe_2+Mg))-(Mg/(Fe_2+Mg))$, plotam no campo da Fosterita; (B) Relação MgO x FeO para os cristais de olivina presentes nos kimberlitos estudados, evidenciando enriquecimento em MgO.....	66
Figura 28 – Aspectos petrográficos do mineral clinopiroxênio. (A) Aglomerado de clinopiroxênio observado ao microscópio petrográfico exibindo serpentinação; (B) Clinopiroxênio bordejando olivina serpentizada, observados ao microscópio eletrônico de varredura, constituindo os minerais mais abundantes nos kimberlitos.....	67

Figura 29 –	Química mineral dos clinopiroxênios. (A) Clinopiroxênios ricos em Mg, como mostra o gráfico ternário Ca-Mg-Fe.; (B) Cristais plotados no diagrama de classificação do piroxênio de Morimoto (1990); Wo - Wollastonite; En- enstatite; Fs - ferrosilita.....	68
Figura 30 –	Cristal de titano-augita (Ti-Aug) com bordas enriquecidas em Fe-Cr, sugerindo a alteração da cromita (Chr), e matriz de olivina serpentinizada (Ol/Srp).....	69
Figura 31 –	Cristal de titano-augita (Ti-Aug) com bordas enriquecidas em Fe-Cr, sugerindo a alteração da cromita (Chr), e matriz de olivina serpentinizada (Ol/Srp).....	70
Figura 32 –	Cristais de granada e sua composição química. (a) Mineral observado ao microscópio petrográfico a luz natural, apresentando relevo alto e forma preservada; (b) Granada (Grt) exibindo borda de alteração para olivina serpentinizada (Ol/Srp), com seu hábito euédrico ainda preservado, visto através microscópio eletrônico de varredura (MEV).....	71
Figura 33 –	Cristais de perovskita. (A) Mineral observado ao microscópio petrográfico a luz natural, apresentando relevo elevado, cor castanha-escura e zoneamento discreto; (B) Perovskita (Prv) inclusa em macrocristal de olivina serpentinizada (Ol/Srp); (C), (D), (E), (F) Mapa composicional de cristal enriquecido em Ca e Ti, através de microscópio eletrônico de varredura (MEV).....	73
Figura 34 –	Diagramas: A) Al_2O_3 - FeO (T) – MgO e B) K_2O -MgO- Al_2O_3 para classificação de rochas alcalinas de acordo com Bergman, 1987.....	76
Figura 35 –	Diagrama Índice de Contaminação Crustal (C.I.) <i>versus</i> Índice de Ilmenita (Ilm.I.) para as amostras de kimberlitos de D. Expedito Lopes (CLEMENT, 1982; TAYLOR <i>et al.</i> , 1994).....	77
Figura 36 –	Diagramas de Harker de elementos maiores para as amostras de kimberlitos de D. Expedito Lopes.....	78
Figura 37 –	Diagramas de Harker de elementos traço para as amostras de kimberlitos de D. Expedito Lopes.....	79
Figura 38 –	Diagramas multielementares para as amostras de kimberlitos de D. Expedito Lopes. As amostras foram normalizadas para o manto primitivo de acordo com Taylor e McLennan (1985).....	80

Figura 39 – Diagramas de terras raras para as amostras de kimberlitos de D. Expedito Lopes. Valores normalizados para o condrito (EVENSEN <i>et al.</i> , 1978).....	81
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Classificação dos kimberlitos segundo Clement e Skinner (1985).....	34
Tabela 2 –	Comparação entre as definições de kimberlitos, orangeítos e lamproítos.	35
Tabela 3 –	Coluna litoestratigráfica da área de estudo.....	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Estruturação da Tese.....	16
1.2	Justificativa e Área de Estudo.....	17
1.3	Objetivos da Pesquisa.....	18
2	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	20
2.1	Bacia do Parnaíba.....	20
2.2	Kimberlitos da Bacia do Parnaíba.....	24
3	ESTADO DA ARTE.....	28
3.1	Kimberlitos e Diamantes.....	28
3.2	Morfologia e Fácies dos Kimberlitos.....	30
3.3	Classificação dos Kimberlitos.....	34
4	MÉTODO DE TRABALHO.....	36
4.1	Levantamento Bibliográfico e Cartográfico.....	36
4.2	Mapeamento Geológico.....	36
4.3	Análise Petrográfica.....	36
4.4	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	38
4.5	Espectrometria de Emissão de Plasma ICP-ES e ICP-MS.....	40
5	ASPECTOS GEOLÓGICOS LOCAL.....	42
5.1	Arenito.....	42
5.2	Kimberlito.....	42
5.3	Diabásio.....	43
5.4	Litoestratigrafia.....	44
	5.4.1 Embasamento.....	44
	5.4.2 Arenito.....	44
	5.4.3 Diabásio.....	45
	5.4.4 Kimberlito.....	45
6	APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DAS PROVÍNCIAS KIMBERLÍTICAS DE GILBUÉS E PICOS, PIAUÍ, BRASIL.....	47
7	PETROGRAFIA, QUÍMICA MINERAL E LITOGEOQUÍMICA DAS OCORRÊNCIAS DE KIMBERLITOS DA REGIÃO DE DOM EXPEDITO LOPES - PROVÍNCIA KIMBERLÍTICA DE PICOS, PIAUÍ.....	62

8	CONCLUSÕES.....	82
	REFERÊNCIAS.....	85
	APÊNDICE A – ELEMENTOS MAIORES E TRAÇO.....	89
	APÊNDICE B – ELEMENTOS TRAÇO E TERRAS RARAS.....	90
	APÊNDICE C – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DETALHADO DA ÁREA ESTUDADA.....	91
	APÊNDICE D – MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA ESTUDADA.....	92

1 INTRODUÇÃO

O manuscrito descreve as atividades realizadas e a interpretação dos resultados obtidos a partir de um mapeamento geológico com coleta de dados e amostras para realização de análises com o objetivo de investigar a morfoestrutura, litogeoquímica e mineralogia das ocorrências kimberlíticas da região de Dom Expedito Lopes, Província Kimberlítica de Picos, estado do Piauí, bem como sua relação morfoestrutural com a província kimberlítica de Gilbués, localizada no mesmo estado.

1.1 Estruturação da Tese

Esta tese de Doutorado está estruturada em torno de artigos publicados em periódicos ou publicações equivalentes. Consequentemente, sua organização compreende os seguintes capítulos:

- Capítulo 1: Introdução sobre o tema; organização e estruturação do trabalho; justificativa e localização da área de estudo; descrição dos objetivos da pesquisa desenvolvida.
- Capítulo 2: Contextualização geológica regional sobre o conhecimento atual da área de estudo;
- Capítulo 3: Estado da arte sobre o tema de pesquisa;
- Capítulo 4: Método de trabalho utilizado abordando equipamentos, procedimentos e análises efetuadas para desenvolvimento da tese.
- Capítulo 5: Aspectos geológicos local apresentando o estudo dos principais litotipos encontrados no mapeamento geológico e suas unidades litoestratigráficas.
- Capítulo 6: ARTIGO 1. Aplicação de Geotecnologias na Análise Morfoestrutural das Províncias Kimberlíticas de Gilbués e Picos, Piauí, Brasil. Este capítulo correlaciona morfoestruturalmente as Províncias Kimberlíticas de Picos (PKP) e Gilbués (PKG) através de sensoriamento remoto e com base nos aspectos morfológicos superficiais existentes. Abordase, de forma comparativa, sobre morfologia e estruturas desses kimberlitos, tais como, relevo, drenagens e lineamentos, além da geologia das duas províncias. O referido artigo serve como uma base introdutória de informações sobre as ocorrências kimberlíticas da região de Picos, visto que não há publicações dessa área na literatura.
- Capítulo 7: ARTIGO 2. Petrografia, Química Mineral e Litogeoquímica das Ocorrências de Kimberlitos da Região de Dom Expedito Lopes - Província Kimberlítica de

Picos, Piauí. Este capítulo aborda dados mineralógicos e litogeoquímicos dos corpos kimberlíticos alvo deste estudo.

- Capítulo 8: Conclusões e Perspectivas de futuros trabalhos.
- Capítulo 9: Referências bibliográficas utilizadas na tese.

1.2 Justificativa e Área de Estudo

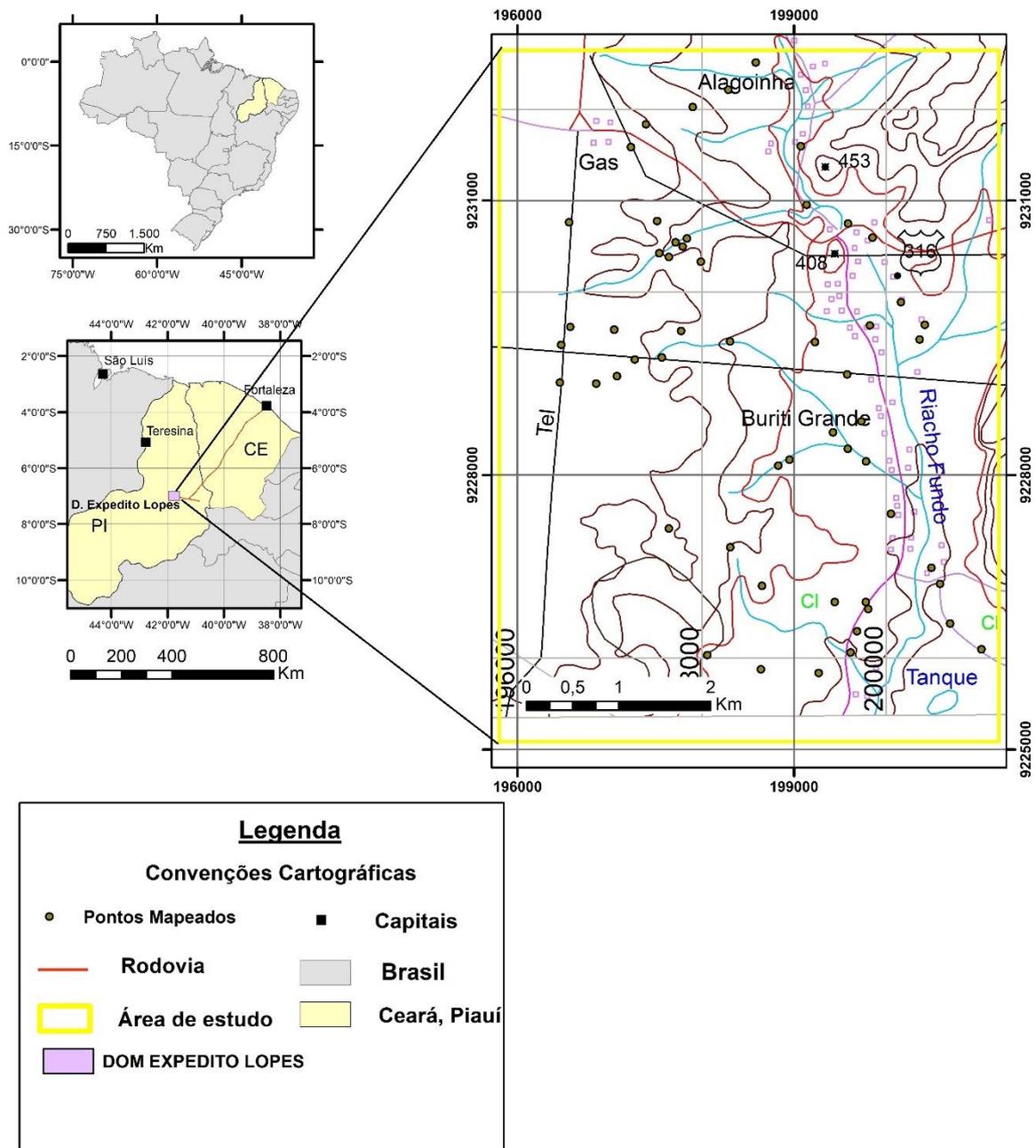
No estado do Piauí foram descobertas 51 ocorrências kimberlíticas que estão agrupadas em sete grupos distintos: Apicuns, Belmont, Sete Lagoas, Redondão, compondo a Província kimberlítica de Gilbués; e Moana, Tinguins e Vale Verde, constituindo a Província kimberlítica de Picos (SOPEMI-De Beers, relatórios internos). Além desses campos de kimberlitos, merecem destaque as ocorrências de diamantes da região de Gilbués, onde ocorre o mais famoso corpo kimberlítico diamantífero do Brasil, o Redondão (CPRM, 2010).

O mapeamento geológico indicou diversos pontos com possíveis kimberlitos aflorantes e não aflorantes na área estudada. Porém, as condições das rochas aflorantes apresentaram intensa alteração, o que dificultou a identificação e coleta de amostras. Dessa forma, concentrou-se os estudos nas ocorrências kimberlíticas com maior grau de preservação, do município de Dom Expedito Lopes, Piauí.

A denominada Província Kimberlítica de Picos está localizada na porção centro-leste do estado do Piauí abrangendo os municípios de Ipiranga do Piauí, Inhuma, Dom Expedito Lopes, Lagoa do Sítio, São João da Canabrava, São João da Varjota, São José do Piauí, Elesbão Veloso, Jardim do Mulato, Oeiras e Regeneração, perfazendo uma área total de aproximadamente 12 mil km². Tal província não dispõe de informações suficientes na literatura, neste contexto, selecionou-se a área com o intuito de colaborar e incentivar estudos que componham dados geológicos atualizados da área.

A área de pesquisa dista 577 km da capital do Ceará. O acesso à região, partindo de Fortaleza (CE), se dá através da BR-020 até a cidade de Picos (PI). A partir de Picos, toma-se a BR-230 até o município de Dom Expedito Lopes. Do referido município até os pontos mapeados, trafega-se poucos metros por estrada carroçável e, na maioria dos casos, segue-se a pé até os pontos indicados no mapa de localização (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo com destaque para os pontos mapeados.



Fonte: Elaborada pela autora.

1.3 Objetivos da Pesquisa

Este estudo tem como objetivo geral investigar a geologia, morfoestrutura, mineralogia e litogeoquímica das ocorrências kimberlíticas aflorantes na região de Dom Expedito Lopes - Piauí, a fim de compreender como esses litotipos se comportam. Foram utilizados: material bibliográfico; bases cartográficas; imagens de satélite Landsat 8 e dados

provenientes da missão SRTM; levantamento geológico de campo; além de análises mineralógicas, petrográficas e de litogeoquímica, visando os objetivos secundários abaixo:

(i) Correlacionar morfoestruturalmente as Províncias Kimberlíticas de Picos e Gilbués através de sensoriamento remoto e com base nos aspectos morfológicos superficiais existentes;

(ii) Analisar petrograficamente amostras obtidas dos corpos kimberlíticos;

(iii) Realizar caracterização mineralógicas com a utilização de Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e Espectroscopia por energia dispersiva (EDS);

(iv) Determinar as composições químicas de rocha total (elementos maiores, traços e terras raras) em kimberlitos, com a utilização da espectrometria de emissão de plasma ICP-MS.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 Bacia do Parnaíba

A bacia do Parnaíba possui uma cobertura sedimentar de aproximadamente 600.000 km², apresentando uma forma oval estendendo-se cerca de 1000 Km na direção NE-SW e 800 km na direção NW-SE. A bacia apresenta espessura sedimentar máxima em torno de 3400 m próximo à sua porção central (GÓES *et al.*, 1990). Trata-se de uma bacia intracratônica, segundo classificação de Klemme (1980), Asmus & Porto (1972).

A borda sul da bacia do Parnaíba é delimitada pelo Arco de São Francisco. As bordas leste e oeste são delimitadas por rochas da orogenia Brasileira. A borda noroeste da bacia é delimitada pelo arco de Tocantins, que separa esta bacia da bacia do Amazonas. Ao norte existem duas bacias costeiras (bacias de São Luiz e de Barreirinhas), que são separadas da bacia do Parnaíba pelo Arco de Ferrer-Urbano Santos (Figuras 2, 3 e 4). A cobertura da bacia, abrange os estados do Piauí, Maranhão, Tocantins e Pará, abrangendo ainda pequenas partes dos estados da Bahia e Ceará (GÓES *et al.*, 1990).

A hipótese mais consistente e menos contraditória para origem desta bacia seria a de uma contração térmica e adensamento litosférico ocorrido no final da Orogênese Brasileira, provocando fragmentação de um supercontinente no Neoproterozóico. A possível quebra deste supercontinente tem sido discutida por diversos autores: Lindsay *et al.*, (1987), Lindsay (1991), Klein (1991), Hartley & Allen (1994), Góes *et al.*, (1990) e Sousa (1996).

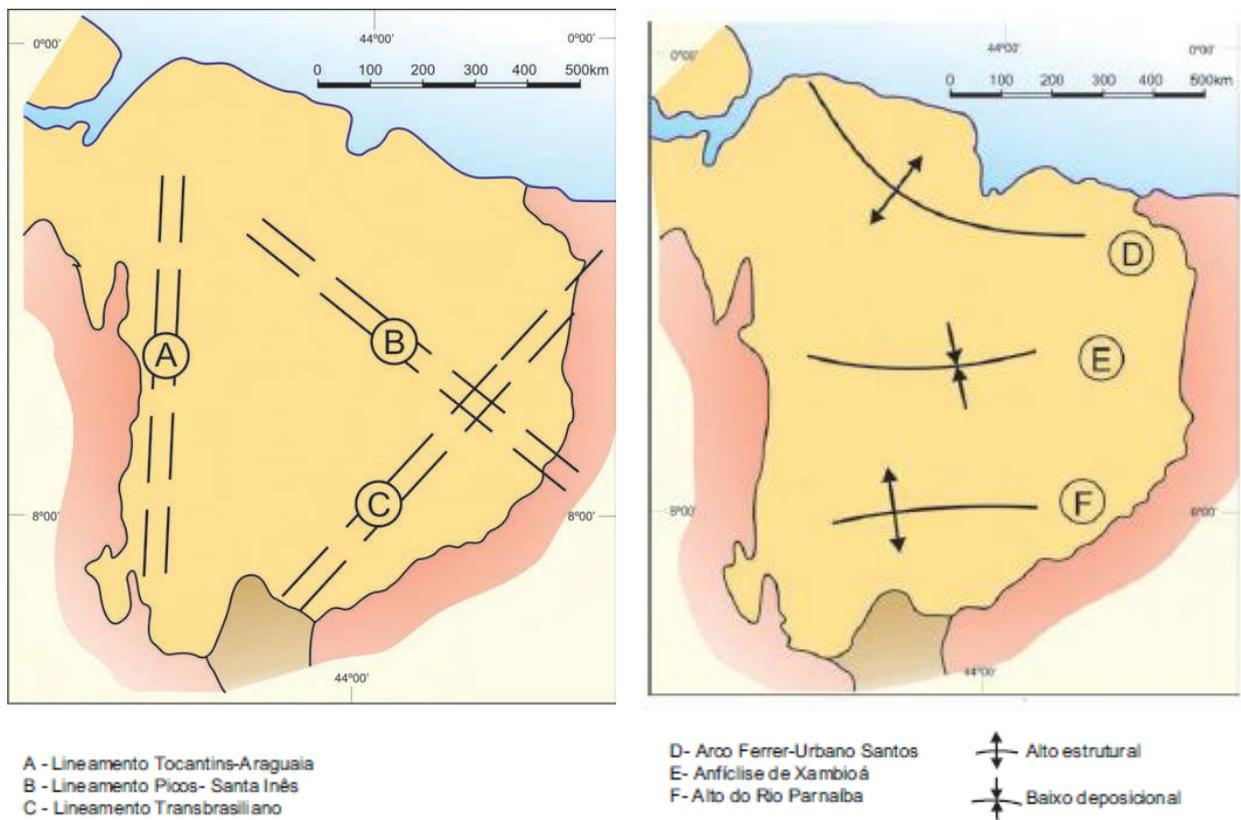
Nesta bacia encontra-se uma sequência transgressiva-regressiva associada ao avanço e recuo do mar (MESNER & WOOLDRIDGE, 1964), com a sedimentação iniciando na Formação Riachão e terminando com a Formação Poti, (KEGEL, 1956), depositados do Ordoviciano ao Terciário e rochas intrusivas e extrusivas relacionadas a eventos magmáticos de idades Jurotriássica a Eo-cretácia (GÓES & FEIJÓ, 1994).

A bacia do Parnaíba está localizada na porção nordeste ocidental brasileira (Figuras 2, 3 e 4). Ela está posicionada sobre um embasamento fortemente estruturado, formado no ciclo Brasileiro. A consolidação da plataforma Sul-americana foi completada entre o final do Proterozóico e início do Fanerozóico (450-700 Ma). Em torno de 30% do embasamento da área de estudo estão mascarados por rochas mesozoicas e cenozoicas (CORDANI *et al.*, 1984).

Cunha (1986) relaciona duas importantes estruturas do embasamento da bacia do Parnaíba: o lineamento Transbrasiliano e o lineamento Picos-Santa Inês (Figuras 2 e 4). O lineamento Transbrasiliano representa uma feição alongada de cerca de 9700 Km, com

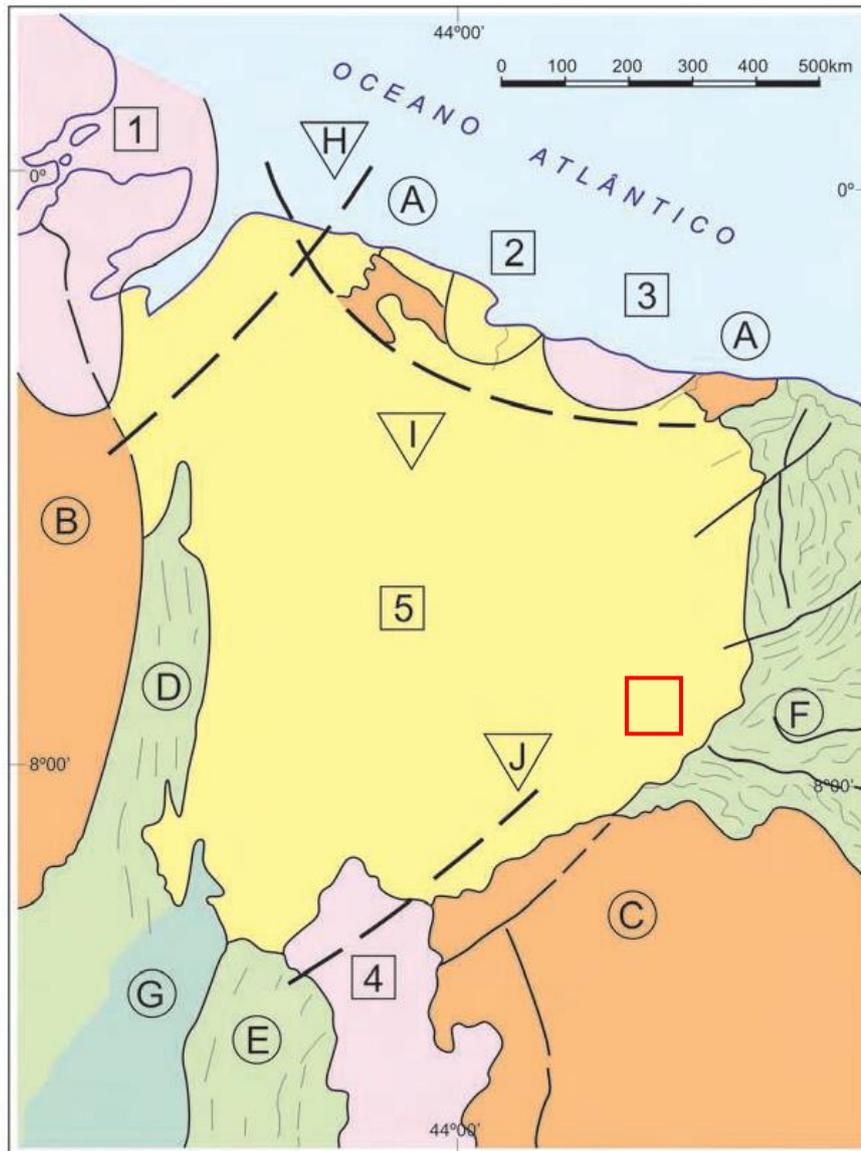
orientação NE-SW, que cruza o território brasileiro do Ceará ao Mato Grosso e prossegue para sudoeste, penetrando no Paraguai e Argentina (SCHOBENHAUS *et al.*, 1975). Este lineamento é demarcado na bacia por falhas orientadas na direção NE-SW, que cortam rochas paleozóicas e mesozóicas, e por diques de diabásicos orientados no mesmo sentido. O lineamento Transbrasiliano teria se mantido ativo desde a sua instalação até a época presente (Cunha, 1986). O lineamento Picos-Santa Inês constitui uma faixa cataclástica com orientação NW-SE. Esta faixa reflete a morfologia atual, produzindo alinhamentos orientados na direção NW. Este lineamento exerceu uma grande influência no desenvolvimento da bacia do Parnaíba, controlando importantes eixos deposicionais (Cunha, 1986).

Figura 2 – Estruturas do embasamento da bacia do Parnaíba, pertencente ao Ciclo Brasileiro.



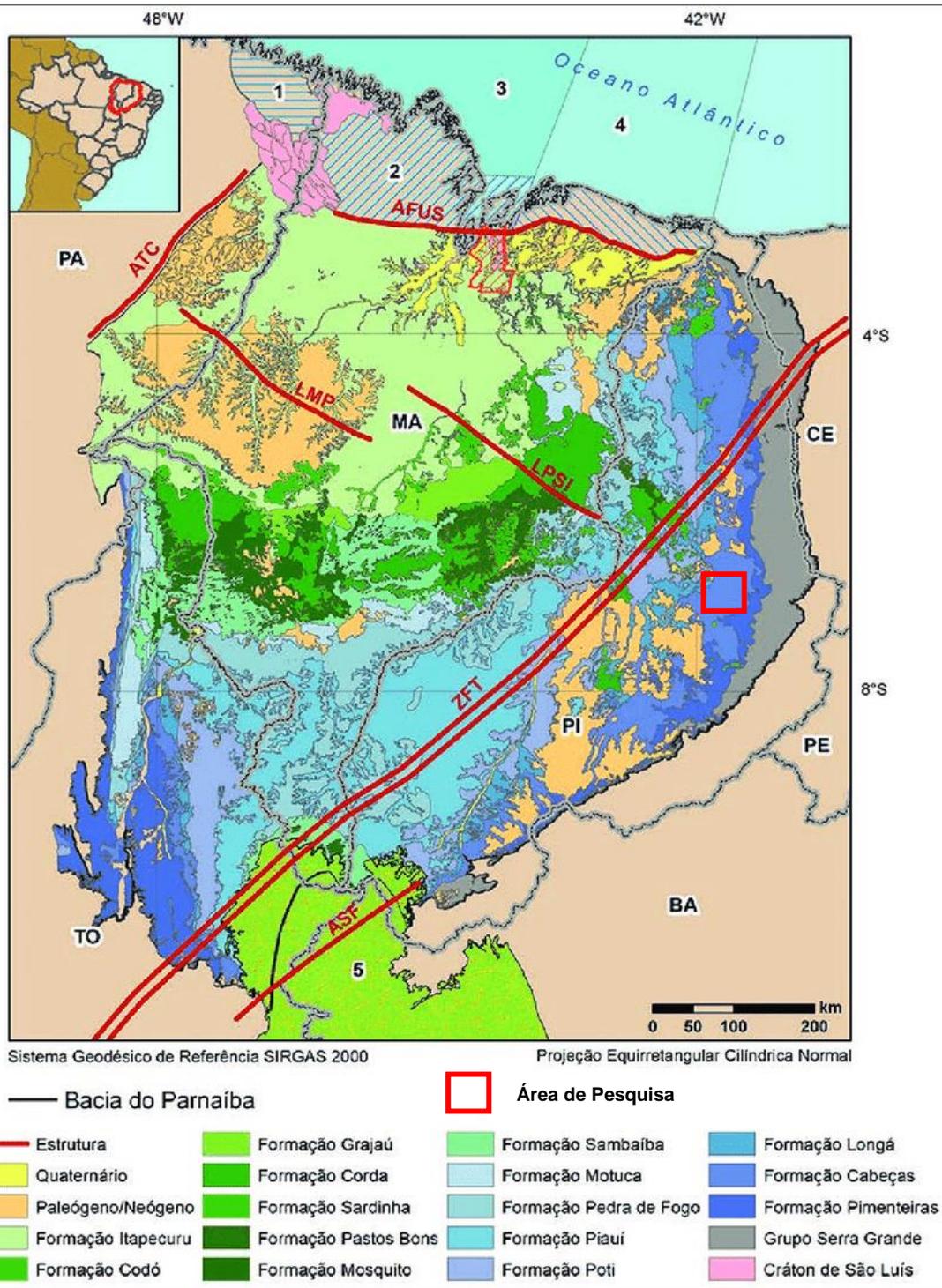
Fonte: Adaptado de Fortes, 1978.

Figura 3 – Mapa da Bacia do Parnaíba.



Fonte: Adaptado de Santos & Carvalho, 2004.

Figura 4 – Mapa geológico simplificado da Bacia do Parnaíba, mostrando os limites com o embasamento e outras bacias.



Fonte: Modificado da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas, Programa Geologia do Brasil, Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), 2004.

Legenda: (1) Bragança-Viséu, (2) São Luís, (3) Pará-Maranhão, (4) Barreirinhas e (5) Sanfranciscana. Estruturas: Zona de Falha Transbrasiliana (ZFT), altos do Tocantins (ATC), Ferrer-Urbano Santos (AFUS), São Francisco (ASF) e os lineamentos Marajó-Parnaíba (LMP) e Picos-Santa Inês (LPSI). Estados que abrange: Pará (PA), Maranhão (MA), Ceará (CE), Piauí (PI), Bahia (BA) e Tocantins (TO).

2.2 Kimberlitos da Bacia do Parnaíba

Segundo Clement *et al.*, 1987, kimberlitos são rochas ígneas ultrabásicas de origem mantélica, ricas em voláteis (principalmente CO₂), que se caracterizam como a principal fonte de diamantes e ocorrem em pequenas chaminés, diques e soleiras. Apresentam normalmente textura inequigranular, resumindo-se em fenocristais, xenocristais e xenólitos inseridos em uma matriz de grãos finos.

Mesmo com o crescente estudo sobre rochas kimberlíticas nos últimos dez anos, acentuado pelo valor compensatório do diamante, pouco se sabe sobre os seus processos de origem e formação. A partir de estudos feitos alguns avanços petrogenéticos podem ser apresentados: 1) existem diferentes fácies de kimberlitos; 2) kimberlitos são formados a partir de magmas de alta temperatura e ricos em voláteis; 3) kimberlitos podem passar por diferenciação e este processo resultar na formação de uma gama de rochas, o chamado “clã kimberlítico”; 4) os xenólitos lhezorlíticos presentes nos kimberlitos contêm informações da profundidade de origem do magma parental (MITCHELL, 1986).

Os Kimberlitos são manifestações vulcânicas de origem profunda no manto (normalmente abaixo de 200 km de profundidade), que costumam se manifestar nas zonas de crátons, porções da crosta terrestre que se encontram estáveis desde o período Pré-Cambriano, e tendem a ocorrer em aglomerados ou províncias (PASTERIS, 1984).

Tanto no Brasil como em outras partes do mundo, os kimberlitos apresentam-se extremamente alterados, podendo ter maior ou menor quantidade de materiais estranhos e com grande variedade mineralógica e textural. Em consequência disto, podem ser classificados como tufos kimberlíticos, tufos-brechas kimberlíticos, kimberlitos basálticos, micáceos, etc. (CORREIA, 1990). De acordo com Clement & Skinner (1985), os Kimberlitos da Bacia do Parnaíba podem ser classificados desde “Kimberlito brechóide” ou mesmo “Kimberlito”, até “Kimberlito epiclástico”.

A Bacia do Parnaíba dispõe de duas províncias kimberlíticas, as quais são a província kimberlítica de Gilbués e a província kimberlítica de Picos (Figuras 5 e 6). A primeira, com quatro ocorrências conhecidas, kimberlito Riachão, Redondão, Largo e Cabeceiras, situa-se no centro-sul da bacia, nas nascentes do rio Uruçuí Preto, na área de cruzamento de duas importantes e extensas falhas estruturais definidas pelos lineamentos Transbrasiliano e Belmonte-Xambioá (CORREIA, 1990). A segunda província localiza-se próxima a região de Picos, na parte centro-leste da bacia, a cerca de 400 km da Província de Gilbués.

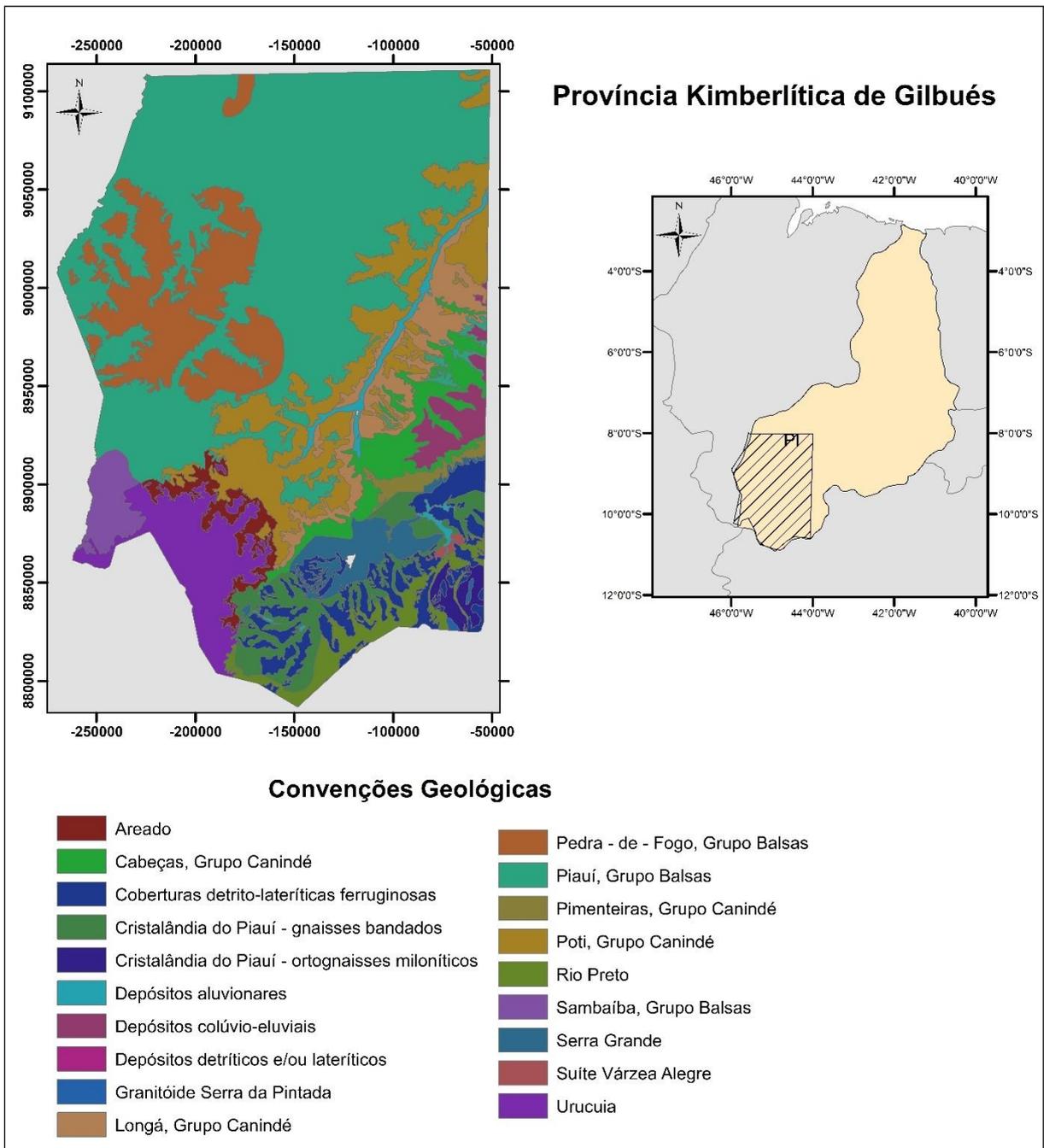
Esses corpos intrudem na borda leste e sul da Bacia do Parnaíba, cortando, na maioria dos casos, arenitos da Formação Cabeças e ocasionalmente, rochas das formações Pimenteira, Longá, Piauí e Pedra de Fogo. Normalmente ocorrem na forma de *pipes* e diques em relevos negativos em relação às encaixantes, mostrando bordas de arenitos alçados e cozidos, com tufos e brechas. Na porção central dessas estruturas circulares, afloram rochas kimberlíticas alteradas, esverdeadas e ou amarronzadas. No solo podem ser observados minerais como olivina alterada, ilmenita, granada e cromitas. Alguns corpos não afloram e apresentam-se com cobertura arenosa, às vezes laterítica (CPRM, 2010).

Os municípios de Gilbués, Currais, Baixa Grande do Ribeiro e Santa Filomena compõem a Província Kimberlítica de Gilbués (Figura 5), onde ocorre o mais famoso corpo kimberlítico do Brasil, o Redondão, o qual apresenta forma circular e relevo negativo em relação às rochas encaixantes, intrudindo rochas das formações Piauí e Pedra de Fogo. No centro da estrutura circular afloram rochas kimberlíticas alteradas, compostas por brechas e tufos, de coloração esverdeada, onde ainda podem ser observados minerais como olivina, granada, ilmenita e mais raramente zircão. Observações de campo e amostras de mão indicam que o nível de erosão atual das intrusões expõe rochas possivelmente relacionadas ao fácies diatrema, conforme sugerem as feições texturais e estruturais primárias e a mineralogia encontrada (CPRM, 2010).

A Província Kimberlítica de Picos está representada na Figura 6 abrangendo os municípios de Ipiranga do Piauí, Inhumas, D. Expedito Lopes, Lagoa do Sítio, São João da Canabrava, São João da Varjota, São José do Piauí, Elesbão Veloso, Jardim do Mulato e Regeneração,

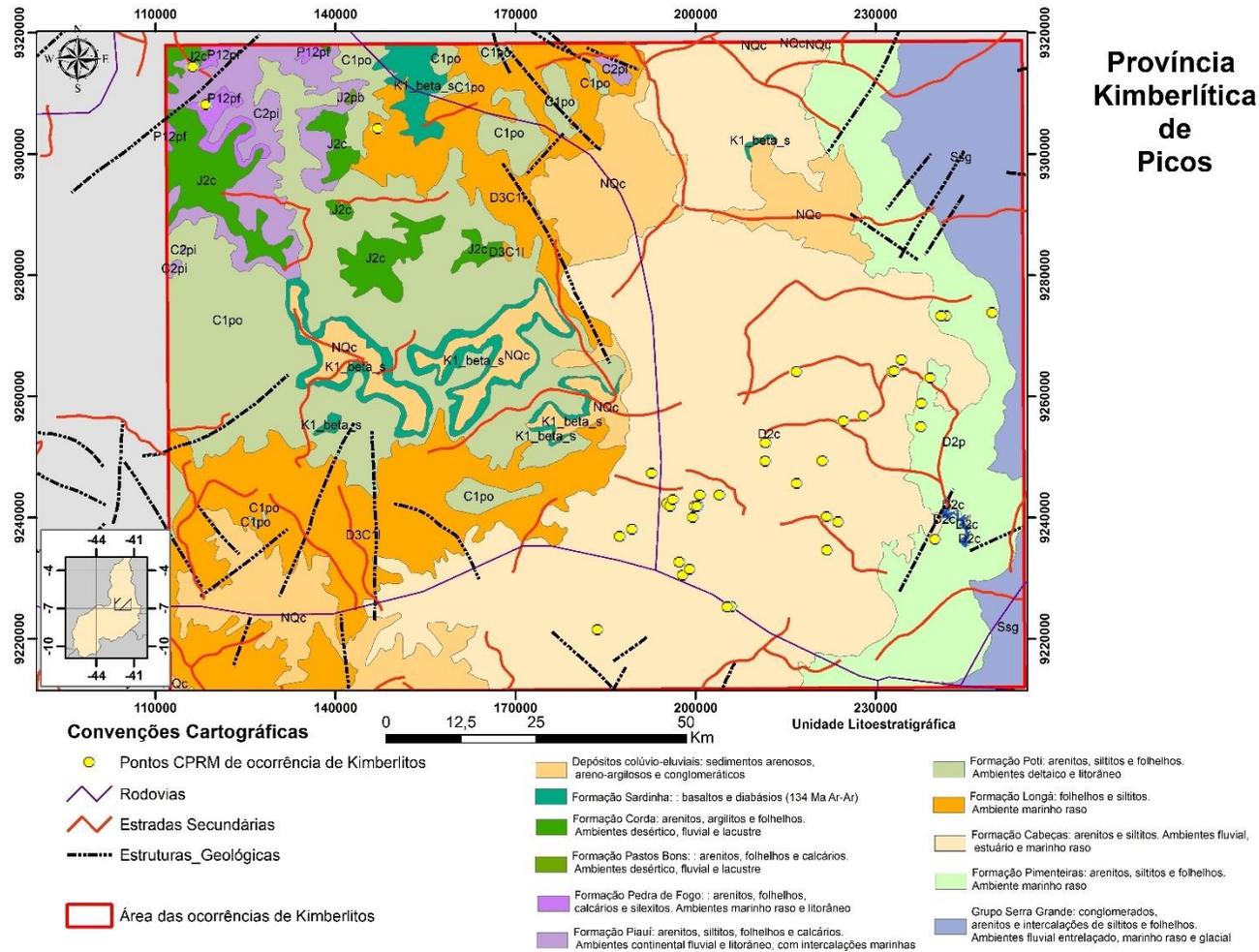
Além desses campos de kimberlitos, merecem destaque as ocorrências de diamantes da região de Gilbués, onde a mineralização está hospedada em terraços e aluviões cenozoicos, cujo substrato é formado por rochas da Bacia do Parnaíba (CPRM, 2010).

Figura 5 – Mapa geológico com a localização da província kimberlítica de Gilbués.



Fonte: Mapa geológico do Estado do Piauí adaptado, Escala: 1:1.000.000 - CPRM, 2006.

Figura 6 – Mapa geológico com a localização da província kimberlítica de Picos.



Fonte: Elaborada pela autora.

3 ESTADO DA ARTE

3.1 Kimberlitos e Diamantes

O termo Kimberlito foi introduzido por Lewis (1887) para a rocha portadora de diamantes da chaminé de Kimberley, na África do Sul. Desde então, várias tentativas têm sido feitas para se conseguir uma definição e classificação que pudesse ser aceita sem objeções. Tais foram as definições propostas por autores como Wagner (1914), Milashev (1963, 1965), Dawson (1962, 1967, 1971), Mitchell (1970, 1979, 1986), Nixon (1973), Skinner & Clement (1979), Frantsesson (1970), Clement *et al.*, (1977, 1984) e Clement & Skinner (1985).

Segundo Clement *et al.* (1984), o kimberlito é uma rocha ígnea ultrabásica rica em voláteis que ocorre em pequenas chaminés, diques e soleiras. Possui textura inequigranular característica resultante da presença de macrocristais dispersos numa matriz granular fina. Esta matriz contém fenocristais de olivina e de vários dos seguintes minerais: flogopita, carbonato (usualmente calcita), serpentina, clinopiroxênio (geralmente diopsídio), monticellita, apatita, espinélio, perovskita e ilmenita (CORREIA, 1990).

Na formação do magma kimberlítico existem algumas particularidades que devem ser consideradas. De fato, é importante a profundidade de formação, dado que, quanto maior for a profundidade a que se inicia a sua formação maior é a possibilidade de conter grandes quantidades de diamantes. Segundo Mitchell (1986), o magma inicia-se a uma profundidade aproximada de 150 a 200 km, isto é, no manto superior, e a uma temperatura com cerca de 1200°C a uma pressão de 40 Kb. O kimberlito seria um dos produtos de diferenciação do manto, resultante da fusão parcial do manto, além de outros tipos de rocha também portadoras de diamante tais como os lamproítos (Austrália); as brechas ankaramito-monchiquíticas (União Soviética); os basaltos alcalinos de Kamchatka (URSS); os serpentinitos granatíferos de Aykhal (URSS); os lherzolitos granatíferos de Finsch (África do Sul) e de Wyoming (Estados Unidos da América do Norte) e, possivelmente, os eclogitos (África do Sul e URSS).

No mecanismo de intrusão do magma kimberlítico até à formação final do kimberlito diamantífero estão presentes uma velocidade elevada de ascensão (da ordem dos 200 km/h) e uma libertação extremamente rápida de voláteis, próximo da superfície. A velocidade de subida do magma e a rápida libertação de voláteis evitam a grafitação do diamante (CORREIA, 1990).

Os kimberlitos diamantíferos estão predominantemente confinados aos crátons arqueanos estáveis no mundo. Em escala global menos de 1% dos kimberlitos contêm diamante

suficiente para serem econômicos e somente cerca de quinze pipes constituem minas de classe mundial (FIPKE *et al.*, 1995). Diamantes ocorrem na superfície da Terra em diferentes tipos de rochas "primárias" (não-sedimentares), dentre elas: kimberlitos, lamproítos, lamprófiro e rochas ígneas correlatas, komatiitos, maciços ultramáficos obductados – ofiolitos, rochas de médio grau metamórfico (piroxenitos), rochas de alto grau metamórfico (peridotitos), granada-biotita gnaisses e eclogitos, meteoritos e impactitos. Contudo, destas ocorrências, somente alguns kimberlitos/lamproítos são viáveis economicamente para exploração de diamantes. São conhecidos em escala mundial, até o presente momento, mais de 5000 corpos kimberlíticos, dos quais cerca de 20 são lavrados (HELMSTAEDT, 2002).

Meyer & Tsai (1976), Robinson (1978) e Meyer (1985) suportaram a ideia de que diamantes são xenocristais, ou seja, ocorrem como inclusões minerais no kimberlito. Corroborando esta última hipótese, Richardson *et al.*, (1984) determinou idades de 3.5 a 3.2 Ga para inclusões de granada piropo em diamantes da África do Sul, inclusos em kimberlitos datados em 1710 e 90Ma. Desta forma, foi comprovado que kimberlitos/lamproítos são apenas mecanismos de transporte dos diamantes até a litosfera.

Diamantes podem estar presentes ou não em kimberlitos, sendo considerados como acessórios raros destes magmatitos (DAWSON 1980). A lei empírica de Clifford (1966) estabelece que kimberlitos com potencial econômico para diamantes ocorram somente em Archons, ou seja, regiões cratônicas com embasamento Arqueano. O posicionamento e a morfologia destes corpos são bastante complexos, controlados por uma série de fatores geotectônicos (HELMSTAEDT & GURNEY 1995).

Os kimberlitos ocorrem nas zonas dos crátons, plataformas da crosta estáveis desde o período pré-cambriano, onde a ocorrência de kimberlitos diamantíferos era restrita a um ambiente geotectônico bem definido, tectonicamente estabilizados com idade inferior a 1600-1500 Ma, segundo Clifford (1966). Este conceito foi denominado lei empírica de Clifford, baseada nas exigências impostas pelas condições físico-químicas necessárias à estabilização do carbono cristalizado, ou seja, do diamante no manto, restringindo-se a uma janela de estabilidade, somente possível nas zonas crustais espessas, de baixo gradiente geotérmico, preservadas apenas nos núcleos cratônicos estáveis da crosta terrestre.

3.2 Morfologia e Fácies dos Kimberlitos

Os estudos iniciais efetuados sobre os kimberlitos, segundo Wagner (1914), demonstraram que eles ocorrem com uma forma de cenoura, em forma de tubo, isto é, por intrusões verticais denominadas chaminés, com diatrema e diques tabulares.

Os vários estudos efetuados por Dawson e Hawthorne (1970 e 1973), Dawson (1971) e Hawthorne (1975), contribuíram para estabelecer o conceito base do reconhecimento do magmatismo dos kimberlitos, nomeadamente sobre a mobilidade dos magmas kimberlíticos e que esses magmas poderiam sofrer diferenciação. No topo existe a ocorrência de kimberlitos epiclásticos e piroclásticos, que ocorrem por cima dos kimberlitos de diatrema, e com o aumento de profundidade encontramos kimberlitos abissais e hipoabissais, bem como a existência de soleiras, que são compostas por um corpo tabular, geralmente horizontal, que penetrou entre camadas de rochas mais antigas e que não chegou à superfície, mas que derivou lateralmente de outro corpo (SÊCO, 2009).

Os kimberlitos são reconhecidos como provenientes de magma ultrabásico rico em voláteis, com alto teor de H₂O e CO₂, potássio com elevada relação de K/Na, com distinção de textura heterogranular resultante da presença de macrocristais em uma matriz essencialmente microporfírica e cuja evolução e colocação pode ser descrita em termos de diferenciação padrão, intrusão e processos de extrusão. A matriz contém fenocristais primários e/ou constituintes das rochas encaixantes, olivina e vários outros minerais, nomeadamente, flogopita, calcita, serpentina, diopsídio, monticelita, apatita, espinélio, perovskita, ilmenita, entre outros. Existem outros minerais primários que podem estar presentes, como a granada do tipo piropo e outros minerais acessórios (SÊCO, 2009).

Os kimberlitos contêm geralmente inclusos nas suas estruturas, várias rochas ultramáficas, caracterizadas por magmas peridotíticos e piroxeníticos, onde estão presentes quantidades variáveis de xenólitos e xenocristais provenientes da crosta. Apresentam frequentemente alterações, principalmente no seu topo, resultado da carbonatização e serpentinização. Quanto à possibilidade de conterem diamantes, deve-se referir que é um constituinte mineral muito raro. Estas intrusões podem ocorrer com diâmetros de algumas dezenas de metros a quilômetros.

Segundo Macnae (1979), as intrusões magmáticas ocorrem através de fraturas, formando diques e soleiras na superfície. As intrusões kimberlíticas estão associadas a estruturas profundas, que atingem ou estão próximas do manto, e por ascenderem na crosta, em

alta velocidade, trazem no seu trajeto fragmentos mantélicos, sendo um fato que os torna de grande interesse para a comunidade geocientífica.

De acordo com Mitchell (1995), esses fragmentos podem ser peridotitos (dunito, harzburgito, lherzolito), ou ainda eclogitos do manto. O magma kimberlítico chega à superfície por meio de plumas que têm origem na região entre os limites manto/núcleo e manto superior/manto inferior (HAGGERTY, 1999).

Nas mineralizações diamantíferas, o maior interesse que existe nestas intrusões está relacionado com aquelas que existem em regiões cratônicas ou nas suas faixas marginais, dado que há uma relação conhecida entre a ocorrência de diamantes em corpos cujas rochas encaixantes foram estabilizadas no Pré-Cambriano. Em relação ao magma kimberlítico, deve ser referido que este não tem nenhuma relação genética com os diamantes, mas exerce apenas a tarefa de transportador, possibilitando a ascensão das gemas à superfície, segundo Mitchell (1986).

O processo responsável pelo transporte do material até à superfície é denominado fluidização gasosa, isto é, o processo que transporta o material sólido num turbulento meio gasoso. Nos estudos químicos efetuados em rochas kimberlíticas, estas demonstraram que existiu uma quantidade significativa de gás na sua formação e que se moveram rapidamente até à superfície, podendo existir um aumento de descarga de xenólitos de profundidade (SÊCO, 2009).

As rochas kimberlíticas possuem uma alta porosidade e permeabilidade, que em condições de climas tropicais, dado as chuvas, podem facilitar a alteração mais acelerada do material. Segundo Ruotsala (1975), a meteorização dos minerais dos kimberlitos conduzem a várias alterações. Ocorre assim, uma modificação da composição química em diferentes níveis da estrutura kimberlítica, que se traduz mais perto da superfície em concentrações de CaO, MgO e CO₂, como também em maior profundidade em concentrações de CaO e CO₂.

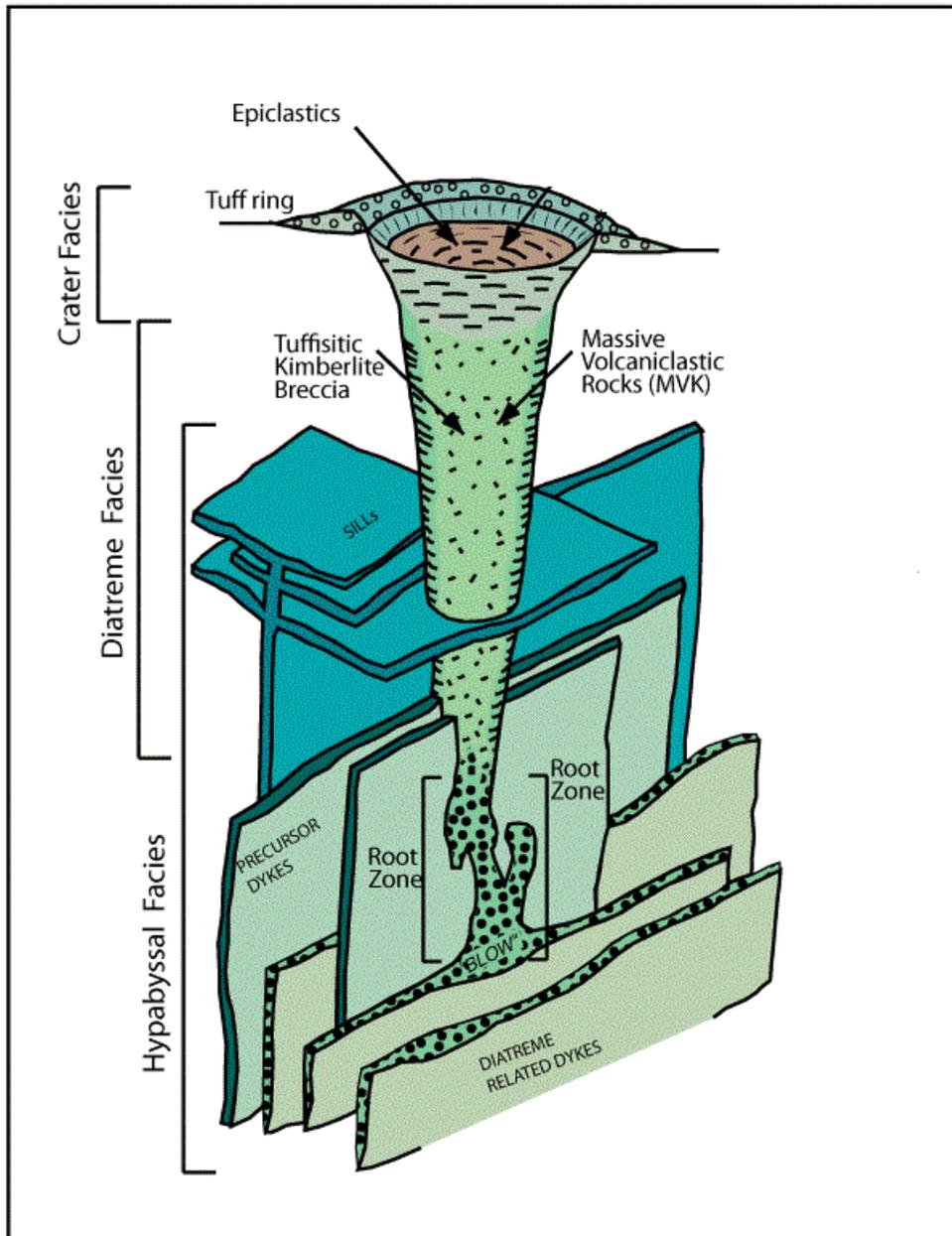
Sabe-se que, conforme a natureza de cada uma das intrusões, tendo em conta a profundidade de erosão e do grau de alteração, estas determinam o tamanho e mineralogia da superfície exposta. Embora muitas chaminés de kimberlitos ocorram de forma isolada, estas estruturas têm tendência a ocorrer associadas entre si (SÊCO, 2009).

Na formação do magma kimberlítico existem algumas particularidades que devem ser consideradas. Sêco (2009) afirma que é importante a profundidade de formação, dado que, quanto maior for a profundidade em que se inicia a sua formação maior é a possibilidade de conter grandes quantidades de diamantes. Segundo Mitchell (1986), o magma inicia-se a uma profundidade aproximada de 150 a 200 km, isto é, no manto superior, a uma temperatura com

cerca de 1200°C e uma pressão de 40 Kb. Segundo Kirkley *et al.*, (1991), as curvas de estabilidade do diamante apresentam relação existente entre a pressão, a temperatura e a profundidade. Dessa forma, o magma kimberlítico inicia a sua formação em condições específicas e muito rigorosas, com a temperatura e pressão estável, que dão uma consistência e conservação aos diamantes durante a ascensão do magma até a superfície. Portanto, a velocidade de ascensão é muito importante, definindo a esterilidade da intrusão, e o tempo de implementação pode demorar cerca de 2 horas.

Desde 1887, que ocorrem os estudos de reconhecimento sobre as variedades de texturas dos kimberlitos, iniciado por Lewis (MITCHELL, 1986), Wagner (1914), Williams (1932) e outros petrologistas europeus e sul-africanos que a partir da década de 70 (século XX), deram uma contribuição fundamental. O kimberlito, de acordo com a sua petrologia e morfologia, pode ser dividido em três unidades de fácies, em referência a Clement e Skinner (1985), Araújo (2000) e Kopylova (2009), nomeadamente em fácies de cratera, diatrema e abissal/hipoabissal. A Figura 7 representa um modelo de sistema magmático de um kimberlito e suas fácies.

Figura 7 – Modelo de sistema magmático de um kimberlito e suas fácies.



Fonte: Adaptado de Mitchell, 1986.

Para as classificações de kimberlitos foram desenvolvidos alguns modelos ao longo do tempo, tendo em conta as variações de textura e mineralogia que os mesmos apresentam. O modelo de Clement e Skinner, em 1985, é o mais aceito pela comunidade científica, dado que demonstra as implicações genéticas (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação dos kimberlitos segundo Clement e Skinner (1985).

FACIES	TIPO DE ROCHA	TEXTURA MACROSCÓPICA
Kimberlito de Fácies Abissal ou Hipabissal	Kimberlito < 15%; > 4 mm clastos	Kimberlito Macrocristalino
		Kimberlito de Segregação
		Kimberlítico Afanítico
Kimberlito de Fácies de Diatrema	Tufo Kimberlito < 15%; > 4 mm clastos	Tufo Kimberlito Pelítico (grãos não se distinguem a olho nu)
		Tufo Kimberlito Lítico
		Tufo Kimberlito Cristalino
Kimberlito de Fácies de Cratera	Tufo Kimberlito Brechoide > 15 %; > 4 mm clastos	Tufo Kimberlito Pelítico Brechoide (grãos não se distinguem a olho nu)
		Tufo Kimberlito Lítico Brechoide
		Outra subdivisão de acordo com as escalas padronizadas e ou relativos a conceitos das fácies genético litológicos
Kimberlito de Fácies de Cratera	Kimberlito Piroclástico	
	Kimberlito Epiclástico	
	Lava Kimberlítica	

Fonte: Sêco, 2009.

De acordo com a classificação acima representada pode-se retirar algumas informações importantes. Os kimberlitos de cratera são reconhecidos devido às suas características sedimentares e vulcano-sedimentares. Os kimberlitos de diatrema são reconhecidos pela textura, xenólitos, e pela sua característica brechóide. Os kimberlitos abissais/hipoabissais são, sem dúvida, reconhecidos pela presença abundante de calcita e texturas de segregação com macro e mega-cristalizações. Um kimberlito pode ser considerado brechóide ou não brechóide, unicamente baseado no fato do volume percentual ser superior a 15% dos fragmentos visíveis macroscopicamente (SÊCO, 2009).

3.3 Classificação dos Kimberlitos

As rochas kimberlíticas possuem uma definição e classificação própria. Contudo, segundo Santos *et al.*, (2019), elas foram estabelecidas a partir de rochas-tipo, oriundas majoritariamente da África do Sul e Austrália. Por suas próprias características, estas rochas possuem grande interação com os crátons em que se colocam e, à medida que os estudos avançaram e novos corpos foram sendo descobertos na Europa, Ásia e Américas, ajustes e adaptações nas descrições mineralógicas e petrográfica foram criando uma infinidade de tipos “transicionais”. Em comum, todas são oriundas do magmatismo potássico-ultrapotássico, ricas

em voláteis e com quantidades variáveis de fases primárias e secundárias, além de ao longo de suas jornadas, passarem a englobar xenólitos/xenocristais em tamanhos e volumes variáveis (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparação entre as definições de kimberlitos, orangeítos e lamproítos.

	Kimberlito (ou Kimberlito Grupo I ou Kimberlitos Basálticos)	Orangeíto (ou Kimberlito Grupo II ou Kimberlitos Micáceos ou Lamprofiricos)	Lamproíto
Definições IUGS (Le Maitre <i>et al.</i> , 2002)	Grupo de rochas ricas em voláteis (dominantemente CO ₂), potássicas, ultrabásicas, exibindo comumente uma textura inequigranular distintiva, resultante da presença de macrocristais (0,5-10 mm) e mesmo megacristais (1-20cm) em uma matriz de granulometria fina. Macrocristais de olivina são característicos e dominantes exceto nos kimberlitos fracionados.	Clã de rochas ultrapotássicas, peralcalinas, ricas em voláteis (dominantemente H ₂ O), caracterizadas por macrocristais e microfenocristais de flogopita em uma matriz micácea que variam em composição de tetraferroflogopita a flogopita. Macrocristais arredondados de olivina e cristais euédricos primários de olivina são comuns, mas geralmente não são constituintes maiores da rocha.	Rochas mineralogicamente caracterizadas por quantidades variáveis (5-90% em volume) de fases primárias predominantes constituídas por pelo menos 2 dos seguintes minerais: fenocristais de Ti-flogopita pobres em Al, tetraferroflogopita titanífera poikilitica na matriz, K-Ti-richerita, olivina forsteritica, diopsídio pobre em Na e Al, leucita e/ou sanidina ricas em Fe.
Rocha "Tipo"	Kimberley, África do Sul	Orange Free State, África do Sul	Argyle Pipe, Western Australia

Fonte: Santos *et al.*, 2019.

4 MÉTODO DE TRABALHO

4.1 Levantamento Bibliográfico e Cartográfico

A pesquisa foi inicialmente embasada na aquisição de material bibliográfico e de dados cartográficos, além das imagens de satélite Landsat 8 e dos dados provenientes da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). As informações foram tratadas e manipuladas nos softwares ArcGIS 10.2 e ENVI 5.0.

4.2 Mapeamento Geológico

O reconhecimento geológico da Província Kimberlítica de Picos foi executado através de perfis ao longo das estruturas das unidades litoestratigráficas presentes na área, abordando a descrição dos principais corpos kimberlíticos, além da tomada de atitudes em feições estruturais, seguido da coleta de amostras voltadas ao estudo petrográfico, mineralógico e geoquímico.

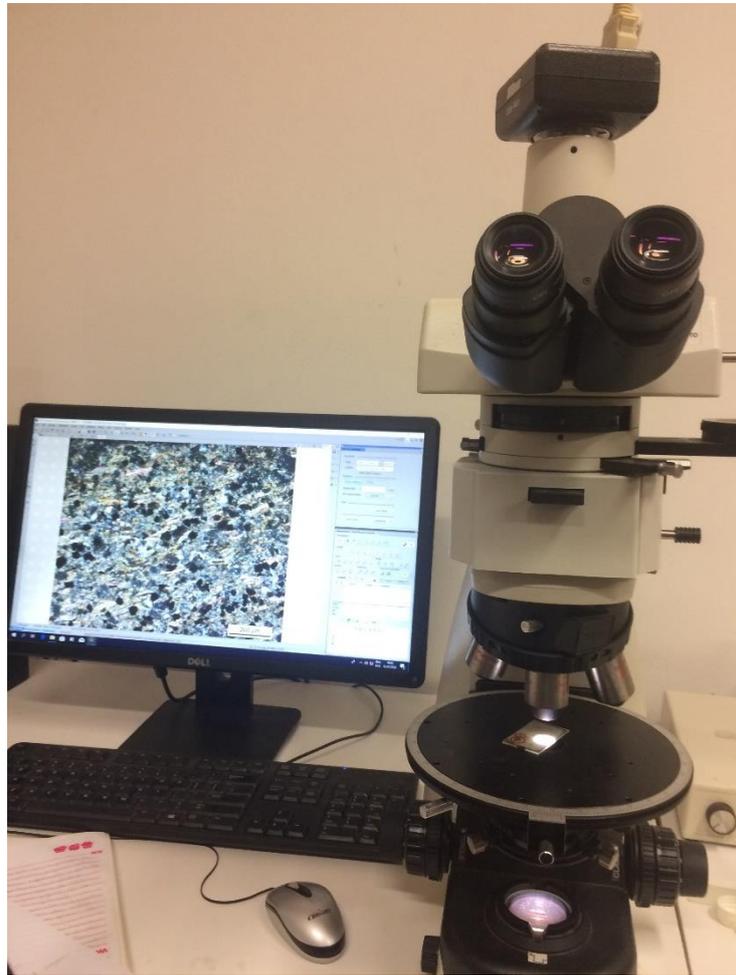
4.3 Análise Petrográfica

As seções delgadas polidas foram preparadas, em um total de 20 lâminas da rocha kimberlito, no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP) e no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (DEGEO-UFC).

Os estudos petrográficos foram realizados com o auxílio dos microscópios petrográficos do Laboratório de Microscopia do DEGEO-UFC e do Laboratório de Microscopia do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Goiás (UFG).

O microscópio óptico utilizado no DEGEO-UFC foi o Nikon Eclipse Ci-POL de polarização (Figura 8) e o Leica DM750P do Laboratório de Microscopia do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Goiás (Figura 9). Além disso, a caracterização petrográfica foi complementada com o Microscópio Eletrônico de Varredura.

Figura 8 – Microscópio petrográfico do Laboratório de Microscopia do DEGEO-UFC.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 9 – Microscópio petrográfico do Laboratório de Microscopia do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Goiás (UFG).



Fonte: Elaborada pela autora.

4.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

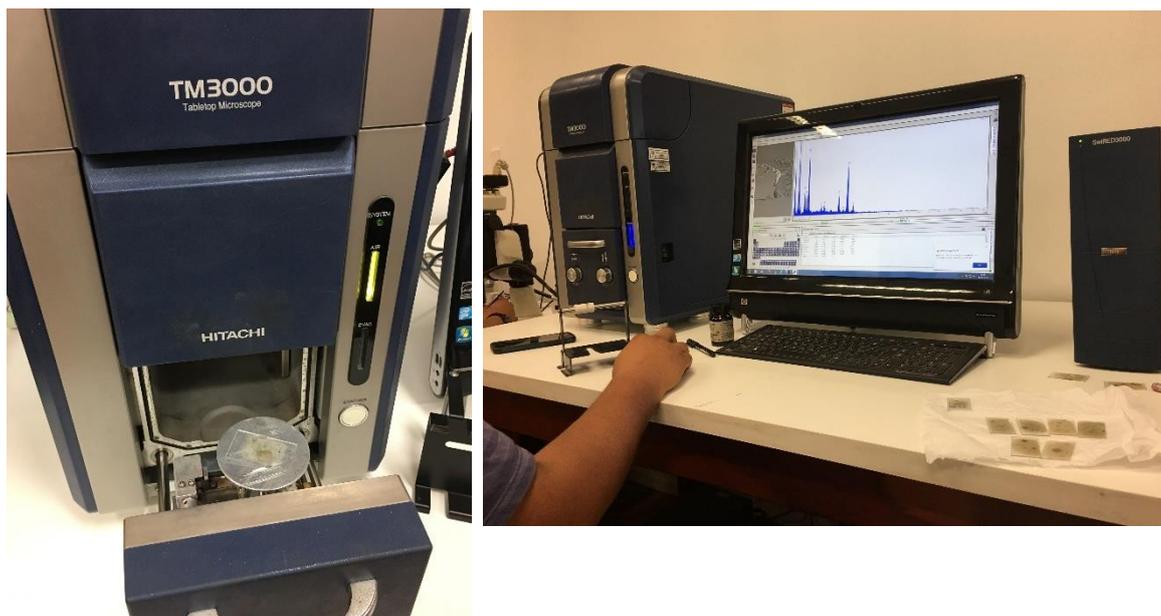
As análises realizadas com o auxílio do microscópio eletrônico de varredura (MEV) do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LME) do Departamento de Geologia da UFC, buscaram determinar a aproximada composição química para melhor caracterizar os kimberlitos, visto que o microscópio eletrônico de varredura (MEV) juntamente com o Energy Dispersive X-ray Detector (EDS) fornece rápidas informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida (DEDAVID, 2007).

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um equipamento capaz de produzir imagens de alta ampliação e resolução de até 300.000 vezes. Seu princípio de funcionamento consiste na emissão de feixes de elétrons sobre a amostra com o propósito de realizar uma varredura sobre a superfície do material estudado e o sinal emitido é enviado para o detector ligado a um vídeo. O MEV pode ser acoplado com um sistema de EDS (Energy Dispersive System), possibilitando a determinação da composição qualitativa e semiquantitativa das amostras.

Para a pesquisa, foi utilizado o MEV em lâminas delgadas das amostras de kimberlitos. Por serem amostras não condutoras, foi necessário impregná-las com carbono no metalizador Q150T da empresa Quorum Technologies. Caso não realize a impregnação, amostras não condutoras tenderão a acumular excesso de carga na região de análise, prejudicando a aquisição de imagens.

O Microscópio eletrônico usado no trabalho foi TM3000 Tabletop Microscope HITACHI, com varredura digital e controlado por computador, e acoplado a ele há um espectrômetro de energia dispersiva (EDS) para análises semi quantitativas. Ambos o MEV e o metalizador se encontram Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LME) do Departamento de Geologia da UFC (Figura 10).

Figura 10 – Microscópio eletrônico de varredura (MEV) do Laboratório de Microscopia Eletrônica (LME) do Departamento de Geologia da UFC.



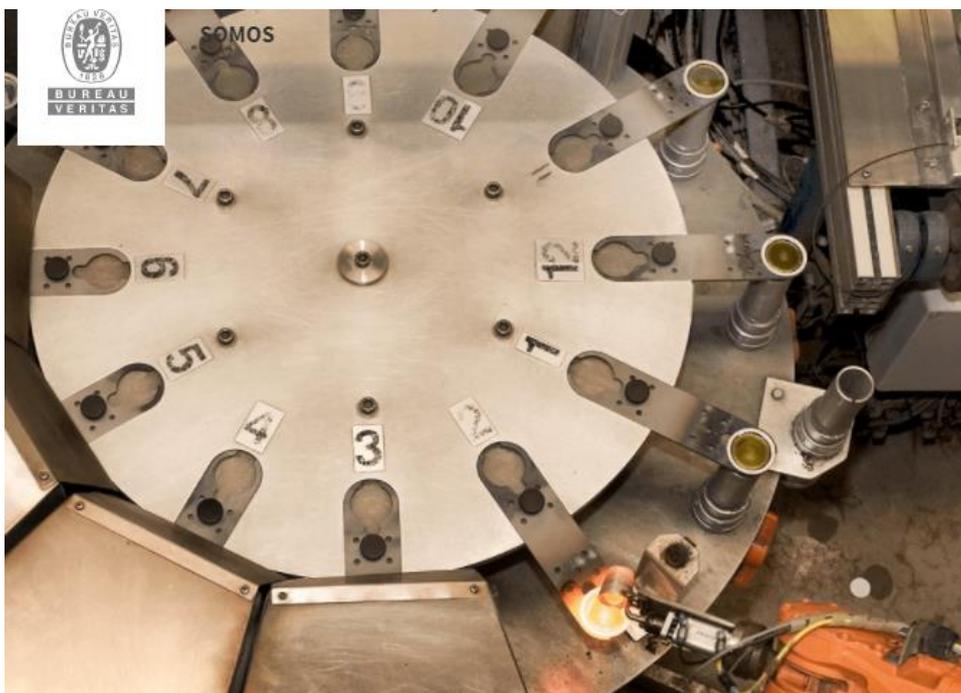
Fonte: Elaborada pela autora.

4.5 Espectrometria de Emissão de Plasma ICP-ES e ICP-MS

As composições químicas das amostras de kimberlitos analisadas foram efetuadas por espectrometria de emissão de plasma ICP-ES e ICP-MS, através da *Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.* em Vancouver – Canadá, e os resultados tratados no programa MINPET 2.02 (RICHARD, 1995).

O equipamento LA-ICP-MS da *Bureau Veritas* (Figura 11) utiliza tecnologia de fusão robótica de alta produtividade com ablação a laser de última geração e instrumentos ICP-MS para fornecer uma análise quantitativa totalmente extraída para todos os elementos. Os limites de detecção são mais baixos do que os métodos tradicionais de digestão multi-ácido e, em muitos casos, equivalentes a uma digestão em água régia. A técnica oferece vantagens de segurança e ambientais, pois não há ácidos usados na digestão e é rápida e repetível.

Figura 11 – Espectômetro de emissão de plasma ICP-ES e ICP-MS da empresa *Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.* em Vancouver – Canadá.



Fonte: *Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.* em Vancouver – Canadá.

A técnica de ICP-MS tem como principal vantagem a possibilidade de análise multielementar (e isotópica) sequencial rápida, aliada à alta sensibilidade. Utiliza como fonte de ionização um plasma de argônio de energia alta (até 1,5 kW), e como detector, um

espectrômetro de massa de alta ou baixa resolução (setores magnético e elétrico, ou quádruplo). Cerca de 90% dos elementos da tabela periódica podem ser determinados (CHAVES, 2008).

Para essas análises as amostras de kimberlitos foram serradas em tabletes no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (DEGEO-UFC), pesadas e embaladas para envio postal para o Canadá (Figura 12). A pulverização das amostras foi feita pela empresa canadense para cada kimberlito.

Figura 12 – Preparação das amostras de kimberlitos para envio postal para *Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.* em Vancouver – Canadá.



Fonte: Elaborada pela autora.

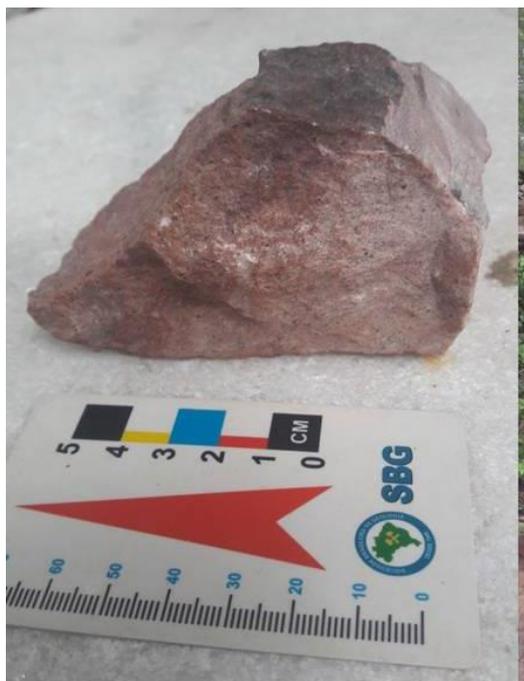
5 ASPECTOS GEOLÓGICOS LOCAL

Na área mapeada, a partir dos dados coletados em campo, foram identificadas três unidades litológicas: Arenito, Kimberlito e Diabásio.

5.1 Arenito

O arenito é a litologia dominante, encontrando-se distribuído em quase 90% da área mapeada (ANEXOS). Macroscopicamente, são arenitos maciços, de cor vermelho-claro e ocorrem sob a forma de paredões, lajedos e blocos (Figura 13). Os arenitos estudados neste trabalho compõem a Fm. Cabeças exposta, em sua maioria, na borda leste da Bacia do Parnaíba.

Figura 13 – Arenito em amostra de mão.



Fonte: Elaborada pela autora.

5.2 Kimberlito

Macroscopicamente, levando em conta o alto grau de susceptibilidade ao intemperismo, os kimberlitos apresentam baixa preservação da mineralogia, são maciços, coesos e possuem coloração acinzentada com tons esverdeados (Figura 14). A textura da rocha é inequigranular, composta por fenocristais de olivina e clinopiroxênio envoltos por uma matriz ígnea afanítica de coloração clara.

Figura 14 – Kimberlito em amostra de mão e em afloramento.



Fonte: Elaborada pela autora.

5.3 Diabásio

O diabásio representa a terceira litologia aflorante na área de estudo, perfazendo um total de 2% da área total de mapeamento. Afloram como blocos arredondados em forma de diques de coloração escura, cinzenta a esverdeada possuindo uma capa de alteração. Revelam também estrutura maciça com granulação média a fina (Figura 15).

Figura 15 – Diabásio em amostra de mão.



Fonte: Elaborada pela autora.

5.4 Litoestratigrafia

As unidades litoestratigráficas que compõem a região estudada são as seguintes:

5.4.1 Embasamento

Segundo Cunha (1986), o embasamento da Bacia do Parnaíba compõe-se de dobramentos, maciços, medianos e algumas discontinuidades crustais aflorantes em suas bordas. É constituído de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares de idade mesoproterozóica.

A Bacia do Parnaíba é embasada por duas unidades sedimentares: a Formação Riachão, composta por grauvacas, arcósios, siltitos, folhelhos vermelhos e ignimbritos, sendo estes depósitos considerados de idade proterozóica média ou superior; e Grupo Jaibaras, depósitos continentais de idade cambro-ordoviciana (OLIVEIRA & MOHRIAK, 2003), aflorante no leste-nordeste da bacia, que ocorre preenchendo calhas grábenformes sugeridas por dados geofísicos. Este último pacote registra atividades finais do Ciclo Brasileiro (VAZ *et al.*, 2007).

5.4.2 Arenito

O arenito estudado faz parte da Fm. Cabeças, a qual constitui-se uma subdivisão do Grupo Canindé que litoestratigraficamente corresponde à Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera (CAPUTO, 1984). A Formação Cabeças trata-se de um pacote sedimentar sobretudo arenítico que inicialmente foi proposta por Plummer (1948), designando uma seção devoniana constituída por arenitos de granulação média a grossa.

Segundo Della Fávera (1990), há a predominância de estratificação cruzada tabular ou sigmoidal, e ocorrência de tempestitos na transição da formação em questão para a Formação Pimenteiras. Enquanto que Goés & Feijó (1994), interpretam os litotipos desta unidade como sendo principalmente oriundos de um sistema plataformal sob a influência preponderante de correntes de marés, podendo ocorrer também fácies flúvio-estuarinas.

Atualmente a Formação Cabeças é dividida nos membros Passagens e Oeiras. O arenito encontrado na região possui características que o classifica no Membro Oeiras. Segundo Plummer (1948), são arenitos maciços, cinzentos, que se decompõem em vermelho-acizentado-claro. São arenitos maciços médios e pouco micáceos (BEURLLEN, 1965). Embora apresente

aparência maciça, também possuem alguns níveis conglomeráticos, estratificação cruzada de baixo ângulo e ausência de macrofósseis.

5.4.3 Diabásio

O diabásio encontrado na região pertence à Formação Sardinha, constituída por rochas de cor escura cinzenta a esverdeada, com grão médio a fino e frequente disjunção esferoidal. Ao microscópio, são constituídas por augita, plagioclásios cálcicos (labradorita e/ou bytownita), apatita, opacos e mais raramente, feldspato alcalino, biotita e carbonatos. Os diques possuem tamanhos irregulares, variando de 10 a 20m. O diabásio é, em geral, hipocristalinos, inequigranulares de textura porfirítica.

A Fm. Sardinha provém do segundo pulso magmático da bacia durante o Mesozoico, possuindo idade Eocretácea, entre 110 e 134 Ma, compatíveis com a sua posição geográfica. Estas rochas cortam os arenitos da Fm. Corda, do Jurássico Superior, e são mais antigas que as da Fm. Codó-Grajaú. Os diabásios que a constituem são mapeados na porção centro-leste da bacia, em uma ampla faixa de distribuição que acompanha parcialmente o eixo NE-SW do Lineamento Transbrasiliano (CHAMANI, 2015).

Os eventos magmáticos da Fm. Sardinha foram associados aos processos de quebra da litosfera que culminaram com a abertura do Atlântico Sul, e seria correlata da Fm. Serra Geral da bacia do Paraná e do Enxame de Diques do Rio Ceará-Mirim na Província Borborema.

5.4.4 Kimberlito

Os Kimberlitos da Bacia do Parnaíba são posteriores ao magmatismo basáltico e os Kimberlitos da Província de Picos, segundo (CORREIA, 1990), são mais jovens que os encontrados na Província de Gilbués, sendo da ordem de 80 a 87 M.a.

As rochas kimberlíticas, de uma maneira geral, apresentam-se extremamente alteradas, com materiais exibindo grandes variações mineralógicas e texturais. Diante da facilidade em alterar-se a caracterização dessas rochas como kimberlito apoia-se sempre, pelo menos, na presença de certos minerais como ilmenita magnésiana, piropo cromífero e magnésiano, e de diopsídio cromífero nos concentrados.

Com base nos aspectos geológicos locais mapeados, pode-se inferir a coluna litoestratigráfica para área estudada (Tabela 3).

Tabela 3 – Coluna litoestratigráfica da área de estudo.

Idade	Unidade Litoestratigráfica	Litologia
Neocretáceo	-	Kimberlito
Eocretáceo	Fm. Sardinha	Diabásio
Devoniano	Fm. Cabeças	Arenito

Fonte: Pereira, 2018.

APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DAS PROVÍNCIAS KIMBERLÍTICAS DE GILBUÉS E PICOS, PIAUÍ, BRASIL

APPLICATION OF GEOTECHNOLOGY ON MORPHOSTRUCTURAL ANALYSIS IN THE GILBUÉS AND PICOS KIMBERLITES PROVINCES, PIAUÍ, BRASIL

Gabriela Meireles Rosa¹; Renata Matos Amaral Cadorini¹; Jackson Alves Martins² & José de Araújo Nogueira Neto³.

¹Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia ²Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto, ³Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

RESUMO

Os avanços das geotecnologias e a disponibilidade de informações possibilitam maior confiabilidade e rapidez nas delimitações litológicas e estruturais dos corpos kimberlíticos. O artigo objetiva correlacionar morfoestruturalmente as Províncias Kimberlíticas de Picos (PKP) e Gilbués (PKG) através do sensoriamento remoto e com base nos aspectos morfológicos superficiais existentes. A pesquisa foi embasada na aquisição de material bibliográfico e dados cartográficos, além das imagens do satélite Landsat 8, e dos dados provenientes da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Os mapas de relevo sombreado e modelo digital de terreno indicam um forte padrão de drenagem nas PKP e PKG, com forma de relevo mais preservada na PKP. Os lineamentos mostram um padrão semelhante nas duas províncias, com um *trend* regional NE-NW. As imagens de satélite apresentaram maior eficiência para a PKP, apresentando seus corpos kimberlíticos realçados pela cor verde escuro. Geologicamente, admite-se que os kimberlitos dessas províncias, estejam alojados em rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba, e que temporalmente, os kimberlitos de Picos sejam mais jovens que os kimberlitos de Gilbués.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Kimberlitos. Diamantes.

ABSTRACT

Advances in technology and the availability of information enable greater reliability and speed in lithological and structural boundaries of kimberlitic bodies. The article aims to correlate lithostructural the Picos (PKP) and Gilbués (PKG) Kimberlites Provinces through remote sensing and based on existing geological features. The research was based on the acquisition of publications and cartographic data, in addition to satellite images of Landsat 8, and data from the SRTM mission (Shuttle Radar Topography Mission). The shaded relief maps and digital terrain model indicate strong drainage pattern in PKP and PKG, with form of relief more preserved in the PKP. The guidelines show a similar pattern in the two provinces, with a regional trend NE-NW. The satellite images showed greater efficiency for PKP, presenting their kimberlitic bodies highlighted by dark green color. Geologically, it is assumed that these provinces of kimberlites are housed in sedimentary rocks of the Parnaíba Basin, and temporally, the Picos kimberlites are younger than the Gilbués kimberlites.

Keywords: Remote Sensing. Kimberlites Diamonds.

1 INTRODUÇÃO

São conhecidos em escala mundial, até o presente momento, mais de 5000 corpos kimberlíticos, dos quais cerca de 20 são lavrados (Helmstaedt, 2002). Os kimberlitos diamantíferos estão predominantemente confinados aos crátons arqueanos estáveis no mundo. Em escala global menos de 1% dos kimberlitos contêm diamante suficiente para serem econômicos, e somente cerca de quinze *pipes* constituem minas de classe mundial (FIPKE *et al.*, 1995). Para fazer parte desse seleto grupo, o conhecimento geológico desses corpos é determinante na descoberta da origem das mineralizações diamantíferas. Em escala nacional, destacam-se no Estado do Piauí duas províncias kimberlíticas: i) Picos (PKP), localizada na porção centro-leste do estado; e ii) Gilbués (PKG), localizada no sudoeste do estado.

A região de Gilbués, nordeste do Brasil, surgiu como região diamantífera há 73 anos, tendo sido ativamente garimpada no início da descoberta do diamante, em 1946. Embora existam diversas referências assinalando a descoberta de kimberlitos no Brasil já no início do século XX (Draper 1911, 1923; Riman 1917, Barbosa 1951), na realidade, o primeiro kimberlito descoberto foi o Redondão em Gilbués, em 1965, no sul da Bacia do Parnaíba. Sua descoberta foi feita casualmente, pela Petrobrás, quando se efetuavam estudos com vista à

avaliação do potencial da bacia no que concerne a petróleo (Correia, 1990). A região de Picos, teve a descoberta recente de suas ocorrências kimberlíticas, em meados dos anos 80, e foi designada como Província Kimberlítica de Picos por Correia (1990). Segundo informações da CPRM (2010) existem ocorrências diamantíferas na região, mas que ainda estão sendo alvo de estudos mais detalhados.

Com o surgimento de novas tecnologias, como o sensoriamento remoto e o processamento digital de imagens, cresceram consideravelmente os estudos de corpos ígneos intrusivos, com representação de feições geomorfológicas semicirculares na superfície. Fotografias aéreas e imagens orbitais têm sido utilizadas não só na identificação destas estruturas, como também, no seu detalhamento morfoestrutural, análises estruturais, definição de vales e terraços de aluviões diamantíferos e principalmente na integração com dados de geofísica e imagens de satélite para identificação e *follow up* de anomalias (Pereira, 2001).

O objetivo deste artigo é correlacionar morfoestruturalmente as duas províncias (PKG e PKP) com base em dados de Modelo Digital do Terreno provenientes de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e imagens do satélite Landsat 8, considerando seus aspectos morfológicos superficiais.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

Nos anos 70-80 foram descobertos no Estado do Piauí corpos kimberlíticos, os quais estão agrupados em sete clusters distintos: Apicuns, Belmont, Sete Lagoas, Redondão, Moana, Tinguins e Vale Verde. Estes campos compõem as Províncias kimberlíticas de “Gilbués e Picos” (SOPEMI-De Beers, relatórios internos). Além desses campos de kimberlitos, merecem destaque as ocorrências de diamantes da região de Gilbués, onde a mineralização está hospedada em terraços e aluviões cenozoicos, cujo substrato é formado por rochas da Bacia do Parnaíba (CPRM, 2010).

No total, já foram estudados 51 corpos, dentre eles, kimberlitos aflorantes ou não, alojados em rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba. Esses corpos intrudem na borda leste e sul da Bacia do Parnaíba, cortando, na maioria dos casos, arenitos da Formação Cabeças e ocasionalmente, rochas das formações Pimenteira, Longá, Piauí e Pedra de Fogo. Normalmente ocorrem na forma de *pipes* e diques em relevos negativos em relação às encaixantes, mostrando bordas de arenitos alçados e cozidos, com tufos e brechas. Na porção central dessas estruturas circulares, afloram rochas kimberlíticas alteradas, esverdeadas e ou amarronzadas. No solo

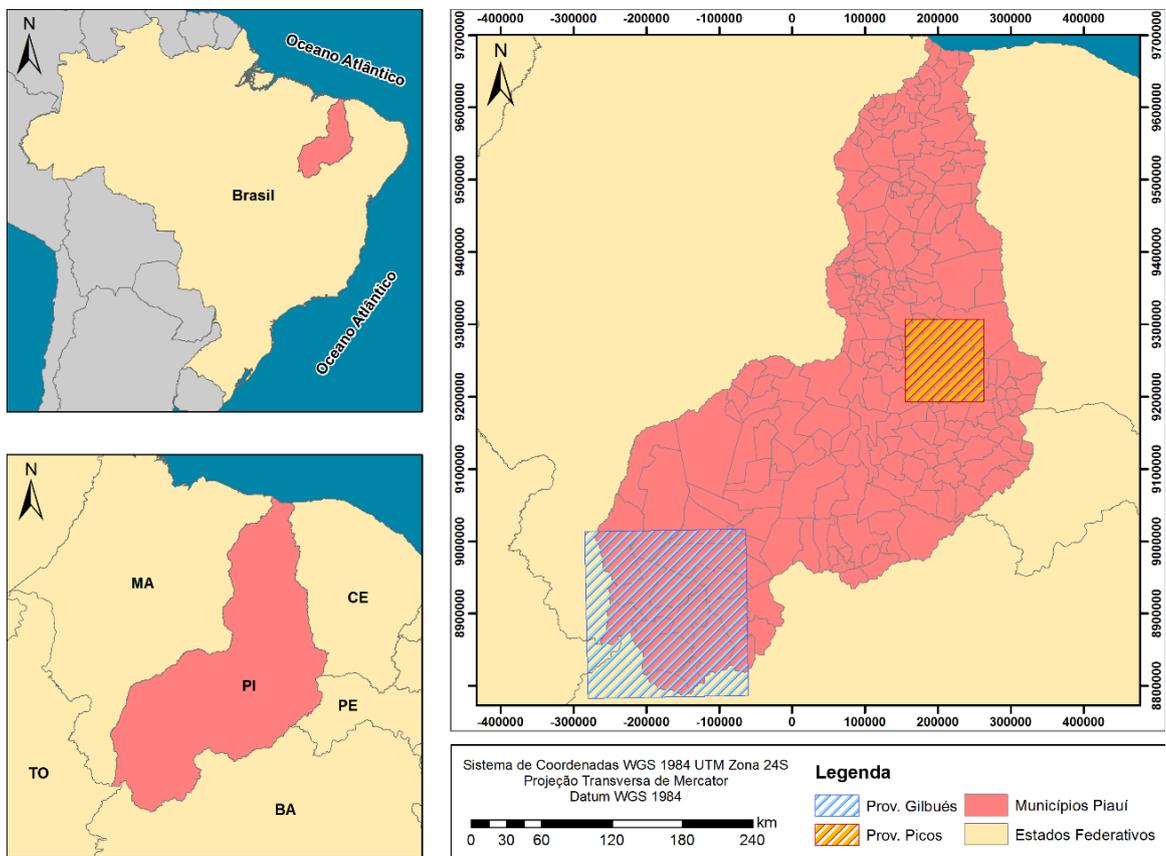
podem ser observados minerais como olivina alterada, ilmenita, granada e cromita. Alguns corpos não afloram e apresentam-se com cobertura arenosa, às vezes laterítica (CPRM, 2010).

Os municípios de Gilbués, Currais, Baixa Grande do Ribeiro e Santa Filomena compõem a Província Kimberlítica de Gilbués, onde ocorre o mais famoso corpo kimberlítico diamantífero do Brasil, o Redondão, o qual apresenta forma semicircular e relevo negativo em relação às rochas encaixantes, intrudindo rochas das formações Piauí e Pedra de Fogo. No centro da estrutura circular afloram rochas kimberlíticas alteradas, compostas por brechas e tufos, de coloração esverdeada, onde ainda podem ser observados minerais como olivina, granada, ilmenita e mais raramente zircão. Observações de campo e amostras de mão indicam que o nível de erosão atual das intrusões expõe rochas possivelmente relacionadas ao fácies diatrema, conforme sugerem as feições texturais e estruturais primárias e a mineralogia encontrada (CPRM, 2010).

Segundo informações verbais, na PKP, a qual abrange os municípios de Ipiranga do Piauí, Inhuma, D. Expedito Lopes, Lagoa do Sítio, São João da Canabrava, São João da Varjota, São José do Piauí, Elesbão Veloso, Jardim do Mulato, Oeiras e Regeneração, pelo menos dois desses corpos são diamantíferos, um dos quais é a intrusão denominada Moana (CPRM, 2010).

A PKP apresenta uma área de aproximadamente 12 mil km² e a PKG, que está localizada a cerca de 700 km da província anterior, apresenta uma área de aproximadamente 73 mil km² (Figura 16).

Figura 16 – Mapa de localização das Províncias Kimberlíticas de Picos e Gilbués, Piauí, Brasil.



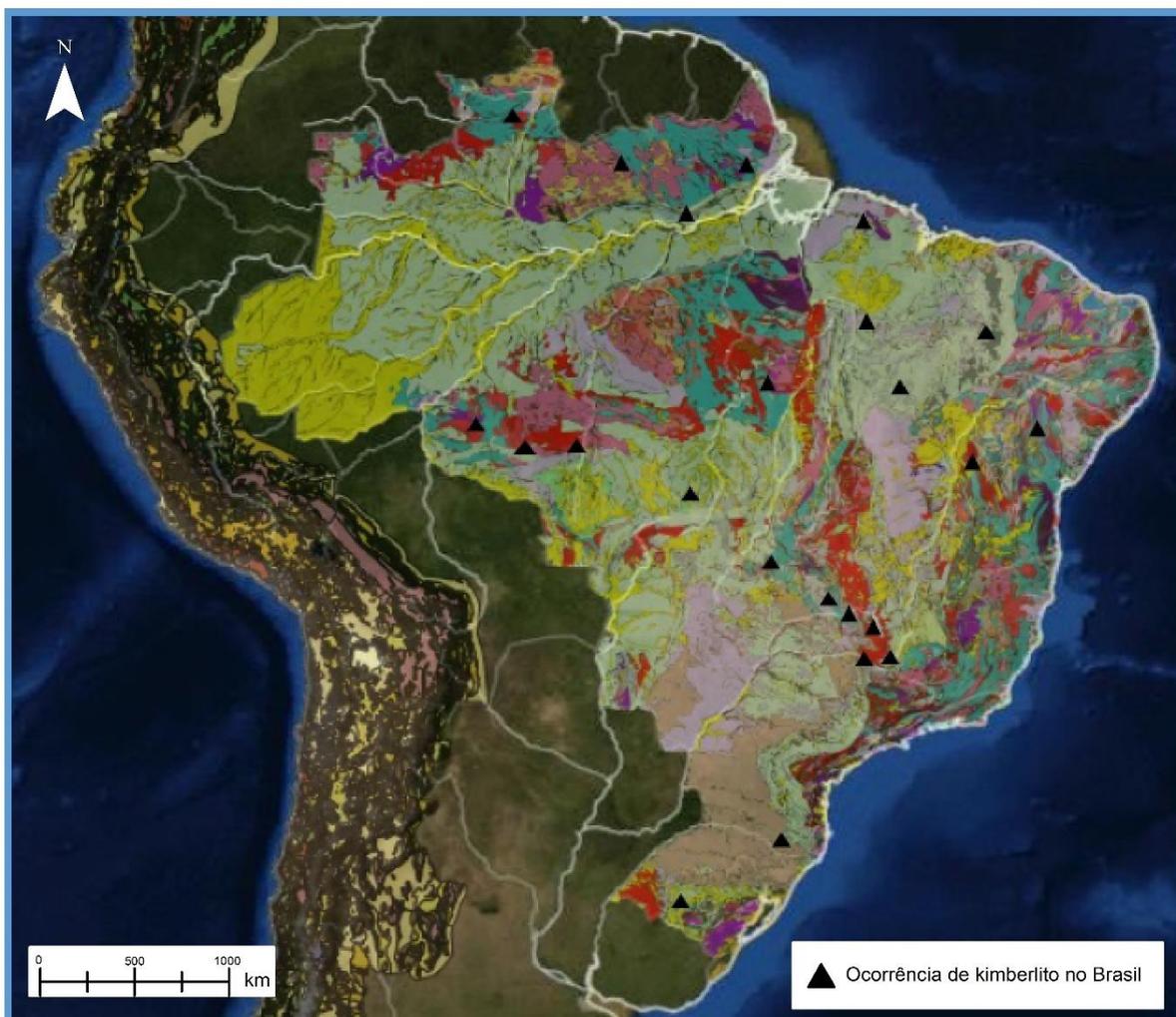
Fonte: Elaborada pela autora.

No Brasil há diversas províncias diamantíferas em fase de pesquisa, principalmente nos Estados de Mato Grosso, Rondônia, Mato Grosso do Sul, Bahia e Minas Gerais. Segundo informações do Projeto Diamante (CPRM, 2017) existem 20 campos diamantíferos, 804 ocorrências e 142 garimpos no País. Já os campos kimberlíticos foram 23, contendo 1.325 corpos mapeados pelo projeto (Figura 17).

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi inicialmente embasada na aquisição de material bibliográfico e de dados cartográficos, além das imagens do sensor OLI (*Operation Land Imager*) do satélite Landsat 8, disponibilizadas gratuitamente através do site da instituição *United States Geological Survey* (USGS), e dos dados provenientes da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). As informações foram tratadas e manipuladas nos softwares ArcGIS 10.2 e ENVI 5.0.

Figura 17 – Principais campos kimberlíticos do Brasil.



Fonte: Mapa adaptado de Serviços Geológicos do Brasil (CPRM) – Projeto One Geology, 2016.

O processamento das imagens utilizadas foi derivado de técnicas variadas partindo da sua reprojeção para o hemisfério sul, seguindo o processo de *rescale* (conversão radiométrica), onde as imagens são convertidas do range de 16 bits para 8bits, e composição de bandas na RGB 432 cor natural e RGB 764 falsa cor, com realce por manipulação de histograma. As imagens obtidas por radar (SRTM) possuem pixels de 1 arco-segundo, aproximadamente 30 metros e apresenta-se como uma ferramenta potencial de análise estrutural devido a uma melhor visualização da superfície de análise. Dessa forma, foi estabelecido o tipo de insolação, seu azimute de incidência, e sua inclinação em relação ao horizonte.

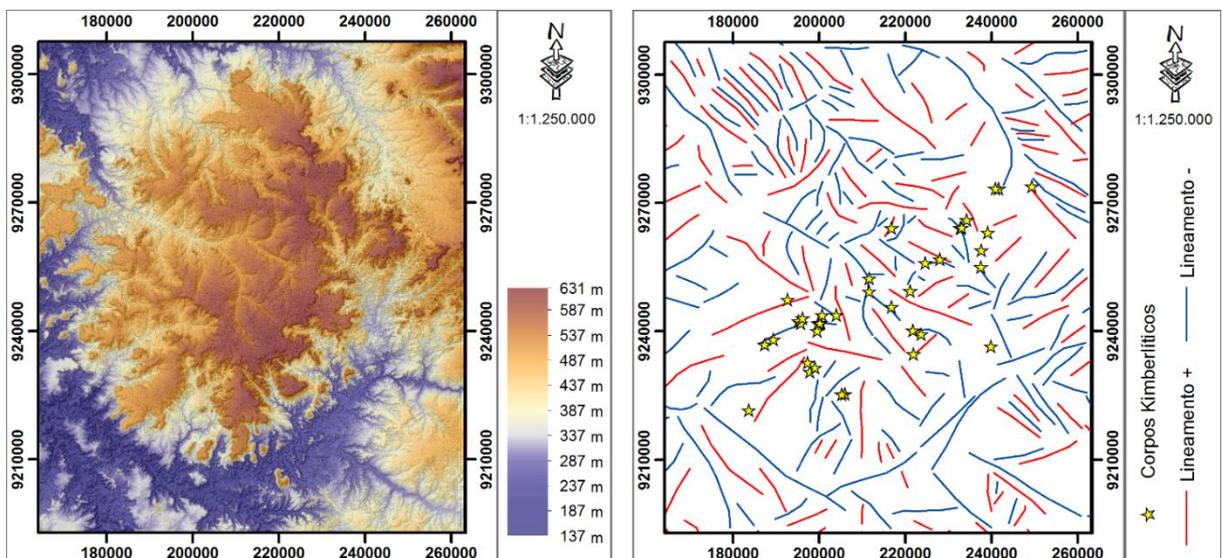
4 ANÁLISE MORFOESTRUTURAL

As técnicas de sensoriamento remoto possibilitam um estudo indireto por meio das imagens obtidas, visando ressaltar os lineamentos ou até mesmo o registro de novas feições.

Nos mapas de relevo sombreado foram empregados um plano bidimensional para melhor visualização das superfícies elevadas e rebaixadas. A escala de cor promove o destaque de diferentes altitudes e o sombreamento evidencia as formas de relevo.

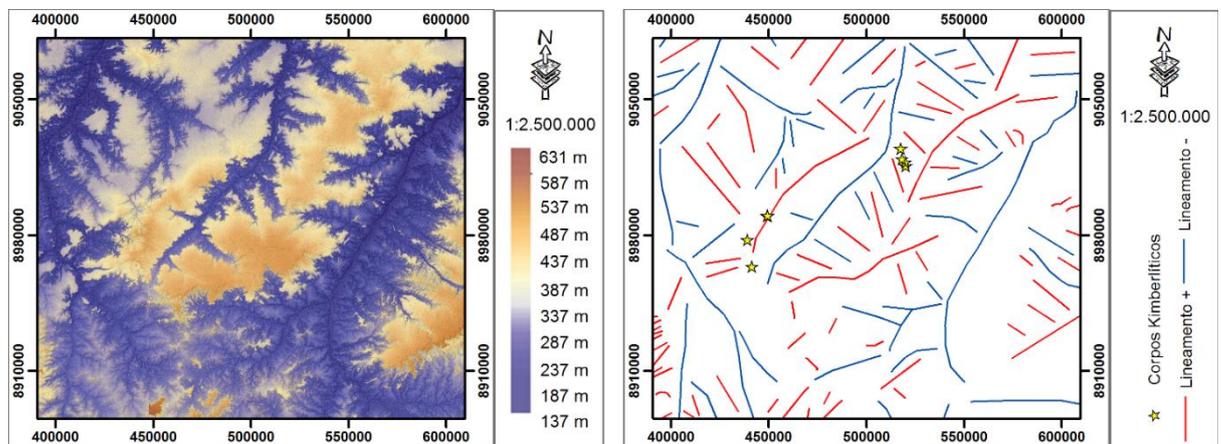
No mapa de relevo sombreado da Província Kimberlítica de Picos (Figura 18), é evidente uma rede hidrográfica densa no entorno de uma estrutura morfológica concêntrica, onde os corpos kimberlíticos estão distribuídos preferencialmente na base de tal estrutura, não ultrapassando 455m de altitude, salvo algumas exceções. No mapa de relevo sombreado da Província Kimberlítica de Gilbués é perceptível uma drenagem densa margeando a porção litológica de relevo moderado, onde estão inseridos os corpos kimberlíticos, com altitudes inferiores se comparadas às da PKP. O processo de desertificação da região é bastante intenso, indicando um forte estado erosivo do material rochoso (Figura 19).

Figura 18 – Mapa de relevo sombreado e representação dos lineamentos (-) e (+) da Província Kimberlítica de Picos.



Fonte: Elaborada pela autora.

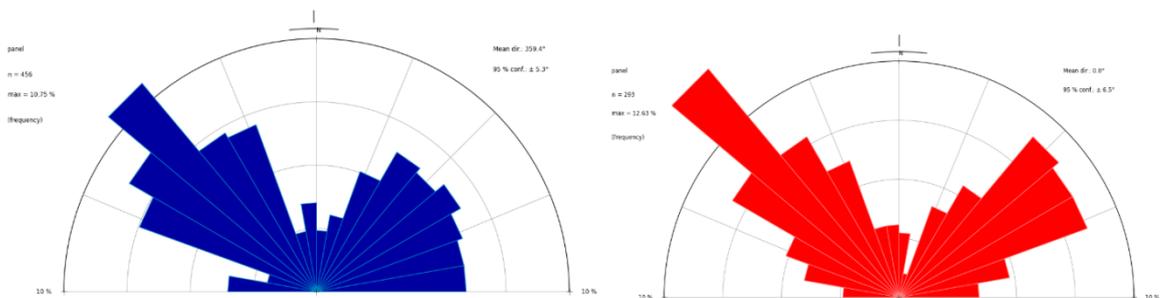
Figura 19 – Mapa de relevo sombreado e representação dos lineamentos (-) e (+) da Província Kimberlítica de Gilbués.



Fonte: Elaborada pela autora.

A representação traçada dos lineamentos positivos e negativos confirma o comportamento do relevo nas PKP e PKG, onde foi utilizado para o realce a direção 315/70Az, acentuando o plano de foliação dessas províncias (Figuras 18 e 19). Os diagramas de roseta apresentam uma direção do plano foliação NE-NW para ambas as Províncias (Figura 20 e 21).

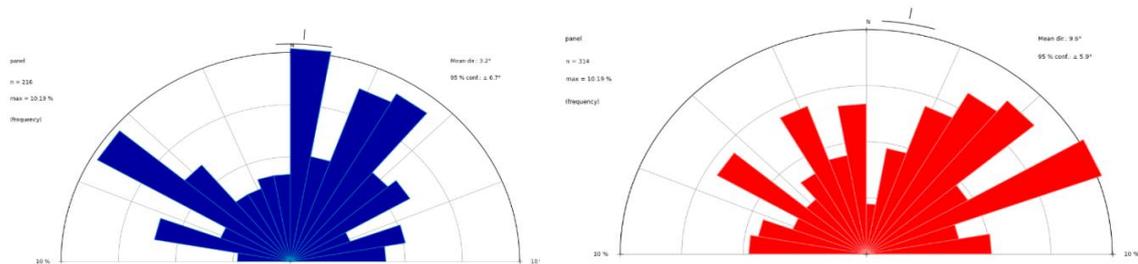
Figura 20 – Diagramas de roseta indicando um *trend* NE-NW para a Província Kimberlítica de Picos.



Fonte: Elaborada pela autora.

Através das imagens de Landsat 8, foram utilizadas as composições em RGB 432 cor natural e RGB 764 falsa cor, para delimitar as feições geológicas e estruturais das Províncias Kimberlíticas de Picos e Gilbués.

Figura 21 – Diagramas de roseta indicando um *trend* NE-NW para a Província Kimberlítica de Gilbués.

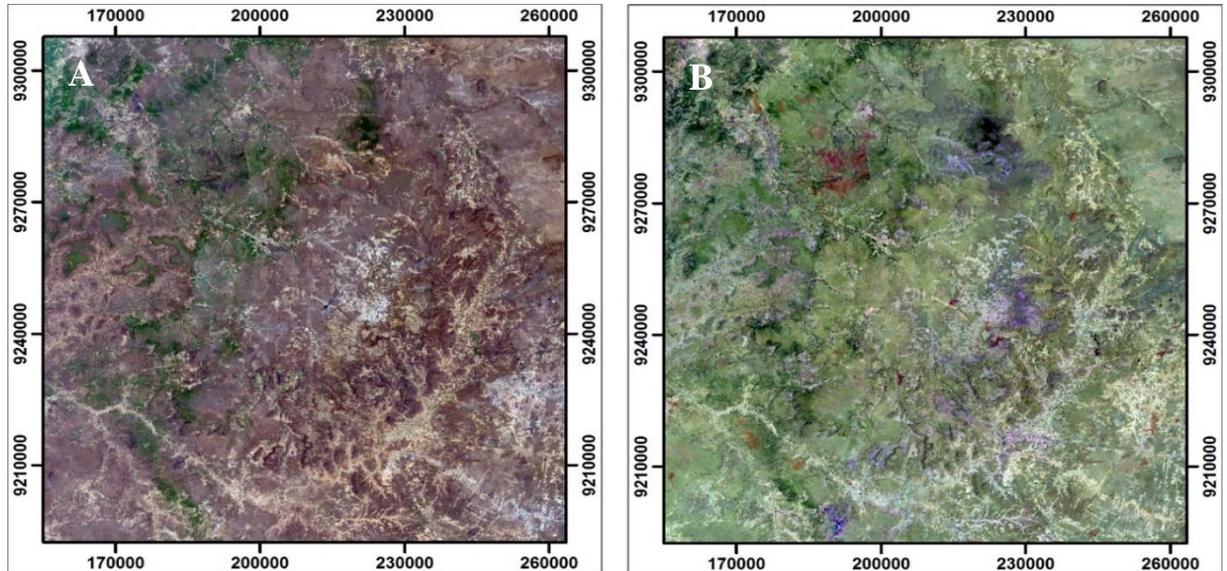


Fonte: Elaborada pela autora.

A utilização da composição RGB 432 cor natural indica feições destacadas pela cor verde escuro para os principais corpos kimberlíticos da PKP, ao passo que anomalias de vegetação constituem o principal critério na detecção direta de kimberlitos (Figura 22 – A). Na composição RGB 764 falsa-cor é potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal, portanto pode-se inferir que os corpos kimberlíticos encontram-se destacados na cor verde escuro em contato com encaixantes representadas pela cor lilás para a PKP (Figura 22 – B).

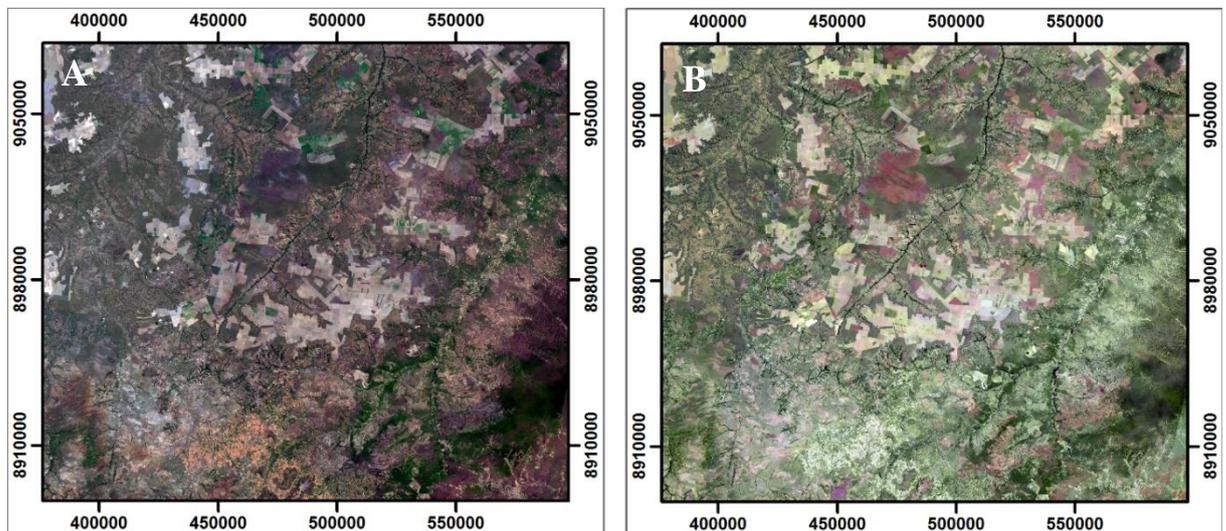
Os kimberlitos da PKG apresentam feições não tão proeminentes nessas composições, devido a ação intensa da mineração praticada no local há mais de 70 anos, porém, observa-se os principais corpos kimberlíticos distribuídos em zonas de cor verde escuro, assim como na PKP (Figura 23 – A e B).

Figura 22 – (A) Imagem Landsat 8, composição RGB 432 - cor natural, com resolução espacial de 30m; e (B) Imagem Landsat 8, composição RGB 764 - falsa cor, com resolução espacial de 30m, da Província Kimberlítica de Picos.



Fonte: Elaborada pela autora.

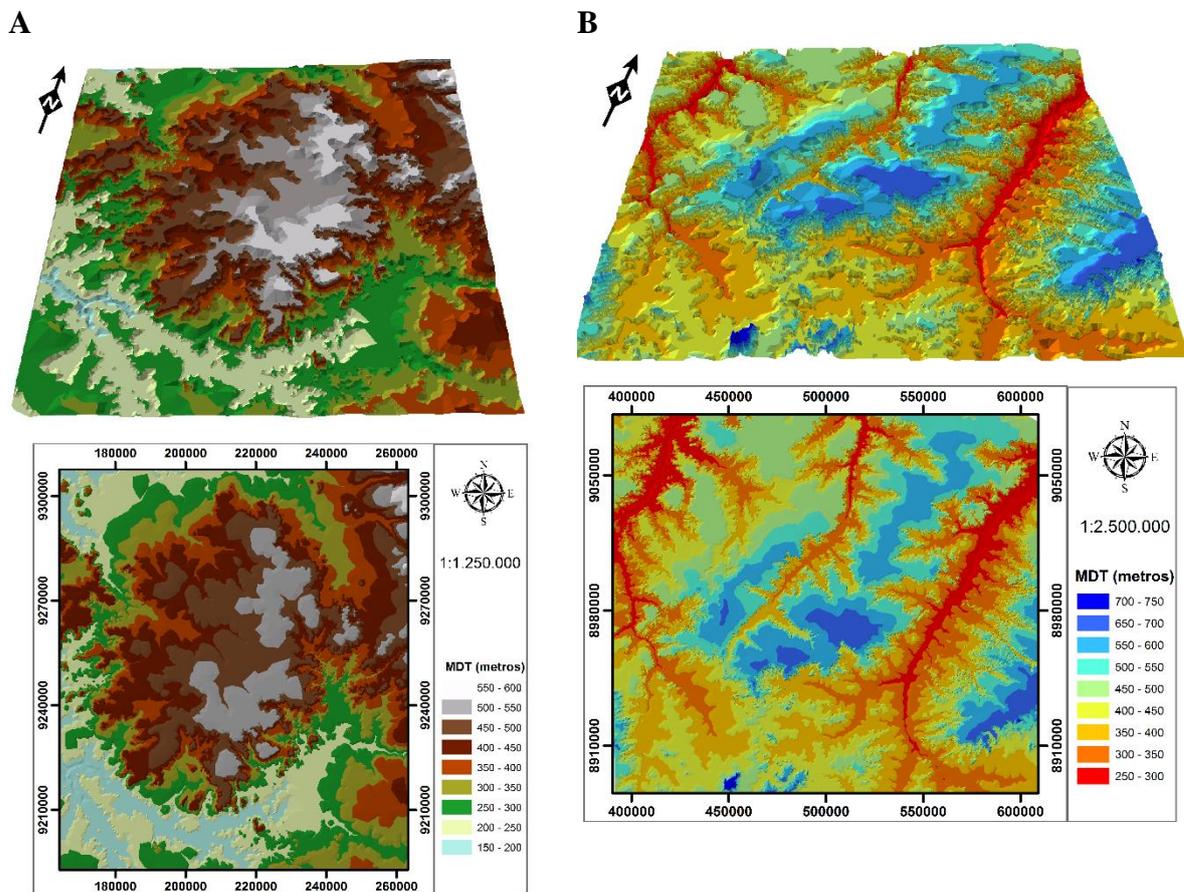
Figura 23 – (A) Imagem Landsat 8, composição RGB 432 - cor natural, com resolução espacial de 30m; e (B) Imagem Landsat 8, composição RGB 764 - falsa cor, com resolução espacial de 30m, da Província Kimberlítica de Gilbués.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os modelos digitais dos terrenos da PKP e da PKG representados na Figura 24 – A e B, determinam o padrão de drenagem e declividade das duas províncias.

Figura 24 – (A) Modelo digital do terreno (MDT) da Província Kimberlítica de Picos; e (B) Modelo digital do terreno (MDT) da Província Kimberlítica de Gilbués.



Fonte: Elaborada pela autora.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de imagens a partir do sensoriamento remoto é uma das técnicas mais utilizadas na caracterização do arcabouço geológico-estrutural, pois através do traçado de lineamentos é possível identificar estruturas em diferentes escalas.

As feições geológicas da Província Kimberlítica de Picos encontram-se bem demarcadas, com um relevo principal proeminente de forma ovalada, mas com indícios de erosão moderada. A drenagem pode ser classificada como dendrítica, apresentado um padrão falhado em direções variáveis. Os kimberlitos tendem a ocorrer nas depressões dos vales das linhas de água, corroborando com o que foi descrito por Correia (1990), com uma concentração de anel de rochas mais resistentes, constituindo uma feição morfológica positiva para as rochas encaixantes. As ocorrências kimberlíticas dessa província apresentam um controle estrutural dominado pelos grandes alinhamentos e falhamentos da região, com *trend* local NE-NW

demonstrado através dos diagramas de roseta. Segundo Correia (1990), os kimberlitos de Picos situam-se, praticamente, no cruzamento dos alinhamentos Senador Pompeu (NE-SW), Canindé (NW-SE) e Paraíba (E-W) e das faixas de distensão NE-SW e NW-SE.

Na Província Kimberlítica de Gilbués o padrão de drenagem também pode ser caracterizado como dendrítico e o processo erosivo extremamente intenso é visível no mapa de relevo sombreado e no MDT. Os corpos kimberlíticos estão devastados devido a atividade de garimpo do diamante que ocorre há algumas décadas na região, e apresentam diâmetros da ordem de 1 km. Segundo Correia (1990), quanto a morfologia dos corpos, como por exemplo, do kimberlito Redondão, sua forma foi imposta pela erosão diferencial. As ocorrências kimberlíticas dessa província apresentam um controle estrutural dominado pelos grandes alinhamentos e falhamentos da região, com *trend* local NE-NW demonstrado através dos diagramas de roseta. Esta província kimberlítica situa-se no centro-sul da Bacia Sedimentar do Parnaíba, nas nascentes do rio Uruçuí Preto, na área de cruzamento de duas importantes e extensas faixas de fraqueza estrutural definidas pelos alinhamentos Transbrasiliano e Belmonte-Xambioá, com direções NE-SW e NW-SE, respectivamente (CORREIA, 1990).

A utilização das imagens Landsat 8 com as composições em RGB 432 cor natural e RGB 764 falsa cor, e das imagens SRTM, foram imprescindíveis para delimitar tais feições, assim como, para revelar através do realce da cor, a presença dos corpos kimberlíticos. Conforme Vivela (1998) e Costa (1999), este tipo de composição é recomendado nos estudos de interpretação visual, porque permitem caracterizar os dados existentes em imagens de satélite, e ainda obter diagnósticos de alguns parâmetros de classificação visual, por meio de critérios como: cor, tonalidade, textura, forma e tamanho.

Os diamantes podem estar presentes ou não em kimberlitos, sendo considerados como acessórios raros destes magmatitos (DAWSON 1980). Na PKP são reconhecidas as intrusões nomeadas de Moana, Tinguins e Vale Verde, destacando-se a denominada Moana. Na PKG são reconhecidas as intrusões nomeadas Redondão, Largo, Riachão e Cabeceiras, destacando-se a denominada Redondão, alvo de pesquisas há várias décadas.

Segundo dados divulgados pela CPRM (2017), através do Projeto Diamante, amostras coletadas em concentrados de bateia não indicam a presença dessas gemas na PKP. Porém, a empresa Five Star Diamonds, que atualmente controla uma posição dominante no setor brasileiro de diamantes, detém a licença desde o final do ano de 2017 para exploração de diamantes na PKP.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos das feições geológicas através dos mapas de relevo sombreado indicam um forte padrão de drenagem do tipo anelar e radial, presente tanto na Província Kimberlítica de Picos quanto na Província Kimberlítica de Gilbués. Morfologicamente, a forma de relevo mais preservada foi evidenciada na PKP. Os lineamentos mostram um padrão semelhante nas duas províncias, com um *trend* regional NE-NW. A análise dos lineamentos das duas províncias demonstra que o modelo digital de terreno foi o produto que melhor caracterizou as estruturas e feições lineares.

O processamento de imagem é importante para realçar as feições pois tanto os dados SRTM como as imagens Landsat 8 são eficazes na identificação dos lineamentos estruturais proporcionando um maior detalhamento nos mapeamentos geológicos. Apesar de saber que essa técnica é eficaz, deve-se ter cautela quanto a metodologia utilizada porque existe uma limitação da imagem referente ao ângulo azimutal de iluminação no momento da aplicação, que pode mascarar ou evidenciar estruturas.

As imagens de satélite apresentaram maior eficiência para a Província Kimberlítica de Picos, apresentando seus corpos kimberlíticos realçados pela cor verde escuro e as encaixantes pela cor lilás, fato esse, reforçado pelo seu grau de preservação. Considera-se que na Província Kimberlítica de Gilbués o processo de desgaste natural possa ter sido secundário em relação ao fator antrópico, devido a extração desenfreada de kimberlitos diamantíferos ao longo de várias décadas, além da intensa prática agrícola e pecuária na região.

Geologicamente, admite-se que os kimberlitos dessas províncias, aflorantes ou não, estejam alojados em rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba. Normalmente ocorrem na forma de *pipes* e diques em relevos negativos em relação às encaixantes. Temporalmente, acredita-se que os kimberlitos de Picos sejam mais jovens que os kimberlitos de Gilbués.

AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus agradecimentos ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC), ao Instituto Federal do Piauí (IFPI), ao apoio financeiro do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT/CNPq) e à CAPES.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, p. 364-394. 1977.
- BARBOSA, O. **Diamante no Brasil: Histórico, Ocorrência, Prospecção e Lavra**. CPRM. 1991.
- CORDANI, U. G.; NEVES, B. B. B.; FUCK, R. A.; PORTO, R.; THOMAZ, A. & CUNHA, F. M. B. **Estudo Preliminar de Integração do Pré-Cambriano com os Eventos Tectônicos das Bacias Sedimentares Brasileiras**. Rio de Janeiro, Petrobrás, 70 pag. (Ciência- Técnica – Petróleo, 15). 1984.
- CORREIA, E. A. **Diamantes e Kimberlitos do Sul e Leste da Bacia do Parnaíba (Brasil)**. Tese de Doutorado. Porto. 1990.
- COSTA, T. C. C. **Avaliação de Estratégias de Classificação de Imagens Orbitais em Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 109f. 1999.
- CPRM. **Projeto Diamante**, Brasil. 2017.
- DAWSON, J. B. Kimberlites and their Xenoliths. **Springer Verlag, New York (N.Y.)**. 250pp. 1960.
- DNPM. **Diamante**, L. C. Danese e M. B. M. Carlotto, Mato Grosso, Brasil. 2007.
- FIPKE, C.; GURNEY, J. J.; MOORE, R. Diamond Exploration Techniques Emphasizing Indicator Mineral Geochemistry and Canadian Examples. **Geological Survey of Canada**, Bulletin 423, 85p. 1995.
- HELMSTAEDT, H. H. & GURNEY, J. J. **Geotectonic Controls on the Formation of Diamonds and their Kimberlitic and Lamproitic Hot Rocks: Applications to Diamond Exploration**. In proceedings volume, Fifth International Kimberlite Conference, Araxá, Brazil. Edited by H.O.A. Meyer and, O.H. Leonardos, **Diamonds: Characterization Genesis and Exploration**. CPRM Special Publication 1/B, p. 236-250. 1994.
- SACHS, L. L. B. & SILVEIRA, F. V. Kimberlitos do Estado do Piauí. **Anais/V Simpósio Brasileiro de Geologia do Diamante**. Tibagi, PR. CPRM, 70-71p. 2010.
- SVISERO, D. P. & CHIEREGATI, L. A. Contexto Geológico de Kimberlitos, Lamproítos e Ocorrências Diamantíferas do Brasil. **Bol. IG-USP**, Publicação Especial nº.9, São Paulo. 1991.
- SVISERO, D. P.; MEYER, H.O.A.; HARALYI, N. L. E. & HASUI, Y. A Note on the Geology of Some Brazilian Kimberlites, (**J.Geo**), 92: p. 331-335. 1984.
- SVISERO, D. P.; MEYER, O. H. & TSAI, H. M. Kimberlite Minerals from Vargem (Minas Gerais) and Redondão (Piauí) Diatremes, Brazil: And Garnet Lherzolite Xenolith from Redondão Diatreme. **Revista Brasileira de Geociências**, 7: p. 1-13. 1977.

VILELA, M. F. **Uso de Diferentes Métodos de Retificação Geométrica e Classificação Digital de uma Imagem TM/Landsat-5**. 1998. 118f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 1998.

**PETROGRAFIA, QUÍMICA MINERAL E LITOGEOQUÍMICA DAS
OCORRÊNCIAS DE KIMBERLITOS DA REGIÃO DE DOM EXPEDITO LOPES -
PROVÍNCIA KIMBERLÍTICA DE PICOS, PIAUÍ**

**PETROGRAPHY, MINERAL CHEMISTRY AND LITOGEOCHEMISTRY OF
KIMBERLITES OCCURRENCES IN THE REGION OF DOM EXPEDITO LOPES -
KIMBERLITIC PROVINCE OF PICOS, PIAUÍ**

Gabriela Meireles Rosa¹; Martha Noélia Lima² & José de Araújo Nogueira Neto².

¹Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia, ² Universidade Federal de Goiás,
Faculdade de Ciências e Tecnologia.

1 PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL

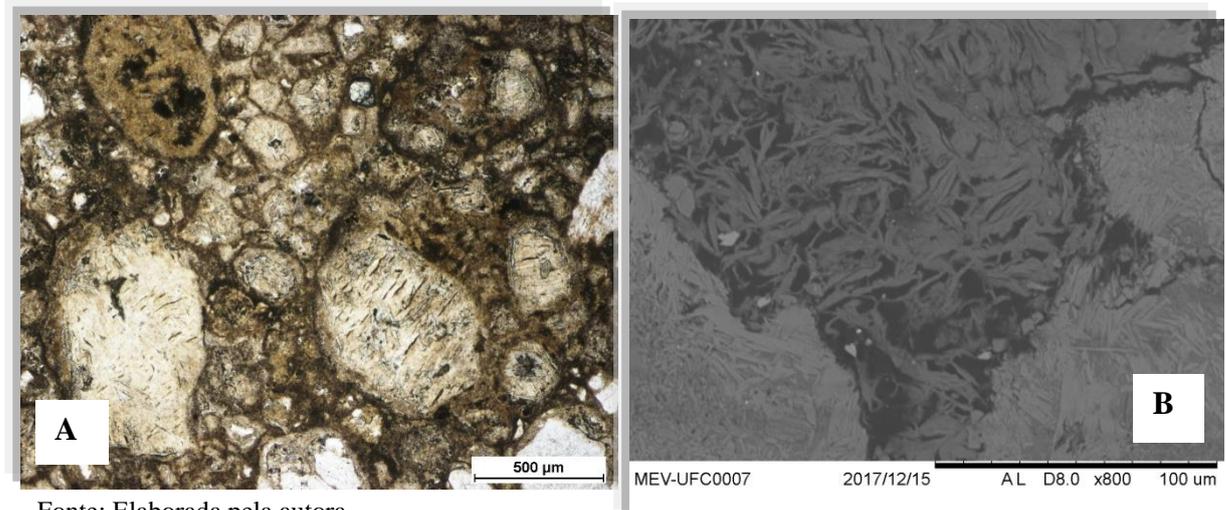
As amostras mais preservadas de kimberlitos, coletadas na região de Dom Expedito Lopes, foram preparadas para análises petrográfica, MEV-EDS, e posteriormente, microsonda eletrônica. No total, foram confeccionadas 20 seções delgadas polidas apresentando as seguintes nomenclaturas: DGM 02 A, DGM 02 B, DGM 02 C, DGM 02 D, DGM 02 E, DGM 02 F, DGM 02 G, DGM 02 H, DGM 02 I, DGM 02 J, DGM 02 K, DGM 02 L, DGM 02 M, DGM 02 N, DGM 02 O, DGM 02 P, DGM 02 Q, DGM 02 R, DGM 02 S, DGM 02 T. Destas foram escolhidas as mais representativas para detalhamento em análises e descrições.

1.1 Kimberlito Dom Expedito Lopes

Microscopicamente, apresentam textura inequigranular, composta por autólitos de olivina e clinopiroxênio em matriz ígnea afanítica de coloração clara, apresentando forte serpentinização (Figura 25). A rocha é constituída por aproximadamente 60% de matriz e 40% de macrocristais.

Autólitos de kimberlitos são clastos angulares a subarredondados formado pela fragmentação de material ígneo sólido pré-existente, que podem ser derivados de qualquer fácies, mas são tipicamente de material hipoabissal fino. São característicos por seus minerais não ocorrerem indicando um fluxo circular.

Figura 25 – Aspecto textural dos kimberlitos da região de Dom Expedito Lopes. (A) Textura inequigranular, composta por autólitos de olivina e clinopiroxênio em matriz ígnea afanítica; (B) Minerais fortemente serpentinizados.



Fonte: Elaborada pela autora.

Na matriz contém fenocristais primários e/ou constituintes das rochas encaixantes, tais como: olivina serpentinizada, clinopiroxênio, dentre eles minerais primários como a granada do tipo piropo, e acessórios, como, perovskita, cr-espínélio, enstatita, titano-augita, apatita, ilmenita e rutilo.

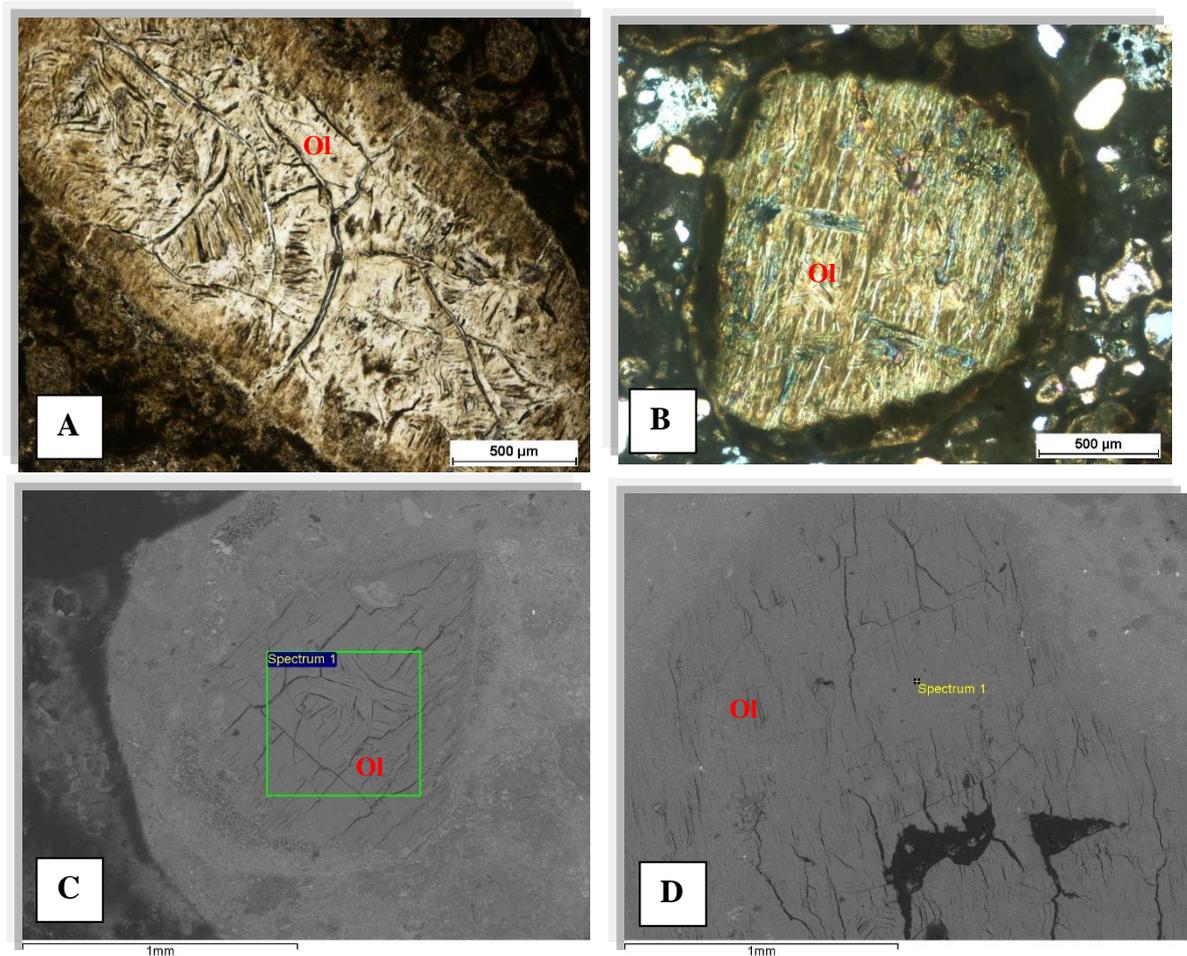
1.2 Olivina

A olivina, fase mais abundante nesses kimberlitos, ocorre em mega, macro e microcristais. Os megacristais compreendem tipicamente 10-20% do volume da rocha, são arredondados ou anédricos e alongados. Eles exibem alteração extensa, principalmente ao longo das bordas e fraturas, com o desenvolvimento de serpentina. Os macrocristais de olivina também mostram alteração nas bordas e fraturas, alguns cristais sendo totalmente serpentinizados. Eles são tipicamente subédricos, com tamanho de 3 a 8 mm, mostrando também formas arredondadas e anédricas. Os microcristais compõem cerca de 10% do volume das amostras, até um tamanho de 1 mm. São subédricos e geralmente completamente serpentinizados (Figura 26).

A composição química das olivinas varia desde Mg_2SiO_4 (forsterita) a Fe_2SiO_4 (faialita). Os nomes forsterita e faialita ficam restringidos às composições Fo_{100-90} e Fo_{10-0} , respectivamente. Em muitos cristais naturais, e particularmente nas olivinas mais ricas em ferro, há uma pequena substituição de (Mg,Fe) por Mn e Ca. O níquel e o cromo estão geralmente

presentes nas olivinas ricas em magnésio, ocorrendo o cromo como minúsculas lamelas exsolvidas de cromita. Algum Fe^{+3} está geralmente presente e pode estar relacionado, analogamente, a pequenos grãos exsolvidos de magnetita, ou, como acontece mais frequentemente, ser produto de oxidação resultante da alteração da olivina. Na maioria das olivinas ocorrem quantidades relativamente pequenas de cálcio, num intervalo que se situa normalmente entre 0,0 e 1,0 por cento de CaO . O fósforo ocorre em quantidades vestigiais (acima de 400ppm) em algumas olivinas.

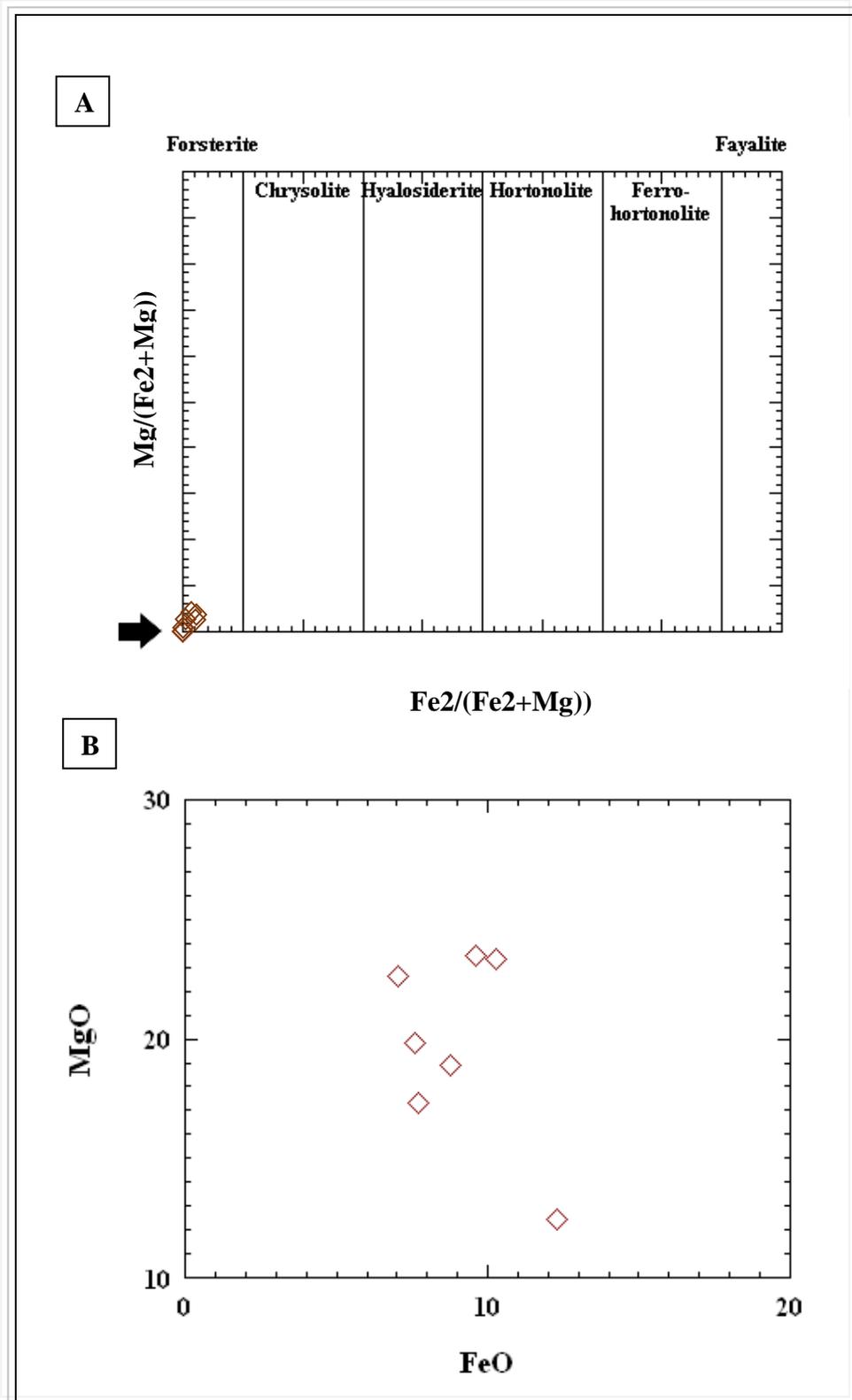
Figura 26 – Aspectos petrográficos do mineral olivina. (A) Megacristal fraturado exibindo alteração intensa; (B) Macrocristal serpentinizado observado ao microscópio petrográfico com borda de alteração; (C) e (D) Cristais observados ao microscópio eletrônico de varredura com formas anédricas, constituindo a fase mais abundante nos kimberlitos.



Fonte: Elaborada pela autora.

As olivinas foram classificadas como magnesianas, segundo as relações de **(Fe²⁺/(Fe²⁺+Mg)-(Mg.(Fe²⁺+Mg))**. Os resultados da análise semi-quantitativa pontual por microscópio eletrônico de varredura (MEV) e por dispersão de energia (EDS) indicaram olivinas com teores (MgO/(MgO+FeO)) na ordem de 0,80%. Conforme a classificação da amostra estudada, elas plotam no campo da Fosterita (Figura 27).

Figura 27 – Química mineral das olivinas. (A) Diagrama de classificação segundo as relações de $(Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg))$ - $(Mg/(Fe^{2+}+Mg))$, plotam no campo da Fosterita; (B) Relação MgO x FeO para os cristais de olivina presentes nos kimberlitos estudados, evidenciando enriquecimento em MgO.

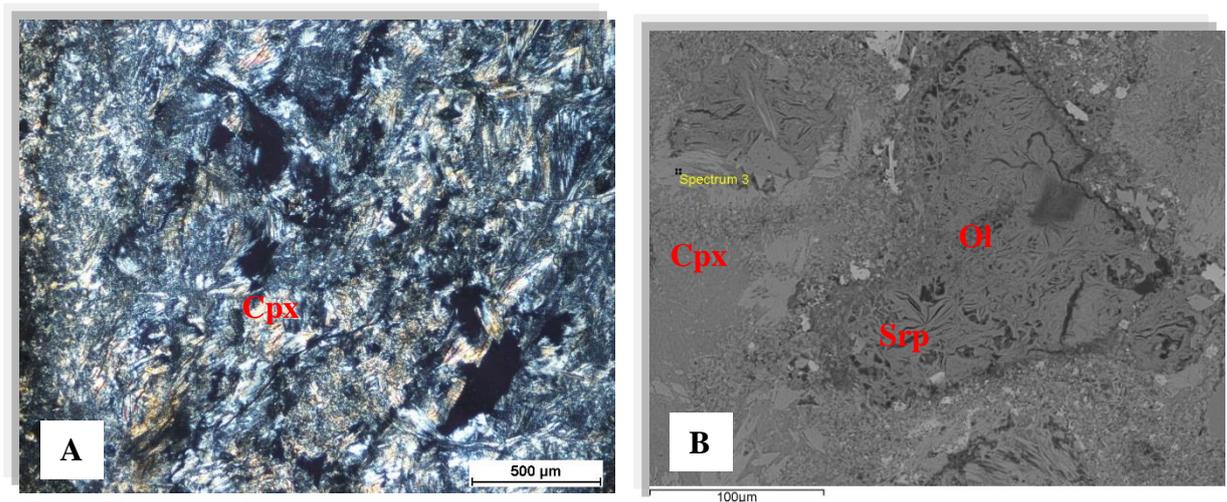


Fonte: Elaborada pela autora.

1.3 Piroxênio

Os cristais de piroxênio ocorrem principalmente associados aos agregados de olivinas, que provavelmente formam a interação dos xenólitos de silicato com o magma, e representam juntos, os minerais mais abundantes nesses kimberlitos. Os clinopiroxênios aparecem serpentinizados, sem forma definida, mas também na forma de primas alongados, com alta birrefringência, e suas dimensões variam de 0,25 a 2,5 mm (Figura 28).

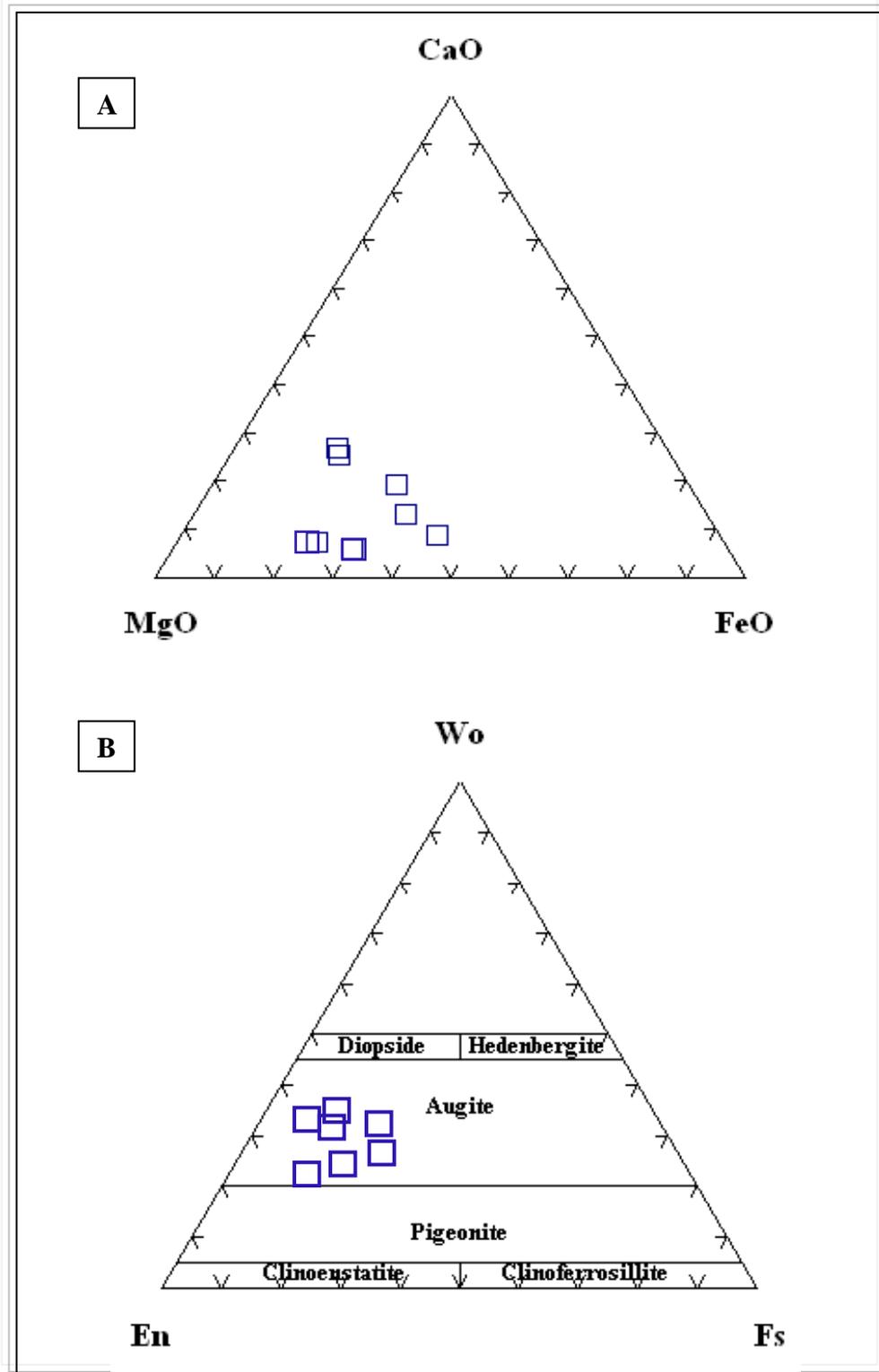
Figura 28 – Aspectos petrográficos do mineral clinopiroxênio. (A) Aglomerado de clinopiroxênio observado ao microscópio petrográfico exibindo serpentinização; (B) Clinopiroxênio bordejando olivina serpentinizada, observados ao microscópio eletrônico de varredura, constituindo os minerais mais abundantes nos kimberlitos.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os clinopiroxênios foram classificados baseados na sua fórmula química $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Al})_2(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$. Os resultados da análise semi-quantitativa pontual por microscópio eletrônico de varredura (MEV) e por dispersão de energia (EDS) indicaram clinopiroxênios ricos em Mg, como mostra o gráfico ternário Ca-Mg-Fe. Conforme a classificação dos piroxênios, quanto a composição da amostra estudada, eles plotam no campo da Augita (Figura 29).

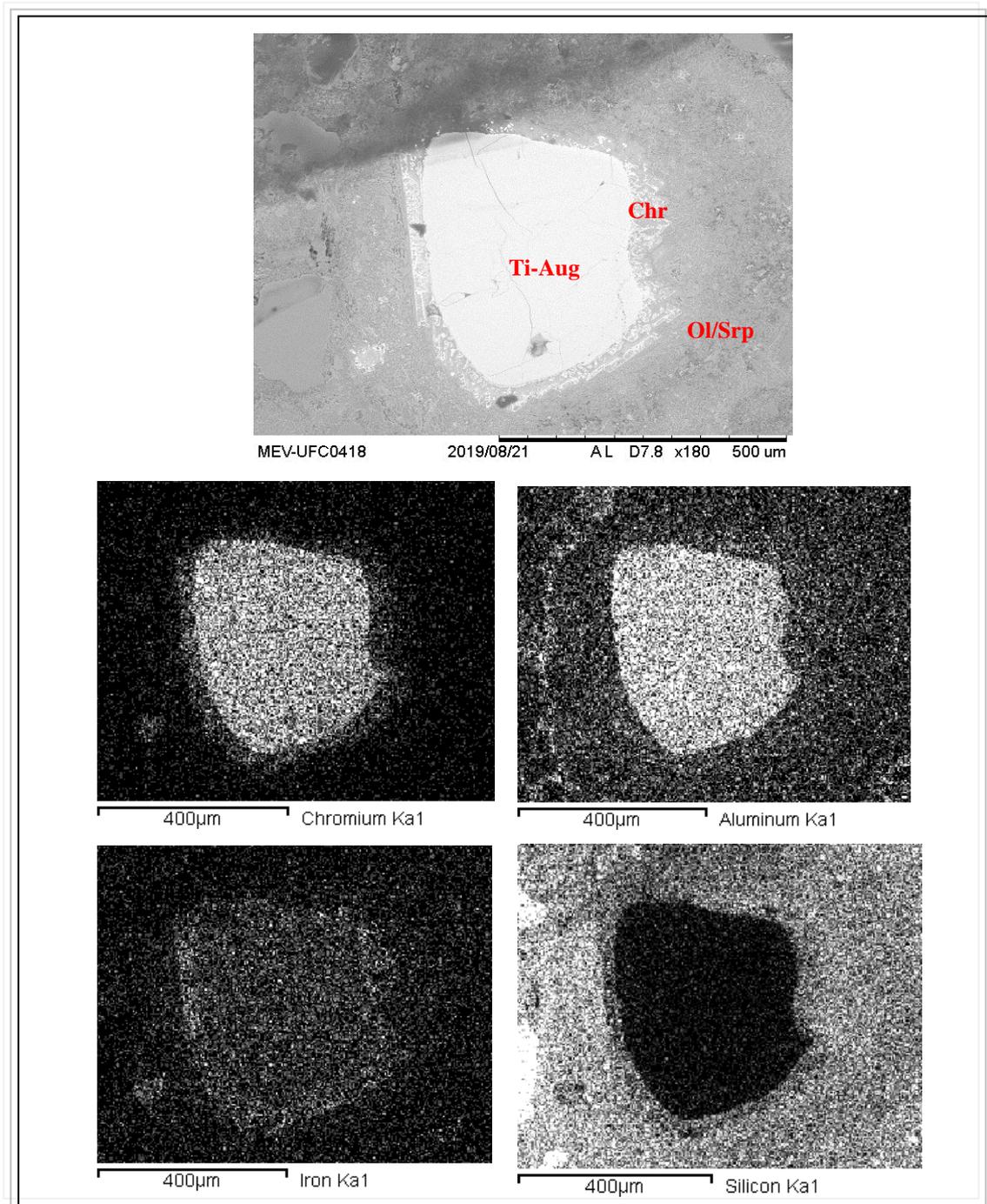
Figura 29 – Química mineral dos clinopiroxênios. (A) Clinopiroxênios ricos em Mg, como mostra o gráfico ternário Ca-Mg-Fe.; (B) Cristais plotados no diagrama de classificação do piroxênio de Morimoto (1990); Wo - Wollastonite; En- enstatite; Fs - ferrosilita.



Fonte: Elaborada pela autora.

A ocorrência de augita rica em titânio também foi observada petrograficamente e corroborada pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV). Na Figura 30 é possível observar o mapa composicional de um cristal de titano-augita com bordas ricas em Fe-Cr e matriz constituída por olivina serpentinizada (Si-Fe-Mg).

Figura 30 – Cristal de titano-augita (Ti-Aug) com bordas enriquecidas em Fe-Cr, sugerindo a alteração da cromita (Chr), e matriz de olivina serpentinizada (Ol/Srp).

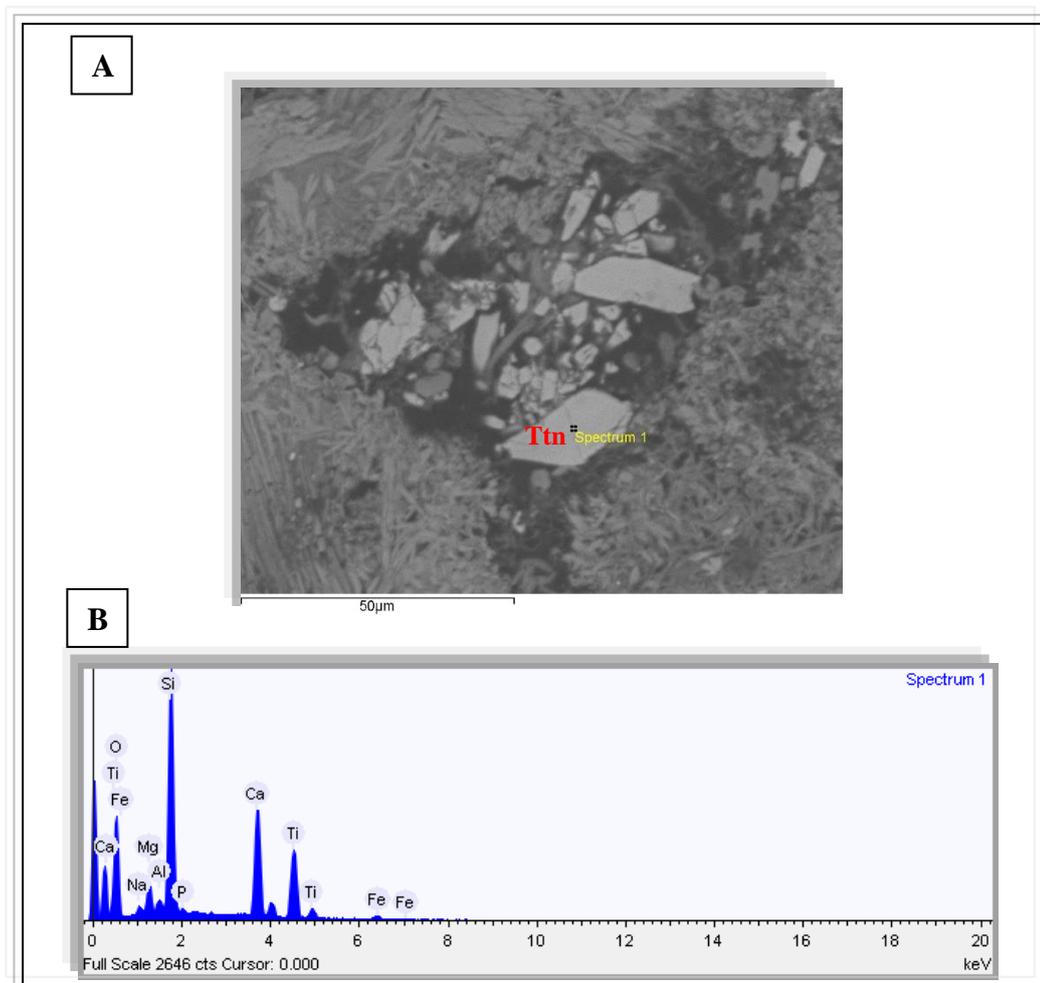


Fonte: Elaborada pela autora.

1.4 Titanita

A titanita aparece como mineral acessório em cristais euédricos a subeuédricos, em pequenos agregados cristalinos, inseridos na matriz de clinopiroxênio e olivina serpentinizados. A Figura 31 retrata o cristal analisado através do MEV/EDS com sua forma característica losangular, porém, com formação incompleta. A composição química analisada mostra enriquecimento nos elementos Ti-Si-Ca com base na sua fórmula CaTiOSiO_4 .

Figura 31 – Cristal de titano-augita (Ti-Aug) com bordas enriquecidas em Fe-Cr, sugerindo a alteração da cromita (Chr), e matriz de olivina serpentinizada (Ol/Srp).



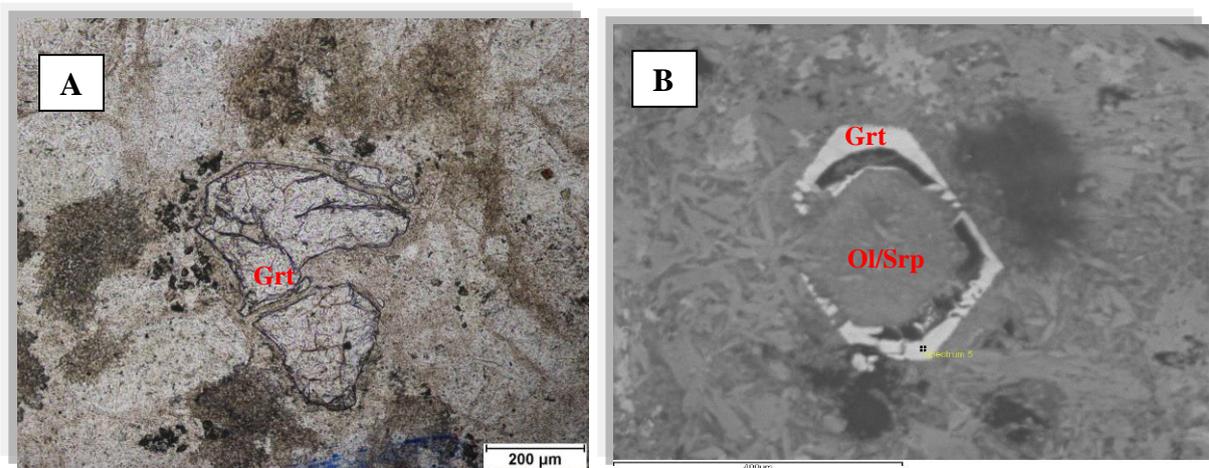
Fonte: Elaborada pela autora.

1.5 Granada

A granada está presente com tamanhos de até 0,5 mm, algumas apresentando relevo e forma bem marcados e outras exibindo bordas de alteração, indicando que essas ocorrências representam xenocristais do manto. Na Figura 32 são observados dois tipos dessa ocorrência mineral, enriquecidas em Mg e Al, segundo as análises mineraloquímicas por MEV-EDS, os resultados apontam para granada do tipo piropo ($Mg_3Al_2Si_3O_{12}$).

	Na ₂ O (%)	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	CaO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	ZrO ₂
Granada	0,4	5,0	11,5	27,7	0,8	1,2	-	-	16,2	-

Figura 32 – Cristais de granada e sua composição química. (a) Mineral observado ao microscópio petrográfico a luz natural, apresentando relevo alto e forma preservada; (b) Granada (Grt) exibindo borda de alteração para olivina serpentinizada (Ol/Srp), com seu hábito euédrico ainda preservado, visto através microscópio eletrônico de varredura (MEV).



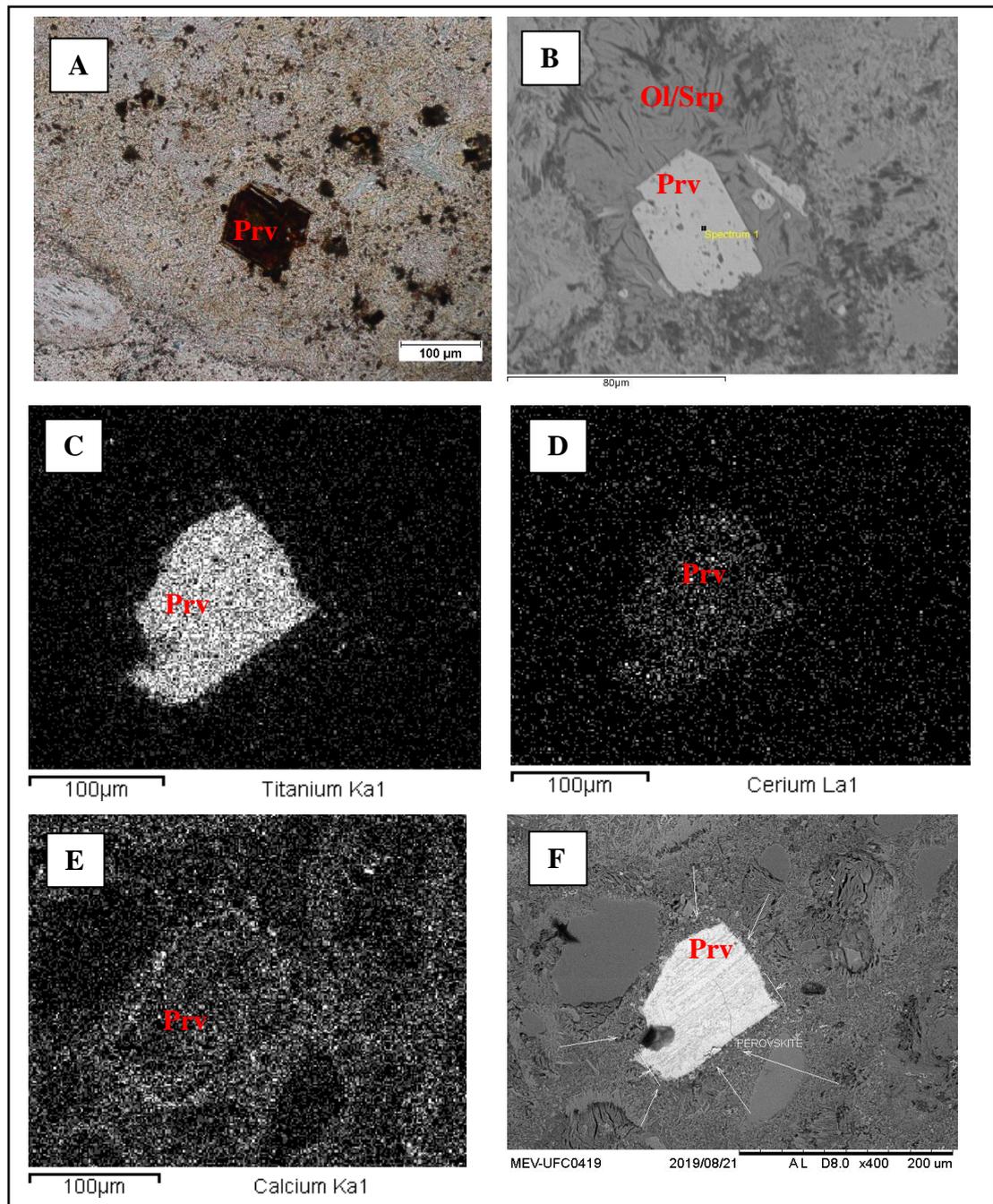
Fonte: Elaborada pela autora.

Tais granadas, da espécie piropo, na maioria dos casos apresentam grau de oxidação intenso, assim como outros minerais indicadores de kimberlitos diamantíferos mencionados neste trabalho, o que pode indicar que a área de estudo seja estéril e não condizente com a preservação de diamante.

1.6 Perovskita

Nos kimberlitos, a perovskita aparece como grãos euédricos a subédricos, em tamanhos que variam até 0,2 mm. Alguns cristais mostram zoneamento discreto, ocorrendo como aros de reação sob o microscópio petrográfico (Figura 33).

Figura 33 – Cristais de perovskita. (A) Mineral observado ao microscópio petrográfico a luz natural, apresentando relevo elevado, cor castanha-escuro e zoneamento discreto; (B) Perovskita (Prv) incluída em macrocristal de olivina serpentizada (Ol/Srp); (C), (D), (E), (F) Mapa composicional de cristal enriquecido em Ca e Ti, através de microscópio eletrônico de varredura (MEV).



Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com os padrões observados, a perovskita aparece como mineral acessório inclusa nos macrocristais de olivina e clinopiroxênios de forma isolada ou dispersa, com relevo bem marcado e cor castanho-escuro sob luz natural do microscópio petrográfico. Apresentam-se como grãos alterados e frescos.

Embora a composição química seja essencialmente CaTiO_3 , a maior parte das análises apresenta uma substituição considerável do Ca por elementos do grupo das terras raras ou dos álcalis e, frequentemente, do Ti por Nb ou Ta.

As perovskitas presentes nos kimberlitos estudados mostraram-se enriquecidas em Ca e Ti, segundo as análises mineraloquímicas por MEV-EDS, conforme mostrado a seguir:

	Na ₂ O (%)	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	CaO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	ZrO ₂
Perovskita	1,4	10,2	6,9	-	-	35,4	39,0	-	7,1	-

2 LITOGEOQUÍMICA

Determinaram-se as concentrações em elementos maiores, traço e terras raras em 20 amostras de rocha-total utilizando a técnica de ICP-MS através do laboratório *Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.* Os resultados obtidos são apresentados nos Apêndices.

Rochas kimberlíticas são susceptíveis ao intemperismo, alteração secundária (na maioria dos casos serpentinização e/ou carbonatação) e também à contaminação crustal. A petrografia e a geoquímica podem avaliar o grau de alteração. Neste sentido, Clement (1982) propôs um parâmetro conhecido como “Índice de Contaminação Crustal” (**C.I.**), que é expresso pela fórmula a seguir:

$$\text{C.I.} = (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O}) / (\text{MgO} + 2\text{K}_2\text{O})$$

O **C.I.** avalia o nível de contaminação da crosta, intemperismo e/ou alteração sobre os kimberlitos. Pelo fato destas rochas apresentarem escassez de SiO_2 , Al_2O_3 e Na_2O , um aumento desses componentes é diretamente atribuído à mudança de composição causada pela contaminação por material crustal. Kimberlitos que mostram valores de **C.I.** próximos ao valor de um são considerados não contaminados ou frescos.

Clement (1982) também observou outro parâmetro que afeta a composição destas rochas de uma maneira geral, em especial as fácies hipabissais. Esse fator é causado incorporação e assimilação de megacristais e xenocristais de ilmenita. Esse conceito foi

aprofundado por Taylor *et al.*, (1994) e outro fator foi introduzido que é conhecido como “Índice de ilmenita” (**Ilm.I.**), que fornece uma indicação da contaminação de kimberlitos devida assimilação de xenocristais de ilmenita, expresso pela seguinte fórmula:

$$\text{Ilm.I.} = \text{FeO}_T + \text{TiO}_2 / (2\text{K}_2\text{O} + \text{MgO})$$

Os valores de "**Ilm.I.**" para os kimberlitos micáceos são geralmente <0,47 e para os kimberlitos não micáceos <0,52.

A razão de magnésio e ferro em uma rocha ígnea está relacionada à composição química do material do manto. À medida que o magma resfria, minerais mais leves se solidificam primeiro, formando uma escória na superfície da rocha fundida. Usando as análises de rocha total, o número de magnésio (**Mg #**) pode ser determinado. O **Mg #** fornece informações sobre a composição da rocha do manto e a história térmica da rocha. O **Mg #** é encontrado na fórmula fornecida abaixo:

$$\text{Mg\#} = 100 \times [(\text{MgO}) / (\text{MgO} + \text{FeO})] [\text{molecular\%}]$$

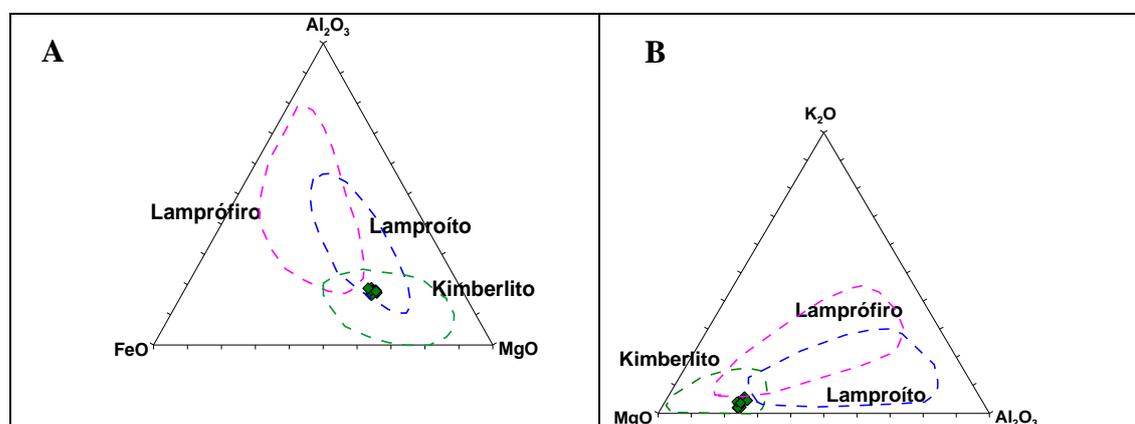
As composições dos elementos maiores e dos elementos traços em kimberlitos são influenciados com os problemas de amostragem e contaminação afetando a composição geoquímica de rocha total das amostras. Elementos traço como Ti, Nb, Ta, Zr, Hf, P e REE são relativamente menos afetados pela contaminação da crosta (FESQ *et al.*, 1975 e KABLE *et al.*, 1975).

Através dos elementos maiores obtidos nas amostras de kimberlitos de D. Expedito Lopes (Apêndices), podemos classificar estas rochas como de composição intermediária (SiO₂: 55,91 - 59,75%), relativamente pobres em magnésio (MgO: 12,83 - 14,69% e Mg #: 4,64-5,20) e de natureza sódica (Na₂O: 1,2 - 1,65% e Na₂O > K₂O). Os valores encontrados para sílica podem sugerir a presença de contaminação crustal destas amostras. Os elevados teores em TiO₂ (0,97 - 1,13%) pode ser atribuída a presença de cúmulos de fases óxidas como perovskita, espinélio e ilmenita. Os valores de CaO (3,94 - 5,96%) podem atribuídos ao grau de alteração/carbonatação destas rochas. Estas alterações podem ser observadas tanto na petrografia quanto nos dados geoquímicos obtidos, corroborando na participação do intemperismo, contaminação crustal e/ou carbonatação ocorridos nestas rochas. Isso pode ser justificado devido ao fato de que os kimberlitos serem litologia pobres em SiO₂, Al₂O₃ e Na₂O. Qualquer aumento destes componentes é devido à contaminação por rochas da crosta.

Clement (1982) afirmou de kimberlitos aparentemente livre de contaminação e kimberlitos ricos sem flogopita (não alterada) e/ou diopsídio podem ter valores de C.I. na faixa de 1 – 1,5. Para àqueles com valores próximos a um, são considerados frescos. Neste sentido, os valores de C.I. encontrado para as amostras de D. Expedito Lopes variou de 3,76 à 4,84, ficando longe de serem consideradas como frescas e livres de alterações.

De acordo com os diagramas $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{FeO(T)} - \text{MgO}$ e $\text{K}_2\text{O} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ de Bergman (1987), todas as amostras analisadas incluem-se no campo para rochas classificadas como kimberlitos (Figura 34).

Figura 34 – Diagramas: A) $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{FeO (T)} - \text{MgO}$ e B) $\text{K}_2\text{O} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ para classificação de rochas alcalinas de acordo com Bergman, 1987.



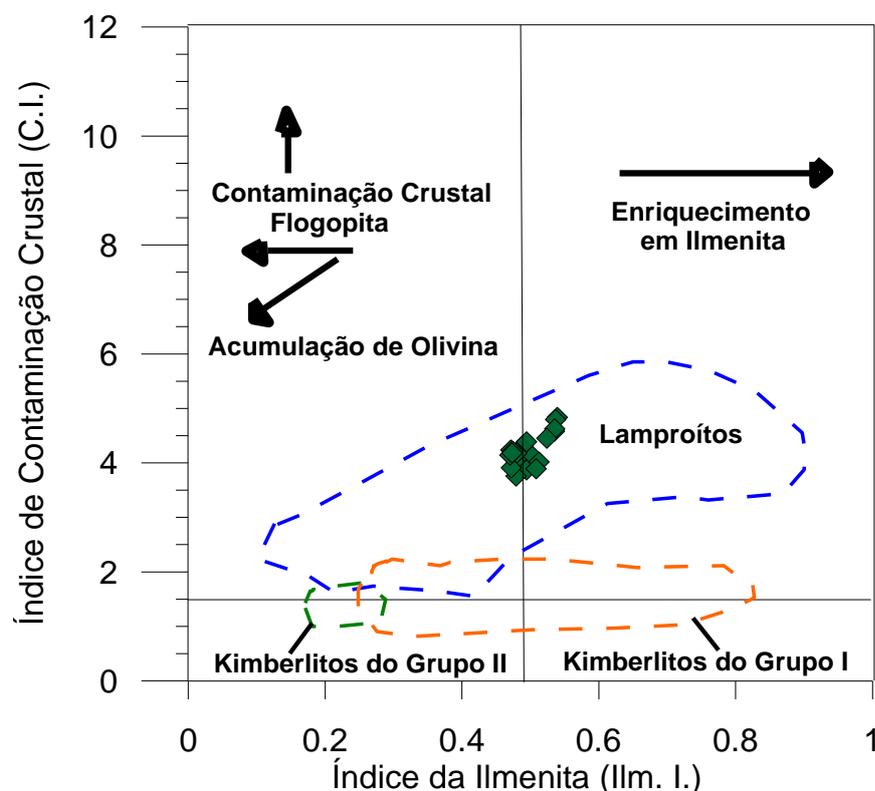
Fonte: Elaborada pela autora.

O índice da ilmenita (Ilm.I.) proposto por Taylor *et al.*, (1994) indica a contaminação devido a participação de xenocristais de ilmenita. Os valores encontrados para as amostras de investigação segundo este parâmetro, variaram entre 0,47 à 0,54. Projetando-se os valores de C.I. versus Ilm.I (Figura 35) de acordo com o gráfico de Clement (1982) e Taylor *et al.*, (1994) observou-se que as amostras encontram-se projetadas acima do campo classificados para kimberlitos, podendo ser justificado devido a participação de componentes de contaminação crustal (valores elevados em sílica) e ao grau de intemperismo considerável observado em campo. No entanto, tanto em campo quanto nas observações petrográficas não foi observado a presença de flogopita, sugerindo que se estas amostras estivessem em condições de baixa ou nenhuma alteração, estas poderiam ser classificadas como kimberlitos do tipo I com um trend levemente marcado para acumulação de olivina.

Para os diagramas Harker, o índice de diferenciação utilizado foram os teores em óxidos de MgO em versus outros óxidos como CaO , SiO_2 , Al_2O_3 e K_2O para elucidar a relação

entre esses elementos. Neste sentido, nas amostras estudadas apresentaram um enriquecimento em SiO_2 e em TiO_2 , um decréscimo em CaO e Fe_2O_3 . Apesar de algumas amostras estarem levemente dispersas, há um padrão relativamente constante em MnO , NaO e K_2O . Os valores de Al_2O_3 encontram-se dispersos, não definindo nenhum *trend* de evolução (Figura 36).

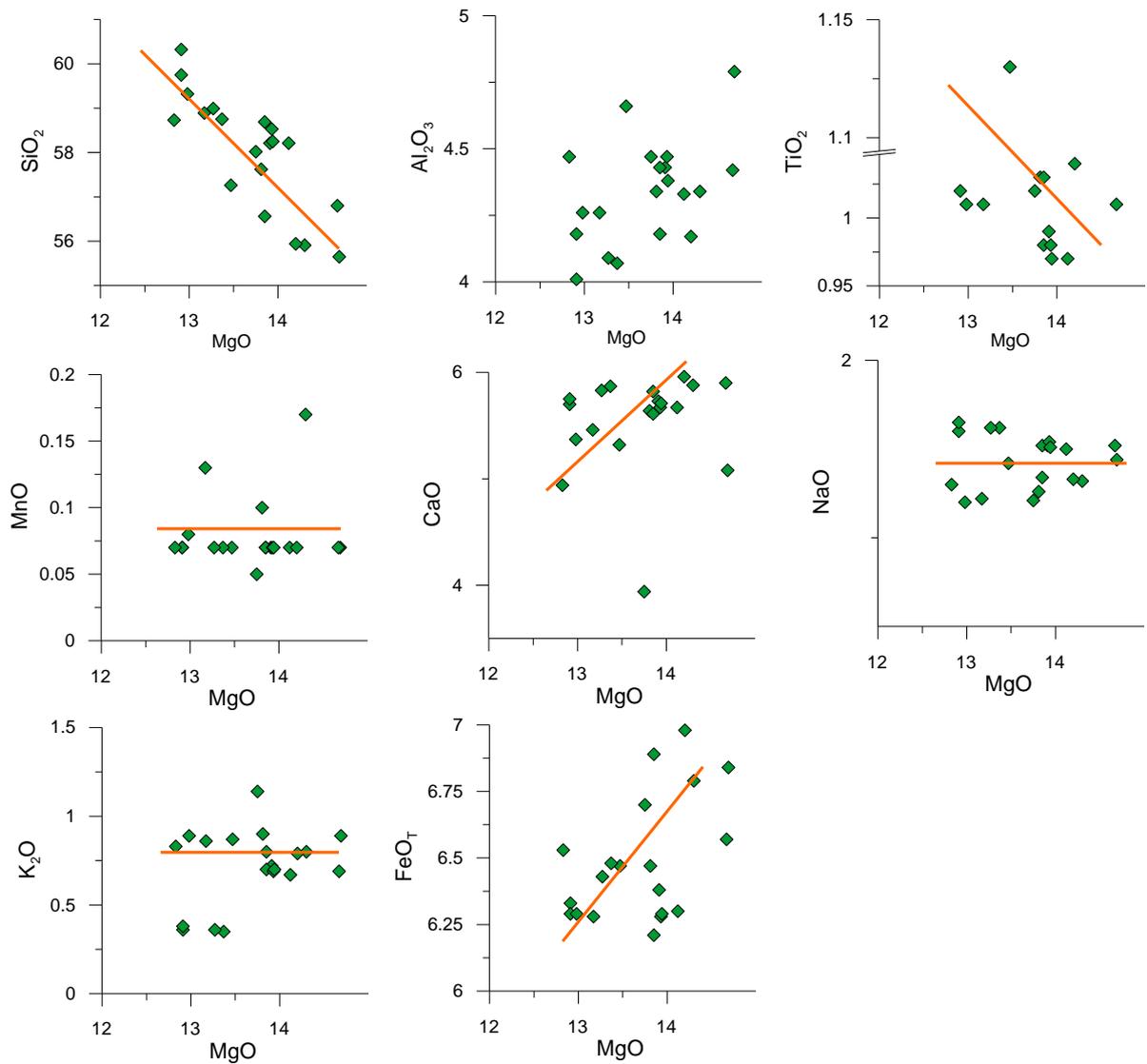
Figura 35 – Diagrama Índice de Contaminação Crustal (C.I.) versus Índice de Ilmenita (Ilm.I.) para as amostras de kimberlitos de D. Expedito Lopes (CLEMENT, 1982; TAYLOR *et al.*, 1994).



Fonte: Elaborada pela autora.

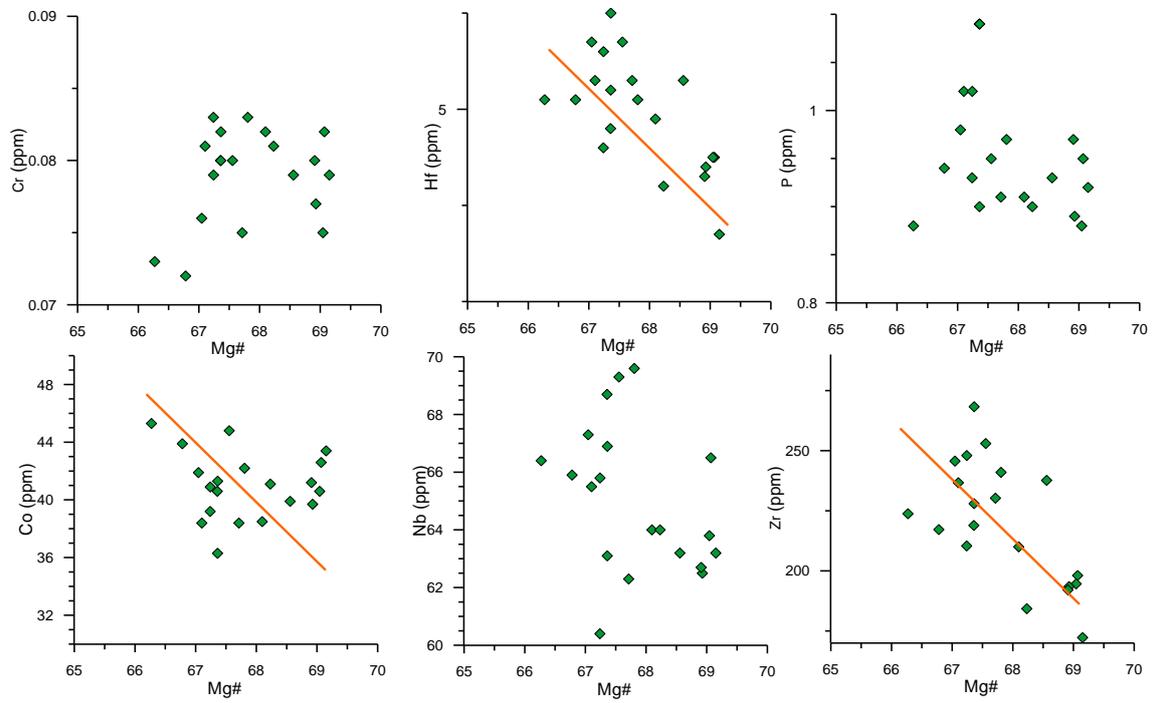
Os elementos traço na geoquímica são importantes ferramentas usadas para tentar elucidar as questões relacionadas com a petrogênese e a evolução das fontes dos kimberlitos. Nas amostras estudadas, observou-se que tais elementos também foram muito afetados com os processos de alteração e/ou contaminação crustal. Há uma dispersão na distribuição das amostras não definindo um *trend* de evolução, como se observa para Cr, P e Nb. Para o Hf, Co e Zr, apesar de uma certa dispersão nos dados, pode-se notar uma tendência para o aumento dos teores destes elementos durante a evolução destas rochas (Figura 37).

Figura 36 – Diagramas de Harker de elementos maiores para as amostras de kimberlitos de D. Expedito Lopes.



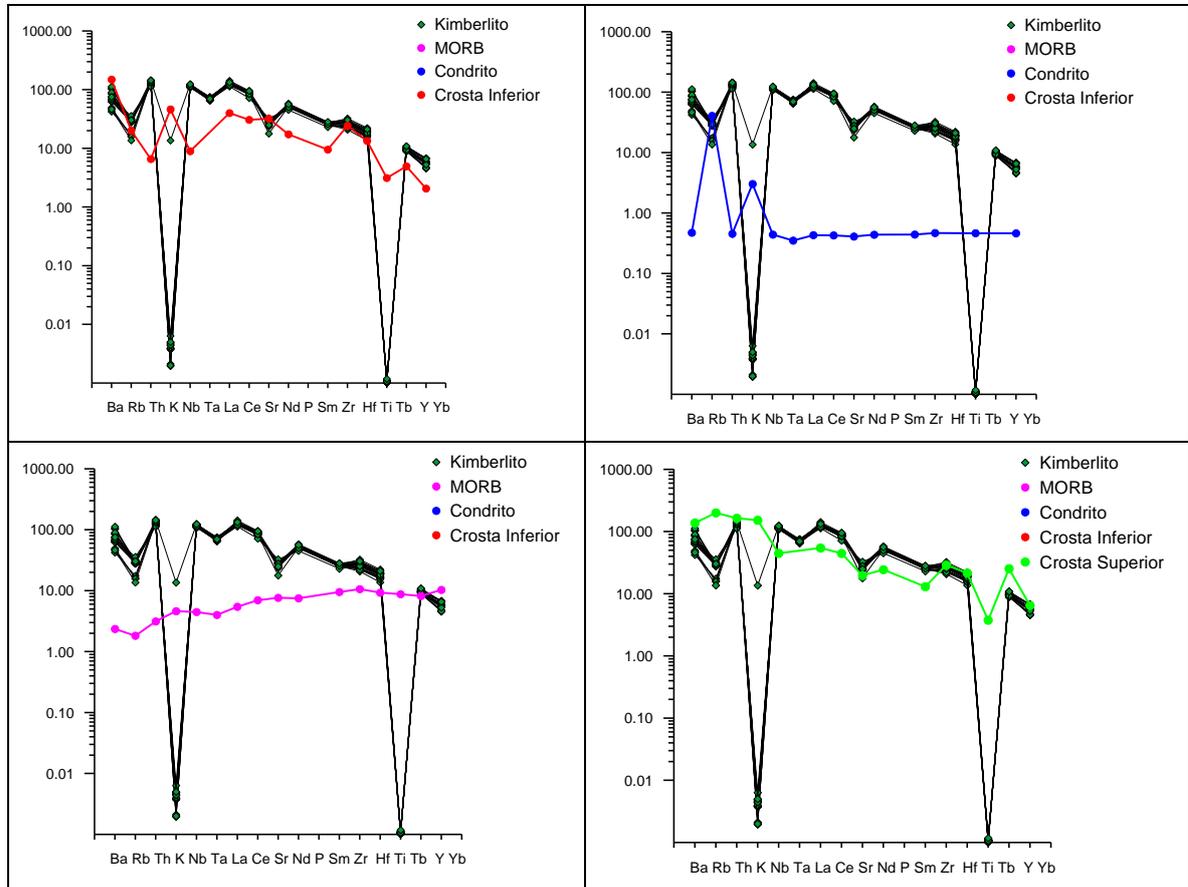
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 37 – Diagramas de Harker de elementos traço para as amostras de kimberlitos de D. Expedito Lopes.



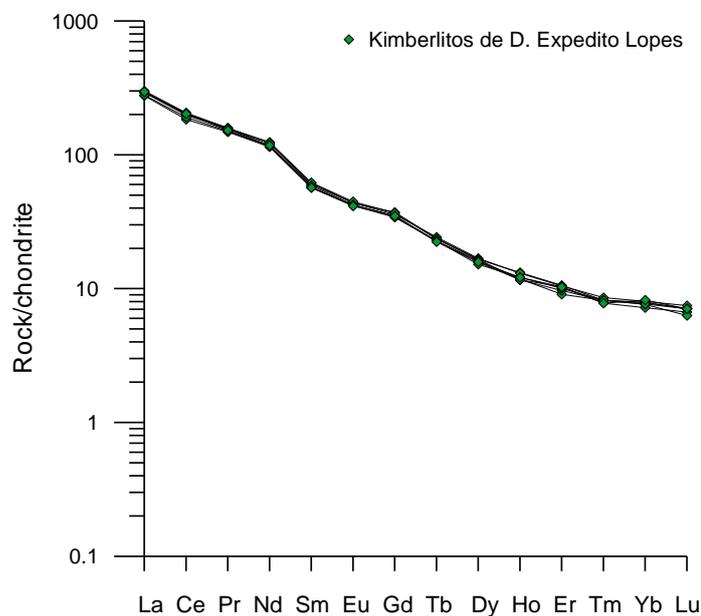
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 38 – Diagramas multielementares para as amostras de kimberlitos de D. Expedito Lopes. As amostras foram normalizadas para o manto primitivo de acordo com Taylor e McLennan (1985).



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 39 – Diagramas de terras raras para as amostras de kimberlitos de D. Expedito Lopes. Valores normalizados para o condrito (EVENSEN *et al.*, 1978).



Fonte: Elaborada pela autora.

REFERÊNCIAS

- BERGMAN, S. C. Lamproites and Other Potassium-rich Igneous Rocks: A Review of heir Occurrences, Mineralogy and Geochemistry. In: Alkaline Igneous rocks, Fitton, J.G. and Upton, B.G.J (Eds.). **Geological Society of London** special publication, n. 30, p. 03-19, 1987.
- CLEMENT, C. R. **A Comparative Geological Study of Some Major Kimberlite Pipes in the Northern Cape and Orange Free State**, Ph.D. thesis (2 vols.), Cape Town, 1982.
- EVENSEN, N. M.; HAMILTON, P. J.; O'NIONS, R. K. Rare-earth Abundances in Chondritic Meteorites. **Geochim et Cosmochim Acta**, 42, 1199, 1978.
- FRESQ, H. W.; KABLE, E. J. D.; GURNEY, J. J. Aspects of the Geochemistry of Kimberlites from the Premier Mine and Other Selected South African Occurrences with Particular Reference to the Rare Earth Elementes. **Phys. Chem. Earth**, 9, p. 687-708, 1975.
- TAYLOR, S. R.; MCLENNAN, S. M. **The Continental Crust: Its Composition and Evolution**. United States: N. p., 1985.
- TAYLOR, W. R.; TOMPKINS, L. A.; HAGGERTY, S. E. Comparative Geochemistry of West African Kimberlites: Evidence for a Micaceous Kimberlite. **Geochim Cosmochim Acta**, 58, 4017-4037. Endmember of Sublithospheric Origin, 1994.

8 CONCLUSÕES

As análises comparativas de morfoestruturas das Províncias Kimberlíticas de Picos e Gilbués, através da aplicação de geotecnologias, permitiu concluir que:

- Os mapas de relevo sombreado indicam um forte padrão de drenagem do tipo anelar e radial, presente tanto na Província Kimberlítica de Picos quanto na Província Kimberlítica de Gilbués, com forma de relevo mais preservada e evidenciada na Província Kimberlítica de Picos.
- Os lineamentos mostram um padrão semelhante nas duas províncias, com um *trend* regional NE-NW, onde os lineamentos das duas províncias demonstram que o modelo digital de terreno foi o produto que melhor caracterizou as estruturas e feições lineares.
- As imagens de satélite apresentaram maior eficiência para a Província Kimberlítica de Picos, apresentando seus corpos kimberlíticos realçados pela cor verde escuro e as encaixantes pela cor lilás.
- Geologicamente, admite-se que os kimberlitos dessas províncias, aflorantes ou não, estejam alojados em rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba, ocorrendo na forma de *pipes* e diques em relevos negativos em relação às encaixantes.

Em relação à mineralogia e litogeoquímica das ocorrências de kimberlitos da região de Dom Expedito Lopes, Província Kimberlítica de Picos, no estado do Piauí, pode-se concluir que:

- A interpretação da petrografia e das análises realizadas por microscópio eletrônico de varredura (MEV) e por dispersão de energia (EDS) indicaram kimberlitos compostos por autólitos de olivina e clinopiroxênio em matriz ígnea afanítica de coloração clara, apresentando forte serpentinização.
- Na matriz contém fenocristais primários e/ou constituintes das rochas encaixantes, tais como: olivina serpentinizada, clinopiroxênio e vários outros, dentre eles a granada, e acessórios, como, perovskita, titano-augita, apatita, ilmenita e rutilo.
- As análises mineraloquímicas por MEV-EDS corroboram com a petrografia e trazem melhor caracterização na identificação dos kimberlitos e definição dos principais elementos constituintes dos minerais.

- As olivinas foram classificadas como magnesianas, segundo as relações de $(Fe_2/(Fe_2+Mg))-(Mg/(Fe_2+Mg))$, plotando no campo da Fosterita. Os clinopiroxênios foram classificados baseados na sua fórmula química $(Ca,Mg,Fe^{2+},Al)_2(Si,Al)_2O_6$ indicando enriquecimento em Mg e plotando no campo da Augita. As granadas são enriquecidas em Mg e Al, apontando para granada do tipo piropo ($Mg_3Al_2Si_3O_{12}$). As perovskitas mostraram-se enriquecidas em Ca e Ti, segundo as análises mineraloquímicas por MEV-EDS
- Estas rochas foram classificadas, de acordo com os elementos maiores, como de composição intermediária (SiO_2 : 55,91 - 59,75%), relativamente pobres em magnésio (MgO : 12,83 - 14,69% e $Mg \#$: 4,64-5,20) e de natureza sódica (Na_2O : 1,2 – 1,65% e $Na_2O > K_2O$).
- Os valores encontrados para sílica podem sugerir a presença de contaminação crustal destas amostras. Os elevados teores em TiO_2 (0,97 – 1,13%) pode ser atribuída a presença de acúmulos de fases óxidas como perovskita, espinélio e ilmenita. Os valores de CaO (3,94 – 5,96%) podem atribuídos ao grau de alteração/carbonatação destas rochas.
- Estas alterações podem ser observadas tanto na petrografia quanto nos dados geoquímicos obtidos, corroborando na participação do intemperismo, contaminação crustal e/ou carbonatação ocorridos nestas rochas. Isso pode ser justificado devido ao fato de que os kimberlitos serem litologia pobres em SiO_2 , Al_2O_3 e Na_2O . Qualquer aumento destes componentes é devido à contaminação por rochas da crosta.
- De acordo com os diagramas $Al_2O_3 - FeO(T) - MgO$ e $K_2O - MgO - Al_2O_3$ todas as amostras analisadas incluem-se no campo para rochas classificadas como kimberlitos.
- Os diagramas Harker das amostras estudadas apresentaram um enriquecimento em SiO_2 e em TiO_2 , um decréscimo em CaO e Fe_2O_3 . Apesar de algumas amostras estarem levemente dispersas, há um padrão relativamente constante em MnO , NaO e K_2O . Os valores de Al_2O_3 encontram-se dispersos, não definindo nenhum trend de evolução.
- Para os elementos traço há uma dispersão na distribuição das amostras não definindo um *trend* de evolução. Para o Hf, Co e Zr, apesar de uma certa dispersão nos dados, pode-se notar uma tendência para o aumento dos teores destes elementos durante a evolução destas rochas.
- A referida área não é explorada, ao contrário da Província Kimberlítica de Gilbués que é garimpada há mais de 70 anos, porém, é requerida por uma empresa diamantífera

estrangeira. De tal modo, que é controverso se esses corpos são realmente férteis. Contudo, é importante atribuir as intrusões prevalecentes na Província Kimberlítica de Picos à fácies de Cratera, devido ao alto teor de Si proveniente das rochas encaixantes, indicando contaminação crustal.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P. M. **Estudos Geofísicos (Magnetotelúrico e Eletromagnético Transiente) da Porção Leste da Bacia do Parnaíba: Contribuição ao conhecimento Hidrogeológico.** Dissertação de Mestrado. Ministério da Ciência e Tecnologia. Observatório Nacional. Pós-graduação em Geofísica. 122p, 2002.
- ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, 7, p. 364-394, 1977.
- ARAÚJO, A. L. N. **Petrologia dos Pipes Kimberlíticos e Kamafugitos da Província Alcalina do Alto Parnaíba, Minas Gerais e Goiás.** Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, 2000.
- ASMUS, H. E. & PORTO, R. Classificação das Bacias Sedimentares Brasileiras Segundo a Tectônica de Placas. In: SBG, **Congresso Brasileiro de Geologia**, 26, Belém (PA), Anais, 2:67-90, 1972.
- BARBOSA, O. **Diamante no Brasil: Histórico, Ocorrência, Prospecção e Lavra.** CPRM, 1991.
- CAPUTO, M. V. **Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and paleogeography of Northern of Brazil.** 583 f. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade da Califórnia, Santa Barbara, 1984.
- CHAMANI, M. A. C. **Tectônica Sinsedimentar no Siluro-Devoniano da Bacia do Parnaíba, Brasil: O Papel de Grandes Estruturas do Embasamento na Origem e Evolução de Bacias Intracratônicas.** Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- CLEMENT, C.R., SKINNER, E.M.W., SCOTT-SMITH, B.H. **Kimberlite Redefined.** Extension abstr. 2nd International Kimberlite Conference, Santa Fe, New Mexico, 1977.
- CLIFFORD, T. N. Tectono-metallogenic Provinces of Africa. **Earth Planet. Sci. Letters**, 1: 421-434, 1966.
- CORDANI, U. G.; NEVES, B. B. B.; FUCK, R. A.; PORTO, R.; THOMAZ, A. & CUNHA, F. M. B. Estudo Preliminar de Integração do Pré-Cambriano com os Eventos Tectônicos das Bacias Sedimentares Brasileiras. Rio de Janeiro, Petrobrás, 70 pag. (**Ciência- Técnica – Petróleo**, 15.), 1984.
- CORREIA, E. A. **Diamantes e Kimberlitos do Sul e Leste da Bacia do Parnaíba (Brasil).** Tese de Doutorado. Porto, 1990.
- CUNHA, F. M. B. **Evolução Paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu Arcabouço Tectônico.** Rio de Janeiro, Instituto de Geociência, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 107 pag. Dissertação de Mestrado, 1986.

- DAWSON, J. B. **Kimberlites and their Xenoliths**. Springer Verlag, New York (N.Y.). 250pp, 1960.
- DAWSON, J.B. Geochemistry and Origin of the Kimberlite; In Willie, P.J. (ed.), **Ultramafic and related rocks**, Wiley, New York, p. 269-278, 1967.
- DAWSON, J.B. **Kimberlites and their Xenoliths**. Springer Verlag, Berlin, 252pp, 1980.
- DELLA FAVERA, J.C. **Tempestitos da Bacia do Parnaíba: Um Ensaio Holístico**. 243 f. Tese (Doutorado em Geologia) - IG, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.
- DNPM. **Diamante**, L. C. Danese e M. B. M. Carlotto, Mato Grosso, Brasil, 2007.
- FIPKE, C.; GURNEY, J. J.; MOORE, R. Diamond Exploration Techniques Emphasizing Indicator Mineral Geochemistry and Canadian Examples. **Geological Survey of Canada**, Bulletin 423, 85p, 1995.
- GÓES, A.M.O., SOUZA, J.M.P. & TEIXEIRA, L.B. 1990. Estágio Exploratório e Perspectivas Petrolíferas da Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, 4(1): 55-64.
- GÓES, A.M.O.; FEIJÓ, F.J.; Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 8 (1):57-67, 1994.
- GURNEY, J. J.; HARRIS, J. W.; RICKARD, R. S. & MOORE, R. O. Inclusions in Premier Mine Diamonds. **Trans. Geol. Soc, South Africa**, 88: 301-310, 1985.
- HAGGERTY, S. E. A Diamond Trilogy. **Science**. vol. 285, p. 851-858, 1999.
- HELMSTAEDT, H. H. & GURNEY, J. J. Geotectonic Controls on the Formation of Diamonds and their Kimberlitic and Lamproitic Hot Rocks: Applications to Diamond Exploration. In proceedings volume, Fifth International Kimberlite Conference, Araxá, Brazil. Edited by H. O. A. Meyer and, O. H. Leonards, **Diamonds: Characterization Genesis and Exploration. CPRM Special Publication 1/B**, p. 236-250, 1994.
- KLEMME, H. D. Petroleum basins - classification and characteristics. **Journal of Petroleum Geology**, v. 3, n. 2, p. 187-207. 1980.
- KIRKLEY, M. B.; GURNEY, J. J.; RICHARD R. S. Jwaneng Framites: Carbon Isotopes and Intergrowth Compositions. In: Meyer H.O.A and Leonards O.H. Editions, proceedings of the **5th International Kimberlite Conference**, 1991.
- LEWIS, H. C. Diamantiferous Peridotite and the Genesis of Diamond. **On Geological Magazine**, v. 4, p. 22- 24. 1887.
- MACNAE, J. C. Kimberlites and Exploration Geophysics. **Geophysics**, 44: 1395–1416, 1979.

- MITCHELL, R. H. & BERGMAN S. C. **Petrology of Lamproites**. Plenum, New York, 447 pp, 1991.
- MITCHELL, R. H. **Kimberlites: Mineralogy, Geochemistry, and Petrology**. Plenum Press, NY/London, 442p, 1986.
- MITCHELL, R. H. Kimberlites and Lamproites: Primary Sources of Diamonds. **Geoscience Com.**, 18, p. 1-16, 1991.
- MEYER, H. O. A. & SVISERO, D. P. Mineral Inclusions in Brazilian Diamonds. **Phys.Chem.Earth**, 9: 785-796, 1975.
- NIXON, P. H. and BOYD, F. R. **The Liqhobong Intrusion and Kimberlitic Olivine Composition**. In P. H. Nixon, Ed., Lesotho Kimberlites, p. 141-148. Lesotho National Development Corporation, Maseru, Leotho, 1973.
- NIXON, P. H.; KNORRIG, O. VON & ROOKE, J. M. Kimberlites and Associated Inclusions: A Mineralogical and Geochemical Study. **Am. Mineralog.** 48: 1090-1132, 1963.
- PASTERIS, J. D. Kimberlites: Complex Mantle Melts. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, 12,133-153, 1984.
- PEREIRA, T. K. M. **Caracterização Petrográfica de uma Ocorrência Kimberlítica a Noroeste de Picos, Estado do Piauí**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia, Fortaleza, Ceará, 2018.
- PLUMMER, F.B. Estados do Maranhão e Piauí. In: BRASIL, Conselho Nacional do Petróleo. **Relatório de 1946**. Rio de Janeiro: Conselho Nacional do Petróleo. p. 87-134, 1948.
- RICHARDSON, S.H.; GURNEY, J. J.; ERLANK, A.J.; HARRIS, J.W. Origin of Diamonds in Old Enriched Mantle. **Nature**, v. 310, p.198-202, 1984.
- RUOTSALA, A. P. Alteration of the Finsch Kimberlite Pipe South Africa. **Econ. Geol.**, 70, p. 587-590, 1975.
- SACHS, L. L. B. & SILVEIRA, F. V. Kimberlitos do Estado do Piauí. **Anais/V Simpósio Brasileiro de Geologia do Diamante**. Tibagi, PR. CPRM, 70-71p, 2010.
- SANTOS, L.; PEREIRA, I.; RIOS, D. C; FERNANDES, D.; CÉSAR, P.; SILVEIRA, F. V.; HERBET, C. Aspectos Geológicos e Petrográficos das Rochas da Natureza Kimberlítica (sl) do Nordeste da Bahia, Brasil: os Lamproítos Transicionais Diamantíferos Icó e Aroeira. **Anuário do Instituto de Geociências**. Vol. 42 Edição 3, p223-236. 14p, 2019.
- SÊCO, S. L. R. **Sobre a Prospecção de Diamantes em Angola. Formações de Kimberlitos e de Depósitos Secundários**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, Portugal, 2009.
- SKINNER, E. M. W. Contrasting Group I and Group II Kimberlite Petrology; Towards a Genetic Model for Kimberlites. In Proceedings Fourth international kimberlite conference,

Perth, Australia, Aug. 11-15, 1986. **Geological Society of Australia**, Sydney, N.S.W., Australia, p. 528-544, 1989.

SVISERO, D. P. & CHIEREGATI, L. A. Contexto Geológico de Kimberlitos, Lamproítos e Ocorrências Diamantíferas do Brasil. **Bol. IG-USP**, Publicação especial nº. 9, São Paulo, nov. 1991.

SVISERO, D. P. & MEYER, H. O. A. New Occurrences of Kimberlites in Brazil. In: **International Kimberlite Conference**, 4th, Ext. Abst., Perth, Australia, 16:145-147, 1986.

SVISERO, D. P.; MEYER, H. O. A.; HARALYI, N. L. E. & HASUI, Y. A Note on the Geology of Some Brazilian Kimberlites, (**J. Geo**), 92: 331-335, 1984.

SVISERO, D. P.; MEYER, O. H. A. & TSAI, H. M. Kimberlite Minerais from Vargem (Minas Gerais) and Redondão (Piauí) Diatremes, Brazil: And Garnet Lherzolite Xenolith from Redondão Diatreme. **Rev.Bras.Geociênc.** 7: 1-13, 1977.

THOMAZ, L. V. **Estudo Petrográfico e Química Mineral da Intrusão Kimberlítica Régis, NO Oeste de Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado-USP, São Paulo, 2009.

WAGNER, P. A. **The Diamond Fields of South Africa**. Johannesburg, 1914.

WILLIAMS, A. F. **The Genesis of Diamond**. Ernest Benn Ltd., London, 1932.

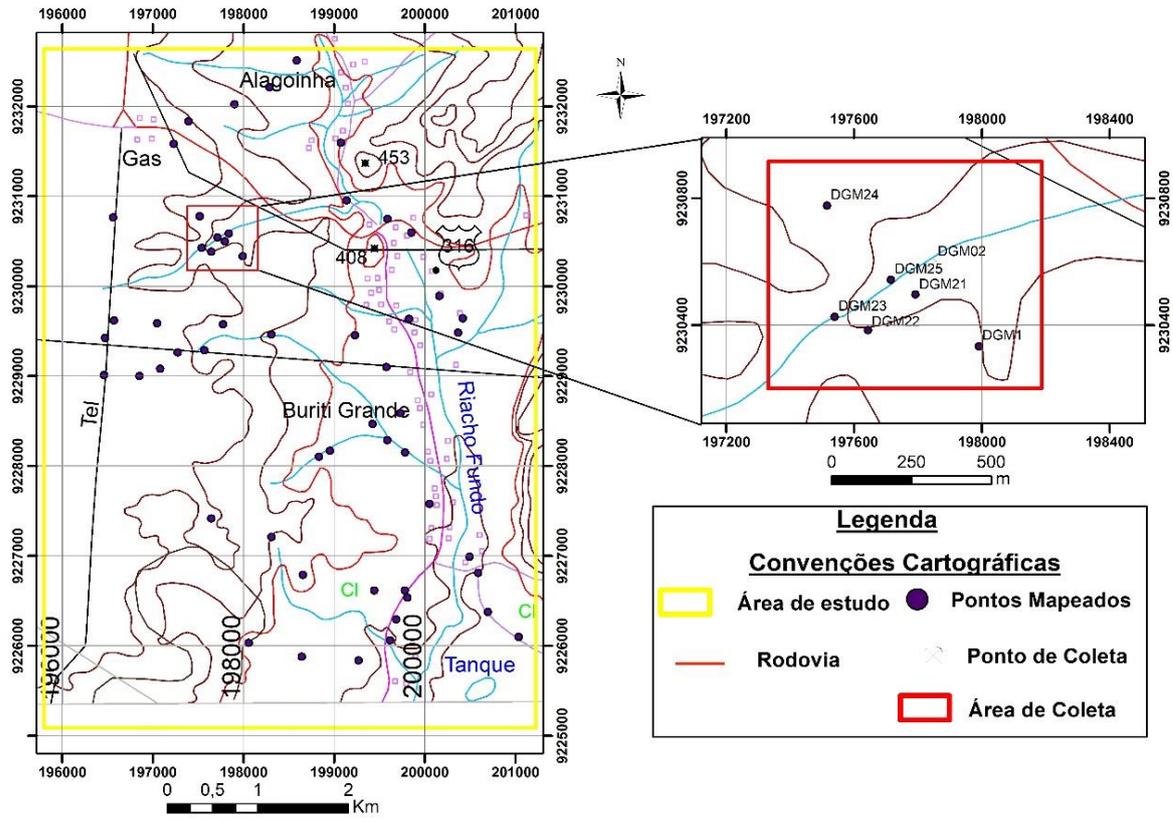
APÊNDICE A – ELEMENTOS MAIORES E TRAÇO

AMOSTRAS	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	MnO	Cr2O3	Ba	Ni	Sc	LOI	TOTAL
DGM 02 A	57,26	4,66	6,47	13,47	5,32	1,42	0,87	1,13	0,95	0,07	0,08	384	1064	10	7,7	99,6
DGM 02 B	57,62	4,34	6,47	13,81	5,64	1,26	0,9	1,03	0,91	0,1	0,082	458	953	10	7,3	99,61
DGM 02 C	58,02	4,47	6,7	13,75	3,94	1,21	1,14	1,02	0,93	0,05	0,083	355	1021	9	8,1	99,61
DGM 02 D	55,91	4,34	6,79	14,3	5,88	1,32	0,8	1,07	0,97	0,17	0,083	572	983	10	7,8	99,6
DGM 02 E	58,89	4,26	6,28	13,17	5,46	1,22	0,86	1,01	0,91	0,13	0,075	536	924	9	7,2	99,62
DGM 02 F	55,65	4,79	6,84	14,69	5,08	1,44	0,89	1,05	0,9	0,07	0,081	527	802	10	8	99,62
DGM 02 G	60,32	4,01	6,33	12,91	5,7	1,6	0,36	1,02	1,02	0,07	0,081	236	942	9	6,1	99,63
DGM 02 H	58,21	4,43	6,38	13,91	5,73	1,52	0,72	0,99	0,93	0,07	0,079	347	895	9	6,5	99,6
DGM 02 I	56,8	4,42	6,57	14,67	5,9	1,52	0,69	1,01	0,95	0,07	0,082	324	968	10	6,8	99,6
DGM 02 J	59,75	4,18	6,29	12,91	5,75	1,65	0,38	1,05	1,02	0,07	0,079	251	954	10	6,3	99,63
DGM 02 K	58,75	4,07	6,48	13,37	5,87	1,62	0,35	1,05	1,09	0,07	0,08	236	976	9	6,7	99,62
DGM 02 L	58,21	4,33	6,3	14,12	5,67	1,5	0,67	0,97	0,92	0,07	0,079	324	923	9	6,6	99,62
DGM 02 M	58,69	4,43	6,21	13,85	5,61	1,52	0,7	0,98	0,88	0,07	0,075	340	886	9	6,5	99,62
DGM 02 N	56,56	4,18	6,89	13,85	5,82	1,34	0,8	1,03	0,94	0,07	0,072	389	918	9	7,9	99,6
DGM 02 O	58,99	4,09	6,43	13,27	5,83	1,62	0,36	1,06	1,09	0,07	0,082	216	998	9	6,6	99,61
DGM 02 P	55,94	4,17	6,98	14,2	5,96	1,33	0,79	1,04	0,98	0,07	0,076	438	958	10	7,9	99,59
DGM 02 Q	58,53	4,47	6,28	13,93	5,67	1,54	0,69	0,98	0,89	0,07	0,077	328	892	9	6,4	99,62
DGM 02 R	59,32	4,26	6,29	12,98	5,37	1,2	0,89	1,01	0,9	0,08	0,08	434	921	9	7,1	99,63
DGM 02 S	58,73	4,47	6,53	12,83	4,94	1,3	0,83	1,06	0,88	0,07	0,073	382	1072	10	7,7	99,63
DGM 02 T	58,25	4,38	6,29	13,94	5,71	1,51	0,7	0,97	0,97	0,07	0,08	320	916	9	6,6	99,61

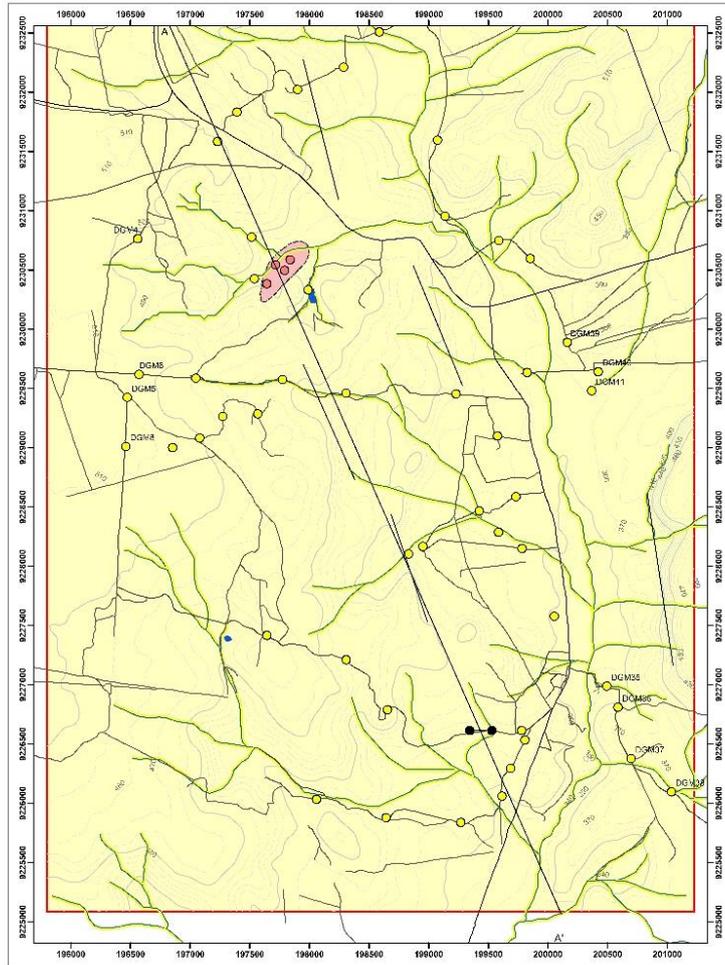
APÊNDICE B – ELEMENTOS TRAÇO E TERRAS RARAS

AMOSTRA	Be	Co	Cu	Ga	Hf	Nb	Pb	Sn	Sr	Ta	Tb	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
DGM 02 A	5	44,8	0,6	7,1	5,7	69,3	16,7	1	445,4	2,8	9,2	2,4	58	0,9	253	22,4	73,2	136,2	15,88	60,2	9,81	2,75	7,99	0,95	4,6	0,77	1,96	0,24	1,46	0,22
DGM 02 B	5	38,5	0,4	6,2	4,9	64	16,2	1	494,6	2,9	8,6	2	46	0,8	210	18	66,3	121,1	14,12	53,4	8,87	2,43	6,77	0,81	3,92	0,62	1,53	0,21	1,29	0,18
DGM 02 C	2	39,2	0,4	6	4,6	60,4	19,7	1	581,9	2,7	7,2	1,9	47	<0,5	210,4	15,8	62,2	103	12,73	48,1	7,96	2,21	6,33	0,78	3,86	0,6	1,49	0,19	1,24	0,17
DGM 02 D	3	42,2	0,4	5,9	5,1	69,6	15,3	<1	520,3	2,9	8,4	2,2	53	0,6	241	16,1	70,7	128,2	14,91	56,9	9,2	2,56	7	0,85	3,87	0,59	1,53	0,18	1,1	0,16
DGM 02 E	2	38,4	0,3	6,2	5,3	62,3	15,4	<1	502,4	2,8	8,4	2,2	48	0,7	390,3	16	67	119,8	14,12	53	8,7	2,35	6,49	0,77	3,46	0,55	1,34	0,18	1,08	0,15
DGM 02 F	3	41,1	0,4	6,7	4,2	64	17,2	<1	316,4	2,9	8	1,9	66	0,5	184,3	18,3	67,3	121,9	14,27	55	8,71	2,5	7,08	0,83	3,77	0,63	1,61	0,21	1,19	0,17
DGM 02 G	4	38,4	0,3	5,3	5,3	65,5	7,5	1	487,4	2,7	8,7	2	49	0,6	236,7	19,4	69,9	126,6	14,72	55,6	8,96	2,45	7,12	0,83	3,89	0,65	1,67	0,21	1,18	0,18
DGM 02 H	<1	39,9	0,3	6	5,3	63,2	16,9	<1	509,7	2,9	7,9	2,2	60	0,7	337,7	22,4	73,2	126,8	14,93	56,2	9,22	2,61	7,48	0,86	4,38	0,74	1,89	0,34	1,41	0,19
DGM 02 I	2	42,6	0,3	6	4,5	66,5	15,7	1	508,7	2,7	8	2	53	0,7	198,1	23	78	137,1	15,95	61,7	9,68	2,74	7,73	0,94	4,46	0,74	1,85	0,23	1,41	0,2
DGM 02 J	2	40,9	0,3	5,8	5,6	65,8	8,7	1	447,1	2,9	9,3	2,2	50	0,8	248	19,7	72,5	129,2	14,72	55,8	8,78	2,41	7,14	0,84	4,03	0,69	1,71	0,2	1,36	0,18
DGM 02 K	3	40,6	0,3	5,3	4,8	68,7	8,8	<1	464,4	3	8,7	2	48	0,7	218,9	19,7	71,8	129,4	15,13	55,5	9,08	2,46	7,15	0,85	3,87	0,69	1,67	0,21	1,27	0,18
DGM 02 L	<1	43,4	0,3	5,7	3,7	63,2	15,4	<1	511,2	2,7	7,8	2	52	0,7	172,3	19,3	68,5	122,1	14,59	54,6	8,82	2,43	6,99	0,85	4,01	0,66	1,61	0,21	1,26	0,16
DGM 02 M	<1	40,6	0,3	6,1	4,5	63,8	15,7	1	510,5	2,7	8,1	1,9	52	0,8	194,6	18,6	67,8	117,5	14,29	54,3	8,76	2,46	7,12	0,85	4,12	0,67	1,51	0,21	1,3	0,18
DGM 02 N	<1	43,9	0,3	5,6	5,1	65,9	16	1	489,7	3	8,4	2,2	69	0,7	217,2	19,4	71,3	126,6	15,04	58	9,56	2,6	7,53	0,88	4,2	0,66	1,72	0,2	1,19	0,17
DGM 02 O	3	41,3	0,4	5,3	6	66,9	9,6	1	437,2	2,8	9,2	2,3	50	1	286,3	20,6	72,7	129,8	15,35	57,7	9,25	2,54	7,39	0,91	4,29	0,74	1,74	0,22	1,33	0,19
DGM 02 P	3	41,9	0,3	5,8	5,7	67,3	15,8	<1	501,3	2,9	8,7	2	61	0,9	245,7	23,1	73,6	131,7	15,25	59,1	9,48	2,54	7,61	0,89	4,21	0,75	1,76	0,21	1,31	0,18
DGM 02 Q	2	39,7	0,5	5,4	4,4	62,5	15,8	<1	481,3	2,6	7,5	2,1	53	0,8	193,5	19,5	69,3	120,3	14,15	54,3	8,66	2,38	6,97	0,84	3,77	0,69	1,71	0,21	1,16	0,18
DGM 02 R	<1	36,3	0,3	5,5	5,2	63,1	16,3	<1	505,1	2,7	8,4	2,1	44	0,6	228	15,4	65	120,8	14,1	55,1	8,8	2,35	6,68	0,8	3,45	0,6	1,35	0,19	1,16	0,16
DGM 02 S	<1	45,3	0,5	6	5,1	66,4	15,8	1	419,9	2,9	8,9	2,4	58	0,8	223,8	22,7	72,7	132,3	15,4	59,7	9,48	2,62	7,63	0,92	4,43	0,72	1,81	0,34	1,44	0,21
DGM 02 T	<1	41,2	0,4	5,8	4,3	62,7	17,5	1	506,8	2,6	7,6	2	49	0,7	192,1	19,4	67,5	117,9	14,17	55,4	8,62	2,5	6,86	0,81	3,84	0,67	1,69	0,21	1,32	0,19

APÊNDICE C – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DETALHADO DA ÁREA ESTUDADA



APÊNDICE D – MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA ESTUDADA



DECLINAÇÃO MAGNÉTICA
 Junho 2017

Convenção Cartográfica

- Curvas secundárias de 10m
- Curvas mestras de 10m
- Águas
- Drenagens
- Faixas
- Área de mapeamento

Convenções Litoestratigráfico

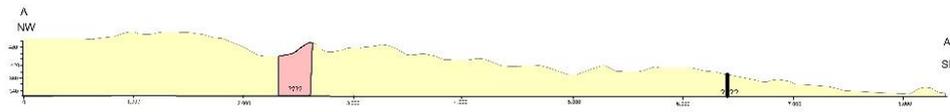
- Diabásio
- Kimberlito
- Arenito

Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Departamento de Geologia

ANÁLISE MORFOESTRUTURAL, MINERALÓGICA E LITOGEOQUÍMICA DE CORPOS KIMBERLÍTICOS DA REGIÃO DE PICOS-PIAUÍ

Autora: Gabriela Meloires Rosa Orientador: Prof. Dr. José do Araújo Nogueira Neto

Local: Fortaleza - CE Data: Fevereiro / 2020 Anos: 1 Mapa: Geológico



0 0,5 1 Km
 Escala Horizontal: 1:25.000

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
 Origem da quilometragem UTM: equador e Meridiano Central 39° W Gr.
 acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente.
 Datum horizontal: SIRGAS2000