



UFRR

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**

DANIEL ANDRES HERNANDEZ RAMIREZ

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE DIAMANTES E CONDIÇÕES
AMBIENTAIS DE FORMAÇÃO DOS DEPÓSITOS DA REGIÃO LA CANDELARIA,
MUNICÍPIO GRAN SABANA, FRONTEIRA VENEZUELA-BRASIL**

Boa Vista, RR

2022

DANIEL ANDRES HERNANDEZ RAMIREZ

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE DIAMANTES E CONDIÇÕES
AMBIENTAIS DE FORMAÇÃO DOS DEPÓSITOS DA REGIÃO LA CANDELARIA,
MUNICÍPIO GRAN SABANA, FRONTEIRA VENEZUELA-BRASIL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais. Área de concentração: Manejo e Dinâmica de Recursos Naturais.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Elizete Celestino Holanda

Co-orientador: Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior

Boa Vista, RR

2022

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

R173c Ramirez, Daniel Andres Hernandez.

Caracterização mineralógica de diamantes e condições ambientais de formação dos depósitos da região la Candelaria, Município Gran Sabana, fronteira Venezuela-Brasil / Daniel Andres Hernandez Ramirez. – Boa Vista, 2022.

85 f. : il.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Elizete Celestino Holanda.

Co-orientador: Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais.

1 – Kimberlito. 2 – Supergrupo Roraima. 3 – La Candelaria. I – Título. II – Holanda, Elizete Celestino (orientadora). III – Tavares Júnior, Stélio Soares (coorientador).

CDU – 549.02(87:81)

DANIEL ANDRES HERNANDEZ RAMIREZ

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE DIAMANTES E CONDIÇÕES
AMBIENTAIS DE FORMAÇÃO DOS DEPÓSITOS DA REGIÃO LA
CANDELARIA, MUNICÍPIO GRAN SABANA, FRONTEIRA
VENEZUELA-BRASIL**

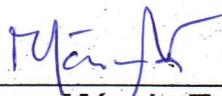
Dissertação apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Mestrado em Ciências Ambientais (Recursos Naturais) da Universidade Federal de Roraima, defendida em 04 de fevereiro de 2022 e avaliada pela seguinte Banca Examinadora:



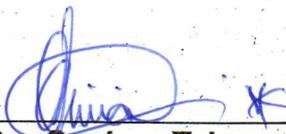
Profa. Dra. Elizete Celestino Holanda
Orientadora - Universidade Federal de Roraima/UFRR



Prof. Dr. Carlos Sander - UFRR
Membro - Universidade Federal de Roraima /UFRR



Profa. Dra. Márcia Teixeira Falcão
Membro - Universidade Estadual de Roraima/UEER



Prof. Dr. Carlos Eduardo Lucas Vieira
Membro – Universidade Federal de Roraima/UFRR

Dedico este triunfo a Deus, a minha mãe Eustaquia Ramirez, meu pai Manuel Hernandez (*in memoriam*), a minha companheira Johana Lisbeth, ao meu filho Daniel, a minha filha Valery, as minhas irmãs, Mireya e Rosa, meus irmãos, Jairo e David, e meus sobrinhos, Genesis, Ronal, e Jesus Manuel, e para todos aqueles que estiveram neste longo processo de aprendizagem e realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus o grande Mestre deste Universo por me permitir realizar este trabalho.

À Organização dos Estados Americanos (OEA) e ao Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB) por ter fornecido uma bolsa de estudos e me permitir cumprir um objetivo muito importante na minha carreira profissional.

À Universidade Federal de Roraima (UFRR) pela oportunidade proporcionada, através do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais (PRONAT) para a realização deste trabalho.

Agradecimentos especiais para a orientadora Prof^a. Dr^a. Elizete Celestino Holanda, pela incansável contribuição, apoio e ajuda durante a execução deste trabalho.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior, pelo acompanhamento e sugestões realizadas neste caminho.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais (PRONAT) por compartilhar conhecimentos.

Ao Laboratório de Paleontologia da Amazônia da Universidade Federal de Roraima, pela disponibilidade do espaço físico para a descrição das amostras.

Ao Laboratório de Informática do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da UFRR (PRONAT), pelo espaço físico.

Ao Laboratório de Microsonda Eletrônica e Análise de Imagem da Universidade Federal de Ouro Preto (MICROLAB/DEGEO/EM/UFOP), pela realização das análises de Microscopia Eletrônica de Varredura.

À minha querida mãe e meu pai, Manuel Hernandez (*in memoriam*) pela educação, incentivo e amor em todos os momentos.

À minha querida família, Yohana Gutierrez, Daniel e Valery pelo amor incondicional e suas orações, que souberam compreender os sacrifícios e ausências ao longo dessa meta .

Aos meus irmãos, Jairo, Mireya, Rosa e David pelo apoio, mesmo na distância.

Ao meu gentil amigo, Arol por todo o apoio prestado, sempre disposto e sem medir esforços para ajudar.

Aos meus sobrinhos, Genesis, Ronal Manuel e Jesus Manuel.

Aos companheiros do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais.

Ao meu amigo Domingo e sua senhora mãe Eucaris, pela amizade e a convivência que levarei comigo e valorizo grandemente.

Aos amigos e pessoas que embora não citadas de alguma forma colaboraram e incentivaram, para a realização deste trabalho.

RESUMO

O diamante é uma das várias modificações cristalográficas do carbono, refletindo sua excepcional dureza mecânica e resistência química. São inúmeras as aplicações das propriedades dos diamantes para a indústria em geral e para o setor de gemas. Os diamantes ocorrem na superfície da Terra em diferentes tipos de rochas "primárias" (não sedimentares): kimberlitos, lamproítos, lamprófiros. O objetivo da pesquisa foi caracterizar química e mineralogicamente diamantes detríticos e suas condições ambientais de formação dos depósitos da região de La Candelária, Município Gran Sábana, fronteira Venezuela-Brasil. A área de estudo situa-se em Santa Elena de Uairén na área chamada La Candelaria do município Gran Sabana do estado Bolívar, nas proximidades da fronteira entre Venezuela e Brasil. A região pertence à porção venezuelana do Escudo das Guianas, que se encontra inserida nos limites do Cratón Amazônico, onde está presente o Supergrupo Roraima. Na pesquisa foram aplicadas diversas técnicas de caracterização e descrição gemológica dos diamantes, entre elas: Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia Raman, assim como a descrição da Forma, Peso, Cor, Pureza, Dissolução, Clivagem, Marcas de Impacto, Capas e Qualificação Comercial. Os resultados mostraram que as amostras apresentaram baixa granulometria e quilatagem. No estudo morfológico predominam os cristais de forma Irregular, seguido do octaedro, cubo, geminados e agregado. Em relação à Cor, 31,50% resultaram fancy, 25% amarelado, 23% incolor-amarelado, 10,16% incolor e 10,18% pretos, com alto grau de dissolução, e em sua maioria sem marcas de impacto. Das amostras estudadas, 34,34% tem manchas verdes, 29% amarelas, 25% sem capas e 11,66% pontos verdes. De acordo com a sua pureza são cristais de qualidade não gemológica e, comercialmente, não possuem aceitação para a indústria joalheira, no entanto, na área industrial poderiam ter uma boa aceitação. As características morfológicas descritas indicam um transporte prolongado ou também que estão sujeitos a vários ciclos erosivos e de deposição.

Palavras-chave: Kimberlito. Supergrupo Roraima. La Candelaria.

ABSTRACT

Diamond is one of several crystallographic modifications of carbon, reflecting its exceptional mechanical hardness and chemical resistance. There are countless applications of the properties of diamonds for the industry in general and for the gems sector. Diamonds occur on the Earth's surface in different types of "primary" (non-sedimentary) rocks: kimberlites, lamproites, and lamprophyres. The objective of the research was to chemically and mineralogically characterize detrital diamonds and their environmental conditions of formation of deposits in the La Candelária region, Gran Sábana Municipality, Venezuela-Brazil border. The study area is located in Santa Elena de Uairén in the area called La Candelaria of the Gran Sabana municipality in the Bolívar state, close to the border between Venezuela and Brazil. The region belongs to the Venezuelan portion of the Guiana Shield, which is located within the limits of the Amazonian Craton, where the Roraima Supergroup is present. In the research, several techniques of characterization and gemological description of diamonds were applied, among them: Scanning Electron Microscopy and Raman Spectroscopy, as well as the description of Shape, Weight, Color, Purity, Dissolution, Cleavage, Impact Marks, Covers and Commercial Qualification. The results showed that the samples presented low granulometry and caratage. In the morphological study, Irregular shaped crystals predominate, followed by octahedron, cube, twin and aggregate. Regarding Color, 31.50% were fancy, 25% yellowish, 23% colorless-yellowish, 10.16% colorless and 10.18% black, with a high degree of dissolution, and mostly without impact marks. Of the samples studied, 34.34% have green spots, 29% yellow spots, 25% without layers and 11.66% green spots. According to their purity, they are non-gemological quality crystals and, commercially, they do not have acceptance for the jewelry industry, however, in the industrial area they could have a good acceptance. The morphological characteristics described indicate a prolonged transport or also those they are subject to several erosive and deposition cycles.

Keywords: Kimberlite. Roraima Supergroup. La Candelaria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Localização e vias de acesso da área de estudo.....	19
Figura 2-	Imagem OLI do Landsat 8 na composição 6R5G2B, com destaque aos pontos de amostragem.....	22
Figura 3-	Fluxograma da metodologia utilizada.....	24
Figura 4-	Fotografia de alguns cristais amostrados da área de estudo e uma das peneiras utilizadas.....	25
Figura 5-	Relevo da região onde podem ser visualizados os Tepuis Roraima e Kukenan separados por vales estreitos e colinas com inclinações suaves.....	30
Figura 6-	Hipsometria da região do Município Gran Sabana.....	31
Figura 7-	Bacia Hidrografica do Caroni.....	33
Figura 8-	Principais solos do Estado Bolívar, Venezuela.....	35
Figura 9-	Vegetação do Município Gran Sabana.....	37
Figura 10-	Províncias Províncias catrônicas do estado Bolívar Venezuela.....	40
Figura 11-	Mapa geológico do estado Bolívar- Venezuela.....	41
Figura 12-	Mapa geológico da área de estudo.....	47
Figura 13-	Ambiente de geração de kimberlitos e lamproítos, em companhia com a relação da curva do campo de estabilidade do diamante/grafita com a litosfera.....	49
Figura 14-	Esquema ilustrativo da estrutura cristalina de um diamante.....	50
Figura 15-	Fotografia representando a distribuição granulométrica dos diversos cristais de diamantes da área de estudo. (A) Amostras entre 1,00 e 1,30 mm, (B) Amostras entre 1,31 e 1,70 mm, (C) Amostras entre 1,71 e 2,00 mm e (D) Amostras maiores que 2,00 mm.....	54
Figura 16-	Cristais de diamantes estudados. (A-D) incolores, (E) amarelo escuro, (F) amarelo claro, (G) amarelo canário e (H) amarelo âmbar.....	58

Figura 17-	Cristais de diamantes fancy e pretos. (A) púrpura, (B) púrpura claro, (C) laranja, (D) roxo, (E) e (G) preto, (F) marrom e (H) âmbar.....	59
Figura 18-	Espectros de energia dispersiva nos cristais estudados.....	62
Figura 19-	Microfotografia dos cristais de diamantes. (A) Octaedro, (B) Cristal irregular com superfície dominada por <i>frosting</i> constituída de cavidades de corrosão, (C) Cristal octaedro apresentando crescimento, (D) Cristal irregular geminado com trigonos, (E) Sem faceta original com abrasão, (F) Rombododecaedro, (G) Octaedro com placas triangulares, e (H) Cristal irregular arredondado.....	70
Figura 20-	Fotografias representativas da morfologia dos diamantes. (A) Cristal de coloração marrom sem faceta original e placas triangulares, (B) Cubo, (C) Geminado, (D) Octaedro com corrosão, (E) Cristal Irregular amarelado apresentando <i>Frosting</i> e (F) Irregular com pontos verdes.....	71
Figura 21-	Espectros Raman das amostras. (A) amostra do ponto de coleta 1, (B) amostra do ponto de coleta 2, (C) amostra do ponto de coleta 3 e (D) amostra do ponto de coleta 4.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Granulometria dos diamantes estudados.....	53
Tabela 2-	Classificação dos diamantes estudados de acordo com o peso.....	55
Tabela 3-	Classificação dos cristais estudados de acordo com a sua cor.....	56
Tabela 4-	Classificação dos cristais estudados de acordo com a sua pureza.....	60
Tabela 5-	Classificação dos cristais estudados de acordo com a sua dissolução.....	63
Tabela 6-	Classificação dos cristais estudados de acordo com sua clivagem.....	64
Tabela 7-	Classificação dos cristais de acordo com suas marcas de impacto.....	66
Tabela 8-	Classificação dos cristais de acordo com suas capas.....	66
Tabela 9-	Classificação dos cristais de acordo com a Qualificação comercial.....	68
Tabela 10-	Classificação das formas cristalográficas dos cristais.....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Planilha de descrição Gemologica das Amostras.....	26
Quadro 2	Formações que compõem o Supergrupo Roraima na Venezuelana.....	45

LISTA DE SIGLAS

g	Grama
mg	Miligrama
UFRR	Universidade Federal de Roraima
PRONAT	Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais
USGS	United State Geological Service
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E VIAS DE ACESSO.....	17
1.2	OBJETIVOS.....	20
1.2.1	Objetivo Geral	20
1.2.2	Objetivos específicos	20
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
2.1	AMOSTRAGEM.....	21
2.1.1	Preparação das amostras.....	23
2.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	23
2.3	DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA.....	24
2.4	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	26
2.4.1	Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios X.....	27
2.5	ESPECTROSCOPIA RAMAN.....	27
3	CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA REGIÃO DE SANTA ELENA DE UAIRÉN, VENEZUELA.....	29
3.1	CLIMA.....	29
3.2	GEOMORFOLOGIA.....	29
3.3	HIDROGRAFIA.....	32
3.4	PEDOLOGIA.....	34
3.5	VEGETAÇÃO.....	36
4	GEOLOGIA REGIONAL.....	39
4.1	PROVÍNCIA RORAIMA.....	42
4.2	GEOLOGIA LOCAL.....	43
5	DIAMANTE.....	48
5.1	PROPRIEDADES CRISTALOGRÁFICAS.....	50
5.2	PROPRIEDADES FÍSICAS.....	51
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
6.1	DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA.....	52
6.1.1	Distribuição Granulométrica.....	52
6.1.2	Distribuição do Peso.....	55
6.1.3	Distribuição da Cor	55
6.1.4	Distribuição da Pureza.....	60
6.1.5	Distribuição da Dissolução.....	63
6.1.6	Distribuição da Clivagem.....	64
6.1.7	Distribuição das Marcas de Impacto.....	65
6.1.8	Distribuição das Capas.....	66
6.1.9	Distribuição da Qualificação Comercial	67
6.1.10	Distribuição da Forma	69
6.2	ESPECTROSCOPIA RAMAN.....	72
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
	REFERÊNCIAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

O estudo de diamantes tem sido alvo atualmente de inúmeras pesquisas desde o ponto de vista científico, tecnológico e comercial para fins diversos, já que é denominado como um mineral de grande importância e valor comercial, que tem sido objeto de exploração há milênios, cujo comércio movimentava bilhões de dólares por ano. Suas propriedades físicas o tornam um mineral próprio tanto para utilização como gema, como para material industrial. Uma das propriedades que permite a utilização do diamante nesses dois segmentos é a sua dureza extremamente alta, o que confere durabilidade à gema e o torna uma ferramenta muito eficiente na indústria de materiais cortantes e abrasivos. Adicionalmente, suas propriedades óticas, que produzem um brilho excepcional ao mineral, fazem com que o mesmo seja considerado por alguns como a gema mais bela de todas as existentes (SVIZZERO, 2006).

O Distrito Diamantífero Venezuelano está situado no Estado Bolívar, em sua porção Noroeste, nele encontram-se os depósitos da região de Guaniamo e no Sudeste os depósitos da região da Gran Sabana. Os primeiros cristais de diamante encontrados em território venezuelano provêm do Rio Caroní, na década de 1920. As primeiras descobertas diamantíferas realizadas na região da Gran Sabana datam de 1924, nas proximidades do Rio Uairén, quando se fundou em 1927 o município de Santa Elena de Uairén. Os trabalhos de exploração de diamante começaram em 1931, quando foram achados os pláceres no Rio Caroní (KAMINSKY; KHACHATRYAN, 2001).

Todas as ocorrências diamantíferas dessa região estão relacionadas com os sedimentos provenientes do supergrupo Roraima, uma extensa unidade Pré-Cambriana, constituída por conglomerados, arenitos, pelitos e diabásios que ocupam grande parte da região Sul do país e estende-se pelo Estado Roraima no Brasil. Provavelmente, a origem do diamante aluvionar esteja diretamente associada com os conglomerados basais dessa unidade (MEYER; MCCALLUM, 1993).

Em termos gerais existem três tipos principais de depósitos diamantíferos aluvionares na Venezuela. O primeiro refere-se aos sedimentos e concentrações secundárias dos leitos dos rios, o segundo compete aos aluviões das planícies baixas e antigos leitos dos rios e, finalmente, o terceiro relaciona-se aos aluviões do tipo terraços. Dos três tipos descritos, os mais explorados até a atualidade são os

associados aos rios e riachos (NEWMAN et al., 2010).

No entanto, em outras regiões na Venezuela como San Salvador de Paúl e Guaniamo, no Estado Bolívar destacam-se as explorações em planícies baixas e antigos cursos de rios. Com relação aos depósitos do tipo terraços aluvionares, pouco foi explorado até o momento, ainda que se tratem de extensas zonas muito comuns aos rios do Estado Bolívar. Deve-se ressaltar ainda que apesar de terem sido encontradas fontes primárias (kimberlitos) para o diamante da região de Guaniamo, os trabalhos de exploração são realizados exclusivamente nos depósitos secundários (CHANNER et al., 2001).

Desde 1970, diversos pesquisadores como Baptista e Svisero (1978), Calvo e Gonzalez (1992), Araujo (2000), entre outros, desenvolveram estudos abrangendo os depósitos diamantíferos do estado Bolívar (Venezuela) envolvendo aspectos geológicos e mineralógicos dos depósitos aluvionares associados aos kimberlitos que hospedam tais mineralizações. No entanto, esses estudos, em sua maioria, referem-se ao setor conhecido como Canteras El Toco, na região de Guaniamo.

As demais ocorrências de diamante da região no estado Bolívar são lavradas sob a forma de garimpo, trabalho regulado por meio de cooperativas mineiras, cujo poder de investimento em pesquisas geológicas específicas é muito restrito. Assim sendo, somente encontram-se dados disponíveis para os corpos kimberlíticos de Los Indios, Área 024, Candado e La Bicicleta, quanto para os depósitos aluviais de Quebrada Grande, Ringi-Ringi, Chihuahua e La Centella (KAMINSKY et al., 2000).

Dessa forma, considerando que a maioria dos depósitos conhecidos de diamante na Venezuela não possuem estudos específicos de caracterização mineralógica e genética dos cristais, surge a necessidade de caracterizar química e mineralogicamente os diamantes detríticos que ocorrem na região La Candelária, Município Gran Sábana no estado Bolívar, na Venezuela, que também carece destas informações. Embora algumas investigações tenham sido realizadas acerca dos aspectos geológicos e mineralógicos dos depósitos diamantíferos aluvionares da região Sudeste do Estado Bolívar, a maioria desses depósitos ainda não foram estudados e caracterizados sistematicamente. Dessa forma, a realização de estudos específicos com o intuito de caracterizar o condicionamento geológico de tais depósitos contribuirá para elucidar a origem dos mesmos, auxiliando também na correlação dos depósitos de Santa Elena de Uairén.

Outra consideração importante é a necessidade de conhecer e estabelecer parâmetros mineralógicos que sirvam como uma indicação para apontar a proveniência do mineral. Tal necessidade advém do fato que a exploração ilegal e indiscriminada dos diamantes, em muitos casos, gera graves problemas sócio-econômicos e ambientais. Este trabalho se propõe, a partir de estudos mineralógicos, geológicos e gemológicos (em parte inéditos na região), a caracterizar o diamante da região e, associados aos dados disponíveis na literatura, criar uma base de dados comparativos dessa jazida com o diamante já estudado das outras localidades ou ocorrências presentes no Estado Bolívar na Venezuela e/ou ocorrências diamantíferas do Brasil e mundiais. Os dados obtidos a partir desta pesquisa contribuirão para a determinação da procedência dos diamantes da área a ser estudada e uma possível correlação dos mesmos com os diamantes dos depósitos brasileiros.

Esta dissertação está organizada em formato de capítulos, conforme a Resolução nº 008/2017-CEPE, de 13/11/2017, sobre as Normas de apresentação dos trabalhos técnicos científicos da UFRR. Neste primeiro capítulo é apresentada a introdução referente à dissertação englobando a localização da área de estudo e os objetivos do estudo. No capítulo dois apresenta-se uma exposição detalhada dos materiais e métodos utilizados na execução deste trabalho. O terceiro capítulo refere-se à caracterização fisiográfica da região de estudo, podendo ser visualizadas em diversos mapas. Já no capítulo quatro apresenta-se uma breve descrição, recolhendo informação sobre a geologia regional e local. No quinto capítulo são detalhadas as informações das propriedades cristalográficas, propriedades físicas e composição química do diamante e um esboço do ambiente de geração de kimberlitos e lamproitos. No capítulo seis são apresentadas as discussões e resultados, produto das análises realizadas nas amostras de diamantes. As considerações finais são apontadas no capítulo sete e, por último, as referências bibliográficas.

1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E VIAS DE ACESSO

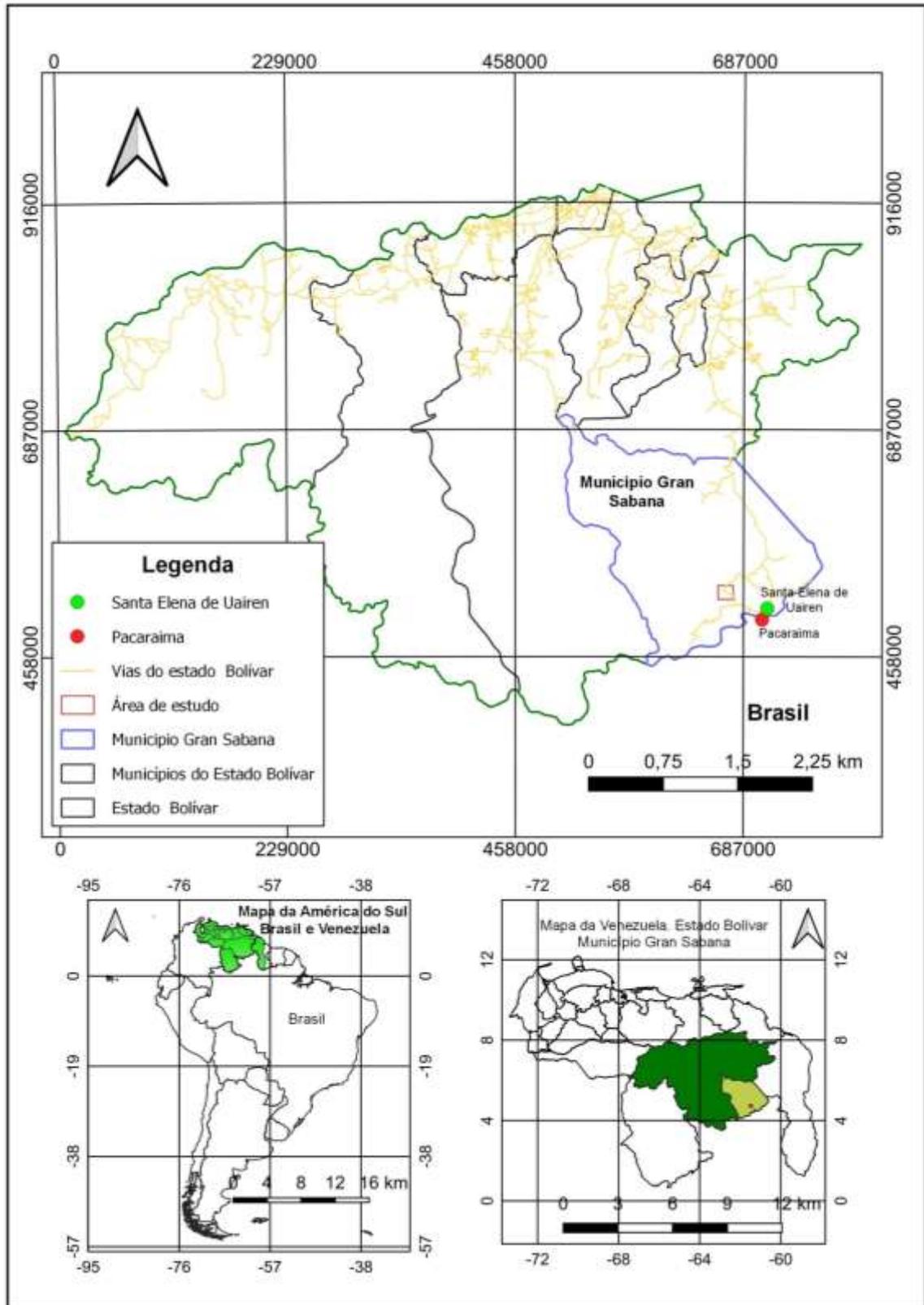
A área de estudo localiza-se na região La Candelária de Santa Elena de Uairén, cidade ao Sul do estado Bolívar, na Venezuela, capital do município Gran

Sabana, situada nos $4^{\circ} 47' 25''\text{N} / 61^{\circ} 24' 25''\text{O}$, e $4^{\circ} 39' 57''\text{N} / 61^{\circ} 24' 25''\text{O}$. Encontra-se a 907 m de altitude, a 15 km do limite fronteiro com o Brasil, representado pelo Município de Pacaraima (RR), conta com uma via de acesso principal, constituída pela estrada nacional El Dorado – Santa Elena de Uairén (Figura 1).

O acesso à área de estudo pode ser feito por meio de uma estrada não pavimentada adaptada a veículos com tração que une o povoado de Santa Elena de Uairén ao local de estudo. Existe ainda um aeroporto adequado para pequenos aviões e helicópteros que se encontra localizado na saída do povoado em direção à BV-08, fronteira entre Brasil e Venezuela.

A Lavra La Candelária encontra-se localizada nas proximidades da cidade de Santa Elena de Uairén, à aproximadamente 48 km, nas margens da estrada vicinal Santa Elena – Icabarú, nas proximidades do Rio Surucun, e entre algumas comunidades indígenas que habitam.

Figura 1 - Localização e vias de acesso da área de estudo.



Fonte: elaborado pelo autor

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 **Objetivo geral**

Caracterizar química e mineralogicamente diamantes detríticos e suas condições ambientais de formação dos depósitos da região de La Candelária, Município Gran Sábana, fronteira Venezuela-Brasil.

1.2.2 **Objetivos específicos**

- Caracterizar morfológica e mineralogicamente os cristais dos diamantes da região de La Candelaria, com base em seus aspectos óticos, morfológicos e texturais;
- Caracterizar o comportamento das propriedades químicas do diamante;
- Determinar os parâmetros da proveniência regional dos diamantes.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo será abordada a amostragem, preparação das amostras e os métodos aplicados, assim como os materiais que foram usados para o desenvolvimento da pesquisa.

2.1 AMOSTRAGEM

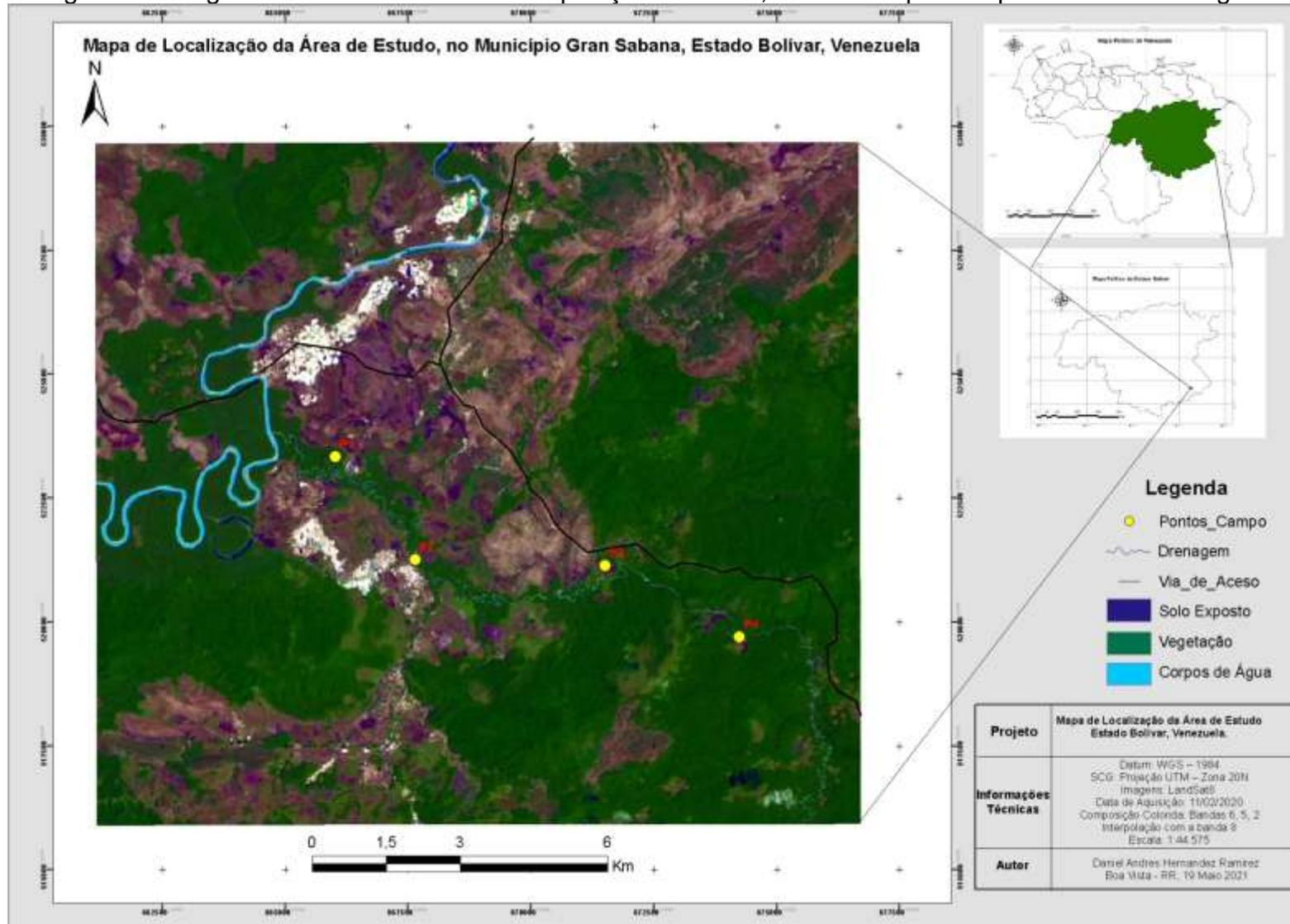
A área de coleta das amostras denomina-se La Candelária. A região de estudo está representada na figura 2 e compreende uma parte do município Gran Sabana do Estado Bolívar, Venezuela. A lavra possui uma área aproximada de 10.687,05 hectares localizada entre as coordenadas geográficas 04°47'25"N / 61°24'25"W e 4° 39' 57"N / 61° 24' 25"O.

O processo de coleta das amostras foi realizado levando em consideração quatro pontos, os quais se encontram localizados na Figura 2, representados como P1 a P4.

Esses pontos da coleta encontram-se espalhados ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Surucun, abrangendo a Zona Alta, Média e Baixa da bacia, onde existe atividade de garimpagem.

A extração do diamante na área de estudo é realizada pela Cooperativa “La Candelaria”, constituída e submetida à regulamentação através da Lei Venezuelana de mineração no Decreto nº 295 de 5 de setembro de 1999, nos Capítulos I e II desse decreto. Na exploração são utilizadas principalmente bombas de água com bico a jato nos aluviões do Rio Surucun. Também é utilizado um tipo de desmonte semimecanizado com sistema de concentração em Jigs (“resumidoras”). Essas bombas alimentam um bico-jato, que produz uma forte pressão que provoca o desmonte do material. Esse mesmo equipamento desagrega o material e auxilia no transporte do mesmo até a draga.

Figura 2 - Imagem OLI do Landsat 8 na composição 6R5G2B, com destaque aos pontos de amostragem.



Fonte: elaborado pelo auto

As amostras de diamante foram obtidas diretamente nos pontos de coleta acima relacionados, selecionados aleatoriamente sem aplicar nenhum critério de qualidade para evitar viés artificial, e onde foram separadas visualmente a olho nu, recebendo um lote total de 600 cristais de diamante. Houve um entendimento prévio com a cooperativa de mineração que tem a concessão para que as amostras fossem fornecidas. Vale ressaltar que a obtenção de informações sobre os diamantes em cada ponto de coleta envolveu uma série de dificuldades, como acesso ao local, deslocamento e problemas de segurança pessoal, devido a isso os garimpeiros não possuem grandes lotes do mineral.

As amostras foram pesadas em uma balança analítica eletrônica Mettler Toledo, com precisão de 0,0001 g, no Laboratório de Ecotoxicologia do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima. Os diamantes estudados foram classificados de acordo com o peso em cinco grupos, sendo eles: Grupo 1, quando seu peso esteve entre 0,10 a 0,30 quilates; Grupo 2, cujo peso oscilou entre 0,31 a 0,60 quilates; Grupo 3, com peso entre 0,61 a 0,90 quilates; Grupo 4, cujo peso variou entre 0,91 a 1,00 quilates e finalmente o Grupo 5, com cristais cujo peso foi igual ou maior a 1,01 quilates

2.1.1 Preparação das amostras

Para a realização das análises, primeiramente todas as amostras foram imersas em ácido fluorídrico (HF) para a eliminação de impurezas incrustadas na superfície, e antes de cada etapa foram limpas com álcool etílico a 90%.

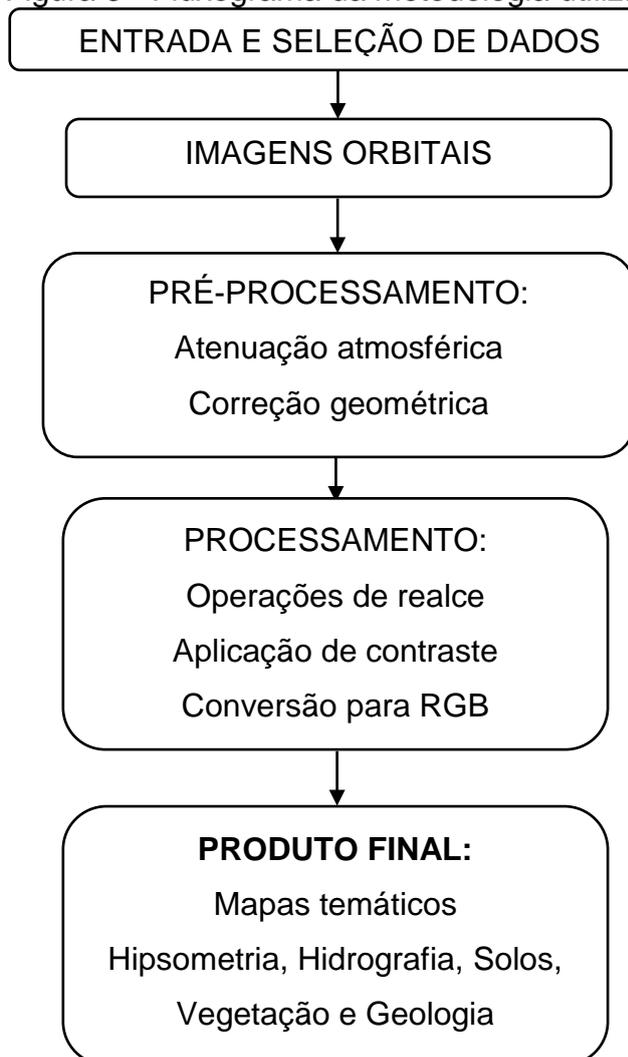
2.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS

As imagens de sensoriamento remoto foram adquiridas por meio do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), no endereço eletrônico <https://earthexplorer.usgs.gov/>, no dia 11 de fevereiro de 2020. Foram utilizadas as imagens obtidas do Sistema/Sensor OLI a bordo do satélite Landsat 8, com Resolução Espacial de 30 x 30 metros, após essas imagens foram tratadas utilizando o Programa Spring (de Livre Acesso) na sua versão 5.5.6, com a finalidade de aplicar uma correção e/ou atenuação atmosférica das imagens.

O ArcGis, versão 10.6, e o QGIS, versão 3.16.4, foram utilizados para a

elaboração dos mapas temáticos referentes, hipsometria, solos, vegetação e geologia. Esses procedimentos foram realizados no Laboratório de Informática do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima (PRONAT). Na Figura 3 é apresentado o fluxograma da metodologia utilizada no processamento das imagens de sensoriamento remoto.

Figura 3 - Fluxograma da metodologia utilizada.



Fonte: elaborado pelo autor

2.3 DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Os aspectos morfológicos dos diamantes foram descritos utilizando uma lupa Solver com luminária LED, da Marca Solver, modelo HL-500LED, com aumento da lente 8D, além de uma lupa de mão com aumento de 20x. Na pesquisa foram

selecionados 60 diamantes e fotografados no microscópio digital marca Dino-Lite modelo AM2111, pertencente ao Laboratório de Paleontologia da Amazônia da Universidade Federal de Roraima.

Em cada cristal, foram feitas descrições detalhadas e separação granulométrica, onde foram utilizadas quatro peneiras para separação por tamanho de grãos, sendo elas com os seguintes intervalos de tamanho: peneira 1, de 1,00 até 1,30 mm, peneira 2, de 1,31 até 1,70 mm, peneira 3, de 1,71 até 2,00 mm e finalmente a peneira 4, maiores de 2,00 mm, como é representado na Figura 4. Nesta etapa se utilizou as peneiras pertencentes ao Laboratório de Ecotoxicologia da Universidade Federal de Roraima.

Figura 4 – Fotografia de alguns cristais amostrados da área de estudo e uma das peneiras utilizadas.



Fonte: elaborado pelo autor

Uma vez que há uma série de aspectos físicos particulares que, analisadas em conjunto, podem favorecer o conhecimento de sua área e fonte. As propriedades que contribuem para a caracterização do diamante de um determinado depósito são: granulometria, hábito do cristal, figuras de superfície, pureza, e cor (BENITEZ, 2004). No estudo, os diamantes foram inicialmente classificados de acordo com os critérios estabelecidos e condensadas todas as informações possíveis para cada diamante (Quadro 1).

Quadro 1– Planilha de descrição Gemológica das amostras.

Número deMostra	D
A - CARACTERÍSTICAS DE 1ª ORDEM (PRIMÁRIAS)	
A1 - Forma	<input type="checkbox"/> Octa-rombod. <input type="checkbox"/> Cubo-hexatetraedro <input type="checkbox"/> Geminado <input type="checkbox"/> Irregular <input type="checkbox"/> Agregado
A2 – Peso (em quilates)	<input type="checkbox"/> 0,01–0,25 <input type="checkbox"/> 0,26–0,60 <input type="checkbox"/> 0,61–1,20 <input type="checkbox"/> 1,21–2,00 <input type="checkbox"/> >2,01
A3 - Cor	<input type="checkbox"/> Incolor <input type="checkbox"/> Incolor-amarelado <input type="checkbox"/> Amarelado <input type="checkbox"/> Fancy <input type="checkbox"/> Preto
A4 - Pureza	<input type="checkbox"/> Pur-1 <input type="checkbox"/> Pur-2 <input type="checkbox"/> Pur-3 <input type="checkbox"/> Pur-4 <input type="checkbox"/> Pur-5
A5 - Dissolução	<input type="checkbox"/> Imperceptível <input type="checkbox"/> Médio/visível <input type="checkbox"/> Dissolvido <input type="checkbox"/> Corrosão <input type="checkbox"/> Frosting
B - CARACTERÍSTICAS DE 2ª ORDEM (SECUNDÁRIAS)	
B6 – Clivagem superimposta (lascas)	<input type="checkbox"/> Intacto <input type="checkbox"/> Levementequ quebrado <input type="checkbox"/> Comquebraperceptível <input type="checkbox"/> Lasca
B7 - Marcas de Impacto	<input type="checkbox"/> Semmarcas <input type="checkbox"/> Poucase/ourasas <input type="checkbox"/> Médias <input type="checkbox"/> Muitas e/ou profundas
B8 - Capas	<input type="checkbox"/> Semcapas <input type="checkbox"/> Pontosverdes <input type="checkbox"/> Manchasverdes <input type="checkbox"/> Amarelas/marrons
B9 – Qualific. Comercial	<input type="checkbox"/> Gema1 <input type="checkbox"/> Gema2 <input type="checkbox"/> Chip <input type="checkbox"/> Indústria

Fonte: modificado de Benitez (2004).

2.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Esta técnica permite a observação e a caracterização de diferentes tipos de materiais, a partir da emissão e interação de feixes de elétrons sobre uma amostra, sendo possível caracterizá-los do ponto de vista de sua morfologia e sua organização microestrutural (DUARTE et al., 2009). O microscópio apresenta um intervalo bastante abrangente na sua escala de observação, variando da ordem de grandeza de milímetro (mm) ao nanômetro (nm). Esta técnica teve como objetivo observar com mais detalhes as superfícies dos cristais analisados.

Para a realização destas análises foi utilizado um Microscópio Eletrônico de Varredura Marca JEOL, Modelo JSM-5510, pertencente ao Laboratório de Microsonda Eletrônica e Análise de Imagem da Universidade Federal de Ouro Preto (MICROLAB/DEGEO/EM/UFOP).

Foram realizadas microfotografias de 20 amostras referentes aos 4 pontos amostrados.

2.4.1 Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios X (EDS)

A espectroscopia de energia dispersiva de raios X–EDS (espectrômetro acoplado ao MEV), foi utilizada para análise química semi-quantitativa sobre regiões de interesse das amostras, e também para realização do mapeamento com raios-X característicos dos elementos químicos eventualmente presentes na superfície dos diamantes, permitindo assim a identificação das impurezas na superfície dos cristais (DUARTE et al., 2009). A análise química por EDS foi realizada com o auxílio de um espectrômetro por dispersão de energia (EDS), acoplado ao microscópio eletrônico de varredura, pertencente ao Laboratório de Microsonda Eletrônica e Análise de Imagem da Universidade Federal de Ouro Preto (MICROLAB/DEGEO/EM/UFOP), aplicando a microanálise pontual.

Foram realizadas análises químicas por EDS em 20 amostras referentes aos 4 pontos amostrados.

2.5 ESPECTROSCOPIA RAMAN

O efeito Raman é caracterizado pela alteração na frequência de uma pequena fração da radiação incidente quando esta é espalhada por moléculas ou estruturas cristalinas. Basicamente o espalhamento ocorre através da interação das moléculas de uma amostra com uma luz monocromática eletromagnética. Nessa situação de interação, os fótons incidentes excitam a molécula que está inicialmente em um nível vibracional do estado eletrônico fundamental para um estado virtual (intermediário), do qual ela se recupera imediatamente (cerca de 10 a 14seg). (SALA, 2008).

De acordo com o mesmo autor, nesse espectro Raman a energia do fóton espalhado dá origem a uma linha chamada de “Stokes” caso que a amostra, devido à excitação térmica, já se encontrava em um nível vibracional mais elevado, o laser pode elevá-la a outro nível virtual e o decaimento ocorre para o estado fundamental. Esse resultado é denominado “anti-Stokes” que no geral é muito menos intensa que os “Stokes”, mas traz as mesmas informações sobre as características vibracionais. Esse espectro vibracional é uma característica individual de cada mineral, ou seja, uma “impressão digital” que nenhum outro material pode apresentar um espectro

igual. Sendo assim o efeito “Stokes” ocorre quando as moléculas recebem a energia no seu estado fundamental, e o “anti-Stokes” a molécula já está em estado excitado.

Segundo Das e Hendry (2011), para obter um Espectro Raman a amostra é iluminada com um laser e a luz refletida é coletada e analisada. A maioria dos minerais apresenta um espectro Raman inconfundível em poucos segundos. Porém em alguns minerais esta análise é dificultada pela resposta fluorescente muito intensa apresentada em certos minerais, podendo obliterar o espectro tênue do efeito Raman.

De acordo com Nasdala et al. (2004), a técnica é considerada uma ferramenta muito importante e que pode ser empregada na identificação de diversos minerais e pedras preciosas, pois fornece informações sobre a composição molecular, estrutura e as interações intermoleculares da amostra. Trata-se de uma técnica não destrutiva e não invasiva e que requer um preparo mínimo da amostra.

Os espectros da pesquisa foram obtidos em um espectrômetro micro Raman da Renishaw InVia do laboratório de análises Físico-Químicas do Instituto Nacional de Geologia da Venezuela. O espectrômetro possui um microscópio normal e confocal, com excitação em 785 nm e resolução espectral de $\pm 1\text{cm}^{-1}$. Sabendo que a técnica de espectroscopia Raman no estudo dos diamantes tem adquirido uma extrema importância nos últimos anos, com relação ao controle de qualidade de diamantes sintéticos e a identificação de inclusões minerais nos diamantes naturais, foram realizadas análises em 20 amostras referentes aos 4 pontos amostrados.

3. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA REGIÃO DE SANTA ELENA DE UAIRÉN, VENEZUELA

3.1 CLIMA

Koeppen (1990) classificou a região de Santa Elena de Uairén como tendo o clima Tropical úmido, isotérmico, com temperaturas máximas antes do solstício de verão, devido à sua proximidade com a Linha do Equador. A área entre Santa Elena de Uairén e Icabarú possui um clima chuvoso de selva, que se caracteriza por apresentar uma pluviosidade alta durante todo o ano.

Segundo Rivera et al. (2006), a temperatura média anual da região da Gran Sabana apresenta um regime isotérmico e pouca variabilidade anual, devido à sua localização na região tropical, onde não há variações superiores a 5 °C entre o mês mais quente e mais frio. A temperatura média anual é de 21,3 °C, com oscilação térmica de 1,8 °C. Os valores máximos de temperatura ocorrem nos meses de março e maio e os mínimos em janeiro e julho. As temperaturas médias anuais mais altas são observadas nos vales do Caroní, Akanán, Carrao, Cucurital e Antabare, apresentando o maior valor na estação meteorológica Canaima (27,4 °C).

3.2 GEOMORFOLOGIA

No Municipio Gran Sabana da região de Santa Elena de Uairén, consegue-se distinguir vários tipos de relevo, um que é relativamente plano e outro onde as principais formas observadas são serras (Tepuis) e colinas de suave inclinação, separados por numerosos vales estreitos (Figura 5). As altitudes médias variam de 500 a 1.200 m (NEWMAN, 2011).

Existem áreas de alterações que estão compostas por paredes verticais e superfícies escalonadas, cobertas por depósitos de gravidade, que formam taludes. A elevação do tipo piedemonte localiza-se aos pés das altiplanícies, circundando-as, apresenta topografia inclinada, bastante acidentada com padrão de drenagem paralelo ou dendrítico. A erosão principal é laminar, ainda que localmente apresentam-se em fissuras ou sulcos, que servem para o escoamento das águas superficiais (NEWMAN, 2011).

Figura 5 – Relevo da região onde podem ser visualizados os Tepuis Roraima e Kukenan separados por vales estreitos e colinas com inclinações suaves



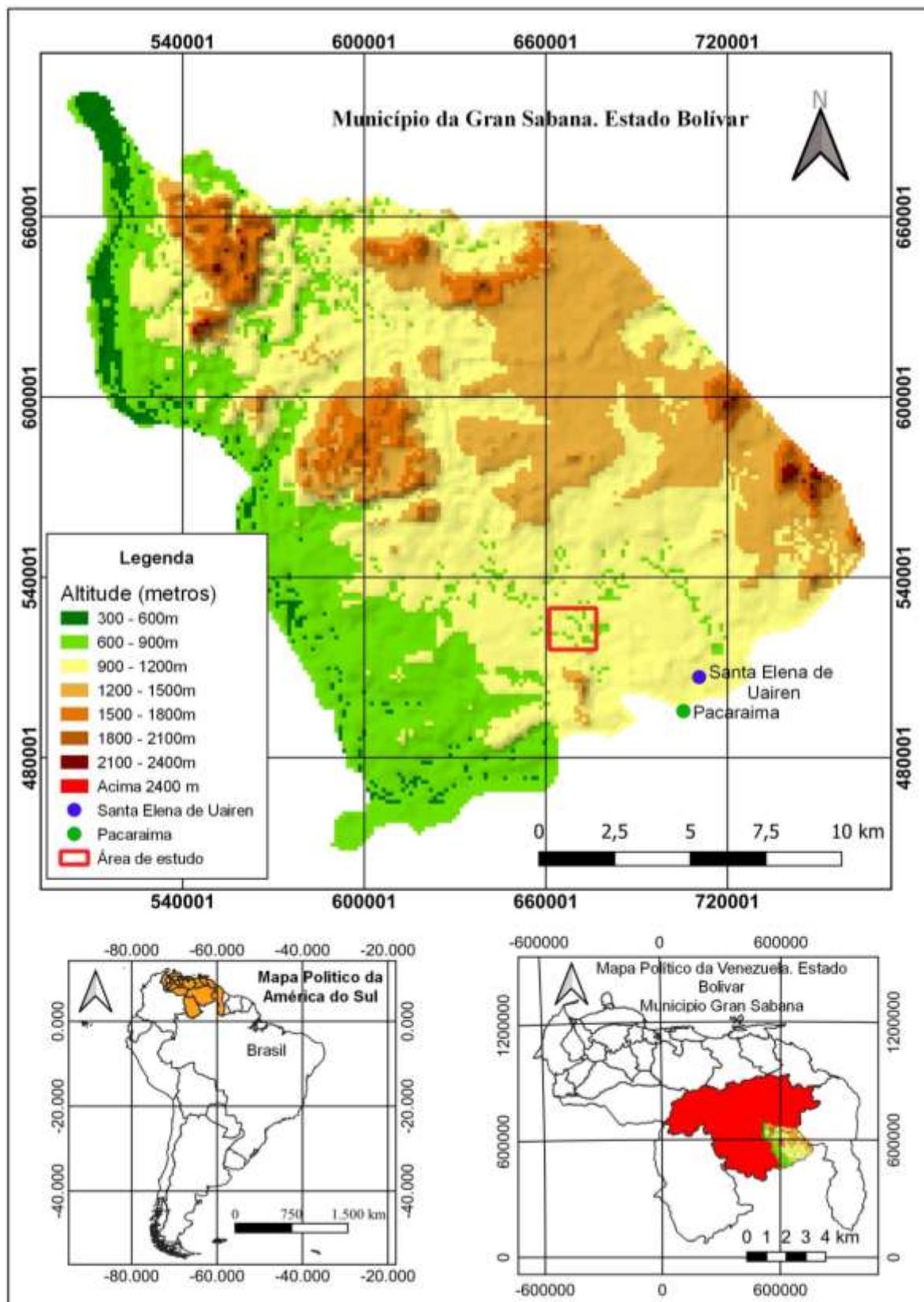
Fonte: Newman (2011).

De acordo ainda com o Senaris, Lew e Lasso (2009), do ponto de vista geomorfológico na região da Gran Sabana, estão presentes os seguintes tipos de paisagens: Montanha, Altiplano, Piedemonte, Peniplanicie e Vale.

Segundo Rivera-Lombardi (2009), as distintas superfícies de erosão reconhecidas em diferentes níveis de altitude são produto da ação de várias forças e ciclos de erosão associados a eventos climáticos e tectônicos do passado e presente que permitem distinguir uma paisagem geomorfológica, na área podemos encontrar uma paisagem caracterizada pela presença de altiplanos, colinas, sopé e vales.

No Município Gran Sabana da região de Santa Elena de Uairén, onde está localizada a área de estudo, as altitudes variam desde os 300 m a acima de 2400 m como poder ser observado na representação da elevação do terreno na Figura 6. Ela tem grandes desníveis na topografia, que criam numerosas paisagens e onde se destacam as formações tabulares de grande contraste que dominam a paisagem, chamadas pelos locais de tepuis, característicos desta região, o mais nitidamente identificável é o Monte Roraima, encontrado na maior altitude, o qual está inserido em sua grande parte na unidade de conservação Parque Nacional Canaima.

Figura 6 – Hipsometria da região do Município Gran Sabana.



Fonte: elaborado pelo autor

3.3 HIDROGRAFIA

O Caroní é o principal rio do estado, o maior afluente e grande impulsor de sua economia, cujas águas geram a maior parte da energia elétrica que é consumida. Os principais afluentes do Caroní são os rios Paragua, Aponwao, Ikabaru, Tupururén, Carvai, Tircá, Apacará, Cucurital, Urimán, Curada, Carún, Aza, El Pao, Chiguao, Tócome, Gurí, Caruachí e o belo Carrao, onde o rio Churún deposita suas águas, que por sua vez recebe as águas das Cataratas do Anjo ou Churún-Merú (SILVA, 2005).

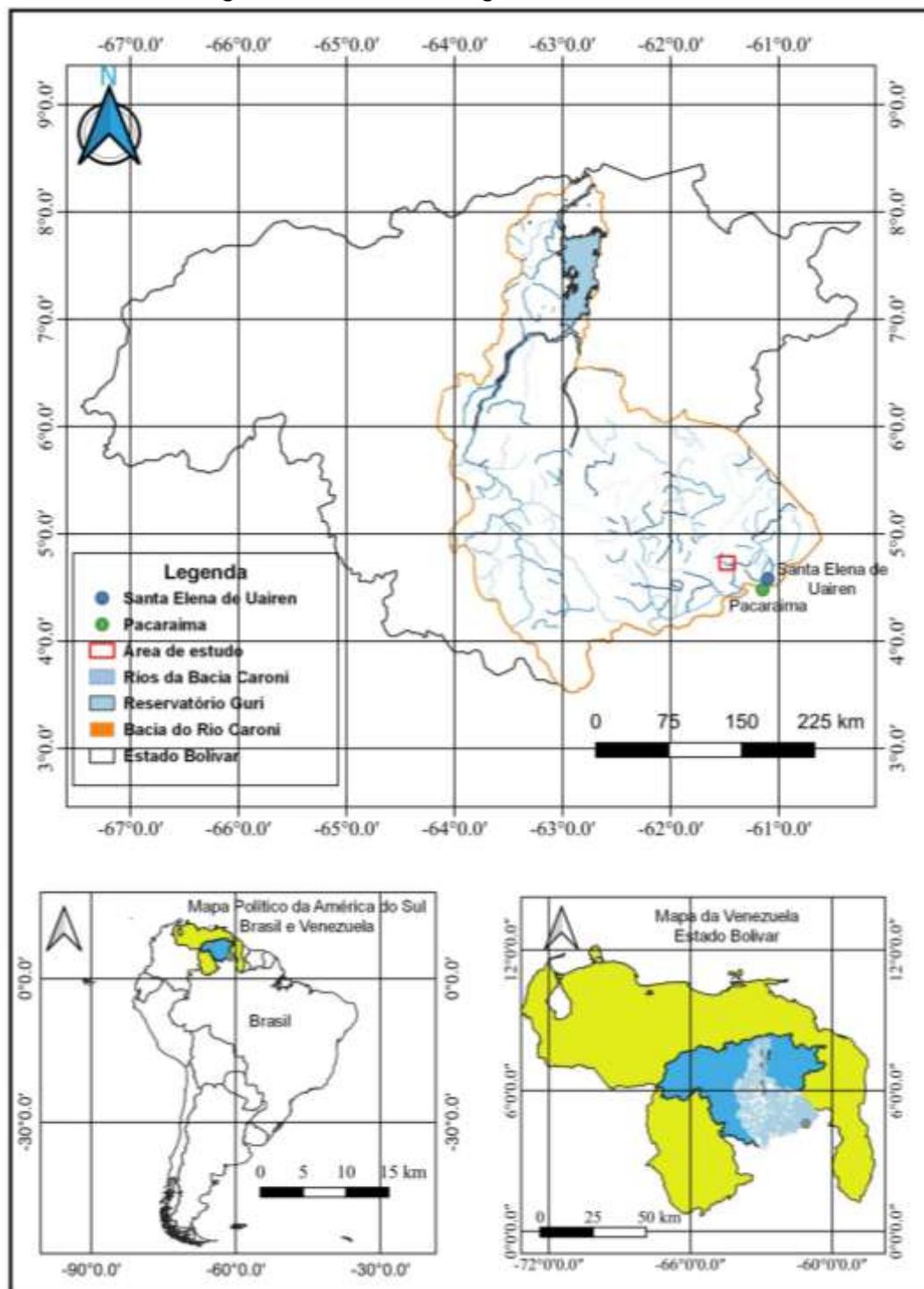
Segundo Huber (1995), a bacia do rio Caroní é drenada por dois grandes sistemas fluviais, os rios Caroní e La Paragua, ocupando uma área aproximada de 95.000 km². A bacia do rio Caroní é complexa e suas águas apresentam variações consideráveis em termos de suas propriedades físicas e químicas, uma vez que são fortemente influenciadas pela geologia, cobertura vegetal e os regimes climáticos particulares desta bacia (SILVA, 2005).

O rio Caroní é um importante afluente do rio Orinoco. É o principal curso de água da bacia que leva seu nome, apresenta 760 km de extensão, é considerado o rio com maior potencial hidrelétrico da Venezuela. Suas cabeceiras encontram-se a 2.700 m de altitude, correspondendo à parte alta da bacia do Rio Kukenan, o qual se origina nas montanhas do “tepui” Kukenan. Segundo Huber (1995), seu canal apresenta um controle geológico estrutural fluindo no sentido leste-oeste desde sua confluência com o rio Karuay, depois a noroeste desde sua confluência com o rio Ikabarú, para finalmente seguir para o norte desde sua confluência com o rio Urimán.

Segundo estudos realizados por CVG-TECMIN (1989), ao longo de todo o curso do Rio Caroní, ocorrem saltos pequenos e rápidos frequentes, devido a saltos estruturais ou alterações litológicas. Desde sua confluência com o rio Karuay até San Salvador de Paúl, comporta-se como um rio com canal consistente. De acordo com a descrição de CVG-TECMIN (1989), o rio Caroni desde o local conhecido como San Salvador de Paúl a Arekuna apresenta um controle estrutural pelas camadas de arenito do Supergrupo Roraima, cruzando a mesma fileira de arenitos por estreitas gargantas. De Arekuna a San Pedro de las Bocas, onde converge com o rio Paragua, sua hidrografia muda de um canal bem calibrado para uma drenagem anastomosada. Nesta área seu curso foi parcialmente inundado pela barragem Raúl Leoni.

No município Gran Sabana em Santa Elena de Uairén, a bacia hidrográfica do rio Caroni esta composta por 29 rios, alguns dos principais são Yuruani, Aponwao, Kukenan, Surucun, Ikabaru, Karuay, Uriman e Antabares. Na figura 7 se pode ver a Bacia Hidrográfica do Caroni (SILVA, 2005).

Figura 7 – Bacia Hidrográfica do rio Caroni.



Fonte: elaborado pelo autor

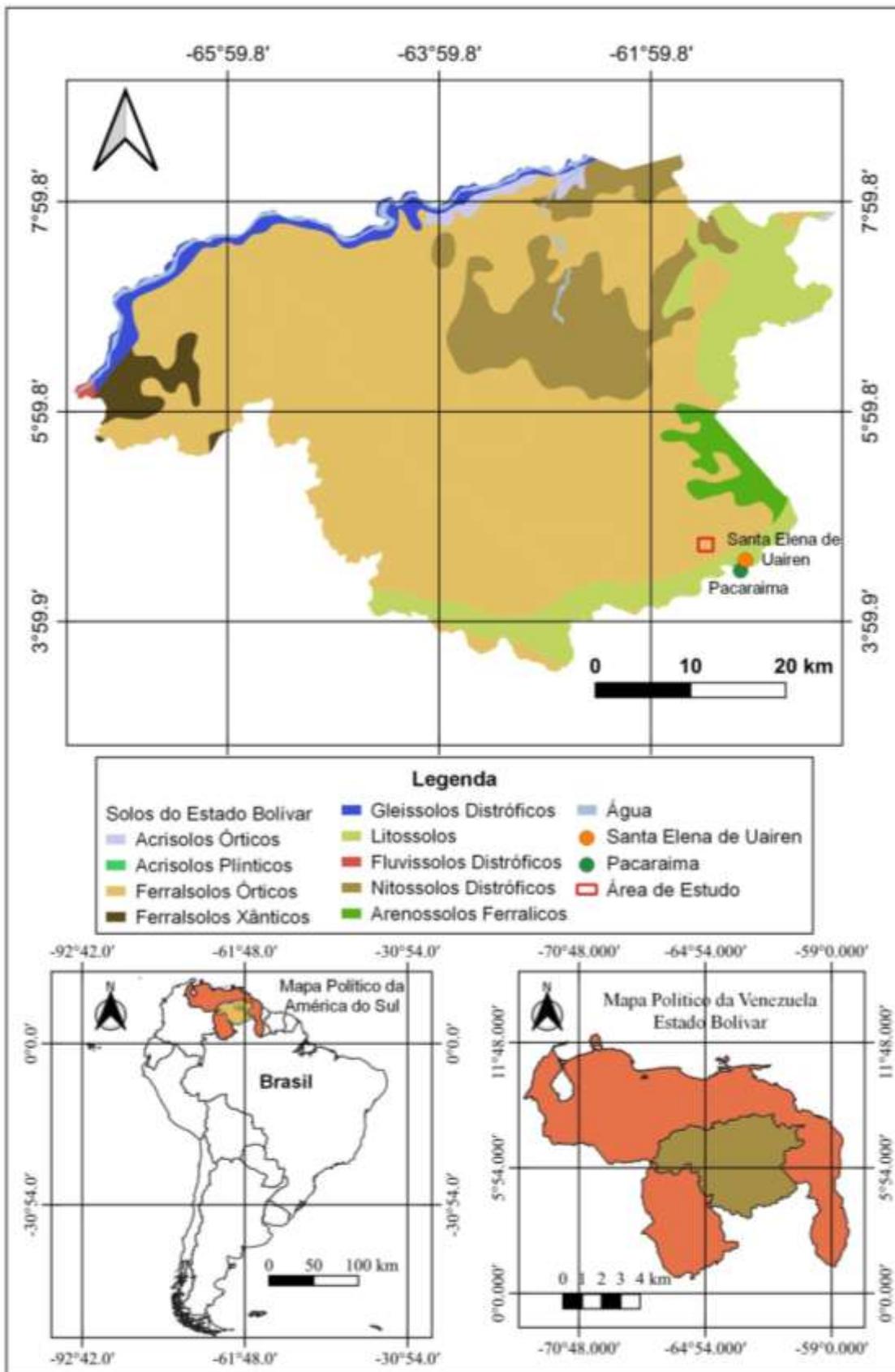
3.4 PEDOLOGIA

Graças a sua variedade de relevo, clima, flora e rochas, a Venezuela possui uma grande variedade de solos. Eles podem ser classificados de acordo com a nomenclatura de solo dos EUA ou no sistema USDA. A Venezuela tem nove dos doze tipos de solos existentes da classificação do sistema USDA: entissolos, inceptissolos, vertissolos, molissolos, ultissolos, latossolos, aridissolos, histossolos e alfissolos (CAJAL, 2017)

Os diferentes tipos de solo se formaram por meio de longos processos de alteração dos diferentes tipos de rochas, sob condições climáticas altamente variáveis, além das mudanças ocorridas ao nível da cobertura vegetal. Esses solos compreendem diferentes ordens conhecidas para latitudes tropicais, com marcada predominância de ultissolos e entissolos (SEÑARIS; LEW; LASSO, 2009).

Segundo a classificação das unidades de Solos da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 1995), a área de estudo encontra-se inserida em solos do tipo denominado de Ferralossolos Órticos (Figura 8), os quais apresentam boas propriedades físicas porém são quimicamente pobres, com baixa fertilidade natural.

Figura 8 – Principais solos do Estado Bolívar, Venezuela.



Fonte: elaborado pelo autor

3.5 VEGETAÇÃO

Devido à idade e ao avançado grau de intemperismo dos arenitos do supergrupo Roraima, os solos desta área são muito ácidos, extremamente pobres em nutrientes e, portanto, pouco férteis. Neles, uma cobertura herbácea muito característica e representativa do setor da Gran Sabana mal consegue crescer (SEÑARIS et al., 2014).

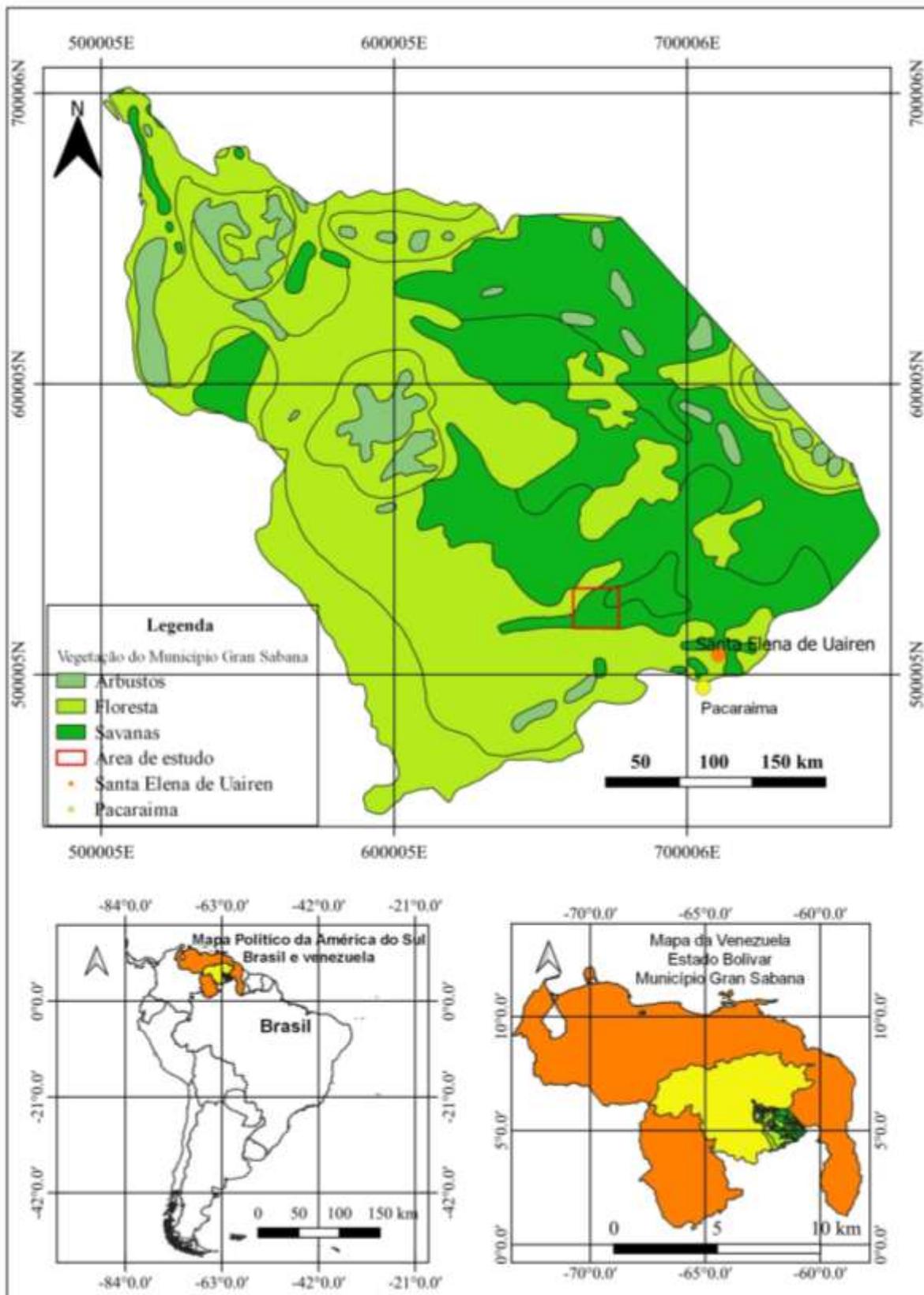
Segundo Señaris et al. (2014), outras áreas possuem solos mais ricos em materiais orgânicos e minerais que foram transportados por rios desde os tepuis, onde se desenvolvem florestas de densidades variáveis. Assim como, nesta área cuja amplitude altitudinal vai de 300 m a acima de 2.400 m, as grandes formações vegetais que a caracterizam são representadas como florestas densas e úmidas, grandes savanas abertas, arbustos isolados e pastagens.

Segundo Vargas (2015), a paisagem da região é conhecida por “Gran Sabana”, onde as áreas são densamente cobertas de gramíneas ao longo das vertentes, com alterações da vegetação nos fundos dos vales ou zonas mais úmidas, onde o lençol freático está mais próximo da superfície. A vegetação é mais aberta, com copas menores, árvores de galhos tortos, com raízes profundas para tirar a água do solo durante a estação seca.

Os tipos de vegetação presentes na região estão associados a diferentes formas de paisagem, onde densas matas e bosques alternam com densas savanas, conforme figura 9. Os bosques são encontrados em regiões montanhosas de grande altitude (950 a 2200 m), com exceção da mata de galeria do rio Icabarú, que é uma vegetação tropical localizada a aproximadamente 500 m de altitude (NEWMAN, 2011).

De acordo com as características bioclimáticas, os tipos de bosques variam de úmidos a extremamente úmidos e estão relacionados às altas taxas de precipitação que ocorrem na área, que variam de 1.500 a 3.000 mm por ano, e os bosques atingem seu maior desenvolvimento nas cabeceiras dos rios (NEWMAN, 2011).

Figura 9 – Vegetação do Município Gran Sabana.



Fonte: elaborado pelo autor

Segundo Delgado, Castellanos e Rodríguez (2009), nesta área ocorrem três tipos de vegetação (Figura 9). A primeira delas é constituída por uma matriz de savana gramínea, entrecruzada por mata de galeria e entremeada por pastagens não granuladas e arbustos submesotérmicos. Fragmentos de florestas submesotérmicas de tamanhos variados também estão presentes, que permaneceram remanescentes da floresta original. Tais elementos, juntamente com as tabulares montanhas de arenito (tepui), conferem-lhe um aspecto e uma beleza paisagística únicas. A segunda, a mais extensa, é composta por grandes áreas de floresta contínua com cobertura variável. Nesses setores florestais adjacentes, há um padrão incipiente de transformação da cobertura florestal para matagal e savana.

A terceira delas é constituída sobre as grandes superfícies planas e altas das montanhas tabulares (tepui), incorporando à paisagem do Parque Nacional Canaima. Nela, a matriz dominante é a vegetação saxícola, intercalada com pastagens, matagais e floresta nas fendas das rochas, em terreno raso. Esses ambientes foram incluídos na província fitogeográfica de Pantepui (DELGADO; CASTELLANOS; RODRÍGUEZ, 2009).

4. GEOLOGIA REGIONAL

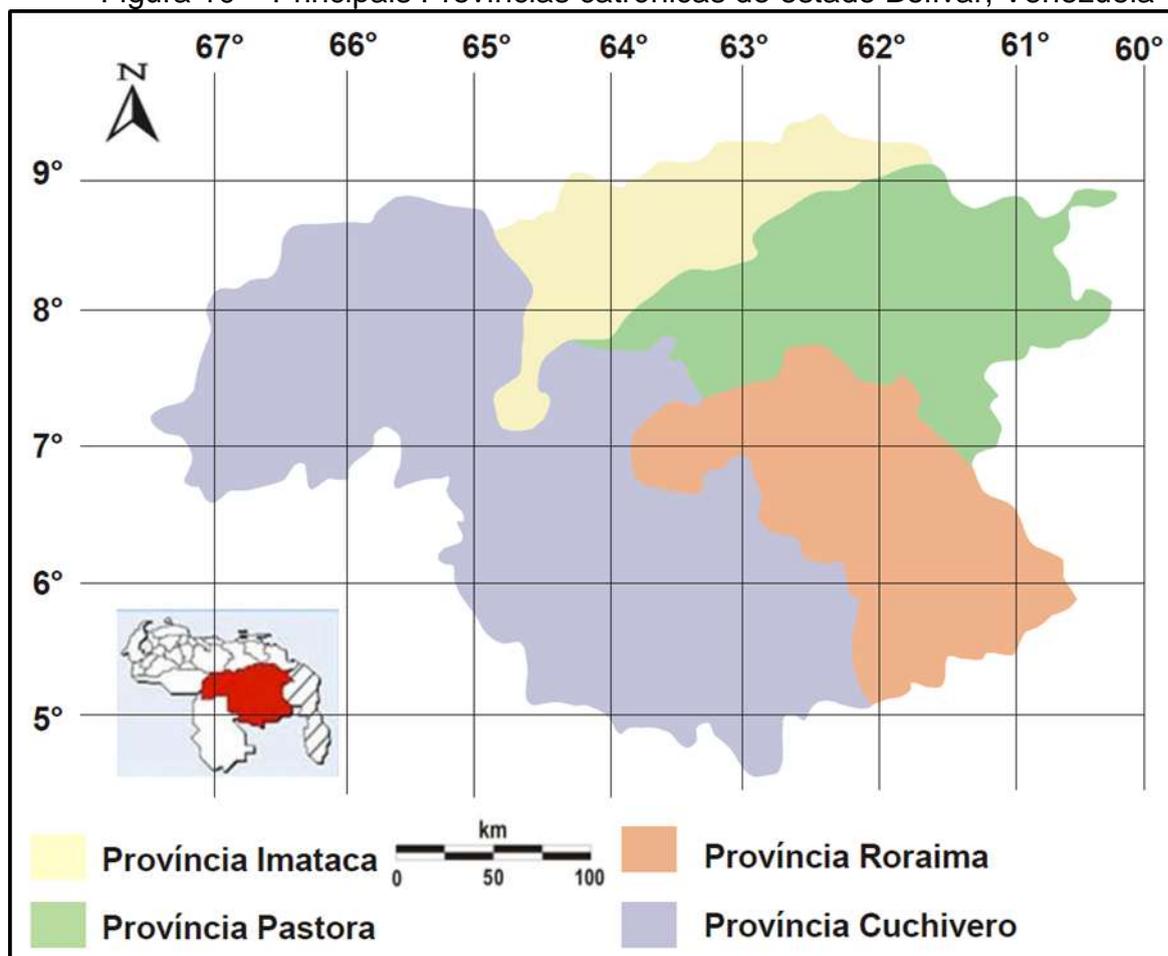
A área de estudo desta pesquisa encontra-se inserida geologicamente na Província Roraima (Figura 10), localizada na região La Candelária de Santa Elena de Uairén, estado Bolívar, Venezuela, capital do município Gran Sabana.

Todos os eventos de diamantes nesta região estão relacionados à os sedimentos do Supergrupo Roraima, uma extensa unidade Pré-Cambriana, formada por conglomerados, arenitos, pelitos e que ocupam grande parte da região sul do país. A origem do diamante aluvial provavelmente está diretamente associada aos conglomerados basais desta unidade (CASSEDANNE; CASSEDANE, 1977).

O Escudo das Guianas encontra-se inserido nos limites do Cráton Amazônico, estende-se pela Venezuela e ocupa 25% do seu território. Em sua porção Norte, o escudo está limitado pela Cordilheira Costeira Venezuelana, a Oeste pela Cordilheira Leste dos Andes colombianos, ambas representadas por Cinturões Fanerozoicos. A Leste encontra-se limitado pelo Oceano Atlântico, no entanto, até o Cretáceo, encontrava-se ligado à porção Oeste da África e suas estruturas têm continuidade no Cráton Oeste Africano. Ao Sul encontra-se separado do Escudo Brasil Central ao longo do Rio Amazonas. A base geológica do estado Bolívar é constituída por esse escudo de grande estabilidade tectônica, apresentando formas geomorfológicas do tipo Tepuys com altitude aproximada de cerca de 400 m e declives de Sul a Norte (CHANNER; EGOROV; KAMINSKY, 2001).

Geocronologicamente, as rochas mais antigas da Venezuela são encontradas no estado Bolívar e na qual se distinguem quatro províncias geológicas, a Província Imataca, a Pastora, a Roraima e a Cuchivero (Figura 10), e a geologia do estado Bolívar pode ser vista na figura 11 (PDVSA, 2014).

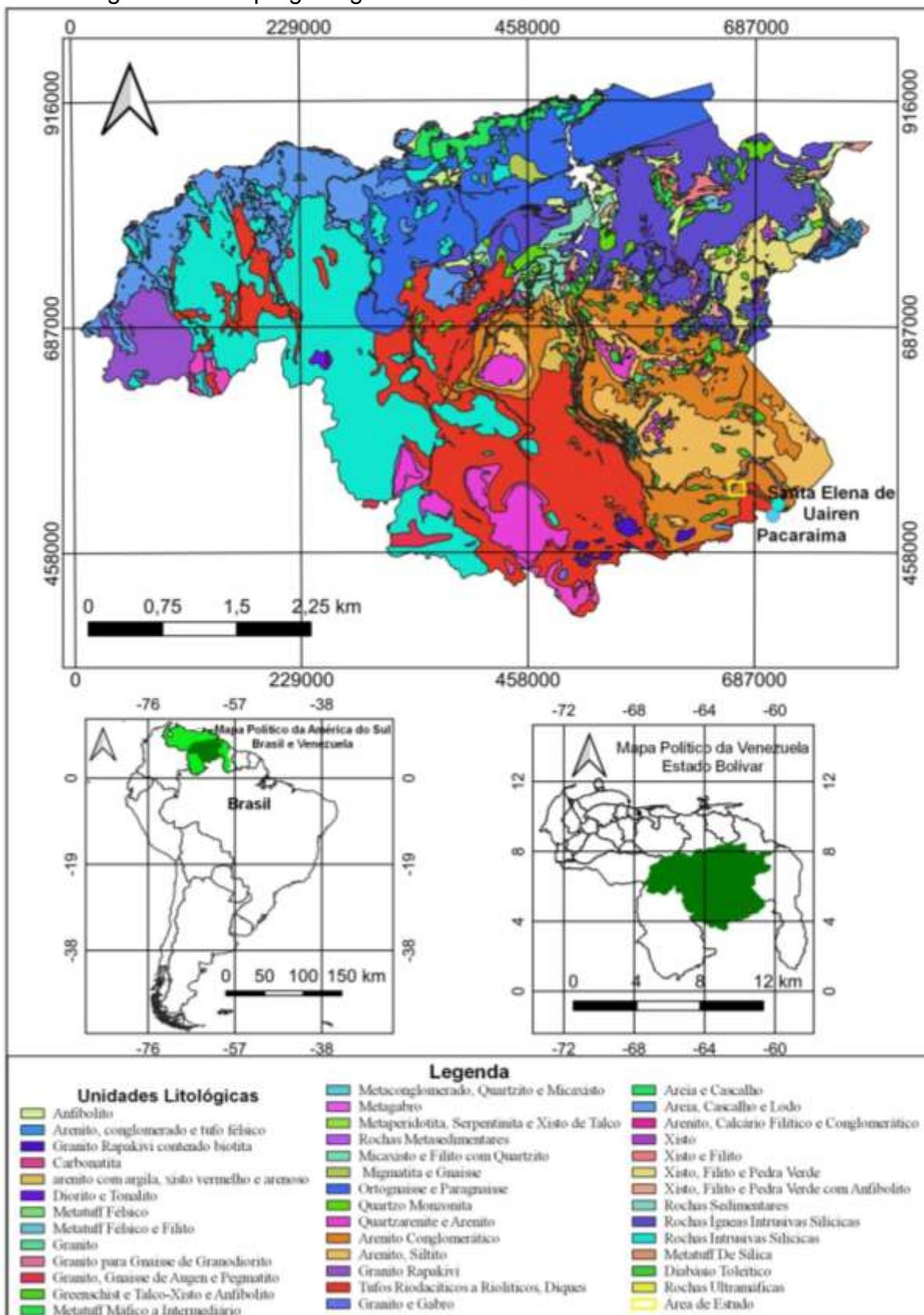
Figura 10 – Principais Províncias catrônicas do estado Bolívar, Venezuela



Fonte: modificado de CVGMINERVEN – Corporación Venezolana de Guayana Minerven C.A. (2014).

A idade das rochas varia de 3.200 a 3.700 Ma, correspondendo ao evento tectono-termal de Gurí e ainda inclui outros eventos conhecidos como: evento Imataca de idade entre 2.600 e 2.800 Ma, o evento Pré-Transamazônico, de idade entre 2.100 e 2.300 Ma e o evento Transamazônico, com idade em torno de 1.900 Ma (PDVSA, 2014).

Figura 11 – Mapa geológico do estado Bolívar- Venezuela



Fonte: Modificado do United State Geological Service, USGS (2005).

4.1 PROVÍNCIA RORAIMA

A Província Geológica Roraima onde encontra-se localizada a área de estudo alvo desta pesquisa, está dominada por maciços antigos conhecidos como as estruturas geológicas mais antigas do planeta. Com o propósito de abordar de maneira geral e didática alguns aspectos desta província. São detalhados nos seguintes parágrafos um esboço sobre sua extensão, formação, e importância econômica devido à presença de inúmeros recursos minerais na região e que são explorados economicamente

Segundo Newman (2011), a província geológica Roraima se estende desde seus limites do Parque Nacional Canaima, ao local denominado Km 95, próximo a Piedra de La Virgen, a Santa Elena de Uairén, em direção Norte-Sul e do rio Vênamo ao rio Paragua. Esta província é formada por rochas do Supergrupo Roraima, com diabásios e rochas quartzo e dioríticas (Associação Avanero).

A Província Roraima foi originalmente descrita como formação por Brown e Sawkins (1875). Esses sedimentos pré-cambrianos localizados na região limite da Venezuela com a Guiana e o Brasil, foram posteriormente designados como a Série Roraima por Dalton (1912). Mais tarde, Tate e Hitchcock (1930) descrevem-na no Monte Duida, no Território Federal Amazonas, atualmente estado Amazonas (PINHEIRO; REIS; COSTI, 1990) o considerando como parte do Supergrupo Roraima.

O Supergrupo Roraima faz parte do Bloco Sedimentar Pacaraima, formando uma área contínua de rochas sedimentares que cobrem cerca de 73.000 km² do escudo da Guiana, sendo parte da Venezuela, Brasil e Guiana (BENAIM, 1972).

Tassinari e Macambira (2004) realizaram uma subdivisão das províncias geocronológicas, sendo que o Bloco Sedimentar Pacaraima faz parte da Província de Maroní-Itacaiúnas com idades entre 2,2 e 1,9 Ga. Porém, segundo Santos et al. (2006), esse bloco pertence à Província Tapajós-Parima com idades que variam entre 2,03 e 1,88 Ga.

Os sedimentos do Supergrupo Roraima foram depositados durante todo o Período Orosiriano da Era Paleoproterozoica, com idades máxima e mínima de 1,95 e 1,78 bilhões de anos, respectivamente. Estudos realizados por Santos et al. (2003) em zircões de tufos da Formação Uaimapué, utilizando U-Pb SHRIMP, produziram

uma idade de 1873 ± 3 Ma.

Reis et al. (2013) e Santos et al. (2003) conseguiram descrever por geocronologia U-Pb, usando baddeleyita e zircão de duas soleiras máficas, a idade mínima do Supergrupo Roraima de 1795 ± 2 Ma, sugerindo a possibilidade de dois pulsos de magmatismo durante o Evento Avanavero.

Muitas das rochas sedimentares de Roraima ocorrem dentro do Bloco Sedimentar Pacaraima, embora possam ser traçadas em grandes áreas da Venezuela, Brasil, Guiana e Suriname, como sugerido pela presença de outliers em Urutanim, Uafaranda, Tepequém, Makari e Tafelberg (REIS et al., 2017). No entanto, acredita-se que algumas dessas montanhas sejam semelhantes a Roraima e se sobreponham a rochas vulcânicas com idades de 100 milhões de anos mais jovens que as dos grupos Surumu e Burro-Burro como na bacia de Urupi, na parte Nordeste do estado do Amazonas. Da mesma forma, as Montanhas Neblina e Padre (Noroeste do Amazonas) cobrem uma porção muito mais jovem que o Supergrupo Roraima. A Formação Surucucus (Noroeste do estado de Roraima) tem uma idade pós-Parguaza e contém uma população mais jovem de zircões clásticos em 1551 ± 5 Ma (REIS et al., 2013).

4.2 GEOLOGIA LOCAL

A região de Santa Elena de Uairén está representada pelo Supergrupo Roraima, com evolução ao longo do período Orosiriano (2050-1800 Ma) do Paleoproterozoico.

A bacia de Roraima foi interpretada por Pinheiro, Reis e Costi (1990) como uma configuração de falha formada durante uma fase tectônica extensional em que o evento geral NS foi responsável pelo desenvolvimento de falhas normais de EW e falhas de transferência. Ele forma uma bacia assimétrica de geometria romboédrica controlada por falhas NW-SE. Durante os tempos do episódio de K'Mudku, a bacia experimentou uma inversão positiva fraca envolvendo a reativação de falhas normais de avanço e as falhas de transferência como rampas laterais. Na borda Sul da bacia, nas proximidades das falhas de EW, as rochas do Supergrupo Roraima ocorrem em dobras escalonadas, no entanto, em direção ao centro da bacia, nenhuma deformação de suas unidades rochosas é registrada, o que levou a preservações de suas principais relações estratigráficas (REIS et al., 2017).

A bacia de Roraima, ao longo da fronteira Sul do Bloco Sedimentar Pacaraima, de forma discordante, cobre rochas vulcânicas do Grupo Surumu e da Formação Iwokrama (Grupo Burro-Burro) nos terrenos brasileiro e guianense, respectivamente, formando uma faixa de tendência alongada de EW. Essas rochas mostram uma foliação milonítica proeminente, que foi atribuída à deformação regional da crosta durante o episódio de K'Mudku por volta de 1,2 Ga (SCHNEIDER et al., 2013).

Segundo Pinheiro, Reis e Costi (1990), não foram observados contatos entre as rochas sedimentares do Supergrupo Roraima com os granitoides comagmáticos das rochas vulcânicas dos grupos Surumu e Burro-Burro. Na base do Supergrupo de Roraima, onde as rochas sedimentares eram localmente dobradas, elas apresentam apenas traços de metamorfismo de baixo grau nas fácies dos zeólitos. O metamorfismo térmico está sempre presente ao longo do contato dos corpos intrusivos da Avanavero.

A primeira correlação estratigráfica integrada entre Brasil e Venezuela da cobertura sedimentar de Roraima foi desenvolvida por Reis e Yánez (2001) que propuseram de baixo para cima: A Formação Arai, seguida pelo Grupo Suapi (Formações Uiramutã, Verde, Pauré, Cuquenán e Quinô), a Formação Uaimapué e a Formação Matauí. Esses últimos autores também deixaram de usar os termos Nicarã e Uailã e introduziram o termo Uiramutã.

Ao longo da fronteira venezuelana, nas proximidades da cidade de Santa Elena de Uairén, as rochas do supergrupo Roraima foram descritas consistindo predominantemente em uma sequência suavemente dobrada de arenito de grão fino a muito grosseiro, com conglomerado subordinado e arenito, por sua vez, cortados por uma soleira dolerítica (LONGO, 2002; REID, 1972).

O Supergrupo Roraima caracteriza-se pela presença de sedimentos de origem continental com espessura aproximada de 2.600 m, os quais se encontram intrudidos por diques, sills e lacólitos de diabásio. As rochas que a compõem são, principalmente, arenitos arcóianos, quartzitos, conglomerado, pelitos e tufas ácidas de aspecto jasperóide, que se encontram suavemente dobradas formando amplos sinclinais e anticlinais com eixos aproximadamente N-S. É comum nessa sequência a presença de estruturas sedimentares do tipo marcas de ondas, estratificação cruzada e canais de erosão (LONGO, 2002; REID, 1972).

Reid (1973) dividiu o Supergrupo Roraima, do lado Venezuelano na região

de Santa Elena de Uairén, em quatro formações, com uma sequência, da mais antiga a mais jovem: Uairén, Cuquenán, Uaimapué, Mataui (Quadro 2).

Quadro 2– Formações que compõem o Supergrupo Roraima na Venezuela.

Formação	Descrição	Idades
Uairén	Composta por conglomerados e arenitos com estratificação cruzada, alguns pelitos e uma camada superior fina (2-4 m) de laterita hematítica (850 m de espessura).	Idades U-Pb SHRIMP e convencional disponíveis em zircões clásticos da Formação Arai, indicam valores na ordem de 2.0 - 2.1 Ga (GAUDETTE et al., 1996).
Cuquenán	Constituída por pelitos de cor variável, posicionando-se de maneira discordante à formação Uairén (50-100 m de espessura).	Sem datações.
Uaimapué	Representada por uma sequência de conglomerado basal, gradando para cima a arcósio vermelho, com intercalações do jaspe e Ftanitas vulcânicas (vermelhas e verdes) com estratificação cruzada (250 m de espessura).	Estudos realizados por Santos et al. (2003) em zircões de tufos da Formação Uaimapué, utilizando U-Pb SHRIMP, produziram uma idade de 1873 ±3 Ma.
Matatui	Compreendida por arenitos de granulação fina, com abundantes estruturas sedimentares (600 m de espessura).	A idade da Formação Matauí, ainda não foi estabelecida, dentro dele. Vários autores consideraram a presença de uma inconformidade regional entre as unidades superior e inferior do supergrupo Roraima (SANTOS et al., 2003)

Fonte: PDVSA (2014).

Segundo Reis et al. (2000), há correspondência litoestratigráfica e similar arranjo paleoambiental das rochas sedimentares do Supergrupo Roraima, tanto na Venezuela como no Brasil, permitindo sugerir a aplicação e extensão do termo supergrupo para a região venezuelana, em atenção a hierarquia de sua subdivisão e seções. Na figura 12 se pode ver a geologia da área de estudo.

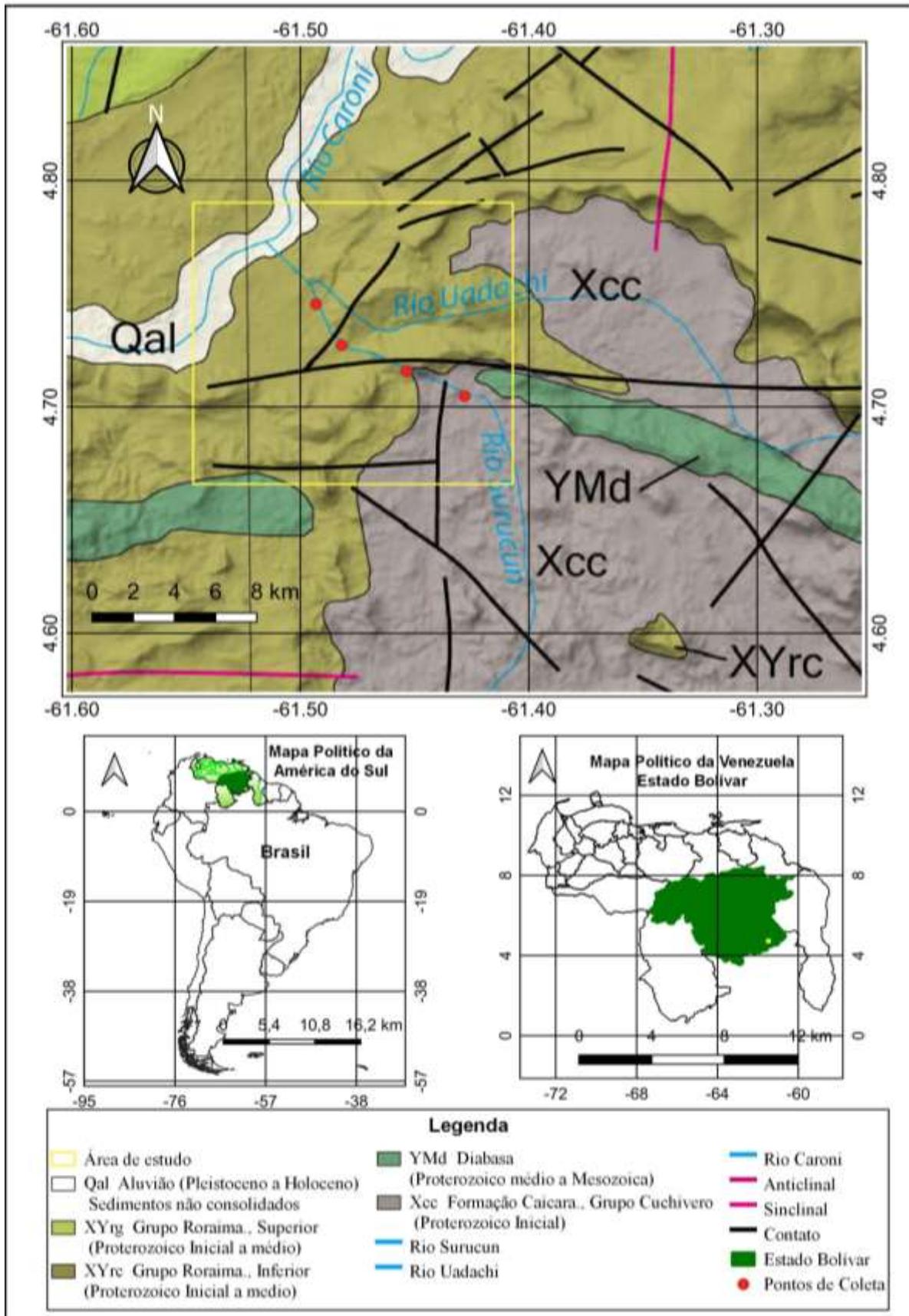
Na área do mapa podemos observar os pontos amostrados e evidenciar a

grande predominância do Supergrupo Roraima (Superior e Inferior) pertencentes ao Proterozoico inicial a médio, além de isso encontra-se a presença da Formação Caicara (Grupo Cuchivero) do Proterozoico Inicial. Esta última, foi originalmente classificada por McCandless (1965) como a Série Ígnea de Cuchivero, que engloba as rochas ígneas ácidas expostas na região noroeste do Estado Bolívar. A Formação Caicara é basicamente um conjunto de rochas predominantemente ácidas.

A litologia é bastante uniforme na área dos afloramentos. Segundo Ríos (1972), é constituída por lavas tobáceas e brechas ácidas de cor cinza escuro e granito fino, micro e macroporfirítico, moderadamente a extremamente foliado, dobrado e falhado. Apesar de tal deformação, a estratificação ígnea original e as estruturas de fluxo são facilmente reconhecidas. O Granito Santa Rosalía é maciço a semi-foliado, plutônico de grão médio a muito grosso, geralmente equigranular, constituído essencialmente por quartzo (29% em volume), feldspato-peritita potássio (35,5%), plagioclásio: oligoclásio (26%); biotita marrom pleocróica (2%); hornblenda (4%), acessórios e minerais secundários (titânita, apatita, epidoto, clorita, opacos e outros). O Granito San Pedro poderia ser equivalente aos intrusivos ácidos menores na área do Rio Cuchivero (RÍOS, 1972). O Granito Guaniamito é um granito gnáissico, porfirítico e de granulação grossa, composto de quartzo (10 - 30%), biotita (1 - 8%), feldspato alcalino (65%) e hornblenda (0 - 4%), ± titanita, zircão, ± apatita e minerais.

Em menor proporção na área de estudo é caracterizada pela presença de diabásio do Proterozoico médio ao Mesozoico.

Figura 12 – Mapa geológico da área de estudo



Fonte: Modificado do United State Geological Service, USGS (2005).

5. DIAMANTE

O nome diamante deriva do grego antigo, ἀδάμας (adámas), que significa “inquebrável, inalterável”, e é uma das várias modificações cristalográficas do carbono (ORLOV, 1977). Devido às suas características únicas, o diamante é dos minerais mais valiosos economicamente. São muitas as aplicações das propriedades do diamante para a indústria em geral e para o setor da joalheria.

Os cristais de diamante são amostras diretas de processos físico-químicos que atuam no interior da Terra. Os principais depósitos primários de diamantes conhecidos são de natureza kimberlítica ou lamproítica. Ambos os tipos de rocha são raros e correspondem a erupções de material originado no manto terrestre (BENITEZ, 2009). Kimberlitos e lamproítos seriam formados pela cristalização de magmas híbridos (ou secundários), em parte diferenciados a partir de magmas primários, peridotítico ou eclogítico, sendo descritas como rochas fontes no diamante (MITCHELL; BERGMAN, 1991).

Os kimberlitos são rochas ígneas, ultrabásicas, potássicas ricas em voláteis (H_2O e CO_2), constituídas principalmente por olivina, flogopita, calcita, serpentina, diopsídio, monticelita, apatita, espinélio titanífero, cromita e ilmenita. Uma das características dos kimberlitos é o baixo teor de Na_2O (KIRKLEY; GURNEY; LEVINSON, 1991).

Os lamproítos são rochas ígneas, peralcalinas e ultrapotássicas (6 a 8% de K_2O) e muito mais enriquecidas em elementos traços que os kimberlitos (Zr, Nb, Sr, Ba e Rb). No entanto apresentam uma grande variedade composicional que os difere daqueles, principalmente pela presença de richterita, leucita, sanidina, wadeíta e priderita. Vidro vulcânico e um conteúdo relativamente baixo de calcita também são característicos de lamproítos (MITCHELL, 1995).

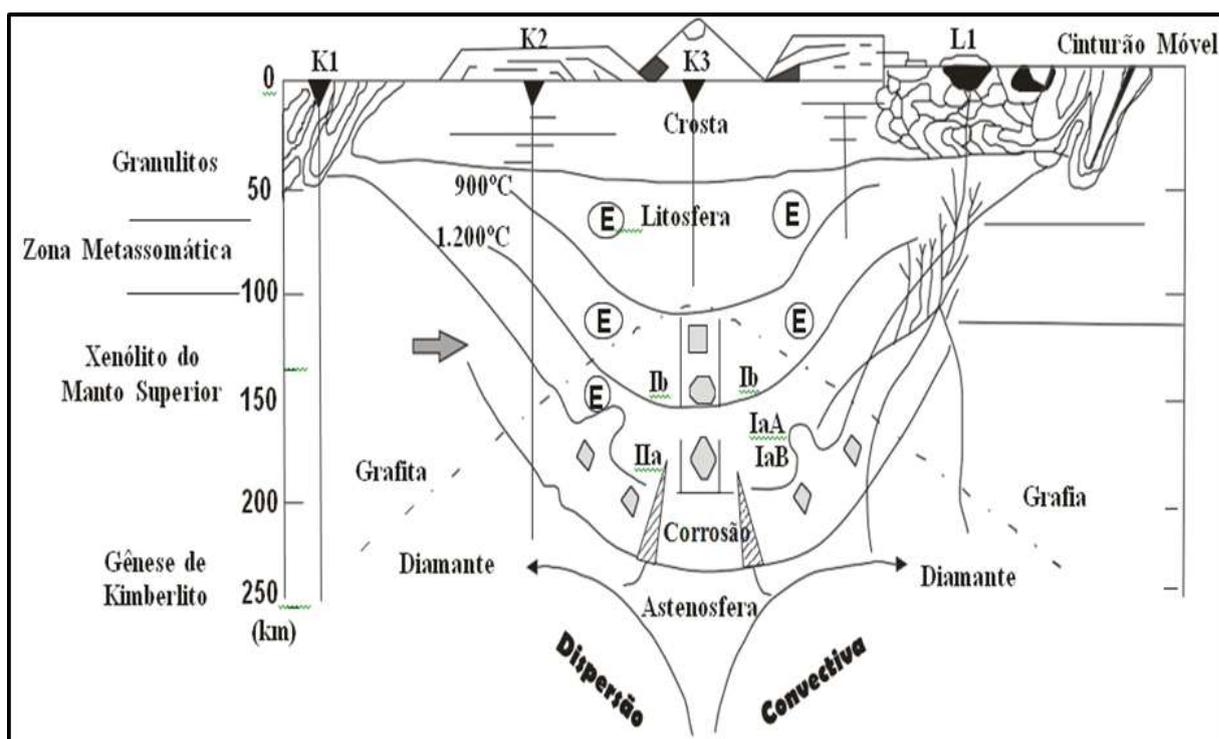
Kimberlitos ou lamproítos, são singulares fontes conhecidas de diamantes primários economicamente extraordinários, contêm composições mineralógicas pouco estáveis sob condições de superfície. Assim, acontecem alterações de intemperismo na maioria de seus minerais, que são transportados pela água em sistemas de drenagem, dando origem a depósitos diamantíferos secundários (CHAVES; CHAMBEL, 2003).

Segundo Haggerty (1986), os kimberlitos e lamproítos ascendem à

superfície em quatro climas geotectônicos diferentes, denominados K1, K2, K3 e L1 (HAGGERTY, 1986) como esta ilustrada na figura 13.

Os cones vulcânicos kimberlíticos são mais fechados em comparação a lamproítos possuindo altura vertical menor (aproximadamente 500m) e forma uma grande taça. Com relação aos diâmetros em superfície, os kimberlitos variam em torno de algumas centenas de metros, ocorrendo em alguns casos, com diâmetro de 1,5km como, por exemplo, os pipes de Orapa e de Mwadui. Enquanto que uma chaminé lamproítica pode alcançar até 3 km de diâmetro (Figura 13).

Figura 13 – Ambiente de geração de kimberlitos e lamproítos, em companhia com a relação da curva do campo de estabilidade do diamante/grafita com a litosfera. Os condutos K1, K2 e K3 são típicos para kimberlitos. L1 representa o conduto para lamproítos.



Fonte: Haggerty (1986).

O diamante é um mineral de alta estabilidade e resistência aos processos químicos e físicos atuantes e, portanto, pode ser transportado sobre longas distâncias desde sua rocha matriz, até que processos de sedimentação permitam novamente retê-los em armadilhas apropriadas (CHAVES; CHAMBEL, 2003).

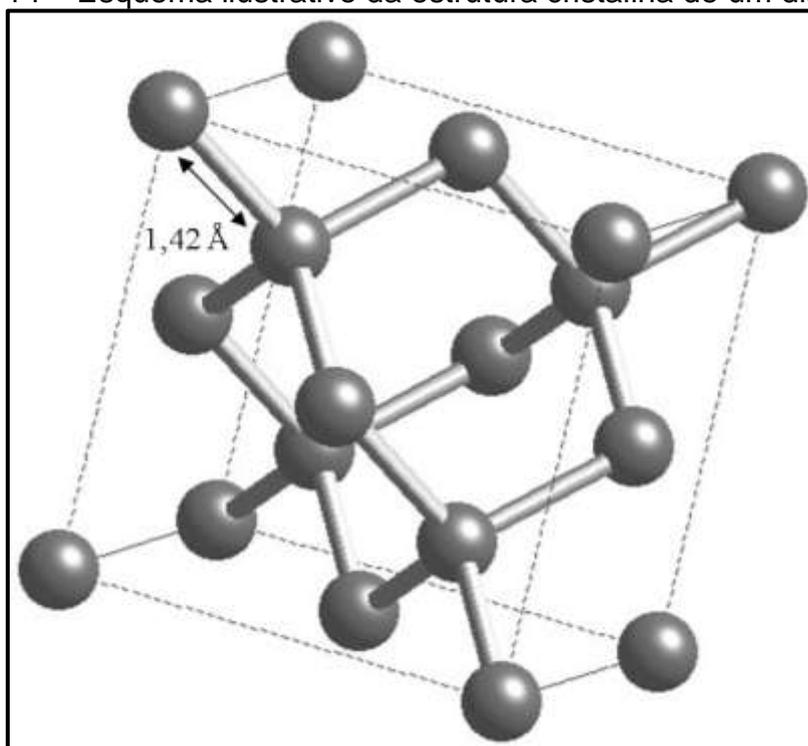
5.1 PROPRIEDADES CRISTALOGRÁFICAS

Todos os aspectos estruturais, geométricos e químicos são funções diretas da cela unitária.

O diamante é um mineral que se cristaliza no sistema cúbico, geralmente em hábitos dodecaedros, octaedros, rombododecaedros, às vezes, cubos ou outras formas, podendo mostrar arestas e faces curvadas (SVIZZERO, 2006).

A malha cristalina do diamante pode ser representada por um arranjo de tetraedros formados de quatro átomos de carbono, cada um ligado aos outros e circundado, por sua vez, de outros quatro, conforme pode ser observado na Figura 14, onde as esferas representam os átomos de carbono. Os traços representam as ligações entre os átomos. A linha pontilhada representa a célula unitária cúbica do diamante (ANDERSON, 1988).

Figura 14 – Esquema ilustrativo da estrutura cristalina de um diamante.



Fonte: Ribeiro (2014)

Segundo Svisero e Haralyi (1985), as formas de geminação de cristais de diamantes são originadas devido a processos complexos de dissolução que agem de forma direta sobre os cristais durante a sua cristalização no manto.

5.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

Talvez, dentre de todas as propriedades de diamante, a cor seja a mais importante, pois a valorização dos cristais dependendo muito dessa propriedade. O diamante é incolor em seu estado ideal, porém, além das várias tonalidades de amarelado (extremamente comuns), são reportadas espécies de todas as colorações, tais como: branco-leitoso, amarelo-canário, laranja, rosa, violeta, verde, azul, marrom e preto. Segundo diversos pesquisadores existem algumas causas no que se refere as diferentes cores apresentadas nos diamantes e que serão tratadas no próximo capítulo deste trabalho, dentre essas causas as mais conhecidas são atribuídas à presença na estrutura do diamante de impurezas de boro e hidrogênio, assim como a presença de micro inclusões, além de efeitos de radiação geral de forma natural ou induzida.

Dentre as demais propriedades físicas, o diamante apresenta clivagem octaédrica, densidade relativa de $3,52 \text{ g/cm}^3$, brilho adamantino, dureza de 10 na escala de Mohs, fratura conchoidal e traço incolor. Em relação à diafanidade, são cristais transparentes, translúcidos e opacos.

Os cristais de diamantes são compostos de carbono, esses cristais são formados a partir da adição e repetição de átomos de carbono. Porém, estes carbonos estão conectados por ligações químicas curtas e bastante fortes, conhecidas como ligações covalentes, que são forças que mantêm átomos não metálicos juntos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados neste capítulo os resultados e discussões das diversas técnicas e métodos aplicados na pesquisa para o estudo da caracterização mineralógica dos diamantes.

6.1 DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Para a descrição morfológica dos diamantes foi analisada uma população de 600 amostras procedentes de quatro pontos de amostragem.

6.1.1 Distribuição granulométrica

O resultado da análise granulométrica está representado na Tabela 1, onde foi observado o predomínio da fração granulométrica de 1,00 até 1,30 mm, composta por 232 cristais, representando 38,66% da amostragem. Na Figura 15 observa-se a separação por tamanho de grãos na distribuição granulométrica dos cristais de diamantes da área de estudo.

A granulometria dos diamantes estudados revelou nos diferentes pontos de amostragem a existência de uma distribuição polimodal, adversa com o padrão unimodal, aparentemente existente em kimberlitos. Sabe-se que esse comportamento polimodal certamente estaria indicando a presença de mais de uma fonte kimberlítica ou a aparição de sedimentos diamantíferos retrabalhados, que fornecem cristais de diamantes para os depósitos estudados.

Foi observado que o tamanho relativamente pequeno dos cristais que ocorrem na área de estudo espelha as condições do ambiente de cristalização, podendo estar relacionado à razão de crescimento, à duração do evento de cristalização ou simplesmente à flexibilidade de carbono nos diferentes ambientes de crescimento do diamante.

Tabela 1- Granulometria dos diamantes estudados.

Peneira nº	Diâmetro (mm)	n	%
1	1,00-1,30	232	38,66
2	1,31-1,70	132	22,00
3	1,71-2,00	99	16,5
4	> 2,00	137	22,83
Total		600	100

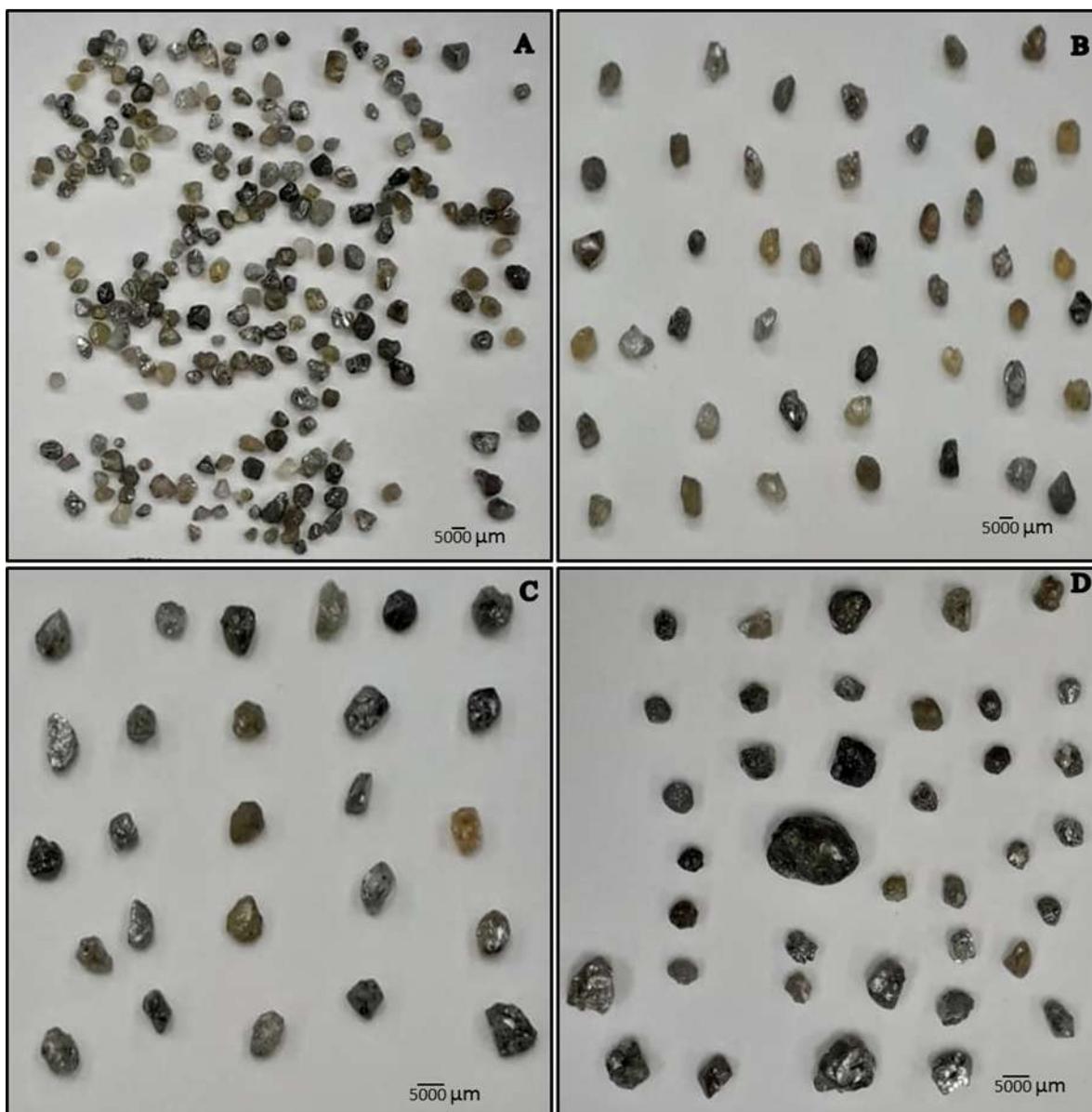
Fonte: elaborado pelo autor

De acordo com Otter, McCallum e Gurney (1994), que estudaram diamantes do Complexo Kimberlítico Sloam da Província de Colorado-Wyoming, nos Estados Unidos de América, devido à dissolução ou fraturamento, os cristais de diamante sofrem uma perda no seu tamanho natural (tamanho primário). Segundo esses autores, a distribuição do tamanho alcançado no peneiramento retrata o tamanho secundário, após a reabsorção dos cristais.

De acordo com Filemon (2005), a distribuição granulométrica é uma propriedade física que pode auxiliar na caracterização dos diamantes, além de fornecer informações sobre as fontes primárias envolvidas e subsequentemente, o processo da reabsorção durante a colocação da intrusão kimberlítica ou lamproítica, na qual é proporcional a área da superfície do diamante.

Segundo Rombouts (1994), mediante a variação da granulometria do diamante é subdividida em dois grupos sendo eles: os cristais que possuem dimensões inferiores a 1 mm, chamados de microdiamantes e os que apresentam dimensões igual ou superior a 1 mm, denominados de macrodiamantes. De acordo com o autor, o conhecimento da presença desses tipos de diamantes é muito importante no que diz respeito a avaliação do teor de material mineralizado e na conformação de diamantes em um pipe (alcalino) kimberlítico ou lamproítico. A determinação precisa da composição unimodal ou polimodal da distribuição granulométrica do diamante permite compreender a contribuição primária nos processos de concentração em depósitos secundários.

Figura 15 – Fotografia representando a distribuição granulométrica dos diversos cristais de diamantes da área de estudo. (A) Amostras entre 1,00 e 1,30 mm, (B) Amostras entre 1,31 e 1,70 mm, (C) Amostras entre 1,71 e 2,00 mm e (D) Amostras maiores que 2,00 mm.



Fonte: elaborado pelo autor

6.1.2 Distribuição do peso

Os cristais de diamantes estudados aqui foram classificados em cinco grupos em função de seu peso (Tabela 2).

Nesses cristais analisados foi observado um predomínio de amostras inclusas no Grupo 1, com 52,66% do total das amostras, seguidamente o Grupo 2, com 25,16%, logo os cristais com peso entre 0,61 e 0,90 quilates, com 11,16% do total de amostras, após o grupo representativo de cristais entre 0,91 e 1,00 quilates que representa 8,5% e, em menor proporção, os cristais localizados no grupo >1,01 quilates, que representaram 2,5% da amostragem total (Tabela 2).

Tabela 2- Classificação dos diamantes estudados, de acordo com o peso.

Grupo	Peso (Quilates)	n	%
1	0,10 a 0,30	316	52,66
2	0,31 a 0,60	151	25,16
3	0,61 a 0,90	67	11,16
4	0,91 a 1,00	51	8,5
5	≥1,01	15	2,5
Total		600	100

Fonte: elaborado pelo autor

6.1.3 Distribuição da cor

Para a definição e classificação das cores das amostras estudadas foram utilizados critérios visuais de identificação da cor, sendo que foram utilizados os seguintes parâmetros ou escala de cor: incolor, incolor–amarelado, amarelado, fancy e preto (Figuras 16 e 17).

Os diamantes conhecidos como fancy incluem as cores azuis, amarelos, verdes, rosas, vermelhos, laranjas, púrpura, castanhos, marrons e de muitas outras cores.

Nos cristais analisados (Tabela 3), foi observada uma predominância de amostras inclusas na cor fancy com 31,50% do total das amostras, pela cor amarelada com 25,00%, os cristais incolor–amarelados com 23,16% do total das

amostras, após os cristais incolores com 10,16% e em menor proporção os cristais de cor preto, que representam 10,18% da amostragem total.

Tabela 3- Classificação dos cristais estudados de acordo com a cor.

Cores	n	%
Incolor	61	10,16
Incolor–amarelado	139	23,16
Amarelado	150	25,00
Fancy	189	31,50
Preto	61	10,18
Total	600	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

A cor no diamante pode ocorrer por diversos motivos, como impurezas, deformação ou irradiação. A maioria dos diamantes tem traços amarelos ou marrons, mas podem ter cores fortes, vistosas e variadas. Esses diamantes chamados de fancy são muito valorizados no mercado e seu valor depende de sua raridade e beleza. A cor observada no diamante é geralmente o resultado da interação de várias cores que se combinam (BORGES, 2013).

Segundo Benitez (2009), a cor do mineral é resultado de uma série de condições físicas e químicas que dependem da absorção seletiva da luz por ele transmitida ou refletida. No diamante, essa característica só fica mais evidente quando o mineral é incolor em seu estado ideal, porém, além dos vários tons de amarelo, são relatadas espécies de todas as cores.

De acordo com Filemon (2005), o diamante puro e bem cristalizado, não tem cor própria, e sua origem pode estar relacionada pela presença de impurezas e defeitos cristalinos, resultando em cristais praticamente em todas as cores e inúmeras tonalidades. Diamantes amarelos, incolores e marrons predominam na maioria dos depósitos de diamantes. O nitrogênio, boro, hidrogênio e inclusões minerais determinam a cor dos diamantes e podem indicar diferentes condições do ambiente de crescimento do diamante.

Magaña et al. (2018), indicaram que a maioria dos diamantes coloridos recebem suas características de cor no seu processo de formação. Para os autores, as impurezas de nitrogênio, boro, níquel e hidrogênio produzem cores amarelas,

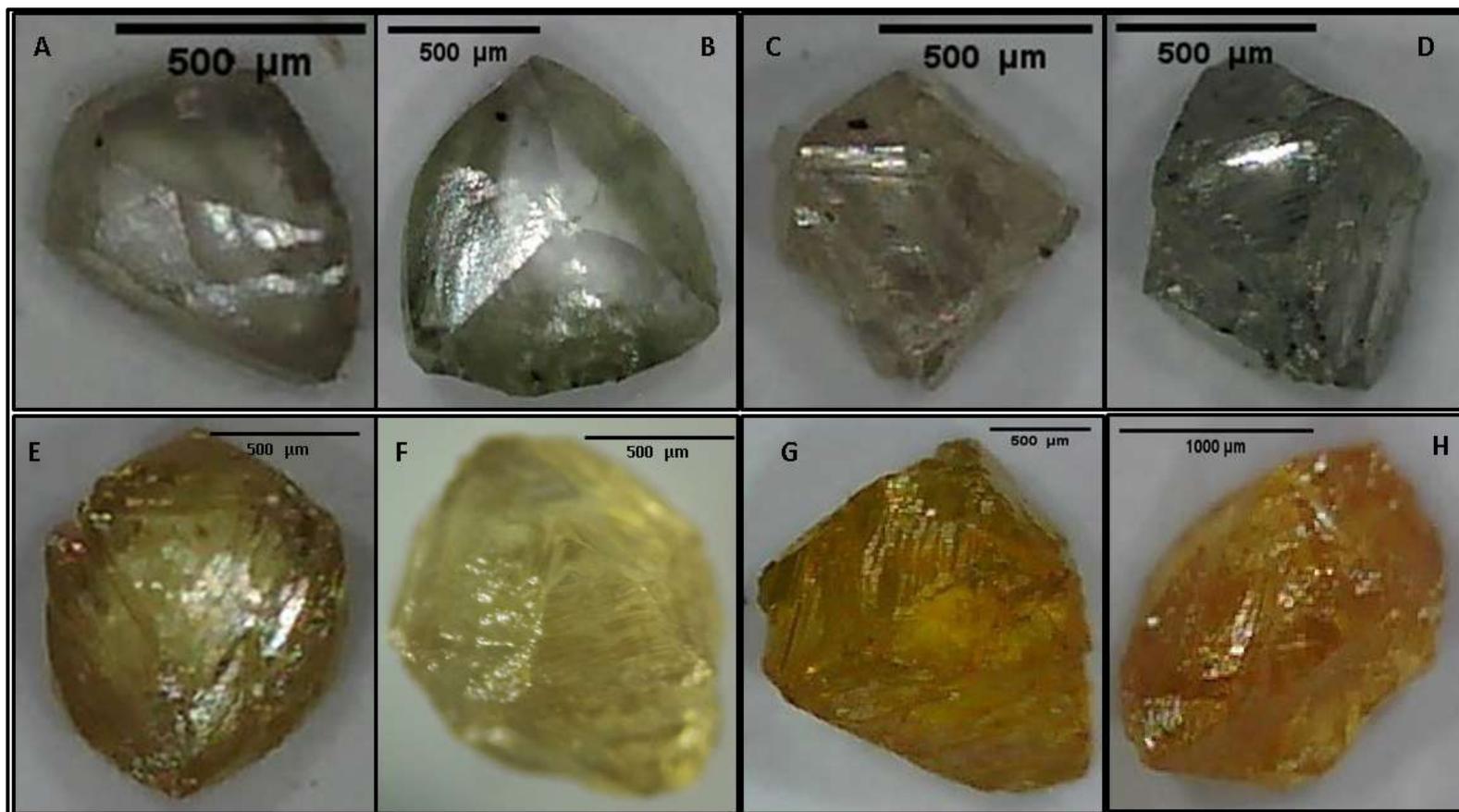
verde-amareladas, violetas e azuis, enquanto que a presença de microinclusões abundantes podem gerar cores pretas e brancas. Logo, após de atingir a superfície da Terra, os cristais de diamante podem ser expostos à radiação onde existe a possibilidade de formar outras variedades de cor, exemplo do azul ao verde. No entanto, a grande maioria dos diamantes rosa naturais coloridos e que são característicos por apresentar a banda de absorção de 550 nm são produzidos através de processos de deformação em profundidade.

Segundo King, Moses e Wang (2006), sobre as causas da cor em cristais de diamantes, apenas os considerados incolores ou que têm uma cor amarelo pálido ou marrom são classificados de acordo com a escala de cores D-Z do Instituto Gemológico de América (GIA). Porém, diamantes com saturação de cores fracas a claras de outros tons são considerados "cores fancy". Para King et al. (2008), a descrição dos graus de cor, são mais difíceis para o olho nu de diferenciar as sutis alterações de matiz para diamantes de cores muito claras do que para diamantes mais saturados

Magaña et al. (2018) salientam que uma das principais causas da cor tem a ver com vários defeitos estruturais como as chamadas "Lamelas de Deformação Coloridas". Já que são observadas em muitos diamantes marrons, rosa e roxo, onde a cor é concentrada dentro de faixas paralelas estreitas referidas como "grão marrom", "grão rosa" ou planos de deslizamento, ou alternativamente como um termo mais geral para "Lamelas coloridas".

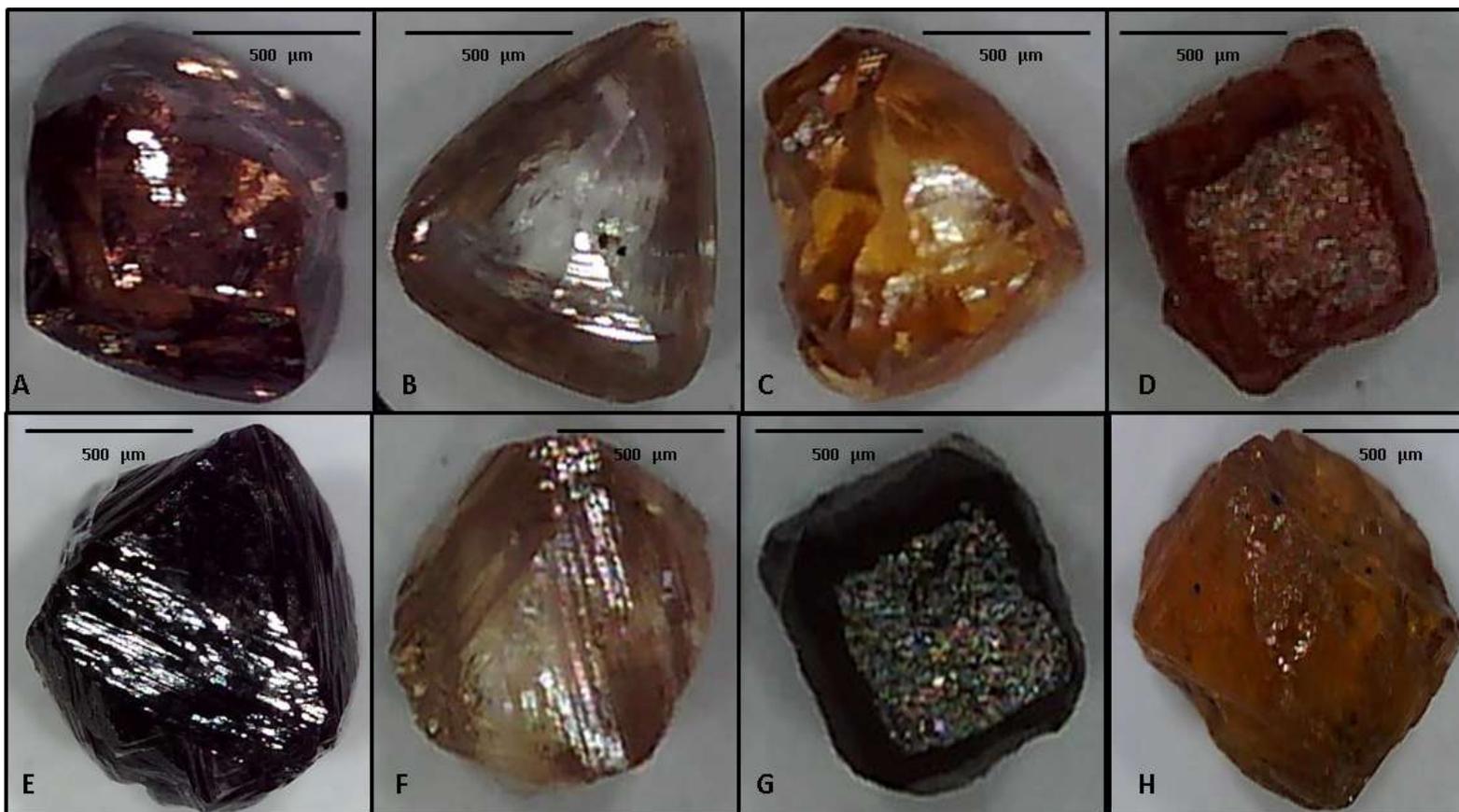
Os mesmos autores propuseram que em muitos diamantes, essas lamelas de deformação estão intimamente associadas com a cor marrom, rosa ou roxa; essas cores também podem aparecer uniformemente em todo o diamante ou de forma irregular. Devries (1975) e Brookes e Daniel (2001) afirmaram que essas lamelas coloridas são causadas por tensão de cisalhamento e deformação plástica natural. A deformação para estruturar essas folhas só ocorre durante a permanência prolongada dos diamantes em alta temperatura $>900^{\circ}\text{C}$, sejam no manto ou durante a erupção do kimberlito na direção da superfície da Terra.

Figura 16 – Cristais de diamantes estudados. (A-D) incolores, (E) amarelo escuro, (F) amarelo claro, (G) amarelo canário e (H) amarelo âmbar.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 17 –Cristais de diamantes fancy e pretos. (A) púrpura, (B) púrpura claro, (C) laranja, (D) roxo, (E) e (G) preto, (F) marrom e (H) âmbar.



Fonte: elaborado pelo autor

Para a classificação comercial do diamante bruto, adotam-se os mesmos critérios para classificar a cor no diamante lapidado, estabelecido pelas normas da Hoge Raad Voor Diamant (HRD), Confederation Internationale de la Bijouterie, Joiallerie e Orfèverie des Diamantes et Pierres (CIBJO) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 2015).

6.1.4 Distribuição da pureza

A pureza das amostras estudadas foi distribuída em 5 classes denominadas pureza de 1 a 5, salientando-se que, nesta classificação da pureza das amostras analisadas, os tipos de inclusões e manchas não foram especificados.

Foi observado um predomínio de amostras com pureza 5, com 38,16% do total, seguida de amostras de pureza 4, com 34,00%, logo os cristais de pureza 3 com 18,33% do total, cristais de pureza 2 com 8,33% e, em menor proporção, os cristais de pureza 1, que representaram 1,16% da amostragem total (Tabela 4).

Tabela 4- Classificação dos cristais estudados de acordo com a sua pureza.

Pureza	Descrição da pureza	n	%
1	Cristais totalmente livres de inclusões	7	1,16
2	Cristais com pequenas inclusões, mas que podem ser encontradas com a lupa de 10X.	50	8,33
3	Cristais que possuem inclusões evidentes à lupa de 10X, mas difíceis de ver a olho nu.	110	18,33
4	Cristais que apresentam inclusões grandes, muito fáceis de serem vistas a olho nu.	204	34,00
5	Cristais de qualidade não gemológica. Apresentam muitos defeitos (denominado como tipo industrial).	229	38,16
Total		600	100

Fonte: elaborado pelo autor

No que se refere à classificação e separação gemológica dos diamantes brutos deve-se levar em consideração a caracterização de aspectos como a pureza.

Segundo Benitez (2009), as inclusões minerais presentes nos diamantes são um dos principais meios para entender sua gênese, além de permitir ter uma ideia das fases minerais e condições termodinâmicas presentes no manto superior do

planeta. Em termos práticos, a identificação de inclusões também permite a separação de diamantes naturais de diamantes sintéticos.

Segundo Renfro et al. (2018), ao realizar algumas observações gemológicas sob ampliação, as características visíveis mais ressaltantes nos diamantes são as inclusões minerais (cristais), sendo as inclusões minerais mais comuns às granadas, olivinas, clinopiroxênios, e vários minerais de sulfeto, identificados por sua aparência e espectros Raman distintos.

Além da morfologia descrita pelo MEV foram levados em consideração os resultados da química semi quantitativa proporcionada pela técnica (Figura 18).

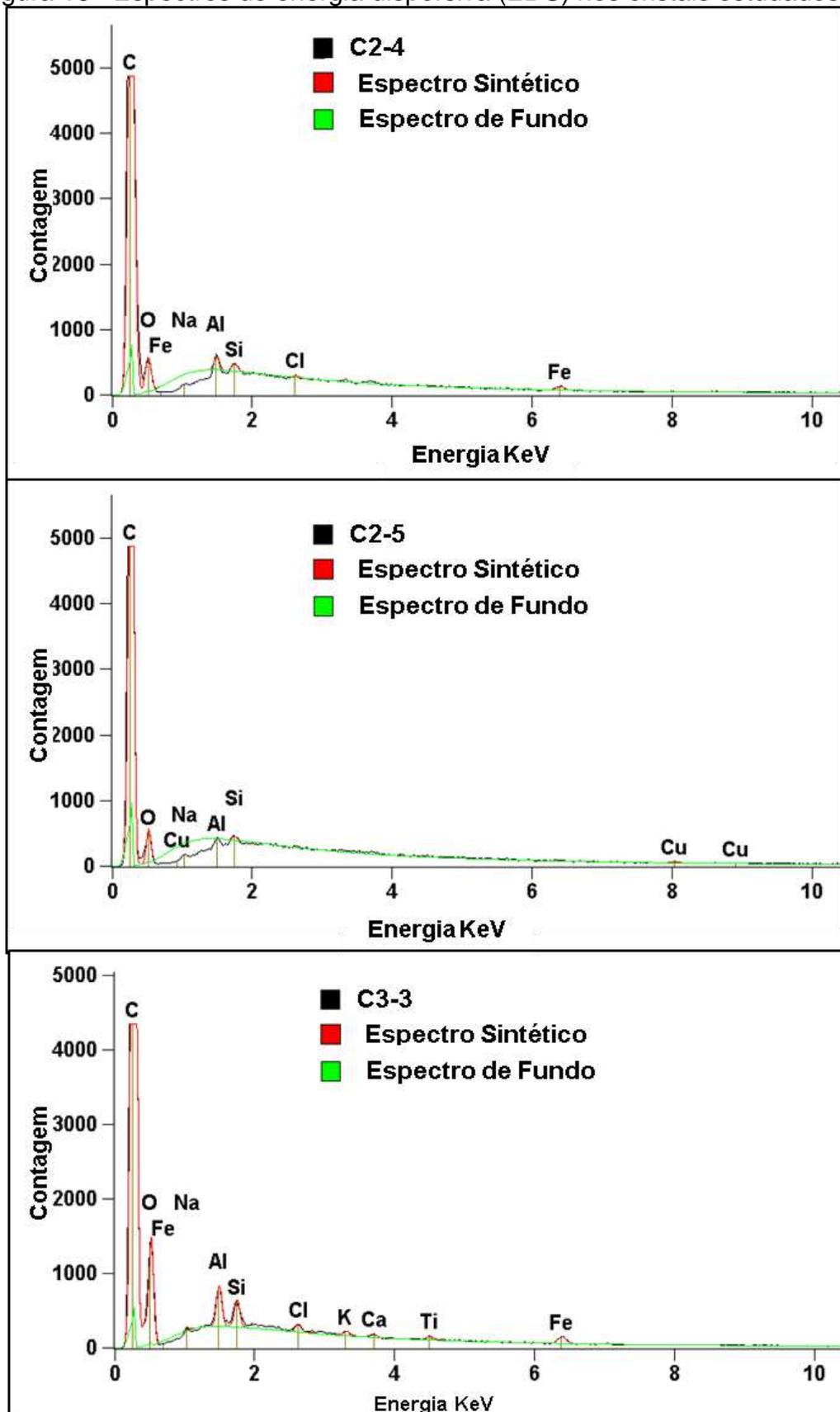
Nessas análises foram observadas a presença de alguns elementos, que poderiam estar associados as possíveis inclusões dos cristais de diamantes estudados. Dentre esses elementos os mais comuns foram Al, Na, Ti, Fe, K e Cu (Figura 19).

Hwang et al. (2001) encontraram através de EDS, em cristais de microdiamantes a presença de Ti, Ca, Fe, Cu, Na, Mg e Al, indicando a presença de um conjunto de fases como micas, apatita, quartzo, rutilo e zircão.

A pureza do diamante é uma medida de características naturais e da raridade da pedra. O grau de pureza do diamante se refere à presença ou não de inclusões e manchas que possam diminuir seu valor. Uma pedra é avaliada como pura se, sob uma ampliação de dez vezes, nenhuma inclusão (impureza interna) e nenhuma mancha (impureza externa) forem visíveis.

A quantidade, tamanho, posição e natureza das imperfeições definem o grau de pureza do diamante. No Brasil estas manchas e inclusões são também conhecidas como "jaça".

Figura 18 – Espectros de energia dispersiva (EDS) nos cristais estudados.



Fonte: elaborado pelo autor

6.1.5 Distribuição da dissolução

Na classificação da dissolução das amostras foram utilizados critérios de identificação visual e, de forma simplificada foram definidas 5 classes denominadas: imperceptível, médio/visível, dissolvido, corrosão, *frosting* (Tabela 5).

Foi observado um predomínio de amostras denominadas como Dissolvido, com 48,16% do total, seguida de Corrosão com 27,50%, logo os cristais de dissolução *Frosting* com 16,33% do total, cristais de dissolução Médio/visível com 6,50% e, em menor proporção, os cristais de dissolução Imperceptível, que representaram 1,50% da amostragem total (Tabela 5).

Essas marcas nos diamantes são indicadores de uma extensa história aluvial desses cristais. Mais a ausência dessas marcas, em algumas amostras implica populações mistas de diamantes com diferentes histórias aluviais

Tabela 5- Classificação dos cristais estudados de acordo com a sua dissolução.

Dissolução	Descrição	n	%
Imperceptível	Quando as faces de cristal são perfeitas, sem sinais de dissolução.	9	1,50
Médio/visível	Após uma observação muito detalhada com a lupa, nota-se um pequeno grau de dissolução, às vezes apenas uma das faces.	39	6,50
Dissolvido	Evidências de dissolução no cristal podem ser vistas a olho nu.	289	48,16
Corrosão	Este estágio de dissolução é tão alto que faz pequenos orifícios na superfície do cristal.	165	27,50
<i>Frosting</i>	Superfície fosca, esconde o brilho dos diamantes.	98	16,33
Total		600	100

Fonte: elaborado pelo autor

Segundo Patel e Agarwal (1965) tendo como referência cristais de Diamantes com faces correspondentes ao rombododecaedro (110), os autores indicaram que a celeridade de dissolução na superfície do diamante não é homogênea, ocorrendo seletivamente nas seguintes ordens de planos cristalográficos: (100) referente ao cubo e (111) relacionado ao octaedro, fato que

quer dizer que existe uma diferença relativa na velocidade de dissolução entre esses planos, motivo que facilita a corrosão.

Cristais irregulares são diamantes que não têm uma morfologia ou hábito cristalino definido e são interpretados como o resultado do produto de dissolução diferenciada de diamantes desproporcionais. Alguns autores têm atribuído essas formas como resultado da dissolução dos fragmentos durante o transporte do kimberlito ou lamproítico (FILEMON, 2005).

6.1.6 Distribuição da clivagem

Os critérios estabelecidos, segundo características de ordem secundária encontradas nos diamantes, são: clivagem, marcas de impacto, capas e qualificação comercial.

Os cristais de diamantes estudados aqui foram classificados em quatro categorias em função de sua clivagem, sendo eles: Intactos, Levemente quebrados, Quebras perceptíveis e Lascas (Tabela 6).

Na pesquisa foi observado um predomínio de amostras com clivagem Intacta, com 42,00% do total, seguida de cristais levemente quebrados com 36,00%, logo os cristais com quebras perceptíveis com 22,00% do total, e não foram encontrados cristais lascas (Tabela 6).

Tabela 6- Classificação dos cristais estudados, de acordo com sua clivagem.

Clivagem	Descrição	n	%
Intactos	Quando o cristal não mostra nenhum traço de quebra.	252	42,00
Levemente quebrados	Quando visto pela lupa, uma fratura pode ser identificada.	216	36,00
Quebras perceptíveis	Podem-se ver facilmente as quebras na clivagem, mesmo a olho nu.	132	22,00
Lascas	Correspondem a pedaços causados pela quebra de um cristal.	0	-
Total		600	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

Um cristal pode ser encontrado inteiro ou quebrado, de acordo com os planos de clivagem do diamante. A fragmentação é causada pelo transporte da pedra, seja no ambiente magmático original ou no ambiente aluvionar, após a erosão das rochas da matriz, independentemente do hábito cristalino. Considera-se que a ocorrência abundante de cristais inteiros em uma região pode significar uma origem de proximidade para o mineral.

É evidente que as condições de transporte mecânico na zona aquosa são a causa das fraturas do cristal, indícios de dissolução, ou que explicam a alta porcentagem de fragmentos produzidos por clivagem em depósitos detríticos.

Com base na sequência de eventos magmáticos proposta por Robinson et al. (1989) e McCandless, Waldman e Gurney (1994), a natureza da clivagem pode ser classificada como primária ou secundária nos cristais de diamante. Clivagens do tipo primária mostram figuras de superfície típicas de processos que ocorrem dentro da Terra, ou seja, trígono, *hillocks*, *lamination lines*, etc. As clivagens secundárias, estão relacionadas ao transporte de sedimentos na superfície, resultando em um aspecto liso ou em planos de clivagem sem qualquer tipo de figuras gravadas.

De acordo com Robinson (1980), alguns cristais que sofreram fraturas produzem planos de clivagem foscos indicando corrosão química em alta temperatura após a quebra. Pode-se argumentar que tais diamantes foram fraturados durante o processo violento e rápido da ação vulcânica de um kimberlito/lamproíto.

A presença de fragmentos de clivagem é indicativa da ocorrência de um transporte prolongado.

6.1.7 Distribuição das Marcas de Impacto

Para classificar as marcas de impacto das amostras estudadas foram utilizados critérios de identificação visual e, de forma simplificada foram definidas quatro categorias em função do impacto, sendo elas: Sem marcas, Poucas ou rasas, Médias e Muitas (Tabela 7).

Foi observado um predomínio de amostras sem marcas, com 51,15% do total, seguida de Poucas ou rasas, com 45,16%, logo as Médias com 3,33% do total e não foram identificados cristais com Muitas marcas (Tabela 7).

Tabela 7- Classificação dos cristais de acordo com suas marcas de impacto.

Marcas de impacto	n	%
Sem marcas	309	51,15
Poucas ou rasas	271	45,16
Médias	20	3,33
Muitas	0	0,00
Total	600	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

As marcas de impacto consistem em figuras aproximadas em forma de meia lua, que às vezes podem ser vistas nas superfícies do rombododecaedro (110) do diamante. Essas figuras são designadas no ambiente comercial como "unhadas" e teriam sido causadas nos diamantes durante o transporte no ambiente fluvial e as marcas podem aparecer no cristal como formas rasas e pouco perceptíveis até muito profundas (CENSIER; TOURENQ, 1995).

6.1.8 Distribuição das Capas

Os cristais de diamantes estudados foram classificados em quatro categorias em função das capas, sendo elas: Sem capas, Pontos verdes, Manchas verdes e Amarelas/marrons (Tabela 8).

Foi observada uma predominância de amostras com manchas verdes, com 34,34% do total das amostras, seguida pelas amarelas/marrons com 29,00%, os cristais sem capas com 25,00% do total das amostras, após os cristais com pontos verdes, com 11,66%, em menor proporção da amostragem total.

Tabela 8- Classificação dos cristais de acordo com suas capas.

Capas	n	%
Sem capas	150	25,00
Pontos verdes	70	11,66
Manchas verdes	206	34,34
Amarelas/marrons	174	29,00
Total	600	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

A maioria dos diamantes apresentam manchas de radiação causadas pela emissão de partículas alfa de minerais radioativos adjacentes. Experimentos recentes de Nasdala et al. (2013) restringem o tempo de formação de manchas verdes claras visíveis na ordem de 10 milhões de anos com uranita como grão adjacente e $1,2 \text{ Ga}$ com zircão (1000 ppm U) como grão adjacente. Assim, qualquer mineral com radioatividade entre esses dois membros finais seriam necessários dezenas de milhões de anos de um ambiente geológico imperturbável para produzir manchas visíveis

Segundo Orlov (1977) e Vance et al. (1973), os diamantes com um ligeiro tom esverdeado são relativamente comuns, esse aspecto se deve à existência de uma camada verde, que pode se manifestar de três formas: a) camadas verdes opacas, espessas e de espessura variável (geralmente em cristais cúbicos que apresentam zoneamento); b) camadas verdes densas e translúcidas, com aproximadamente $20 \mu\text{m}$ de espessura; e c) manchas verdes transparentes ou manchas, geralmente isoladas, também em torno de $20 \mu\text{m}$ de espessura.

A capa verde consiste em um filme muito pequeno que pouco prejudica o valor comercial das pedras, pois desaparece durante o polimento no processo de lapidação. O mesmo acontece quando o diamante tem uma camada marrom ou amarela, que é mais rara do que as verdes. Vários autores atribuem que a camada verde deve-se à irradiação natural dos cristais por partículas α , emitidas por minerais ou soluções ricas em tório e / ou urânio (VANCE et al., 1973; HARRIS et al., 1975). No entanto, Orlov (1977) atribui a cor verde à presença de certos elementos cromóforos na parte mais externa dos cristais.

De acordo com Meyer, Milledge e Nave (1965) e Nasdala et al. (2013), a coloração produto da radiação no diamante é inicialmente verde e se transforma em cor marrom quando e aquecida a temperaturas superiores a $450 \text{ }^\circ\text{C}$.

6.1.9 Distribuição da Qualificação Comercial

A classificação comercial engloba muitos e diferentes aspectos apresentados pelos diamantes. Neste trabalho, os cristais de diamantes estudados foram classificados em quatro categorias em função da sua classificação comercial listados na tabela 9, sendo elas: Gema 1, Gema 2, Chip e Industrial.

Foi observada uma predominância de amostras do tipo Industrial com

89,33% do total das amostras, seguida pela Chip com 6,00%, os de Qualificação Comercial Gema 2 com 2,83% do total das amostras, após os cristais Gema 1 com 1,83%, em menor proporção da amostragem total.

Tabela 9- Classificação dos cristais de acordo com a Qualificação comercial

Qualif.Comercial	Descrição	n	%
Gema 1	Incluem cristais bem formados, tamanho adequado para lapidação, incolor ou ligeiramente amarelado e graus de pureza 1 a 2.	11	1,83
Gema 2	Inclui cristais que, embora não possuam as características adotadas para a "gema 1", ainda podem ser lapidados e utilizados como gemas.	17	2,83
Chip	Diamantes desproporcionais ou mesmo em lascas, que podem ser de várias dimensões, dependendo disso podem ter algumas partes que ainda são gemologicamente utilizáveis.	36	6,00
Industrial	Inclui pedras muito pequenas (<0,05 ct), bem como cubos, alguns geminados, variedades policristalinas e cristais de cores atualmente inaceitáveis no mercado (cinza, marrom ou preta, etc.) que contenham muitas inclusões.	536	89,33
Total		600	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

Desde os tempos da Índia até o final do século passado, o interesse pelos diamantes era puramente como material gemológico. Somente a partir do século 20, quando o diamante também passou a ter um amplo uso industrial, o ambiente comercial desenvolveu sua própria terminologia e classificação para qualificá-lo, muitas vezes em conflito com as descrições acadêmicas (CHAVES; CHAMBEL, 2003).

6.1.10 Distribuição da Forma

Para classificar a forma das amostras estudadas foram utilizados critérios de identificação visual mediante a observação dos cristais utilizando microscópio, e seguindo a proposta deste estudo foram definidas 5 formas cristalográficas denominadas: octaedro, cubo, geminado, irregular e agregado (Tabela 10). Também por meio de microscopia óptica foram estudados os diferentes cristais de diamante, o que permitiu a caracterização morfológica de alguns diamantes como pode ser observado nas figuras 19 e 20.

Nos cristais analisados (Tabela 10) foi observada uma predominância de amostras Irregulares com 43,83% do total das amostras, seguida pelo Octaedro com 27,00%, logo os cristais na forma de Cubo com 16,00% do total, após os cristais Geminados com 8,16% e, em menor proporção, o Agregado, que representou 5,00% da amostragem total (Tabela 10).

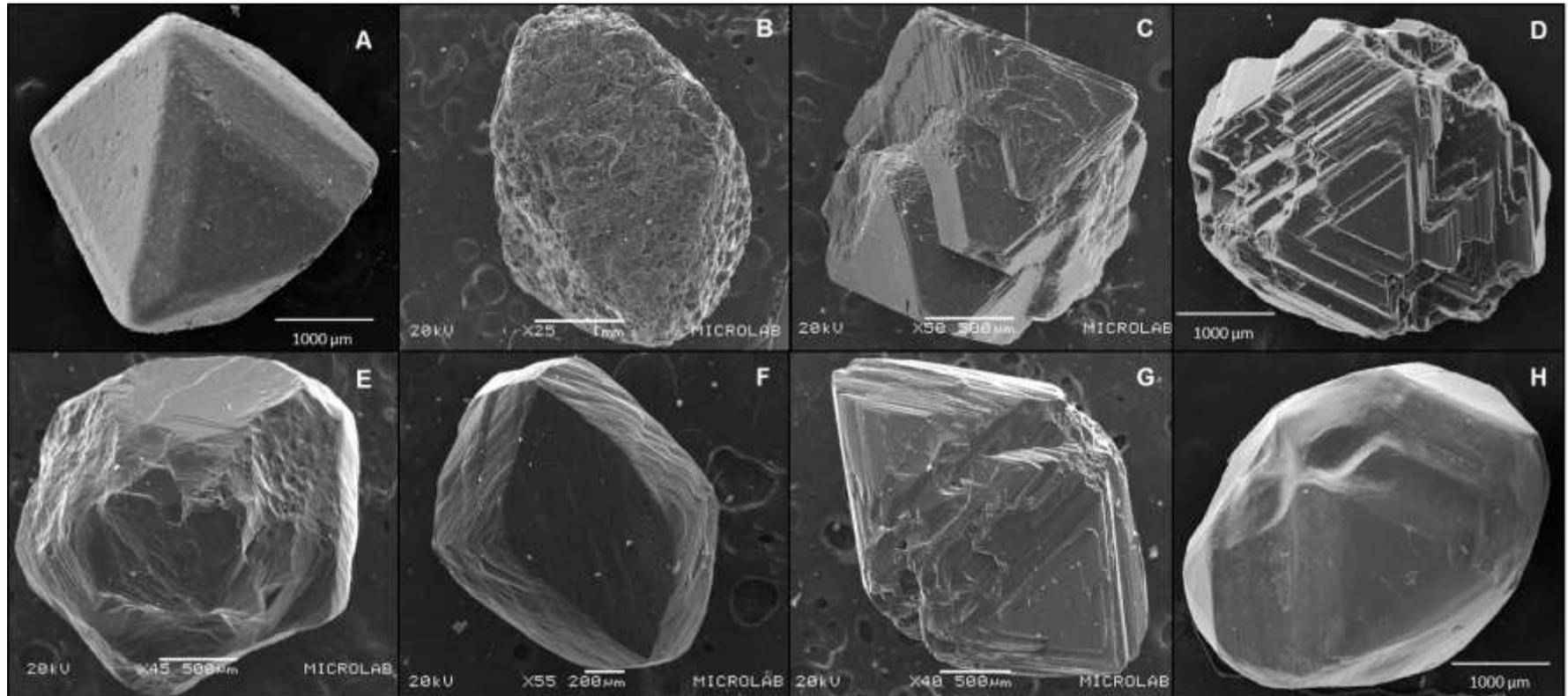
Tabela 10- Classificação das formas cristalográficas dos cristais.

Formas	n	%
Octaedro	162	27,00
Cubo	96	16,00
Geminado	49	8,16
Irregular	263	43,83
Agregado	30	5,00
Total	600	100

Fonte: elaborado pelo autor

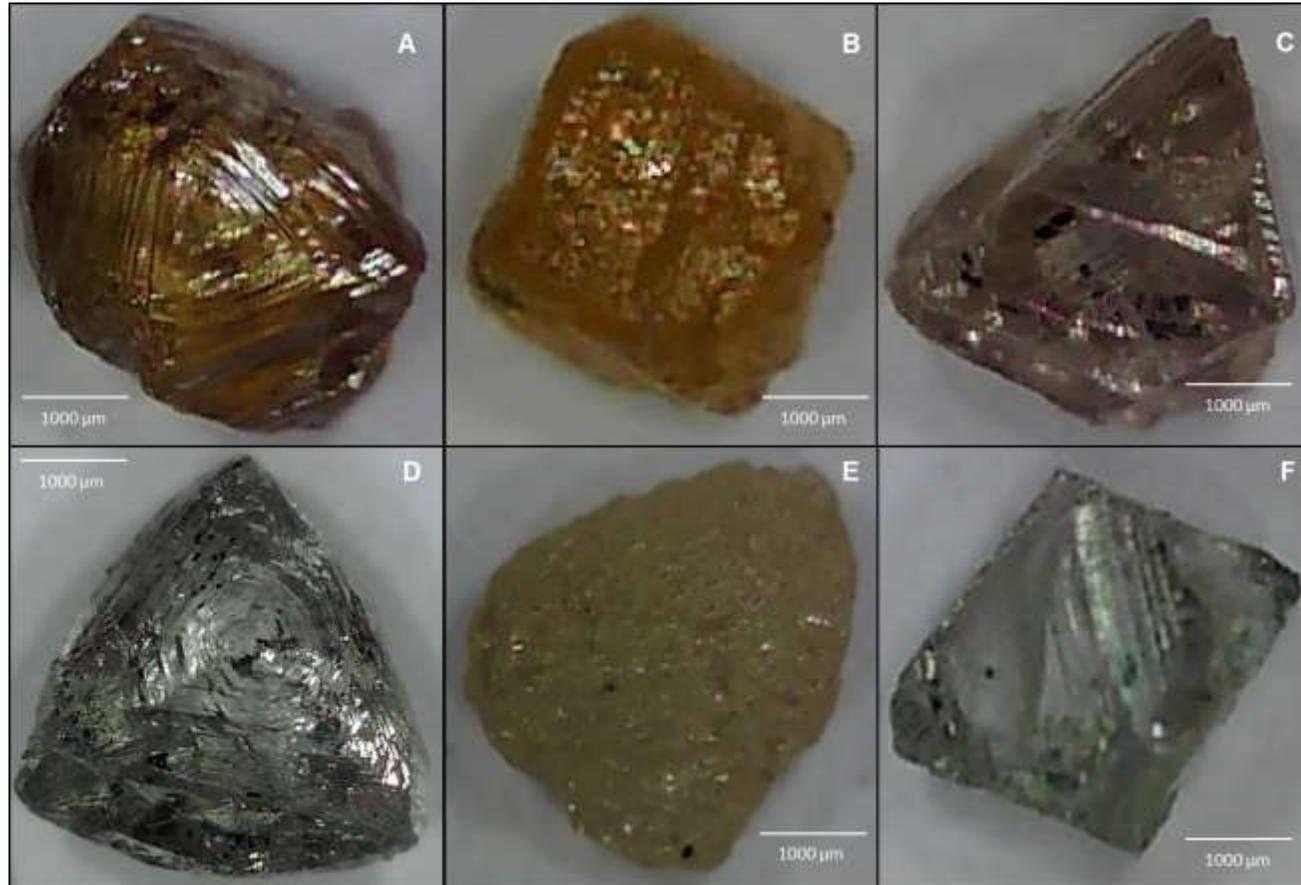
As formas mais comuns da cristalização do diamante são: octaedro, cubo, formas combinadas (octaedro + dodecaedro + cubo) ou geminação de acordo com a rotação em torno de um eixo de simetria (comumente a geminação é desenvolvida de acordo com a lei espinélio). Outras maneiras são o dodecaedro, icositetraedro, trioctaedro e hexadecimale. Todas elas são caracterizadas por superfícies planas, com desenvolvimento de estruturas com degraus positivos na face octaédrica e bordas retas (KUKHARENKO, 1954).

Figura 19 – Microfotografia dos cristais de diamantes. (A) Octaedro, (B) Cristal irregular com superfície dominada por *frosting* constituída de cavidades de corrosão, (C) Cristal octaedro apresentando crescimento, (D) Cristal irregular geminado com trigonos, (E) Sem faceta original com abrasão, (F) Rombododecaedro, (G) Octaedro com placas triangulares, e (H) Cristal irregular arredondado.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 20 – Fotografias representativas da morfologia dos diamantes. (A) Cristal de coloração marrom sem faceta original e placas triangulares, (B) Cubo, (C) Geminado, (D) Octaedro com corrosão, (E) Cristal Irregular amarelado apresentando *Frosting* e (F) Irregular com pontos verdes.

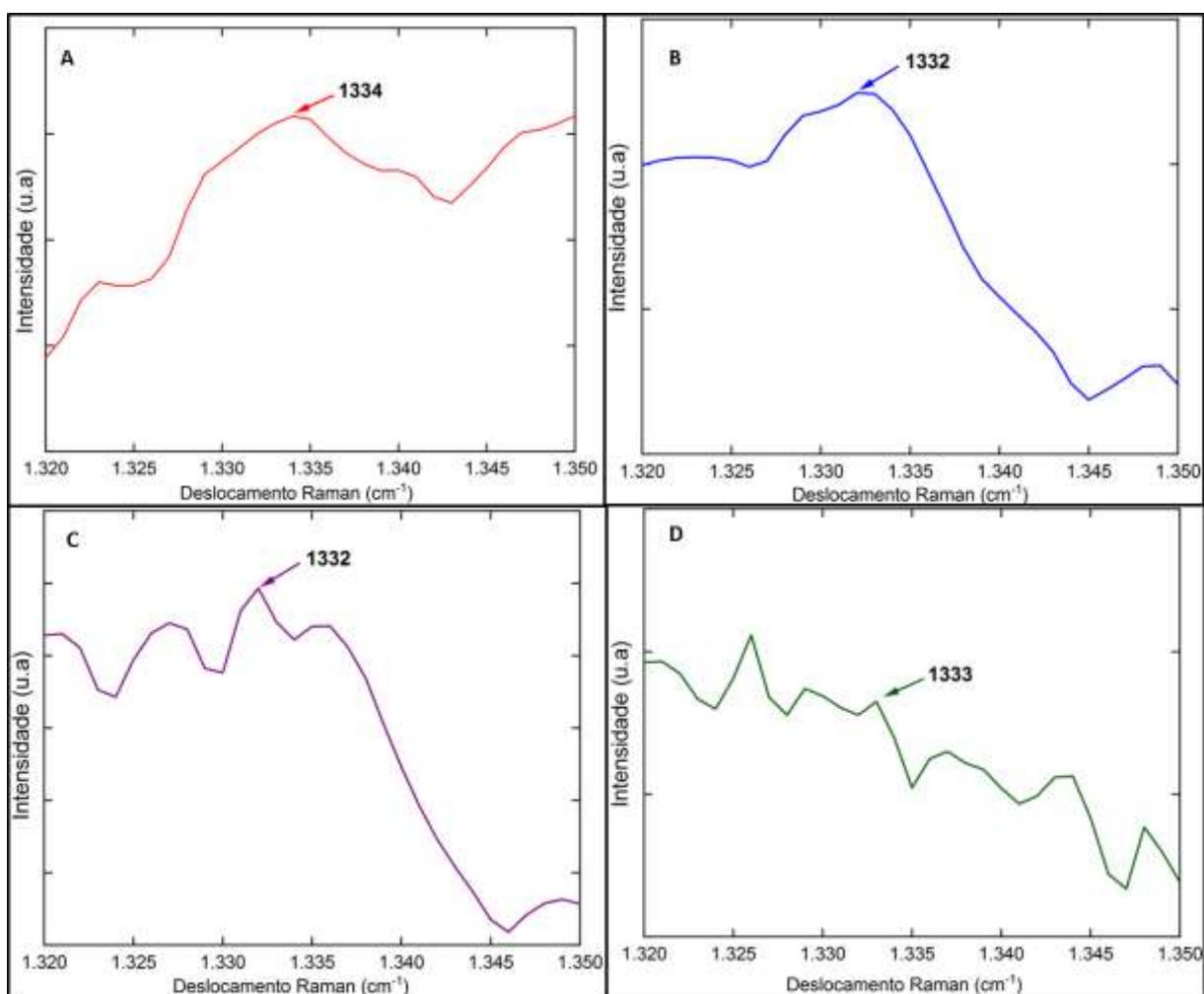


Fonte: elaborado pelo autor

6.2 ESPECTROSCOPIA RAMAN

Na presente pesquisa foram obtidos espectros Raman onde observou-se uma nitidez significativa dos picos 1332, 1333 e 1334 cm^{-1} (Figura 21), desta maneira confirmando o espectro vibracional característico do diamante.

Figura 21 – Espectros Raman das amostras. (A) amostra do ponto de coleta 1, (B) amostra do ponto de coleta 2, (C) amostra do ponto de coleta 3 e (D) amostra do ponto de coleta 4.



Fonte: elaborado pelo autor

Segundo Korsakov et al. (2010), a Espectroscopia Raman pode auxiliar na identificação de inclusões presentes nos diamantes. Eles estudaram diversos tipos de inclusões em cristais de diamantes provenientes do Maciço Kokchetav no Cazaquistão.

Na literatura existem diversos exemplos para espectros Raman típicos

obtidos para cristais de diamantes. Sendo assim é bom salientar que o espectro Raman de primeira ordem do diamante consiste em apenas uma banda (triplamente degenerada).

De acordo com Lobo et al. (2005), os espectros Raman de todos os materiais carbonosos exibem seus picos característicos de 1ª ordem na região entre 1000 e 1800 cm^{-1} para energia de excitação no visível e infravermelho.

Segundo Korsakov et al. (2010), a banda Raman principal do diamante aparece como uma banda nítida entre 1329 e 1336 cm^{-1} . Nasdala et al (2004), estudando diamantes, encontraram espectros Raman de primeira ordem que consistem em apenas uma banda (triplamente degenerada). Isto de modo geral referida como LO=TO, porque o modo óptico das vibrações do diamante são degeneradas devido ao grupo de pontos altos da simetria da estrutura cristalina. Segundo os pesquisadores em condições de pressão-temperatura ambiente, a banda LO=TO tem uma forma quase simétrica e é caracterizada por um deslocamento Raman de $\cong 1332 \text{ cm}^{-1}$.

Segundo Solin e Ramdas (1970), em condições de pressão-temperatura ambiente, a banda LO=TO tem uma forma quase simétrica e é caracterizado por um deslocamento Raman de $\cong 1332 \text{ cm}^{-1}$ e um estreito FWHM (Largura de Banda completa na Intensidade Máxima da meia banda) de $\cong 1,6 \text{ cm}^{-1}$. De acordo com Sharma et al. (1985), quando existe uma pressão crescente e deformação compressiva, o modo LO=TO se desloca para números de onda, que é acompanhado por um aumento de FWHM e muitas vezes também notável assimetria de banda.

Glinneman, Kusaka e Harris (2003) estudaram cristais de diamantes aplicando Espectroscopia Raman e observaram texturas de crescimento, além de relações cristalográficas entre grafite e diamante hospedeiro, indicando que o diamante tem cristais de grafite pré-existentes, que caracteriza as inclusões de grafite como de natureza protogenética. Deste modo a formação singenética do grafite e diamante parece mais improvável. Lambrecht et al. (1993) propuseram um mecanismo possível para a nucleação de diamantes na superfície de cristais de grafite pré-existentes.

Zaitsev (2010) demonstrou para cristais de diamantes que o espectro Raman da fase principal (Diamante I: Grupo II) é caracterizado pela linha Raman de primeira ordem em $1326,5 \pm 2,3 \text{ cm}^{-1}$ com uma largura total semi-máxima (FWHM) de cerca

de $5,0 \text{ cm}^{-1}$. Nesse caso o diamante II apresenta-se com uma reflexão significativamente maior e uma posição Raman deslocada para $1335,7 \text{ cm}^{-1}$ (FWHM = $4,8 \text{ cm}^{-1}$). Esta grande mudança só é observável com o laser de 405 nm e pode corresponder a uma fase de diamante significativamente distorcida.

Segundo Liu et al. (1990), entre os grãos de diamante I maiores (Grupo II) existem grãos irregulares semelhantes com um diâmetro de aproximadamente 10 μm e uma refletividade significativamente menor. Isso de acordo com a posição da banda de primeira ordem determinada pela espectroscopia Raman, existem dois grupos diferentes: (1) Diamantes com linhas Raman de primeira ordem significativamente inferiores até $1310,6 \text{ cm}^{-1}$ do Grupo III e (2) Diamantes compartilhando cerca de $1332,8 \text{ cm}^{-1}$ do Grupo I. Com a diminuição do deslocamento Raman de $1332,8$ para 1310 cm^{-1} observa-se um aumento da Largura de Banda completa na Intensidade Máxima da Meia Banda.

Cristais de diamantes que são submetidos à deformação plástica durante a sua permanência na crosta mantélica originam mudanças que são bem significativas na estrutura das bandas de energia desses cristais de diamante. Fato que pode ser evidenciado pelo pico característico de deslocamento Raman (1332 cm^{-1}) (NEWMAN, 2011). Essas mudanças nas bandas de energia indicam que na medida que a separação entre os átomos diminui, os elétrons começam a "perceber" os potenciais do conjunto de átomos e os níveis de energia sofrem ajustes.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através de análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi possível identificar as microestruturas presentes na superfície dos cristais assim como descrever a morfologia desses cristais.

Mediante a Espectroscopia Raman foi distinguido o pico vibracional nos 1333 cm^{-1} , o que auxiliou na identificação do pico vibracional inconfundível dos diamantes, sendo considerado pela técnica como sua impressão digital.

A classificação da forma ou morfologia mostrou que tais diamantes da área estudada são representados principalmente pela forma Irregular, e um considerável número de Octaedros, ocorrendo desta maneira poucos cristais dos tipos Cubo, Geminado e Agregado. Essa forma irregular é interpretada como o resultado do produto da dissolução. As amostras também possuem um tamanho muito pequeno, sendo 38,66% com um diâmetro abaixo de 1,30 mm, ocorrendo também o predomínio de cristais de baixo peso ou quilatagem, motivo pelo qual podemos inferir na pesquisa que os depósitos aluvionares são afiliados dos conglomerados do supergrupo Roraima, e que por sua vez vem de fontes primárias distantes. A clivagem e as marcas de impacto nas amostras estudadas são indicativas de um transporte prolongado, que são a causa das fraturas apresentadas nos cristais. Essas características morfológicas descritas indicam um transporte prolongado ou também que estão sujeitas a vários ciclos erosivos e de deposição.

As facetas e texturas de superfície geradas pelos processos de reabsorção e corrosão que foram observadas nos diamantes estudados mostram diversos padrões de microestruturas, sendo as mais frequentes placas triangulares, trigonos, depressões em formas escalonadas e canais de corrosão.

Na região La Candelaria são observados principalmente diamantes da cor fancy, ocorrendo em menor proporção pedras incolores e incolores–amareladas. Esses cristais são caracterizados gemologicamente de acordo com sua pureza predominantemente de 5 e 4 (5: Cristais de qualidade não gemológica que apresentam muitos defeitos, e que são denominados como tipo industrial, e 4: Relativo a cristais que apresentam inclusões grandes, muito fáceis de serem vistas a olho nu).

Sobre a presença de capas ponderadas nos cristais analisados, observamos que são comuns capas verdes, amarelas e marrons, que após o polimento dos

cristais desaparecem. Segundo diversos estudos essas capas tem relação direta à irradiação natural dos cristais de diamantes. Além de indicar uma possível relação à minerais que contém elementos radiativos, os quais estão presentes nos conglomerados do Supergrupo Roraima.

Neste estudo, identificou-se uma morfologia dos cristais complexa e variada, com disparidade de formas cristalográficas, o que poderia estar relacionada à presença de diferentes fontes primárias abastecendo os depósitos secundários. Isso nos permite estabelecer que os depósitos de diamantes nesta área e que estão associados aos sedimentos do Supergrupo Roraima, são produto do acúmulo de cristais de diamantes de várias fontes primárias, determinado por uma evidente diferenciação química, produto de várias etapas onde o tempo de residência foi diferenciado.

De acordo com a qualificação comercial pode-se dizer que nesta área não existe um predomínio de diamantes gemológicos de alto valor comercial, visto que existe a presença de uma elevada porção de cristais considerados industrial e chips. No entanto, atualmente, o diamante industrial também pode ter uma boa qualificação comercial devido a seu amplo uso nas mais diversas atividades comerciais, como por exemplo na microeletrônica, produção de telas de LCD, ferramentas de corte e perfuração, dentre outras.

Nesta pesquisa foram descritas as características químicas e mineralógicas dos diamantes detríticos da Região Lá Candelária, destacando a necessidade de estudos subsequentes de modo a caracterizar também distintos locais onde estão sendo explorados diamantes na região e que abrangem o Supergrupo Roraima, tanto na Venezuela como no Brasil, para fins de subsidiar os estudos para extração e aplicação deste recurso natural, como também para fiscalização e controle dos órgãos responsáveis.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, O. **Informe de Pasantías realizadas en el Área de Guaniamo, Estado Bolívar**. Mérida, Venezuela: IUTE, 2000. 40 p.

ANDERSON, R. F. Redox behavior of uranium in an anoxic marine basin. **Elsevier**, Amsterdam, v. 3, p. 145-164, set.1988

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12310: informação e documentação: Diamante -Terminologia e classificação**. Rio de Janeiro, 2015. 7 p.

BAPTISTA, G. J.; SVISERO, D. P. Geología de los depósitos diamantíferos de la parte noroccidental de la Guayana venezolana. **Boletín de Geología, Ministerio de Energía y Minas**, Caracas, v. 13, n. 24, p. 03-46, ago. 1978.

BENAIM, N. Geología de la región de Botanamo. **Boletín Geológico**, Caracas, v. 5, n. 3, p. 1291-1314, jan. 1972.

BENITEZ, L. **Caracterização geológica e químico-mineralógica dos depósitos coluvionares diamantíferos da região de Diamantina, Serra do Espinhaço – Minas Gerais**. 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

BENITEZ, L. **Províncias Diamantíferas de Minas Gerais: uma proposta para a caracterização de populações de diamantes típicas como subsídio à Certificação Kimberley**. 2009. 257 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009.

BORGES, L. A. **Geologia e Mineralogia do Diamante da Região do Rio Borrachudo (Tiros, Mg)**. 2013. 204 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

BROOKES, E. J.; DANIEL, R. D. Influence of nitrogen content on the mechanical properties of diamond. **Growth and Applications of Diamond**. [S.l.]: v. 26, p. 142-148. Jun. 2001.

BROWN, C. B.; SAWKINS, J. **Reports on the physical, descriptive and economic geology of British Guiana**. London: Longmans, 1875. 297 p.

CAJAL, F. A. **Los 9 Tipos de Suelos en Venezuela**. Disponível em: <<https://www.lifeder.com/tipos-suelos-venezuela/>>. Acesso em: 8 set. 2021.

CALVO, B.; GONZÁLEZ, J. **Minas y Minerales de Iberoamérica**. 1. ed. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España, 1992. 103 p.

CASSEDANNE, J. P.; CASSEDANNE, J. O. Etude de quelques concentrés de la Quebrada Grande (Venezuela) origine de leurs diamants. **Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 49, n. 1, p. 177-193, nov. 1977.

CENSIER, C.; TOURENQ, J. Crystal forms and surface textures of alluvial diamonds from the western region of the Central African Republic. **Minerallium Deposita**, Luxemburgo, v. 30, n.1, p. 314-322, jan. 1995.

CHANNER, D. M. DE R.; EGOROV, A.; KAMINSKY F. Geology and structure of the Guaniamo diamondiferous kimberlite sheets, south-west Venezuela. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 615-630, mar. 2001.

CHAVES, M. L. S. C.; CHAMBEL, L. M. C. F. R. **Diamante: a pedra, a gema, a lenda**. São Paulo: Oficina de textos, 2003. 231 p.

CVGMINERVEN. **Guayana and El Callao: geology and mineral resources**. Disponível em: <http://www.cvgminerven.com>. Corporación Venezuelana de Guayana, Minería de Venezuela.2014. Acesso em: 12 nov. 2019.

CVG-TECMIN. **Informes de Avance de Clima, Geología Geomorfología, Suelos y Vegetación**: Proyecto Inventario de los Recursos Naturales de la Región Guayana, Estado Bolívar, Venezuela: CVG, 1989, 67 P.

DALTON, L. V. On the Geology of Venezuela. **Journal of Geological Magazine**, Cambridge, v. 9, n. 5, p. 203-210, set. 1912.

DAS, S.; HENDRY, M. J. Application of Raman Spectroscopy to identify iron minerals commonly found in mine waste. **Chem. Geol.**, [SI.], v. 290, p. 101-108. Nov. 2011.

DELGADO, L. A.; CASTELLANOS, H.; RODRÍGUEZ, M. Vegetación del Parque Nacional Canaima. **Fundación La Salle de Ciencias Naturales**, Caracas, v. 9, n. 1, p. 41-75, jul. 2009.

DEVRIES, R. C. Plastic deformation and “work-hardening” of diamond. **Materials Research Bulletin**, New York, v. 10, n. 11, p. 1193-1199, set. 1975.

DUARTE, L. et al. Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersa (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 30, n.2, p. 3-15, set. 2009.

FAO. **Land and Water Development Division (Rome)**. Disponível em: <<https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/other-global-soil-maps-and-databases/en/>>. Acesso em: 28 set. 2020.

FILEMON, K. E. **Caracterização dos diamantes da província Kimberlítica de Juína (MT), e distritos diamantíferos de Espigão D’oeste (RO) Cacoal (RO), e Diamantina (MG)**. 2005. 219 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

GAUDETTE, H.E. et al. Geochronology of Precambrian Rocks from the Northern Part of Guiana Shield, State of Roraima, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v. 9, n. 3, p. 183-195, jul. 1996.

GLINNEMANN, J.; KUSAKA, K.; HARRIS, J. W. Oriented graphite single-crystal inclusions in diamond. **Zeitschrift für Kristallographie**. [S.l.], v. 2, n. 218, p. 733-739, nov. 2003.

HAGGERTY, E. S. Diamond genesis in a multiply-constrained model. **Nature**, London, v. 320, n. 1, p. 34-38, mar.1986.

HARRIS et al. A classification scheme for diamond and a comparative study of South African diamond characteristics. **Physics and Chemistry of the Earth**, [S.l.]: v. 9, n. 2, p. 765-783, fev. 1975

HUBER, O. Geographical and physical features. En: J. Steyermark, P. Berry and B. Holst (eds.). Flora of the Venezuelan Guayana. **Missouri Botanical Garden**, St. Louis, v. 1, p. 1-16, abr. 1995

HWANG, S. L. . et al. Genesis of microdiamonds from melt and associated multiphase inclusions in garnet of ultrahigh-pressure genesis from. **Earth Planet, Erzgebirge**, v. 188, n. 1, p. 9-15, jul, 2001.

KAMINSKY, F. V. et al. Diamond from the Guaiamo area, Venezuela. **The**

Canadian Mineralogist, Ottawa, v. 38, n. 6, p. 1.347-1.370, dez. 2000.

KAMINSKY, F. V.; KHACHATRYAN, G. K. Characteristics of nitrogen and other impurities in diamond, as revealed by infrared absorption data. **The Canadian Mineralogist**, Quebec, v. 39, n. 6, p. 1733-1745, dez. 2001.

KING, J. M.; MOSES, T. M.; WANG, W. The impact of internal whitish and reflective graining on the clarity grading of D-to-Z color diamonds at the GIA Laboratory. **Gems & Gemology**, Carlsbad, Vol. 42, N. 4, p. 206-220, dic, 2006.

KING, J. M. et al. Color Grading "D-to-Z" Diamonds at the GIA Laboratory. **Gems & Gemology**, Carlsbad, v. 54, N. 4, p. 296-321, dic, 2008.

KIRKLEY, M. B.; GURNEY, J. J.; LEVINSON, A. A. Age, origin, and emplacement of diamonds: scientific advances in the last decade. **Gems & Gemology**, London, v. 27, n. 2, p. 23-25, set, 1991.

KOEPPEN, W. Klassifikation del climate nach temperature, niederschlag und jahreslauf. **Patermanns geographische**, Berlin, v. 64, p. 193-203, set. 1990.

KORSAKOV, A. V. et al. Diamond-graphite relationships in ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the Kokchetav Massif. **Journal of Petrology**, Northern Kazakhstan, v. 51, n. 1, p. 763-783, set. 2010

KUKHARENKO, A. A. On rounded diamond crystals. Uchem. Zap. **Gos. Univ**, Leningrad, v. 178, n. 4, p. 55-76, nov. 1954.

LAMBRECHT, W. R. L. et al. Diamond nucleation by hydrogenation of the edges of graphitic precursors. **Nature**. [S.l.], v. 2, n. 364, p. 364-607, out. 1993.

LIU, Z. et al. High-pressure Raman studies of graphite and ferric chloride-graphite. **Journal of Physics: Condensed Matter**, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 8083-8088, jun. 1990.

LOBO, A. O. et al. Caracterização de materiais carbonosos por espectroscopia Raman. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, Campinas, v. 4, n. 2, p. 98-103, set. 2005

LONGO, D. G. F. Aspectos do estilo fluvial paleoproterozóico tardio: a Formação Uairén, Supergrupo Roraima, Venezuela. **Associação Internacional de**

Sedimentologistas, [S.I.], v. 33, n. 1, p. 323-338. Jul. 2002.

MAGAÑA, E. S. et al. Natural-Color Pink, Purple, Red, and Brown Diamonds: Band Of Many Colors. **Gems & Gemology**, Carlsbad, v. 54, n. 4, p. 352-377, dic, 2018.

MCCANDLESS, G. L. Reconocimiento geológico de la región noroccidental del Estado Bolívar. **Boletín de Geología**, Caracas, v. 7, n. 13, p. 19-28, jul. 1965.

MCCANDLESS, T. E.; WALDMAN, M. A.; GURNEY, J. J. Macrodiamonds and microdiamonds from Murfreesboro lamproites, Arkansas: morphology, inclusions and carbon isotope geochemistry. In: Proceedings of 5th Kimberlite Conference, 5., 1994, Araxá. **Anais...** Araxá, Brazil: 1994. p. 78-97.

MEYER, H. O. A; MCCALLUM, M. E. Diamonds and their sources in the Venezuela portion of the Guiana Shield. **Economic Geology**, Colorado, v. 88, n. 1, p. 989-998, out. 1993.

MEYER, H.; MILLEDGE, H. J.; NAVE, E. Danos por Irradiação Natural em Diamantes da Costa do Marfim. **Natureza**, [S.I.]: v. 206, n. 4982, p. 392-392, nov. 1965

MITCHELL, R.H.; BERGMAN, S. C. **Petrology of Lamproites**. New York: Plenum Press, 1991. 447 p.

MITCHELL, R. H. The role of petrography and lithochemistry in exploration for diamondiferous rocks. **Journal of Geochemical Exploration**, Amsterdam, v. 53, n. 2, p. 339- 350, jun.1995

NASDALA, L. et al. Raman Spectroscopic: Analytical perspectives in mineralogical research, in Beran, A.B., and Libowitzki, E, eds., Spectroscopic methods in mineralogy. **European Mineralogical Union Notes in Mineralogy**, [S.I.]: v. 6, p. 281-343, nov. 2004

NASDALA, L. et al. Radiocoloração do diamante: um estudo espectroscópico. **Contribuições para Mineralogia e Petrologia**, [S.I.]: v. 165, n. 5, p. 843-861, jan. 2013.

NEWMAN, J.A. **Estudos químico-mineralógicos aplicados à caracterização do diamante de Santa Elena Uairén**. 2011. 270 f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e

Recursos Naturais da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

NEWMAN, J. A. et al. R09 - Aspectos mineralógicos do diamante da região de Santa Elena de Uairén, Estado Bolívar, Venezuela. **Anais..** Paraná: [s.n.], 2010.

ORLOV, Y.L. **The Mineralogy of the Diamond**. New York, ed. John Wiley & Sons, 1977. 235 p.

OTTER, M.L.; McCALLUM, M. E.; GURNEY, J. J. A Physical characterization of the Sloan (Colorado) Diamonds using a comprehensive Diamond description scheme In: INTERNATIONAL KIMBERLITE CONFERENCE, 5., 1994, Araxá, Brasil. **Proceeding**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. P. 15-31

PATEL, A.R.; AGARWAL, M.K. Microstructures on Panna diamonds surfaces. **American Mineralogist**, California, v. 50, n. 1, p. 124-134, jan. 1965.

PDVSA. **Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela**. Disponível em: < <http://www.pdvsa.com/lexico/lexicoh.htm>>. Acesso em: 28 set. 2019.

PINHEIRO, S. S.; REIS, N. J.; COSTI, H. T. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Manaus: DNPM/CPRM, 1990. 100 p.

REID, A. R. Estratigrafia da Área Tipo do Grupo Roraima, Venezuela. In: Conferência Interguiana Geological, 9., 1972. Guiana. **Anais...** Guiana: Georgetown, 1972. p. 343-353.

REID, A.R. Stratigraphy of the type area of the Roraima Group, Venezuela. In: CONFERENCIA GEOLOGICA. INTERGUAYANAS, 10., 1973, Bolívar. **Anais...** Bolívar: [s.n.], 1973. p. 343-354.

REIS, N.J.; YÁNEZ, G. O Supergrupo Roraima ao longo da Faixa Fronteiriça entre Brasil e Venezuela (Santa Elena de Uairén - Monte Roraima). In: REIS, N.J.; MONTEIRO, M.A.S. (Org.) **Contribuições para Geologia da Amazônia**, Manaus, v. 2, n. 4, p. 113-144, jul. 2001.

REIS, N.J. et al. **O Supergrupo Roraima ao longo da Faixa Fronteiriça entre Brasil e Venezuela (Santa Elena de Uairén - Monte Roraima)**. 2 ed. Contribuição à Geologia da Amazônia, Manaus, SBG/Núcleo Norte. 2000. 115 p.

REIS, N. J. et al. Avanavero Mafic Magmatism, um LIP paleoproterozóico tardio no escudo da Guiana, Craton da Amazônia: U-Pb ID-TIMS baddeleyite, Evidência geoquímica e paleomagnética. **Lithos**, Amsterdam, v. 174, n. 1, p. 175-195, set. 2013.

REIS, N. J. et al. Estratigrafia do supergrupo Roraima ao longo da fronteira Brasil-Guiana no escudo da Guiana, Craton do norte da Amazônia - resultados do Projeto de Mapeamento de Geologia e Geodiversidade Brasil-Guiana. **Revista Brasileira de Geologia**, São Paulo, v. 47, n.1, p 43-57, jan./mar. 2017.

RENFRO, N. D., et al. Inclusions in natural, synthetic, and treated diamond. **Gems & Gemology**, Carlsbad, v. 54, n. 4, p. 428–429, dic. 2018.

RÍOS J. H. Geología de la región de Caicara, Estado Bolívar. **Memoria del IV Congreso Geológico Venezolano**, Caracas, v. 1. n. 3, p. 459 -1462, nov. 1972.

RIBEIRO, D. O Diamante e uma das formas alotrópicas do elemento químico carbono. **Revista Ciência Elementar**, [S.L]: v. 2. n. 02, p. 175, mar. 2014.

RIVERA-LOMBARDI, R. Aspectos geográficos y físicos del Parque Nacional Canaima. In: Señaris, J. C.; Lew, D.; Lasso, C. (Orgs.). **Biodiversidad del Parque Nacional Canaima: bases técnicas para la conservación de la Guayana venezolana**. Caracas: Fundación La Salle de Ciencias Naturales y The Nature Conservancy, 2009.v. 6. p. 33-36.

RIVERA, L. et al. Propuesta de zonificación de uso del sector occidental del Parque Nacional Canaima. Estado Bolívar. **Revista Terra 26**, Caracas, v. 26, n. 32, p. 77-122, ago. 2006

ROBINSON, D. E. et al. The sequence of events reflected in the diamonds of some Southern African Kimberlites. **Geology Society Australia**, Sydney, v. 14. n. 2, p. 990-1000, out. 1989

ROBINSON, D. N. **Texturas de superfície e outras características de diamantes**. 1980. 289 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Ciências Geológicas, Universidade da Cidade do Cabo, África do Sul, 1980.

ROMBOUTS, L. Statistical distributions for diamonds. International, In: CPRM/ Núcleo Brasília, kimberlite conference, 5., 1994, Araxa, Brasil. **Proceeding**. CPRM, 1994. p. 202-214

SANTOS, J.O.S. et al. Age, Source and Regional Stratigraphy of the Roraima Supergroup and Roraima-like Sequences in Northern South América, based on U-Pb Geochronology. **Geological Society of America Bulletin**, Boulder, v. 115, n. 3, p. 331-348, mar. 2003.

SANTOS, J.O.S. et al. A compartimentação do Cráton Amazonas nas províncias: avanços ocorridos no período 2000-2006. In : SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9., Belém. **Resumo...** Belém : SBG-Núcleo Norte. 2006. 1 CD-ROM.

SALA, O. **Fundamentos da Espectroscopia Raman e no Infravermelho**. 2 ed., São Paulo: Editora UNESP, 2008. 67p.

SEÑARIS, J. C.; LEW, D.; LASSO, C. Biodiversidad del Parque Nacional Canaima: bases técnicas para la conservación de la Guayana venezolana. **Fundación La Salle de Ciencias Naturales**, Caracas, v.31, n. 1, p. 23-256, Jan. 2009

SEÑARIS, J. C. et al. **Guía Ilustrada de los Anfibios del Parque Nacional Canaima, Venezuela**. Ediciones IVIC, Caracas, Venezuela, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), 2014. 264 p.

SILVA, L. G. La cuenca del Orinoco: visión hidrográfica y balance hídrico. **Revista geográfica de Venezuela**, Mérida, v. 46, n. 1, p. 75-108, jun. 2005

SOLIN, S. A.; RAMDAS, A. K. Raman spectrum of diamond. **Physical Review**, [S.I.], v. 1, n. 3, p. 1687-1698, set. 1970

SCHNEIDER, S. J. O et al. Age, source, and regional stratigraphy of the Roraima Supergroup and Roraima-like outliers in northern South America based on U-Pb geochronology. **Geological Society of America Bulletin**, [S.I.]: v. 115; no. 3; p. 331–348, mar. 2013.

SHARMA, S. K. et al. Measurement of stress in diamond anvils with micro-Raman spectroscopy. **Journal of Raman Spectroscopy**, [S.I.], v. 16, n. 2, p. 350-352, out. 1985

SVISERO, D. P.; HARALYI, N. L. E. Caracterização do diamante da mina de Romaria, Minas Gerais. In: SBG- MG, Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 3., 1985, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1985. P. 140-153

SVIZZERO, D. P. As múltiplas Facetas do diamante. **REVISTA USP**, São Paulo, v.

36, n. 71, p. 52-69, nov. 2006.

TASSINARI, C. G. C.; MACAMBIRA, M. J. B. **Geologia do Continente Sul-Americano**: Evolução da Obra de Fernando Flávio de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. 471 p.

TATE, G.; HITCHCOCK, H. Notes on the Mount Roraima Region. **Geography Review**. [S.l.], v. 20, n. 1, p. 53-68, 1930.

VANCE, E. R. et al. Possible origins of α -damage in diamonds from kimberlite and alluvial sources. **Mineralogical Magazine**, [S.l.]: v. 39, p. 349-360. Set. 1973.

VARGAS, B. K. Análise Fisiográfica da Paisagem do Transecto Santa Helena de Uairén/Monte Roraima. In: Conferencia: Encuentro de geógrafos de América Latina, 2015, Cuba. **Anais...La Habana**, [s.n.], out. 2015.

ZAITSEV, A. M. **Optical Properties of Diamond**: A Data Handbook. Bochum: Springer, 2010. 502 p.