

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, GEOCIÊNCIAS E SAÚDE COLETIVA
CURSO DE BACHARELADO EM GEOGRAFIA

LUCAS DE SOUSA SANTOS

A GEOMORFOLOGIA DAS ESTRUTURAS DE IMPACTO NA SUPERFÍCIE LUNAR

Uberlândia (MG)

2024

LUCAS DE SOUSA SANTOS

A GEOMORFOLOGIA DAS ESTRUTURAS DE IMPACTO NA SUPERFÍCIE LUNAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues

Uberlândia (MG)

2024

AGRADECIMENTO

Agradeço a todos que me incentivaram a prosseguir com o meu projeto e me apoiaram nessa jornada de conhecimento, oportunidade e realização de vida dentro do meio acadêmico, especialmente:

- Ao Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues, por ter sido meu orientador e a oportunidade de realizar essa pesquisa.

- Aos integrantes do LAGES “Laboratório de geomorfologia e erosão do solo”

- A minha família: Mãe Vilma Lucia De Sousa, Pai Cristovam Francisco Dos Santos e Irmão Rafael De Sousa Santos que sempre me incentivarão nos estudos e me apoiaram a sempre seguir em frente em minha jornada.

A todos deixo a minha Gratidão.

"A sorte favorece os audazes."

(VIRGÍLIO, Eneida)

RESUMO

A geologia lunar é dividida hoje em cinco períodos principais, que marcam as etapas de formação da superfície lunar ao longo do tempo. Cada um desses períodos possui estruturas características — algumas mais novas, preservando a originalidade de sua formação, e outras mais antigas, que apresentam apenas resquícios de sua estrutura original ou mesmo estão completamente ausentes na superfície. Essas estruturas compõem a geomorfologia lunar como a conhecemos atualmente. Este trabalho de pesquisa tem como objetivo estudar as estruturas de cada um dos períodos geológicos lunares, categorizados de acordo com o “*release of the digital unified global geologic map of the moon at 1:5.000.000-scale*” que serviu como base para a pesquisa. Esse levantamento fornece o mapa geológico lunar mais recente e completo disponível. Com base nisso, foi selecionada uma estrutura representativa de cada período geológico lunar para um estudo geomorfológico detalhado e, posteriormente, para um comparativo entre as estruturas, dentro das possibilidades e dos dados disponíveis. Para isso, foram utilizadas imagens de satélites da superfície lunar, obtidas a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE). As duas principais fontes de MDE utilizadas foram: “*Lua LRO LOLA – SELENE Kaguya TC Shaded Relief Merge 60N60S 59m v1*” e “*Lua LRO LOLA – SELENE Kaguya TC DEM Merge 60N60S 59m v1*”, sendo a última a versão sombreada. Essas imagens, contudo, não permitem um estudo completo de toda a superfície lunar, pois não abrangem os polos, limitando-se à área entre as latitudes -60° e $+60^{\circ}$, e longitudes de -180° a $+180^{\circ}$. Dessa forma, a área de análise foi restrita conforme a cobertura dos MDE disponíveis. Com esses dados, foi possível compor mapas detalhados da superfície lunar e, juntamente com o mapa geológico, aplicar técnicas de SIG (Sistema de Informação Geográfica) para desenvolver esta pesquisa. Ao longo da pesquisa e possível notar que as estruturas apresentam uma degradação quando as comparadas, onde as formações mais recentes são melhores conservadas e possui uma melhor definição em comparativo com as mais antigas que apresentam um nível de degradação mais acelerado. Vale ressaltar que a proposta deste trabalho não é apresentar um resultado conclusivo, mas sim realizar uma análise geomorfológica estrutural das formações escolhidas e um breve comparativo entre elas, com base nos resultados adquiridos ao longo da pesquisa.

Palavras-Chave: Geomorfologia Lua; Crateras Lunar; geologia Lunar; Estruturas de impacto; Períodos geológicos Lunar

ABSTRACT

Lunar geology is currently divided into five main periods, which mark the stages of formation of the lunar surface over time. Each of these periods has characteristic structures — some newer, preserving the originality of their formation, and others older, which present only remnants of their original structure or are even completely absent from the surface. These structures make up the lunar geomorphology as we know it today. This research work aims to study the structures of each of the lunar geological periods, categorized according to the “*release of the digital unified global geologic map of the moon at 1:5,000,000-scale*” that served as the basis for the research. This survey provides the most recent and complete lunar geological map available. Based on this, a representative structure from each lunar geological period was selected for a detailed geomorphological study and, subsequently, for a comparison between the structures, within the possibilities and available data. For this, satellite images of the lunar surface, obtained from Digital Elevation Models (DEM), were used. The two main DEM sources used were: “*Lua LRO LOLA – SELENE Kaguya TC Shaded Relief Merge 60N60S 59m v1*” and “*Lua LRO LOLA – SELENE Kaguya TC DEM Merge 60N60S 59m v1*”, the latter being the shaded version. These images, however, do not allow a complete study of the entire lunar surface, as they do not cover the poles, being limited to the area between latitudes -60° and $+60^{\circ}$, and longitudes from -180° to $+180^{\circ}$. Thus, the analysis area was restricted according to the coverage of the available DEMs. With these data, it was possible to compose detailed maps of the lunar surface and, together with the geological map, apply GIS (Geographic Information System) techniques to develop this research. Throughout the research, it is possible to notice that the structures present degradation when compared, where the most recent formations are better preserved and have a better definition compared to the oldest ones that present a faster level of degradation. It is worth mentioning that the purpose of this work is not to present a conclusive result, but rather to carry out a structural geomorphological analysis of the chosen formations and a brief comparison between them, based on the results acquired throughout the research.

Keywords: Moon geomorphology; Lunar craters; Lunar geology; Impact structures; Lunar geological periods

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - No centro, o Mare Humboldtianum
- Figura 2** - Estrutura de Crateras de impacto
- Figura 3** - Cratera Pingualuit em Nunavik, norte de Quebec, Canadá
- Figura 4** - Sistema de raios, superfície Lunar
- Figura 5** - Sistema de raios, superfície Lunar
- Figura 6** - Sistema de raios, superfície Lunar
- Figura 7** - Mapa representativo dos períodos geológicos Lunar
- Figura 8** - Exemplo de formação geológica do período Copernican – Cratera Copernicus
- Figura 9** - Exemplo de formação geológica do período Eratosthenes - Cratera Eratosthenes
- Figura 10** - Exemplo de formação geológica do período Imbrium / Mare Imbrium
- Figura 11** - Exemplo de formação geológica do período Nectaris / Cratera Raimond
- Figura 12** - Exemplo de formação geológica do período Pre-Nectaris / Cratera Mach
- Figura 13** - Mapa de localização / Cratera Theophilus
- Figura 14** - Cratera Theophilus, Imagem de referência na escala de 1:1.000.000
- Figura 15** - Mapa de localização / Cratera Langrenus
- Figura 16** - Cratera Langrenus, Imagem de referência na escala de 1:1.000.000
- Figura 17** - Mapa de localização / Cratera Humboldt
- Figura 18** - Cratera Humboldt, Imagem de referência na escala de 1:1.000.000
- Figura 19** - Mapa de localização / Cratera Mendeleev
- Figura 20** - Cratera Mendeleev, Imagem de referência na escala de 1:1.000.000
- Figura 21** - Mapa de localização / Cratera Apollo
- Figura 22** - Cratera Mendeleev, Imagem de referência na escala de 1:1.000.000
- Figura 23** - Mapa de localização de nomes e estruturas / Cratera Theophilus
- Figura 24** - Mapa de localização de nomes e estruturas / Cratera Langrenus
- Figura 25** - Mapa de localização de nomes e estruturas / Cratera Humboldt
- Figura 26** - Mapa de localização de nomes e estruturas / Cratera Mendeleev
- Figura 27** - Mapa de localização de nomes e estruturas / Cratera Apollo
- Figura 28** - Cratera Theophilus / Mapa local dos periodos geologicos
- Figura 29** - Cratera Theophilus / estrutura principal
- Figura 30** - Cratera Theophilus / Mapa hipsométrico com relevo sombreado
- Figura 31** - Cratera Theophilus / Mapa hipsométrico
- Figura 32** - Cratera Theophilus / Mapa topografico, perfil horizontal

Figura 33 - Cratera Theophilus / Mapa topografico, perfil vertical

Figura 34 - Cratera Theophilus / Mapa representativo de irregularidade na superficie

Figura 35 - Cratera Theophilus / Mapa sombreado, representativo de irregularidade na superficie

Figura 36 - Cratera Theophilus / Mapa comparativo

Figura 37 - Cratera Theophilus / Mapa hipsométrico comparativo entre os recortes

Figura 38 - Cratera Theophilus / Mapa hipsometria, superficie entre $\pm 60^\circ$

Figura 39 – Mapa de localização / Crateras Theophilus, cyrillus

Figura 40 - Crateras Theophilus, cyrillus / Mapa topografico

Figura 41 - Crateras Theophilus, cyrillus / Imagem na escala 1:1.000.000

Figura 42 - Crateras Theophilus, cyrillus / 1° Modelo tridimensional da estrutura

Figura 43 - Crateras Theophilus, cyrillus / 2° Modelo tridimensional da estrutura

Figura 43 - Crateras Theophilus, cyrillus / 3° Modelo tridimensional da estrutura

Figura 45 - Crateras Langrenus / Mapa local dos periodos geologicos

Figura 46 - Crateras Langrenus / estrutura principal

Figura 47 - Crateras Langrenus / Mapa hipsométrico com relevo sombreado

Figura 48 - Crateras Langrenus / Mapa hipsométrico

Figura 50 - Crateras Langrenus / Mapa topografico, perfil horizontal

Figura 51 - Crateras Langrenus / Mapa topografico, perfil vertical

Figura 52 - Cratera Langrenus / Mapa representativo de irregularidade na superficie

Figura 53 - Cratera Langrenus / Mapa sombreado, representativo de irregularidade na superficie

Figura 54 - Cratera Langrenus / Mapa comparativo

Figura 55 - Cratera Langrenus / Mapa hipsométrico comparativo entre os recortes

Figura 56 - Cratera Langrenus / Mapa hipsometria, superficie entre $\pm 60^\circ$

Figura 57 - Cratera Langrenus / Imagem na escala 1:1.000.000

Figura 58 - Crateras Langrenus / 1° Modelo tridimensional da estrutura

Figura 59 - Crateras Langrenus / 2° Modelo tridimensional da estrutura

Figura 60 - Crateras Langrenus / 3° Modelo tridimensional da estrutura

Figura 61 - Cratera Humboldt / Mapa local dos periodos geologicos

Figura 62 - Cratera Humboldt / estrutura principal

Figura 63 - Cratera Humboldt / Mapa hipsométrico com relevo sombreado

Figura 64 - Cratera Humboldt / Mapa hipsométrico

Figura 65 - Cratera Humboldt / Mapa topografico, perfil horizontal

Figura 66 - Cratera Humboldt / Mapa topografico, perfil vertical

Figura 67 - Cratera Humboldt / Mapa representativo de irregularidade na superficie

Figura 68 - Cratera Humboldt / Mapa sombreado, representativo de irregularidade na superfície

Figura 69 - Cratera Humboldt / Mapa comparativo

Figura 70 - Cratera Humboldt / Mapa hipsométrico comparativo entre os recortes

Figura 71 - Cratera Humboldt / Mapa hipsometria, superfície entre $\pm 60^\circ$

Figura 72 - Cratera Humboldt / Imagem na escala 1:1.000.000

Figura 73 - Cratera Humboldt / 1º Modelo tridimensional da estrutura

Figura 74 - Cratera Humboldt / 2º Modelo tridimensional da estrutura

Figura 75 - Cratera Humboldt / 3º Modelo tridimensional da estrutura

Figura 76 - Crateras Mendeleev / Mapa local dos periodos geologicos

Figura 77 - Crateras Mendeleev / estrutura principal

Figura 78 - Crateras Mendeleev / Mapa hipsométrico com relevo sombreado

Figura 79 - Crateras Mendeleev / Mapa hipsométrico

Figura 80 - Crateras Mendeleev / Mapa topografico, perfil horizontal

Figura 81 - Crateras Mendeleev / Mapa topografico, perfil vertical

Figura 82 - Cratera Mendeleev / Mapa representativo de irregularidade na superfície

Figura 83 - Cratera Mendeleev / Mapa sombreado, representativo de irregularidade na superfície

Figura 84 - Cratera Mendeleev / Mapa comparativo

Figura 85 - Cratera Mendeleev / Mapa hipsométrico comparativo entre os recortes

Figura 86 - Cratera Mendeleev / Mapa hipsometria, superfície entre $\pm 60^\circ$

Figura 87 - Cratera Mendeleev / Imagem na escala 1:1.000.000

Figura 88 - Crateras Mendeleev / 1º Modelo tridimensional da estrutura

Figura 89 - Crateras Mendeleev / 2º Modelo tridimensional da estrutura

Figura 90 - Crateras Mendeleev / 3º Modelo tridimensional da estrutura

Figura 91 - Crateras Apollo / Mapa local dos periodos geologicos

Figura 92 - Crateras Apollo / estrutura principal

Figura 93 - Crateras Apollo / Mapa hipsométrico com relevo sombreado

Figura 94 - Crateras Apollo / Mapa hipsométrico

Figura 95 - Crateras Apollo / Mapa topografico, perfil horizontal

Figura 96 - Crateras Apollo / Mapa topografico, perfil vertical

Figura 97 - Cratera Apollo / Mapa representativo de irregularidade na superfície

Figura 98 - Cratera Apollo / Mapa sombreado, representativo de irregularidade na superfície

Figura 99 - Cratera Apollo / Mapa comparativo

Figura 100 - Cratera Apollo / Mapa hipsométrico comparativo entre os recortes

Figura 101 - Cratera Apollo / Mapa hipsometria, superfície entre $\pm 60^\circ$

Figura 102 - Cratera Apollo / Imagem na escala 1:1.000.000

Figura 103 - Crateras Apollo / 1° Modelo tridimensional da estrutura

Figura 104 - Crateras Apollo / 2° Modelo tridimensional da estrutura

Figura 105 - Crateras Apollo / 3° Modelo tridimensional da estrutura

LISTA DE TABELAS

Tabela 4: Fluxograma evidenciando as etapas desenvolvidas durante a dissertação	32
Tabela 2 – Informações sobre os instrumentos e as missões que coletaram os dados e imagens relativos a superfície lunar.....	33
Tabela 1 - INFORMAÇÕES GEOESPACIAL - “Lua LRO LOLA – SELENE Kaguya TC Shaded Relief Merge 60N60S 59m v1”	34
Tabela 2 - INFORMAÇÕES GEOESPACIAL - “Lua LRO LOLA – SELENE Kaguya TC Shaded Relief Merge 60N60S 59m v1”	35
Tabela 3 - INFORMAÇÕES GEOESPACIAL - “Unified Geologic Map of the Moon 2020”	39
Tabela 5 - Cratera Theophilus - dados dos impactos secundaria próximos de sua formação	62
Tabela 6 - Cratera Langrenus - dados dos impactos secundaria próximos de sua formação	65
Tabela 7 - Cratera Humboldt - dados dos impactos secundaria próximos de sua formação	68
Tabela 8 - dados dos impactos secundaria próximos de sua formação	71
Tabela 9 - dados dos impactos secundaria próximos de sua formação.....	75
Tabela 10 - Comparativa entre estruturas secundaria de impacto	79
Tabela 11 – Comparativo entre estruturas Principais.....	148

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1 - Recorte horizontas topográfico da cratera Theophilus

Gráfico 2 - Recorte horizontas topográfico da Cratera Langrenus

Gráfico 3 - Recorte horizontas topográfico da Cratera Humboldt

Gráfico 4 - Recorte horizontas topográfico da Cratera Mendeleev

Gráfico 5 - Recorte horizontas topográfico da Cratera Apollo

Gráfico 6 - Recorte vertical topográfico da Cratera Theophilus

Gráfico 7 - Recorte vertical topográfico da Cratera Langrenus

Gráfico 8 - Recorte vertical topográfico da Cratera Humboldt

Gráfico 9 - Recorte vertical topográfico da Cratera Mendeleev

Gráfico 10 - Recorte vertical topográfico da Cratera Apollo

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NASA – National Aeronautics and Space Administration

LRO – Lunar Reconnaissance Orbiter

IAU – International Astronomical Union

JPL – Jet Propulsion Laboratory

JAXA – Japan Aerospace Exploration Agency

SELENE – Selenological and Engineering Explorer

SIG – Sistema de Informação Geográfica

USGS – United States Geological Survey

MDE – Modelo Digital de elevação

FeO - Óxido de ferro

TNSC – Tanegashima space center

TC - Óptica de alto desempenho

WGPSN - Working Group for Planetary System Nomenclature

LOLA - Lunar Orbiter Laser Altimeter

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA	17
2 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA.....	18
3 OBJETIVOS	18
3.1 Objetivo Geral	18
3.2 Objetivos Específicos	18
4 REFERENCIAL TEÓRICO - CONCEITUAL BÁSICO	19
4.1.1 Lei da superposição	19
4.1.2 Princípio da horizontalidade original	20
4.2 Geologia e Geomorfologia Lunar – Uma Breve Caracterização	20
4.2.1 Geologia Lunar	20
4.2.2 Composição Elementar	22
4.2.3 Formação	22
4.2.4 Mare Lunar	22
4.2.5 Crateras De Impactos.....	24
4.2.6 Sistema De Raio De Uma Cratera De Impacto	27
5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	31
5.1 Material empregado.....	31
5.2 Informações sobre as missões e instrumento	33
5.3 Imagem de satélite orbital utilizadas	33
5.3.1 Relevo sombreado do modelo de elevação digital Lunar (MDE)	33
5.3.2 Modelo de elevação digital Lunar (MDE).....	35
5.3.3 Descritivo técnico de ambas as imagens	36
5.3.4 Informações Da Missão e Dos Instrumentos	36
5.4 Mapa Geológico Lunar.....	37
5.5 Nomenclatura das estruturas	40
5.6 Nomenclatura das estruturas – Mapa Lunar na escala de 1:1.000.000	40
5.7 Sistema de dados planetários (PDS).....	41
5.8 Procedimentos realizados	41
6 PERÍODOS GEOLÓGICOS LUNARES	43
6.1 Período Copernicano	46
6.2 Período Eratosthenian.....	47
6.3 Período Imbrian.....	48
6.3.1 Imbrian Primitivo.....	48

6.3.1 Imbrian Tardio	49
6.4 Período Nectarian	50
6.5 Período Pre-Nectarian	50
7 ANÁLISE DOS DADOS	52
7.1 Descritivo Inicial de cada Estrutura Escolhida.....	52
7.1.1 Período Copérnico – Cratera Theophilus.....	52
7.1.2 Período Eratosthenian – Cratera Langrenus	54
7.1.3 Período Imbrian – Cratera Homboldt	55
7.1.4 Período Nectarian – Cratera Mendeleev	57
7.1.5 Período Pre-Nectarian – Cratera Apollo	58
7.2 Outras formações estruturas dentro da abrangência geomorfológica de cada área de estrutura	60
7.2.1 Cratera Theophilus – Outras estruturas presentes dentro de sua abrangência geomorfológica	61
7.2.2 Cratera Langrenus – Outras estruturas presentes dentro de sua abrangência	64
7.2.3 Cratera Humboldt – Outras estruturas presentes dentro de sua abrangência.....	67
7.2.4 Cratera Mendeleev – Outras estruturas presentes dentro de sua abrangência	70
7.2.5 Cratera Apollo – Outras estruturas presentes dentro de sua abrangência.....	74
7.2.6 Comparativo entre as estruturas de impacto de menores dimensões dentro da abrangência das estruturas principais escolhidas.....	78
7.3 Analisando cada estrutura principal individualmente	80
7.3.1 Cratera Theophilus	81
7.3.1.1 Estrutura principal	82
7.3.1.2 Mapa hipsométrico	89
7.3.1.3 Outras formações de grandes dimensões	91
7.3.1.5 Imagem na escala 1:1.000.000.....	93
7.3.1.6 Modelo tridimensional das estruturas	94
7.3.2 Cratera Langrenus	96
7.3.2.1 Estrutura Principal	97
7.3.2.2 Estrutura Secundárias	98
7.3.2.3 Mapa hipsométrico	103
7.3.2.4 Imagem na escala 1:1.000.000.....	105
7.3.2.5 Modelo tridimensional das estruturas	106
7.3.3 Cratera Homboldt.....	108
7.3.3.1 Estrutura principal	109
7.3.3.2 Estrutura secundárias	110

7.3.3.3 Mapa hipsométrico	116
7.3.3.4 Imagem na escala 1:1.000.000.....	118
7.3.3.5 Modelo tridimensional das estruturas	119
7.3.4 Cratera Mendeleev	121
7.3.4.1 Estrutura principal	122
7.3.4.2 Estrutura secundárias	123
7.3.4.3 Mapa hipsométrico	129
7.3.4.4 Imagem na escala 1:1.000.000.....	131
7.3.4.5 Modelo tridimensional das estruturas	132
7.3.5 Cratera Apollo	134
7.3.5.1 Estrutura Principal	135
7.3.5.2 Estrutura secundárias	136
7.3.5.3 Mapa hipsométrico	142
7.3.5.4 Imagem na escala 1:1.000.000.....	144
7.3.5.5 Modelo tridimensional das estruturas	145
8 COMPARATIVOS ENTRE AS ESTRUTURAS	147
8.1 Gráficos Topográficos, Recorte No Eixo “A” Das Estruturas	149
8.2 Gráficos Topográficos, Recorte No Eixo “B” Das Estruturas.....	150
9 CONCLUSÃO	151
REFERÊNCIAS.....	153

1 INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA

De todos os corpos celestes existentes no sistema solar, a Lua é o mais próximo do planeta Terra. Sendo assim, é o único que nos permite, dadas as limitações tecnológicas atuais, realizar coletas de amostras de materiais superficiais e uma observação mais detalhada.

A superfície Lunar é dividida na sua geologia, em cinco, sendo que o período Imbriam é subdividido em dois períodos geológicos sendo eles Imbriam Early e Imbriam Late, sendo esses os períodos históricos conhecidos conforme os dados adquiridos até o atual momento.

O entendimento desse ciclo histórico geológico Lunar nos permite entender a sua formação como estrutura rochosa sólida e sua evolução ao longo do tempo, e como cada era geológica tem influência na sua superfície atual.

Então para podermos entender o relevo atual da superfície Lunar, temos que primeiro entender sua história geológica, dentro do que nos é permitido em questão de dados e amostras coletadas, que nos possa afirmar a sua composição e estrutura local.

Também é importante ressaltar que o relevo Lunar atual não é só decorrente dos processos endógenos que ocorreram durante a sua formação, mas também dos processos exógenos que tem uma grande influência nas características geomorfológicas Lunares, como por exemplo a colisão de objetos celestes em sua superfície, que são em grande parte responsável pela aparência como observamos atualmente.

O estudo geomorfológico que é uma das áreas de estudo dentro da Geografia, nos permite fazer uma interpretação dos fenômenos que dão as características físicas de um determinado local ou superfície, interpretando os processos endógenos e exógenos.

Assim, dito isso é possível através do estudo geomorfológico, fazer esse estudo não só na Terra mais também em outros corpos celestes rochosos do nosso sistema solar, desde que se tenha o mínimo de dados disponíveis para se fazer uma análise.

Durante a pesquisa, foram abordados todos os períodos geológicos lunares para realizar uma análise geomorfológica individual das estruturas escolhidas e, se possível, fazer uma comparação final entre as estruturas de impacto dentro dos períodos geológicos lunares.

O objetivo deste estudo é entender como as formações geomorfológicas criadas ao longo da história da Lua podem contribuir para um melhor entendimento de sua formação na superfície lunar e, assim, possibilitar uma distinção entre os períodos, utilizando como base as estruturas geradas em cada um deles.

2 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

A Lua, o satélite natural da Terra, é composta por diversas formações e estruturas em sua superfície, que atualmente compõem o seu relevo local. Sabe-se que essas formações, em sua maioria, resultam de colisões de objetos estelares com sua superfície. Tais colisões têm o poder de alterar radicalmente a paisagem local devido à magnitude dos impactos, sendo o objeto de interesse deste trabalho. O objetivo é entender, dentro do possível, essas formações e estruturas na superfície lunar.

Tendo o objeto desse trabalho definido como sendo as estruturas formadas na superfície Lunar, escolhidas dentre os períodos geológicos Lunares, sendo eles os períodos Copernicano, Eratosthenian, Imbriam, Nectarian, Pre-Nectarian. Para assim dentre cada período geológico correspondente, uma estrutura será escolhida de acordo com o mapa geológico “*Release of the digital unified global geologic map of the moon at 1:5.000.000- scale*” (FORTEZZO, *et al.*, 2020). Essas cinco estruturas escolhidas compõe a área de pesquisa dentro do estudo da superfície Lunar.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo o estudo de formações estruturais superficiais conhecidas como crateras lunares, com o intuito de comparar suas feições de acordo com os diferentes períodos geológicos.

3.2 Objetivos Específicos

1. Selecionar uma estrutura de impacto (cratera) representativa de cada período geológico Lunar, utilizando como referência o mapa geológico da Lua.
2. Realizar a análise detalhada de cada estrutura de impacto selecionada, abordando suas características estruturais e topográficas.
3. Identificar e discutir as diferenças entre as estruturas de impacto ao longo dos diferentes períodos geológicos Lunares, destacando a transição e evolução dessas crateras ao longo do tempo.

4 REFERENCIAL TEÓRICO - CONCEITUAL BÁSICO

Para poder entender as formações estruturais de um corpo celeste como a Lua, primeiro necessitamos entender o do nosso próprio planeta, a Terra. Assim, poderemos a partir dos conhecimentos a respeito de nosso planeta (teorias, métodos e técnicas) para serem aplicadas em outros corpos telúricos.

Por se trata de um corpo rochoso e possuir uma história geológica e uma formação que permite o estudo da sua geomorfologia, e possível então fazer a aplicação de métodos e estudos como por exemplo: geológicos, geomorfológicos e topográficos etc. em sua estrutura para assim possamos ao longo de estudos, poder aprofundar cada vez mais sobre a sua formação e história.

4.1.1 Lei da superposição

De forma geral, a lei da superposição afirma que em uma sequência estratigráfica, o estrato mais antigo naturalmente ficaria na parte inferior da sequência e a mais recente se formará na parte superior superfície da superfície para que assim novos depósitos sejam formados ao longo do seu tempo (LYELL, 1830).

Essa formação é essencial para a datação estratigráfica que necessita de uma formação de superposição para que a análise seja realizada. Isso porque presumasse que uma formação estratigráfica na parte superior não poderia ser mais antiga que a formação inferior da camada.

De acordo com Lyell (1830) as rochas sedimentares são depositadas em camadas horizontais sucessivas, com as mais antigas na base e as mais jovens no topo. Lyell enfatizou a importância da observação cuidadosa das camadas de rocha e dos fósseis nelas contidos para determinar a idade relativa das formações geológicas. Ele também discutiu a relação entre a Lei da Superposição e outros princípios geológicos, como a Lei da Continuidade Lateral e a Lei da Horizontalidade Original, para interpretar a história geológica de uma área específica.

Esse contexto pode ser aplicado em relação a superfície Lunar; quando um objeto espacial colide com a superfície Lunar, uma das resultantes desse impacto é a liberação de material desagregado decorrente do impacto, que por sua vez, assentando na superfície Lunar criando uma camada, lógico que temos que levar em consideração que o tamanho dos objetos em questão, que vai refletir diretamente na área que recebera esse material.

Uma superfície como a Lunar, com centenas de milhares de colisões em sua superfície, a Lei da Superposição tem seu espaço de atuação. Uma vez que um objeto que colidiu com a superfície Lunar deixa uma camada residual em uma determinada área, quando outro objeto colide em uma

localidade próxima a anterior, o material liberado pelo segundo impacto, irá recobrir a que foi criada pelo primeiro impacto, assim sucessivamente em toda a superfície Lunar. Criando uma sequência estratigráfica decorrentes de colisões na superfície.

4.1.2 Princípio da horizontalidade original

O princípio da horizontalidade original diz que em uma formação estratigráfica a deposição de sedimento sempre será feita na forma horizontal devido a ação da gravidade. (LEVIN, 2009)

4.2 Geologia e Geomorfologia Lunar – Uma Breve Caracterização

A escala de tempo geológica e uma representação baseada no registro realizados das rochas, esse registro que é realizado através da datação cronológica, que através da cronoestratigrafia (processo de correlacionar os estratos com o tempo), e geocronologia (visa determinar a idade das rochas), para assim ser possível fazer uma descrição de tempo juntamente com as relações dos eventos na história geográfica. Mas temos que levar em consideração que a Lua diferentemente da Terra, não possui uma atmosfera, baixa gravidade e estruturas internas com baixa ou nem uma atividade endógena. Assim a forma como se dá o estudo de sua estrutura e geologia não pode ser realizado da mesma forma que realizada na Terra. Tendo sempre que levar em consideração esses fatores nas análises.

A geologia Lunar é um campo multidisciplinar que estuda a origem, evolução e características da Lua. Essa área de estudo se baseia em diversas fontes de informação, como observações telescópicas, análises de amostras trazidas pelas missões Apollo e Luna, dados obtidos por sondas espaciais, modelagem computacional e estudos de laboratório.

Portanto, a geologia Lunar é um campo dinâmico e fascinante que contribui significativamente para nossa compreensão não apenas da Lua, mas também da história e evolução do Sistema Solar e dos corpos celestes em geral.

4.2.1 Geologia Lunar

A geologia da Lua (às vezes chamada de selenologia , embora o último termo possa referir-se de forma mais geral à " ciência Lunar ") é bastante diferente daquela da Terra . A Lua carece de uma atmosfera verdadeira , e a ausência de oxigênio e água livres elimina a erosão causada pelo clima . Em vez disso, a superfície sofre erosão muito mais lentamente através do bombardeio

da superfície Lunar por micrometeoritos . (Kenneth; Lang, 2003), Não possui nenhuma forma conhecida de placas tectônicas , (NASA, 1994) tem uma gravidade menor e, devido ao seu pequeno tamanho, esfriou mais rapidamente (NASA, 1994) Além dos impactos, a geomorfologia da superfície Lunar foi moldada pelo vulcanismo , (NASA 1986, 1994) que agora se acredita ter terminado há menos de 50 milhões de anos. (IMSTER, 2014) A Lua é um corpo diferenciado , com crosta , manto e núcleo (NASA, 1994)

Os estudos geológicos da Lua são baseados em uma combinação de observações de telescópios baseados na Terra , medições de espaçonaves em órbita , amostras Lunares e dados geofísicos . Seis locais foram amostrados diretamente durante os pousos tripulados do programa Apollo de 1969 a 1972, que retornaram 382 kg (842 lb) de rocha Lunar e solo Lunar para a Terra (NASA, 1994) Além disso, três espaçonaves robóticas soviéticas Luna retornaram outros 301 gramas (10,6 oz) de amostras, (Ivankov, A. "Luna 16", "Luna 20" e "Luna 24") e o robótico chinês Chang'e 5 retornaram uma amostra de 1.731 g (61,1 oz) em 2020.

De todos os corpos celestes conhecidos pela Humanidade até hoje, a Lua é a única na qual temos amostras com um contexto geológico conhecido. A Lua não foi explorada em sua totalidade e muitos aspectos relacionados a sua geologia ainda permanece desconhecido.

A história geológica da Lua foi definida em cinco épocas principais, chamadas de escala de tempo geológica Lunar . Começando há cerca de 4,5 Bilhões de anos, (KLEINE *et al.*, 2005) a Lua recém-formada estava num estado fundido e orbitava muito mais perto da Terra, resultando em forças de maré . (STEVENS, 2011). Essas forças de maré deformaram o corpo fundido em um elipsoide, com o eixo principal apontado para a Terra.

O início crucial na história geológica da Lua marcou-se pela cristalização do oceano de magma quase global. Embora a profundidade exata desse oceano não seja totalmente conhecida, estimativas sugerem cerca de 500 km ou mais. Os primeiros minerais a se formarem nesse ambiente foram silicatos de ferro e magnésio, como olivina e piroxênio. Devido à sua densidade superior em relação ao material circundante, esses minerais afundaram. Quando a cristalização atingiu aproximadamente 75% de amplitude, o feldspato plagioclásio anortosítico menos denso cristalizou e flutuou, formando uma crosta anortosítica com cerca de 50 km de espessura. A maior parte do oceano de magma cristalizou rapidamente, em cerca de 100 milhões de anos ou menos. No entanto, os remanescentes magmas ricos em KREEP; KREEP é um acrônimo usado para identificar um tipo específico de solo lunar, onde cada letra representa um componente químico. O "K" refere-se ao potássio, enquanto o "P" representa o fósforo. Já "REE" vem do inglês *Rare-Earth Elements* (Elementos de Terras Raras). Atualmente, acredita-se que os KREEPs sejam os remanescentes finais da cristalização de um antigo oceano de magma que existia no início da

história geológica da Lua. Impactos significativos perfuraram a crosta lunar, trazendo à superfície materiais das camadas mais profundas e misturando-os com outros detritos, resultando na formação das brechas KREEP. (Wikipédia KREEP, 2004)

O terreno chamado Procellarum, também conhecido como Oceanus Procellarum (do latim: "Oceano das Tormentas"), é o maior dos mares lunares, localizado na borda ocidental do lado visível da Lua de acordo com o USGS "Serviço Geológico dos Estados Unidos" (USGS Astrogeology, 2024) que possuem altos níveis de elementos incompatíveis e calor, podem ter permanecido parcialmente fundidos por centenas de milhões de anos, talvez até um bilhão de anos. Os últimos magmas ricos em KREEP do oceano de magma parecem ter se concentrado na região de Oceanus Procellarum e na bacia do Imbrium, formando uma região geológica única conhecida como Procellarum KREEP Terrane.

4.2.2 Composição Elementar

Os elementos conhecidos por estarem presentes na superfície Lunar incluem, entre outros, oxigênio (O), silício (Si), ferro (Fe), magnésio (Mg), cálcio (Ca), alumínio (Al), manganês (Mn) e titânio. (Ti). Entre os mais abundantes estão o oxigênio, o ferro e o silício. O teor de oxigênio é estimado em 45% (em peso). Carbono (C) e nitrogênio (N) parecem estar presentes apenas em pequenas quantidades provenientes da deposição pelo vento solar. (Taylor, 1975)

4.2.3 Formação

Durante um longo período de tempo, a questão fundamental relativamente à história da Lua foi a sua origem. As primeiras hipóteses incluíam fissão da Terra, captura e concreção. Hoje, a hipótese do impacto gigante é amplamente aceita pela comunidade científica. (Lang, 2011).

4.2.4 Mare Lunar

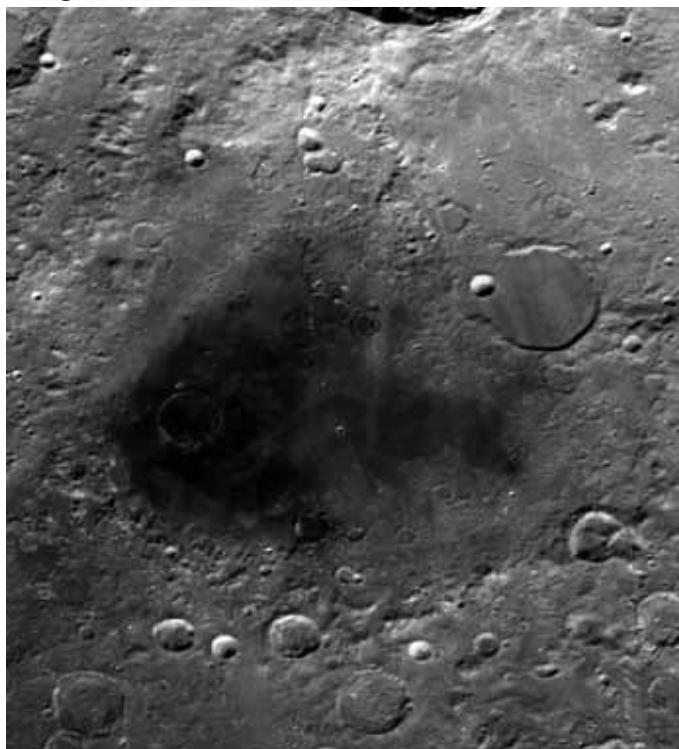
Os "Mares Lunares" (plural de "mar Lunar") são vastas planícies basálticas escuras visíveis na superfície da Lua. Essas formações geológicas têm uma aparência lisa e escura em comparação com as áreas circundantes, que geralmente são mais acidentadas e mais claras. O termo "mare" significa "mar" em latim, mas é importante destacar que essas áreas não são cobertas por água líquida, como os mares terrestres, mas sim por basalto solidificado. (Wilhelms, 1987)

A formação dos mares Lunares está associada a atividades vulcânicas passadas. Durante os primeiros estágios da história da Lua, há bilhões de anos, ela estava geologicamente ativa, com vulcões entrando em erupção e lava fluindo para a superfície. As erupções vulcânicas nessa época foram mais intensas devido ao calor residual do processo de formação da Lua.

Quando a lava fluía para a superfície, ela preenchia depressões e bacias, formando essas vastas planícies basálticas. À medida que a lava esfriava e solidificava, ela formava uma camada de basalto escuro, criando as características planícies que vemos hoje como os mares Lunares. Essas planícies têm uma tonalidade mais escura porque o basalto é um tipo de rocha ígnea que geralmente é mais escuro do que as rochas que compõem as áreas mais claras da Lua. (Wilhelms, 1987)

Os mares Lunares têm nomes interessantes, como Mare Imbrium (Mar das Chuvas), Mare Serenitatis (Mar da Serenidade), Mare Tranquillitatis (Mar da Tranquilidade) e assim por diante (Wilhelms, 1987). Cada um desses *mares* recebeu seu nome de acordo com observações e interpretações feitas ao longo da história da astronomia. A presença desses mares na Lua é uma parte importante de sua história geológica e fornece informações valiosas sobre seu passado vulcânico e evolução ao longo do tempo, como pode ser observado na figura 1 abaixo, um exemplo desse tipo de formação como pode ser observado na imagem retirada pela NASA do Mare Humboldtianum em 2005.

Figura 1 - No centro, o Mare Humboldtianum



Fonte: NASA (2005).

4.2.5 Crateras De Impactos

Uma cratera de impacto é uma depressão circular na superfície de um corpo astronômico sólido formada pelo impacto de hipervelocidade de um objeto menor. Em contraste com as crateras vulcânicas, que resultam de explosão ou colapso interno (Lofgren *et al.*, 1981), um exemplo de formação de uma cratera de impacto registrado na superfície do nosso planeta Terra, Cratera Pingualuit localizado no Canadá, registrado pela a NASA em 2007 como ser observado na figura 2 abaixo.

Figura 2 - Cratera Pingualuit em Nunavik, norte de Quebec, Canadá



Fonte: NASA. Courtesy of Denis Sarrazin, 12 de outubro de 2007 - Pingualuit crater in Nunavik, northern Quebec, Canada.

As crateras de impacto são estruturas geológicas formadas quando um objeto, como um meteorito ou um asteroide, colide com a superfície de um planeta, lua ou outro corpo celeste. Existem vários tipos de crateras de impacto, e sua estrutura pode variar dependendo de vários fatores, como o tamanho do objeto impactante, a velocidade do impacto, a composição do terreno e as condições ambientais (NASA, 2004).

Colisões de alta velocidade entre objetos sólidos, comumente conhecidas como crateras de impacto, resultam em efeitos físicos notáveis que diferem das colisões subsônicas mais comuns.

Esses impactos de hipervelocidade causam fenômenos como derretimento e vaporização, que não são observados em colisões mais lentas. Na Terra, excluindo os efeitos de desaceleração na atmosfera, a velocidade mínima de impacto com um objeto vindo do espaço é equivalente à velocidade de escape gravitacional, cerca de 11 km/s. Em situações extremas, como a colisão com um objeto em órbita retrógrada quase parabólica, a velocidade pode atingir até 72 km/s. (Amsmeteors, 2015) Em média, a velocidade de impacto na Terra é de cerca de 20 km/s (Kenkmann *et al.*, 2005) Esses dados destacam a intensidade e as consequências singulares das colisões em alta velocidade no contexto das crateras de impacto.

Na ausência de uma atmosfera, o impacto de um objeto começa assim que ele entra em contato com a superfície do alvo. Esse contato faz com que o alvo acelere e o objeto em colisão desacelere. Devido à alta velocidade do objeto, sua parte traseira continua se movendo significativamente durante o curto intervalo necessário para que a desaceleração se propague por todo o corpo. Isso leva à compressão do objeto, aumentando sua densidade e causando uma elevação dramática da pressão interna. As pressões máximas durante esses impactos podem atingir níveis semelhantes aos encontrados no interior de planetas ou criados artificialmente em explosões nucleares. (Melosh, *et al.*, 1989)

Fisicamente, uma onda de choque se forma no ponto de contato durante um impacto. À medida que se expande, a onda desacelera e comprime tanto o objeto quanto o alvo, causando danos irreversíveis. As pressões elevadas podem transformar minerais cristalinos em formas mais densas, como a conversão do quartzo em coesita ou estishovita. Essas alterações causadas pela onda de choque podem ser usadas para identificar crateras de impacto em formações geológicas. (Melosh *et al.*, 1989)

À medida que a onda de choque se dissipa, a região impactada retorna a pressões e densidades normais. Os danos causados pela onda de choque aumentam a temperatura do material. Em impactos significativos, esse aumento de temperatura pode fundir o objeto em impacto e até vaporizá-lo, além de fundir grandes volumes do alvo. Além de aquecido, o alvo próximo ao impacto é impulsionado pela onda de choque, continuando a se afastar do ponto de impacto à medida que a onda de choque se dissipa. (Melosh *et al.*, 1989)

Em um grande impacto, o processo que envolve o contato, compressão, descompressão e passagem da onda de choque acontece em questão de décimos de segundo. A formação subsequente da cratera é mais gradual, e durante essa fase, o fluxo de material ocorre em velocidades abaixo da velocidade do som. Durante o processo de escavação, a cratera vai se expandindo à medida que o material do alvo, impulsionado pela colisão, se afasta do ponto de impacto. Inicialmente, o movimento do material é descendente e lateral, mas logo se torna

ascendente e lateral. O fluxo de material inicialmente forma uma cavidade em formato de hemisfério que continua crescendo, resultando eventualmente em uma cratera em forma de tigela, na qual o centro foi empurrado para baixo, uma quantidade significativa de material foi lançada para fora e uma borda elevada da cratera foi formada. Quando essa cavidade atinge seu tamanho máximo, ela é conhecida como cavidade transitória. (Melosh *et al.*, 1989)

As crateras vulcânicas não explosivas costumam ter uma forma irregular e estão associadas a fluxos vulcânicos e outros materiais do vulcão, o que as distingue das crateras de impacto. Embora as crateras de impacto também gerem rochas derretidas, isso geralmente ocorre em menor volume e com características distintas. (Francês; Bevan, 1998)

Uma característica única das crateras de impacto é a presença de rochas que passaram por metamorfismo de choque, evidenciado por cones fragmentados, rochas derretidas e deformações cristalinas. O desafio está no fato de que esses materiais costumam ficar enterrados em profundidade, especialmente em crateras simples. No entanto, eles costumam ser expostos no centro elevado de crateras complexas. (Francês; Bevan, 1998)

Aqui estão alguns dos tipos de crateras de impacto mais comuns:

Crateras simples: São as crateras mais básicas e comuns. Elas têm uma forma de tigela, com uma borda elevada (ou rampart) e um fundo relativamente plano. A transição entre a borda e o fundo pode ser suave ou abrupta, dependendo da velocidade e do ângulo de impacto.

Crateras complexas: São crateras maiores e mais complexas, com estruturas internas mais elaboradas. Elas podem apresentar características como picos centrais, anéis concêntricos, terraços internos e sulcos radiais. Essas características surgem devido ao colapso e rearranjo do material durante o impacto.

A figura 3 abaixo criada pela NASA explica com clareza como que decorre esse processo de formação das crateras simples e complexas e suas diferenças de formações eles explica que: “Conforme mostrado na figura, a principal diferença entre a cratera simples e a cratera complexa é que a cratera complexa exibe um pico central de elevação no centro da cratera”.

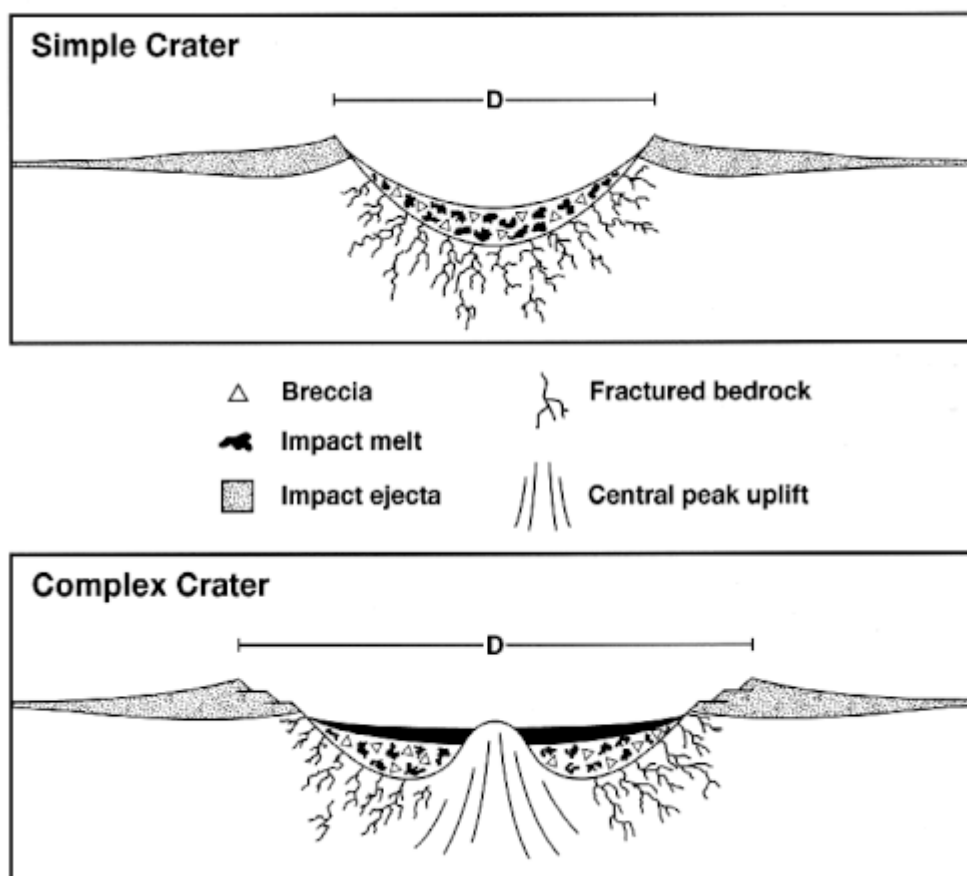
Crateras de impacto múltiplo: Podem ocorrer quando múltiplos objetos impactam a mesma área em momentos diferentes. Isso pode resultar em sobreposição de crateras, formando um padrão complexo de interações.

Crateras de raios: São caracterizadas por raios brilhantes que se estendem a partir do ponto de impacto. Esses raios são compostos principalmente por material ejetado durante o impacto, que se espalha radialmente pela superfície.

Crateras de depressão: São crateras rasas e largas que se formam em terrenos com alto teor de gelo ou em regiões onde o impacto causa o colapso de camadas superficiais, criando uma depressão em vez de uma elevação.

Esses são apenas alguns exemplos dos tipos de crateras de impacto que podem se formar em diferentes condições e ambientes. Cada tipo de cratera pode fornecer informações valiosas sobre a história geológica e o impacto de eventos cataclísmicos na evolução dos corpos celestes.

Figura 3 - Estrutura de Crateras de impacto



Fonte: NASA (2004).

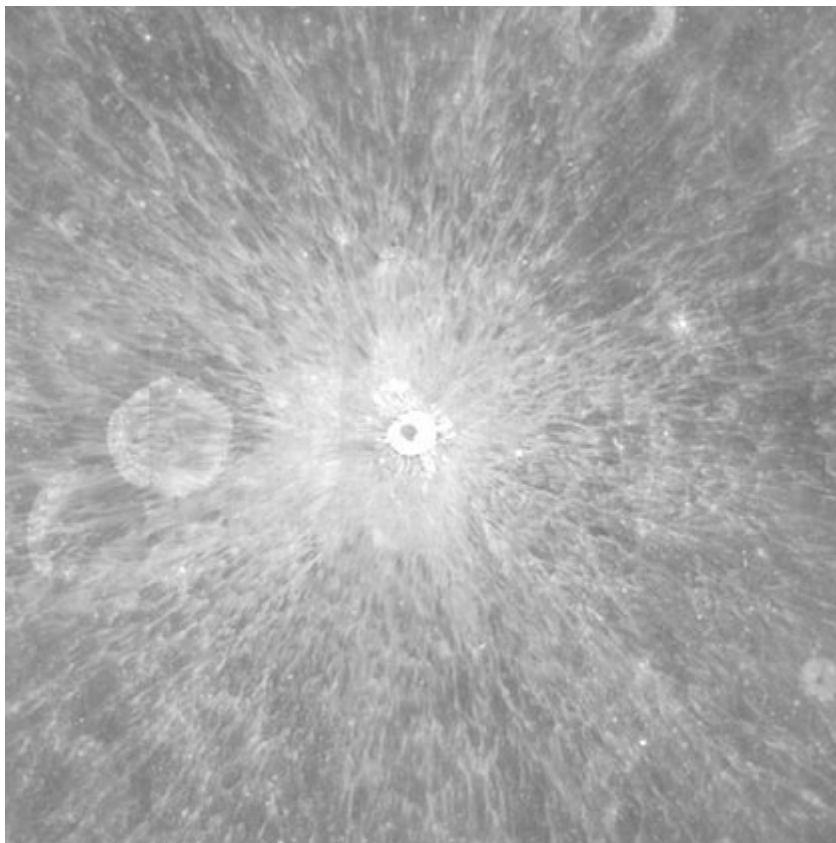
4.2.6 Sistema De Raio De Uma Cratera De Impacto

Na geologia planetária, um sistema de raios é uma característica formada por material residual de uma cratera de impacto. Após a colisão, o material ejetado pode se distribuir em forma de raios ao redor da cratera, com comprimentos que podem superar várias vezes o diâmetro da cratera. Esse material ejetado pode também formar pequenas crateras adicionais devido ao material

ejetado da colisão. As formações de raios são visíveis em luz visível e, às vezes, no infravermelho, dependendo da refletância ou propriedades térmicas do material ejetado. (Martel, 2004)

As figuras 4 e 5 nos permite observar de ângulos diferentes como se dá as formações de um sistema de raio criado de uma cratera e suas diferentes formações uma vez cada formação será única e não se repetira. Já na figura 6 nos permite ter uma visão expandida de parte da superfície lunar, ficando visível as múltiplas formações de sistemas de raios em sua superfície.

Figura 4 - Sistema de raios, superfície Lunar.



Fonte: NASA (2016), NASA/ Arizona State Univ. / Clementine

Figura 5 - Sistema de raios, superfície Lunar



Fonte: NASA (1971), Sistema de raios assimétricos sobre a cratera Lunar Proclus (imagem da Apollo 15)

As formações de raios em crateras de impacto podem ajudar na datação das crateras ao comparar as características dos raios com o material da superfície onde ocorreu o impacto. Na Lua, sem atmosfera para causar erosão, os raios podem ser preservados por mais tempo em comparação com a Terra. A radiação espacial pode alterar o albedo dos raios, fazendo com que eles se tornem semelhantes ao material da superfície com o tempo. Além disso, novas crateras e materiais ejetados de impactos subsequentes podem cobrir e deteriorar os raios mais antigos (Martel, 2004).

No entanto, a análise do albedo dos raios para determinar a idade pode ser complicada pela composição do material ejetado. A presença de ferro pode influenciar o albedo, com concentrações baixas resultando em raios mais brilhantes e, portanto, preservados por mais tempo. Por isso, é crucial considerar a composição do material ao usar os raios para datar uma cratera.

A ideia de que os raios são formados por impactos foi proposta por Eugene Shoemaker na década de 1960 (Martel, 2004).

Figura 6 - Sistema de raios, superfície Lunar



Fonte: James Stuby based on NASA image created 2013, original 1969. “Os raios de Giordano Bruno se estendem por centenas de quilômetros a partir da pequena cratera (imagem da Apollo 11)”

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

5.1 Material empregado

Neste projeto de pesquisa, utilizaremos dados de modelos digitais de elevação (DEM) fornecidos pela NASA e JAXA (2015), além do levantamento geológico presente no "*Mapa Geológico Global Unificado Digital da Lua em Escala 1:5.000.000*" (Fortezzo *et al.*, 2020), desenvolvido pelo Centro de Ciências Astrogeológicas do USGS.

Tomando como base os dados secundários adquiridos para a elaboração dessa pesquisa foi utilizado duas imagens de satélites, uma para a criação do mapa da superfície lunar: um modelo digital de elevação (MDE) e um modelo digital de elevação sombreado. A sobreposição desses modelos permitiu um detalhamento mais preciso da superfície, oferecendo um estudo mais aprofundado da geomorfologia lunar e suas características topográficas, em combinação com o mapa geológico. Também foi utilizada a lista de nomenclatura das estruturas já catalogadas na superfície Lunar.

Na tabela 1 a seguir está o fluxograma da elaboração da pesquisa, onde está organizado os caminhos percorridos, material empregados e métodos utilizados.

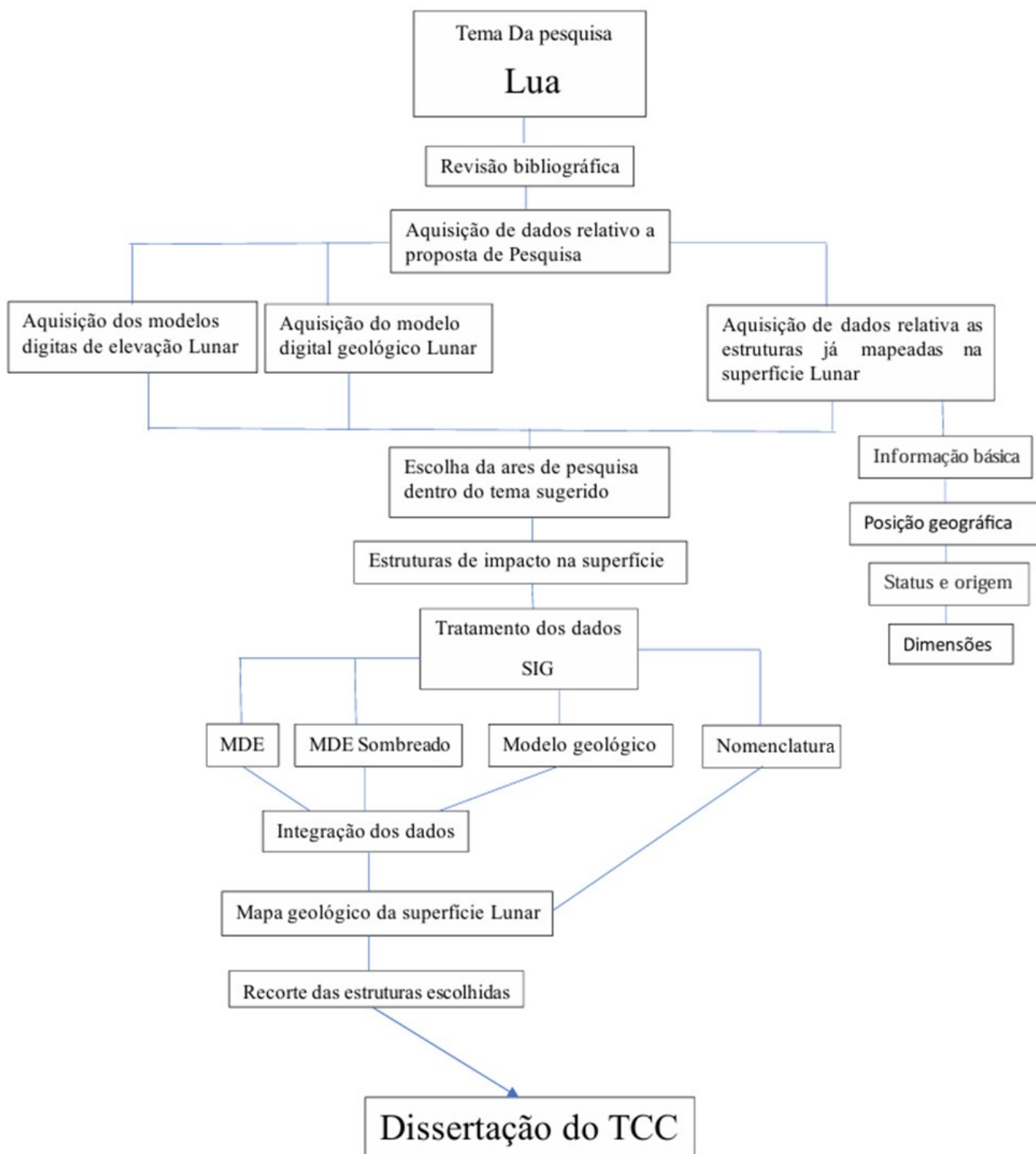


Tabela 1: Fluxograma evidenciando as etapas desenvolvidas durante a dissertação

5.2 Informações sobre as missões e instrumento

Tabela 2 – Informações sobre os instrumentos e as missões que coletaram os dados e imagens relativos a superfície lunar.

Missões / Instrumento	Informações
Sonda Espacial Lro (Nasa)	A NASA lançou a espaçonave Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) em junho de 2009, equipada com diversos instrumentos que continuam capturando imagens de alta resolução da superfície lunar a partir de sua órbita polar excêntrica.
Instrumento - Lunar Orbiter Laser Altimeter (Lola)	O LOLA coletou mais de 6,5 bilhões de medições da altura da superfície lunar, com precisão vertical de aproximadamente 10 cm e horizontal de cerca de 1 metro. Esse levantamento gerou um mapa topográfico que se tornou a referência geodésica para a comunidade lunar, resultando nos modelos digitais de elevação (DEMs) polares mais precisos até hoje.
Sonda Espacial Kaguya (Selene – Selenological And Engineering Explorer) (Jaxa)	A Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA) lançou a sonda Kaguya (SELENE) em 14 de setembro de 2007, com o objetivo de obter dados científicos sobre a origem e evolução da Lua, além de desenvolver tecnologias para futuras missões lunares. A sonda estava equipada com uma câmera estereoscópica para mapear o terreno equatorial com uma resolução de cerca de 60 metros por pixel.
Instrumento Tc (Óptico De Alto Desempenho)	A câmera estéreo de alta resolução, com precisão de 10 metros, era parte do conjunto de instrumentos Lunar Imager/Spectrometer (LISM), que também incluía o Multi-band Imager (MI) com resolução de 20 metros e o Spectral Profiler (SP).

Fonte: Astropedia - Catálogo Cartográfico Lunar e Planetário 2023

Organizador: autor (2024).

5.3 Imagem de satélite orbital utilizadas

5.3.1 Relevô sombreado do modelo de elevação digital Lunar (MDE)

A imagem inicial, chamada "*Lua LRO LOLA – SELENE Kaguya TC Shaded Relief Merge 60N60S 59m v1*" (ASTROPEDIA, 2023), foi publicada em 8 de setembro de 2015, pelo Centro de Ciências Astrogeológicas do USGS (USGS Astrogeology Science Center) no grupo PDS. Na mesma data, foi adicionada à Astropedia.

O objetivo de ambos os MDEs e a criação um modelo topográfico global de alta definição, que possibilita um posicionamento geodésico preciso. Isso permitirá que futuras missões realizem

pousos mais seguros e tenham maior mobilidade na superfície lunar. A alta qualidade do produto gerado permite uma análise superficial com grande precisão.

Tabela 3 - INFORMAÇÕES GEOESPACIAL - “Moon LRO LOLA - SELENE Kaguya TC DEM Merge 60N60S 59m v1”

Descrição do local	Lua
Latitude Mínima	-60
Latitude Máxima	60
Longitude Mínima	-180
Longitude Máxima	180
Método de referência espacial direta	Raster
Tipo de objeto	Pixel
Linhas (pixels)	61440
Amostras (pixels)	184320
Tipo de bit	8
Nome do Quad	****
Raio A	1737400
Raio C	1737400
Rede de controle	LOLA
Bandas	1
Resolução de pixels(metros/pixel)	59.2252938
Escala(pixels/grau)	512
Unidades do sistema de coordenadas horizontais	Metros
Projeção de mapa, Nome	Equiretangular
Tipo de latitude	Planetocêntrico
Direção Longitude	Leste Positivo
Domínio Longitude	-180 a 180

Fonte: Astropedia - Catálogo Cartográfico Lunar e Planetário 2023

Organizador: autor (2024).

5.3.2 Modelo de elevação digital Lunar (MDE)

Tabela 4 - INFORMAÇÕES GEOESPACIAL - “Lua LRO LOLA – SELENE Kaguya TC Shaded Relief Merge 60N60S 59m v1”

Descrição do local	Lua
Latitude Mínima	-60
Latitude Máxima	60
Longitude Mínima	-180
Longitude Máxima	180
Método de referência espacial direta	Raster
Tipo de objeto	Pixel
Linhas (pixels)	61440
Amostras (pixels)	184320
Tipo de bit	16
Nome do Quad	****
Raio A	1737400
Raio C	1737400
Rede de controle	LOLA
Bandas	1
Resolução de pixels(metros/pixel)	59.2252938
Escala(pixels/grau)	512
Unidades do sistema de coordenadas horizontais	Metros
Projeção de mapa, Nome	Equiretangular
Tipo de latitude	Planetocêntrico
Direção Longitude	Leste Positivo
Domínio Longitude	-180 a 180

Fonte: Astropedia - Catálogo Cartográfico Lunar e Planetário 2023

Organizador: autor (2024).

A segunda imagem “Lua LRO LOLA – SELENE Kaguya TC DEM Merge 60N60S 59m v1”, foi publicada pela editora “USGS Astrogeology Science Center”, Centro de Ciências Astrogeológicas do USGS, na Data de 4 de fevereiro de 2015. Foi adicionado a Astropédia no dia 8 de setembro de 2015. Os dados relativos ao MDE podem ser vistos na tabela 4 acima.

5.3.3 Descritivo técnico de ambas as imagens

De acordo com as especificações das imagens: (NASA’s LOLA Team and JAXA’s SELENE/Kaguya Team). As equipes do Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA) e do SELENE/Kaguya Team criaram dois modelos de elevação digital (DEM). O primeiro é um modelo digital de elevação (DEM) e o segundo é um relevo sombreado de um DEM aprimorado, cobrindo latitudes de $\pm 60^\circ$, com uma resolução horizontal de 512 pixels por grau (~59 metros por pixel no equador) e uma precisão vertical de 3 a 4 metros. Esse DEM foi construído a partir de cerca de 4,5 bilhões de medições topográficas geodésicas precisas do LOLA, com a co-registração de 43.200 DEMs estereoscópicos (cada um de $1^\circ \times 1^\circ$) do TC, totalizando aproximadamente 1 trilhão de pixels.

Após a co-registração, cerca de 90% dos DEMs do TC apresentaram resíduos verticais médios quadráticos menores que 5 metros em relação aos dados do LOLA, uma melhoria em relação aos 50% anteriores. Os dados co-registrados do TC foram usados para corrigir erros de geolocalização orbital e de apontamento nos perfis altimétricos do LOLA (geralmente resultando em erros menores que 10 metros horizontalmente e 1 metro verticalmente). A combinação de ambos os conjuntos de dados produziu um DEM quase global, altamente preciso, sem necessidade de interpolação de superfície. O DEM combinado LOLA + TC, denominado "SLDEM2015", foi avaliado para identificar costuras e erros de crossover, com valores referenciados a um raio de 1.737.400 metros.

5.3.4 Informações Da Missão e Dos Instrumentos

A Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos (NASA) enviou a espaçonave Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) para a Lua em junho de 2009 (Tooley *et al.*, 2010). A LRO carrega diversos instrumentos que, desde então, continuam capturando imagens de alta resolução da superfície lunar enquanto orbita em uma trajetória polar excêntrica (Petro *et al.*, 2019). O LOLA, um dos instrumentos a bordo, já coletou mais de 6,5 bilhões de medições da altura da superfície lunar com precisão vertical de aproximadamente 10 cm e uma precisão

horizontal de cerca de 1 metro (Mazarico *et al.*, 2013). Graças a essa cobertura global extremamente precisa, o mapa topográfico gerado tornou-se a referência geodésica para os estudos da Lua, além de ter resultado nos modelos digitais de elevação (DEMs) polares mais detalhados e precisos até hoje (Barker *et al.*, 2016).

A Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA) lançou a espaçonave SELENE Kaguya rumo à Lua em setembro de 2007. A missão terminou em 10 de junho de 2009, quando a nave foi propositalmente impactada na superfície lunar. Após essa fase, os esforços de mapeamento e coleta de dados geraram o "maior projeto de exploração lunar desde o programa Apollo" (Haruyama *et al.*, 2008).

Entre os instrumentos a bordo do SELENE estava uma câmera estereoscópica de alta resolução, com precisão espacial de 10 metros, parte do conjunto Lunar Imager/Spectrometer (LISM) (Kato *et al.*, 2006). O sistema LISM também incluía o Imager de Multibandas (MI, com resolução de 20 metros; Ohtake *et al.*, 2008) e o Espectrômetro de Perfil (Sp; Matsunaga *et al.*, 2008). A missão SELENE foi desenvolvida e operada pela JAXA.

5.4 Mapa Geológico Lunar

Para nosso terceiro elemento que compõem um dos pilares dessa pesquisa, o mapa geológico digital que nos fornece os detalhes geológico Lunar e outro elementos estruturas presente na superfície de acordo com estudos já realizados sobre a geologia Lunar.

De acordo com os integrantes do projeto “*Unified Geologic Map of the Moon 2020.*” (Fortezzo, *et al.*, 2020), este novo projeto apresenta um mapa geológico contínuo e consistente em nível global, na escala de 1:5.000.000, elaborado a partir de seis mapas geológicos que foram atualizados digitalmente. A finalidade deste projeto é criar um recurso digital que seja útil para investigações científicas, além de apoiar futuros esforços de mapeamento geológico em escalas locais, regionais ou globais, servindo também como material educativo para professores e para o público interessado em geologia lunar. O projeto final abrange a identificação de contatos entre unidades, polígonos de unidades geológicas, características lineares e anotações sobre nomenclatura das formações.

O mapa também integra produtos de relevo sombreado, obtidos por meio da câmera estéreo de terreno da SELENE Kaguya (com uma resolução de ~60 m/pix na região equatorial) e dados de altimetria do LOLA (para os polos norte e sul, com resolução de 100 m/pix). Esses dados não estão disponíveis para download devido ao seu tamanho, mas um arquivo readme na pasta "Lunar_Raster" oferece links para acessá-los. A página de download contém um PDF do mapa

geológico, que inclui uma breve descrição das unidades e uma explicação dos símbolos, além de um JPG para visualização rápida. Este lançamento poderá ser atualizado com base no feedback da comunidade e em revisões por pares.

O projeto do mapa geológico “Unified Geologic Map of the Moon 2020.” (Fortezzo, *et al.*, 2020). Teve a sua publicação pela *Astrogeology* em 3 Maech 2020. Os altores do projeto são compostos por Corey M. Fortezzo (USGS), Paul D. Spudis (LPI), Shannon L. Harrel (SD Mines). Tendo como originador USGS Astrogeology Science Center, no grupo PGM, MRCTR. Foi adicionado a Astropédia no dia 19 de dezembro de 2019, Os dados relativos ao modelo digital podem ser vistos na tabela 5 abaixo.

Tabela 5 - Informação Geoespacial - “Unified Geologic Map of the Moon 2020”

Descrição do local	Lua
Latitude Mínima	-90
Latitude Máxima	90
Longitude Mínima	-180
Longitude Máxima	180
Método de referência espacial direta	Vetor
Tipo de objeto	Polígono
Linhas (pixels)	****
Amostras (pixels)	****
Tipo de bit	****
Nome do Quad	****
Raio A	1737400
Raio C	1737400
Rede de controle	LOLA
Bandas	****
Resolução de pixels(metros/pixel)	****
Tipo de latitude	Planetocêntrico
Direção Longitude	Leste Positivo
Domínio Longitude	-180 a 180

Fonte: Astropedia - Catálogo Cartográfico Lunar e Planetário 2023

Organizador: autor (2024).

5.5 Nomenclatura das estruturas

Com relação a nomenclatura das crateras na superfície Lunar foi utilizado o banco de dados da “International Astronomical Union (IAU) Working Group for Planetary System Nomenclature (WGPSN)” Grupo de Trabalho para Nomenclatura de Sistemas Planetários da União Astronômica Internacional. Onde nos é fornecido todos os nomes de todas as crateras e estruturas catalogadas até o presente na superfície Lunar, não só isso, mais também dados complementares como descritivos individuais de cada feição e formação catalogada. Sem dúvida de grande ajuda para a pesquisa uma vez que já nos fornecem os dados em planilha de forma a permiti inserir na ferramenta de SIG, facilitando o processamento final junto dos demais dados coletados.

A União Astronômica Internacional (IAU) é a autoridade reconhecida internacionalmente para atribuir nomenclatura às características da superfície planetária.

A União Astronômica Internacional (IAU) “International Astronomical Union”, teve seu início no ano de 1919. E tem como sua principal missão fazer a promoção e salvaguardar a ciência astronômica dentro de todos os seus aspectos. Isso inclui a investigação, comunicação, educação e o desenvolvimento pela cooperação internacional.

5.6 Nomenclatura das estruturas – Mapa Lunar na escala de 1:1.000.000

Para que fosse possível fazer a devida conferência dos dados relativos as nomenclaturas das estruturas na superfície Lunar do projeto realizado, foi utilizado o mapa de nomenclatura na escala 1:1.000.000 fornecido pela “International Astronomical Union (IAU)” onde eles mantem uma base de dados atualizados com todos os nomes relacionados a corpos celestes planetários, permitindo uma precisa conferência com o que a de atual com relação a nomenclatura planetária.

Durante a inserção dos dados relativos aos nomes no SIG “Sistema de informação geográfica”, ouve a dúvida quanto ao devido posicionamento dos nomes em sua devida correspondência juntamente coma as imagens DME e o modelo digital da geológico Lunar. Sendo assim necessário tirar a prova quanto a localização deles dentro de um banco de dados oficial.

Com o banco de dados da IAU, foi possível fazer a conferência quanto a posição geoespacial das formações na superfície e outros dados relevantes para a pesquisa.

5.7 Sistema de dados planetários (PDS)

O sistema de dados planetários arquiva e distribui dados científicos de missões planetárias da NASA, observações astronômicas e medições laboratoriais. O PDS é patrocinado pela diretoria de missões científicas da NASA. O seu objetivo é garantir a usabilidade a longo prazo dos dados da NASA e estimular a investigação avançada.

5.8 Procedimentos realizados

Todo o trabalho consiste na análise e processamento de dados secundários, fundamentado no uso de procedimentos computacionais para a análise e manipulação de dados, além de bibliografias relativas ao tema para a interpretação dos resultados adquiridos ao longo da pesquisa.

Toda a análise superficial teve como base os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) e o Modelo Geológico Digital, ambos adquiridos no site do Astropedia – Lunar and Planetary Cartographic Catalog (2023). A base de dados relacionada aos nomes e informações individuais de cada estrutura mapeada na superfície lunar foi obtida no Gazetteer of Planetary – International Astronomical Union (IAU, 2023) Working Group for Planetary System Nomenclature (WGPSN, 2023).

Os MDEs foram distribuídos pelo Annex of the PDS Cartography & Imaging Sciences Node, no repositório de dados geoespaciais da Astropedia (2024) financiado pela NASA e derivado dos dados do PDS. O modelo geológico digital foi distribuído pelo MRCT GIS LAB - Astrogeology Mapping, Remote-sensing, Cartography, Technology, and Research do USGS (2024), voltado para pesquisas planetárias. Este laboratório oferece suporte público a ferramentas gráficas, estatísticas e espaciais para SIG (Sistemas de Informação Geográfica) na análise de dados planetários.

A nomenclatura das estruturas e os dados individuais parciais foram obtidos no Gazetteer of Planetary, que se compromete a promover e preservar dados astronômicos em seus aspectos de investigação, comunicação, educação e desenvolvimento, por meio da cooperação internacional.

O processo de análise das estruturas na superfície lunar foi limitado pelos MDEs adquiridos, que não cobrem toda a superfície lunar, variando entre as latitudes +60 e -60 e longitudes +180 e -180. No entanto, o modelo geológico digital cobre latitudes de +90 a -90 e longitudes de +180 a -180. Como o intuito é a análise das estruturas na superfície lunar, decidiu-se trabalhar dentro das limitações dos MDEs, sendo essa a área de estudo deste projeto.

Para realizar a análise desses dados, foi utilizado o software QGIS, uma ferramenta computacional de código aberto que permite a análise e manipulação de dados, oferecendo uma grande variedade de abordagens na área de SIG.

Para analisar cada estrutura de acordo com o seu período geológico, foram utilizados os dados do modelo geológico digital, que já possui em seus dados as divisões de cada período. Assim, fez-se uma sobreposição das camadas com os MDEs, permitindo visualizar as correspondências entre o período geológico e o terreno na superfície lunar. Como a análise é individual para cada estrutura, foi feito o recorte do MDE de acordo com os períodos geológicos, dividindo-os em cinco modelos, correspondentes a cada período.

Dentro de cada divisão, foram escolhidas as estruturas a serem analisadas, priorizando-se as maiores de cada período com formação por impacto superficial. No entanto, para os períodos mais antigos, esse critério não foi seguido devido ao baixo número de estruturas que apresentavam uma formação mínima estrutural visível para análise por impacto superficial.

Com cada estrutura devidamente escolhida, foram criados os mapas presentes neste trabalho. Entre os mapas criados para a análise de dados, estão os seguintes: mapa hipsométrico local e global, divididos em duas formas: o primeiro relativo somente ao MDE de cada local e o segundo ao MDE do relevo sombreado. O mapa local refere-se ao recorte realizado em cada estrutura dentro de cada período geológico, e o global, à totalidade da superfície correspondente ao MDE utilizado no trabalho. Foi criado um mapa hipsométrico com curvas de nível de 1000 metros para melhor destacar a formação do terreno em cada localidade, além de mapas comparativos das mesmas estruturas entre relevo sombreado e o MDE normal. A partir dos MDEs de cada localidade, foi feito um mapa de análise topográfica de cada formação estrutural, incluindo a estrutura principal e seu entorno, para melhor compreensão das estruturas ao redor das formações principais. Mapas geológicos globais, baseados no modelo geológico digital utilizado, e mapas geológicos locais de cada estrutura mostram a correspondência de cada estrutura escolhida. Por fim, foi criado um Modelo tridimensional das estruturas de cada local para melhorar a compreensão de cada localização, uma vez que o local de estudo deste trabalho está além das fronteiras terrestres, permitindo uma relação visual com os dados adquiridos ao longo de todo o processo.

Após a confecção dos mapas utilizados no trabalho, passou-se para a análise individual de cada estrutura escolhida, abordando: estrutura principal, estruturas secundárias, altimetria, comparativo com o mapa na escala 1:1.000.000 e modelo tridimensional.

Por fim, foi realizado um breve comparativo entre as estruturas e suas alterações ao longo dos Bilhões de anos de formação lunar, analisando como essas estruturas se comportam dentro do seu período geológico e se há alguma relação entre elas.

6 PERÍODOS GEOLÓGICOS LUNARES

De acordo com Wilhelms (1987) Os períodos geológicos Lunares podem ser divididos em cinco: Copernicano, Eratosteniano, Imbriano (com duas subdivisões: inicial e tardia), Nectariano e Pré-Nectariano.

As escalas de tempo desses períodos estão relacionadas a eventos de grandes impactos, que, por sua vez, influenciaram a modificação da superfície Lunar. As mudanças associadas à formação de crateras e seus tamanhos sobrepostos em unidades geológicas ao longo da superfície são evidentes. Os períodos geológicos Lunares foram delimitados através da datação radiométrica das amostras coletadas da superfície. No entanto, ainda existe uma incerteza quanto aos eventos-chave que ocorreram em sua história, pois fazer a correlação entre as amostras de superfície e as unidades geológicas Lunares é uma tarefa complexa. Além disso, o intenso bombardeamento que a superfície Lunar sofreu ao longo de sua história dificulta a identificação radiométrica precisa das amostras devido à contaminação.

Os principais processos geológicos responsáveis pela alteração na superfície da Lua são causados por crateras de impacto ou vulcanismo. Através do princípio estratigráfico, como a lei da superposição, é possível ordenar os eventos geológicos históricos e compreender sua estruturação.

Uma das hipóteses levantadas era que a formação basáltica dos mares ("mare basalts"), grandes planícies basálticas escuras na superfície Lunar, poderia representar uma única unidade estratigráfica. No entanto, sabe-se agora que sua formação é decorrente de um longo processo contínuo de atividade vulcânica. Especula-se que sua ocorrência data de aproximadamente 4.2 Bilhões de anos atrás a 1.2 Bilhões de anos.

As consequências das crateras de impacto incluem a modificação da geomorfologia da superfície Lunar. Através da erosão do relevo, é possível atribuir uma idade relativa para a sua estrutura de formação.

O tempo de cada período geológico Lunar pode ser estimado da seguinte forma:

- **Período Copernicano** (Aproximadamente 1.2 bilhões de anos atrás até o presente): Marcado por impactos relativamente recentes, como a formação da cratera Copernicus.

- **Período Eratosteniano** (Aproximadamente 3.2 a 1.2 bilhões de anos atrás): Um período de menor atividade vulcânica, onde a erosão espacial começa a prevalecer.

- **Período Imbriano** (Aproximadamente 3.8 a 3.2 bilhões de anos atrás): Subdividido em Imbriano Inferior e Superior, este período inclui a formação das grandes bacias como Imbrium e a deposição de vastas planícies de lava.

- **Período Nectariano** (Aproximadamente 3.9 a 3.8 bilhões de anos atrás): Caracterizado pela formação da bacia de impacto Nectaris e uma grande quantidade de vulcanismo.

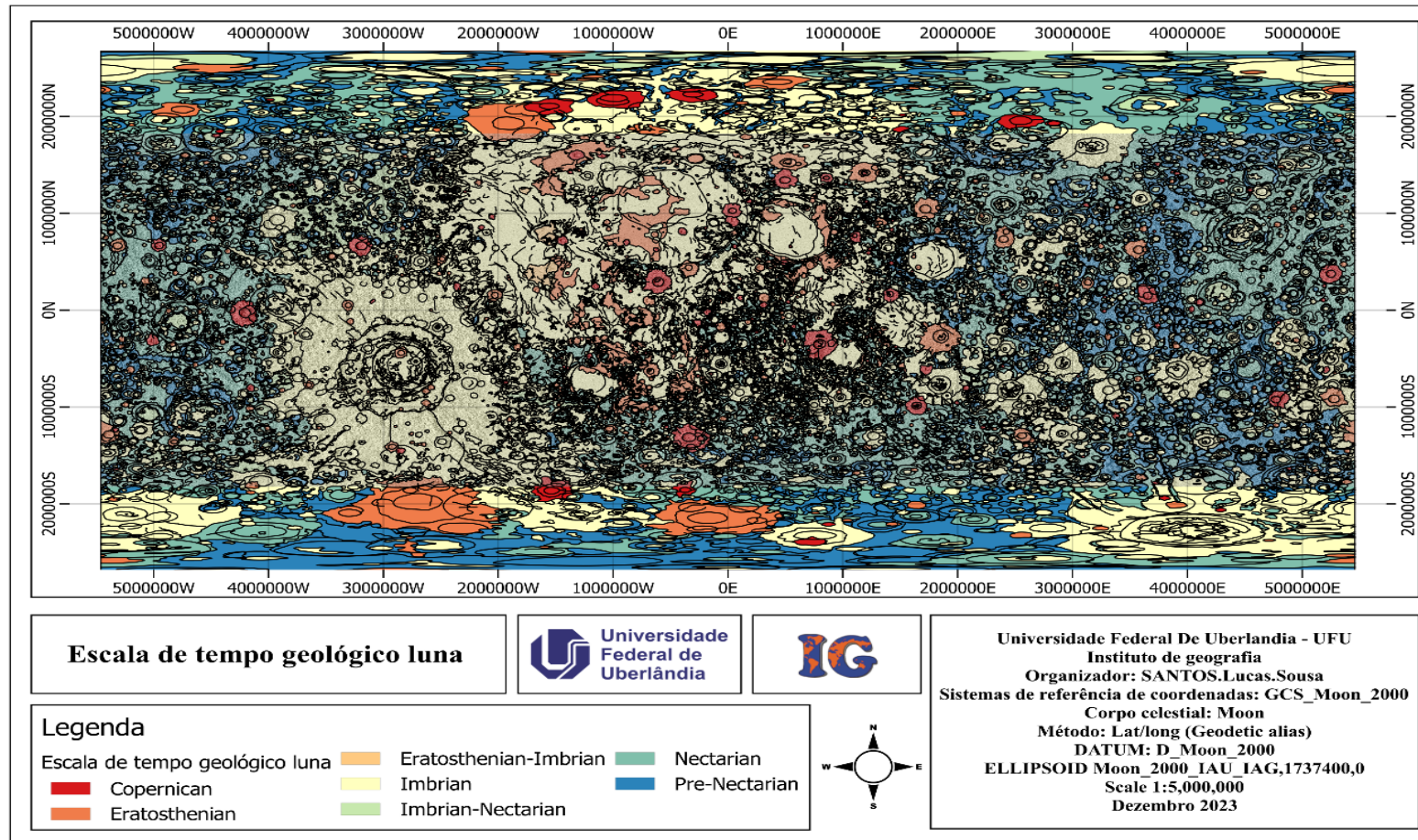
- **Período Pré-Nectariano** (Aproximadamente 4.5 a 3.9 bilhões de anos atrás): Esta é a era mais antiga da história Lunar, marcada pela formação inicial da crosta Lunar e os primeiros grandes impactos.

A história geológica da Lua é um testemunho das forças dinâmicas que moldaram não apenas o nosso satélite, mas também a evolução do Sistema Solar. O trabalho de Wilhelms (1987) oferece uma visão abrangente e detalhada dessa história, fundamentada em décadas de pesquisa e análise.

Na primeira parte desta pesquisa, abordaremos primeiramente cada um dos períodos geológicos para fazer uma análise geomorfológica individual das estruturas escolhidas.

Agora, abordaremos os períodos geológicos Lunares em relação ao mapa geológico "*Digital Unified Global Geologic Map of the Moon At 1:5.000.000-Scale*" (Fortezzo *et al.*, 2020) onde são detalhados todos os contornos, estruturas e períodos geológicos mapeados e suas unidades. Dessa forma, é possível realizar uma análise detalhada juntamente com as imagens de satélites "*Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) LOLA*" (NASA, 2013) (Shaded, DME), que proporcionam um detalhamento das feições superficial Lunar.

Figura 7 - Mapa representativo dos períodos geológicos Lunar



6.1 Período Copernicano

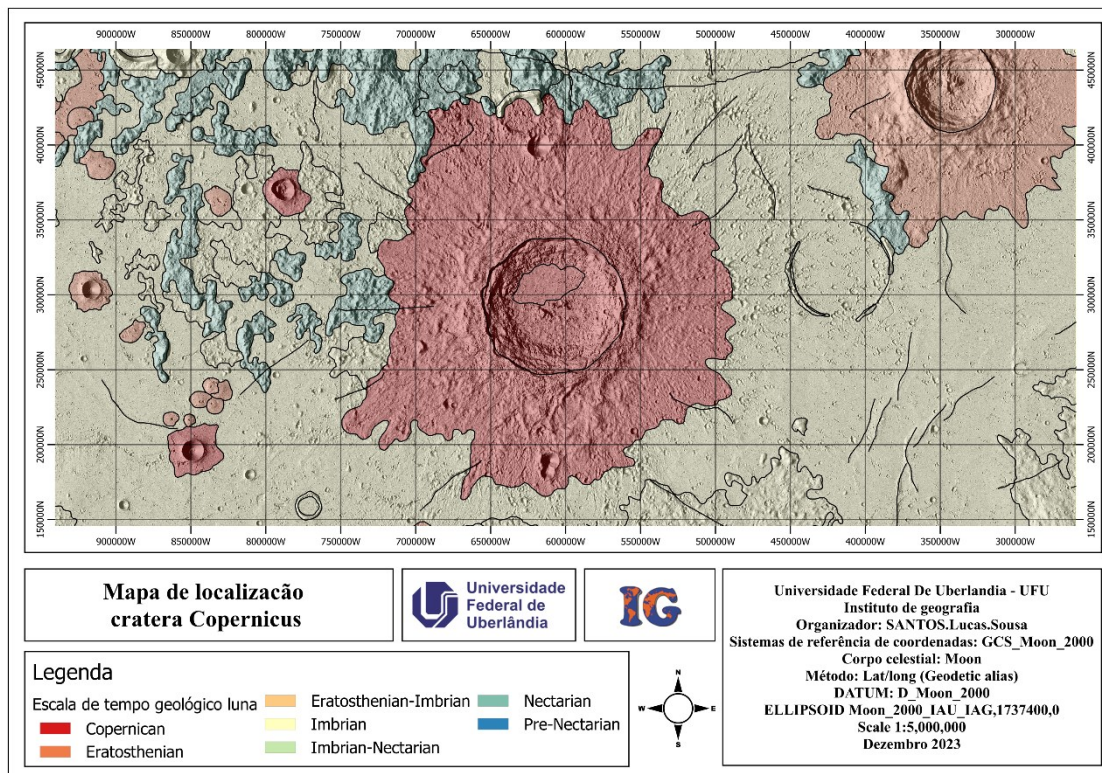
É estimado que o período Copernicano é o mais recente dos períodos geológicos existentes na Lua, com base nos estudos realizados até o momento, sendo assim o mais jovem dentre os cinco períodos. Seu período está estimado entre os dias atuais e cerca de 1,2 bilhões de anos atrás.

Uma das características das crateras de impacto no período Copernicano são as formações de raios que são gerados durante o impacto de um objeto na superfície lunar. A ejeção do material decorrente do impacto cria esses raios ao redor do local, podendo alcançar várias vezes o diâmetro da cratera. Por possuir um albedo maior que o do material superficial já existente, destaca-se na sua localidade, mas esse fenômeno não pode ser definido como um marcador predominante para o período Copernicano.

A base do período Copernicano está fundamentada na ejeção do material mais recente em sua superfície, material este que pode possuir um albedo maior do que o material mais antigo presente na superfície devido ao intemperismo espacial. No entanto, ressalta-se a cautela quanto ao uso desse método para a definição de crateras de impacto mais recentes, pois a composição química e mineralógica do material ejetado pode fazer com que o intemperismo não afete de forma uniforme o "material mais recente" na superfície, resultando em um intemperismo desigual que pode dificultar a datação correta com base na observação.

De acordo com os dados relativos à geologia lunar, o período Copernicano possui 225 correspondências em sua superfície, mas é bom ressaltar que estamos analisando apenas as feições dentro de "latitudes de $\pm 60^\circ$ ", conforme fornecido pelas imagens de satélite "Lua LRO LOLA Merge 60N60S 59m", deixando as feições fora dessa área fora desta análise. Astropedia (2024)

Figura 8 - Exemplo de formação geológica do período Copernican – Cratera Copernicus



Organizador: autor (2024).

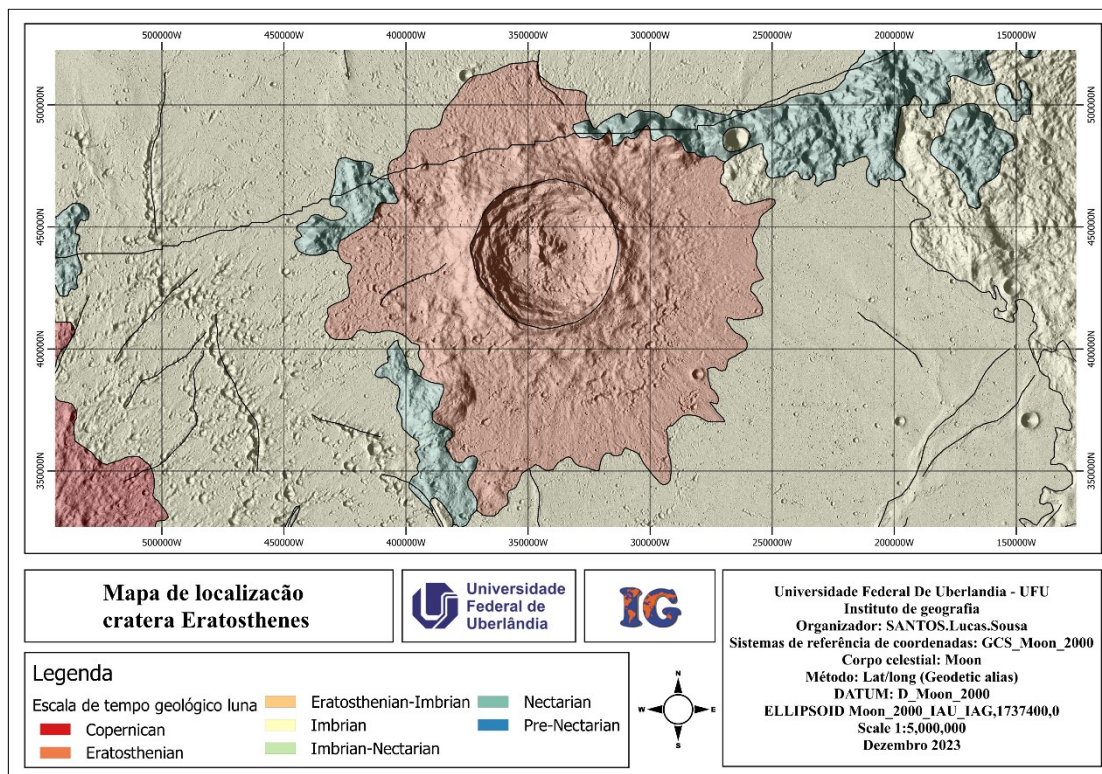
6.2 Período Eratosthenian

O período Eratosteniano, entre os cinco existentes, é o segundo mais recente dentre os períodos geológicos lunares, com uma estimativa de duração entre 3,2 bilhões e 1,2 bilhões de anos atrás (WILHELMS, 1987).

O período Eratosteniano deve seu nome à cratera Eratosthenes, que representa fisicamente as características das crateras desse período geológico lunar.

Devido à sua idade geológica, a exposição do período Eratosteniano a ações exógenas é relativamente baixa em comparação com as formações mais antigas dos períodos geológicos lunares. Essas exposições incluem intemperismo espacial e colisões de objetos que alteram sua estrutura original. Portanto, as formações deste período são muito mais preservadas dentro do contexto geológico lunar. No entanto, devido ao tempo de exposição, elas não apresentam mais os raios de formação decorrentes dos impactos superficiais, que são característicos do período Copernicano.

Figura 9 - Exemplo de formação geológica do período Eratosthenes - Cratera Eratosthenes



Organizador: autor (2024).

6.3 Período Imbrian

6.3.1 Imbrian Primitivo

O período Ímbrico Primitivo tem sua ocorrência estimada entre 3,2 e 3,85 bilhões de anos atrás, sendo conhecido, entre outros eventos, pela formação da bacia do Mare Imbrium (WILHELM, 1987).

Essa bacia foi posteriormente preenchida com basalto, decorrente de atividades vulcânicas ou, possivelmente, por fissuras no solo que permitiram a passagem desse material para a superfície, resultando em seu preenchimento.

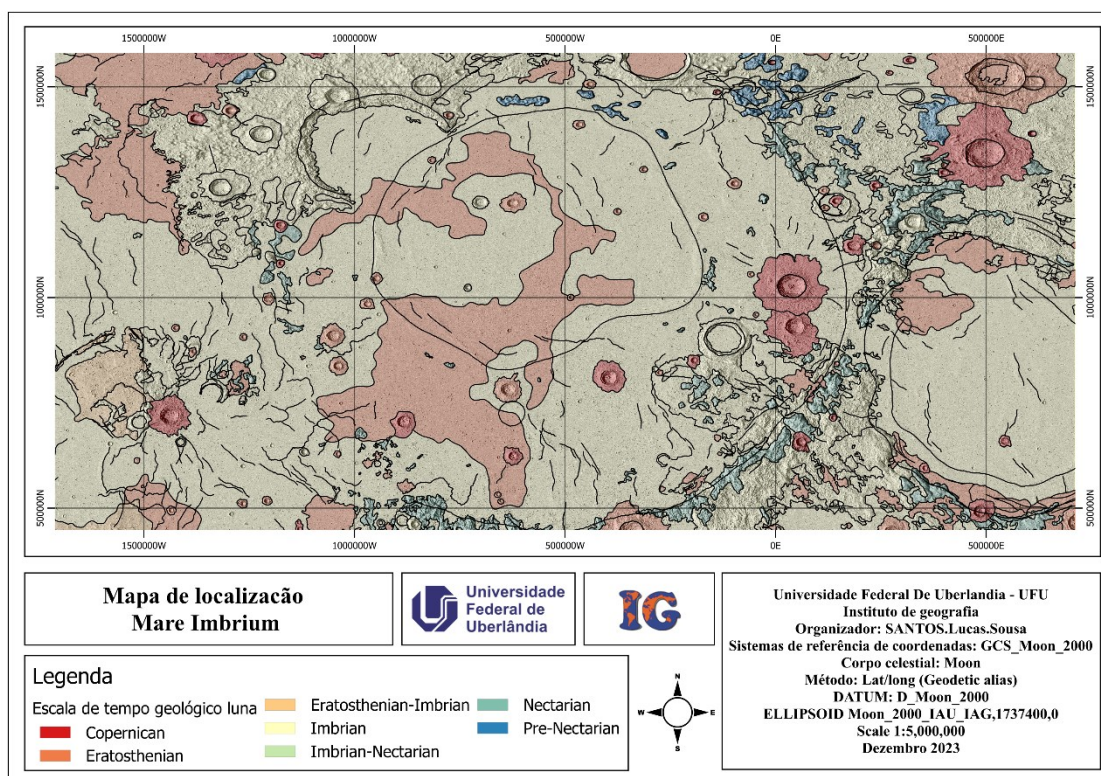
6.3.1 Imbrian Tardio

O período Ímbrico Tardio tem sua ocorrência estimada entre 3,2 e 3,8 bilhões de anos atrás (WILHELMS, 1987).

Foi nesse período que se acredita que o manto abaixo das bacias lunares tenha colapsado, permitindo o preenchimento das estruturas que conhecemos hoje como "mares" na superfície lunar.

Há uma teoria que sugere que, durante os impactos ocorridos no período Ímbrico, as formações rochosas da estrutura interna da Lua foram abaladas, fazendo com que o manto subisse devido à baixa pressão exercida sobre ele. Isso teria trazido o manto derretido para mais próximo da superfície. Alternativamente, o próprio calor do interior lunar pode ter derretido as formações rochosas próximas. A maioria das amostras trazidas para a Terra para serem estudadas é dessa época.

Figura 10 - Exemplo de formação geológica do período Imbrium / Mare Imbrium



Organizador: autor (2024).

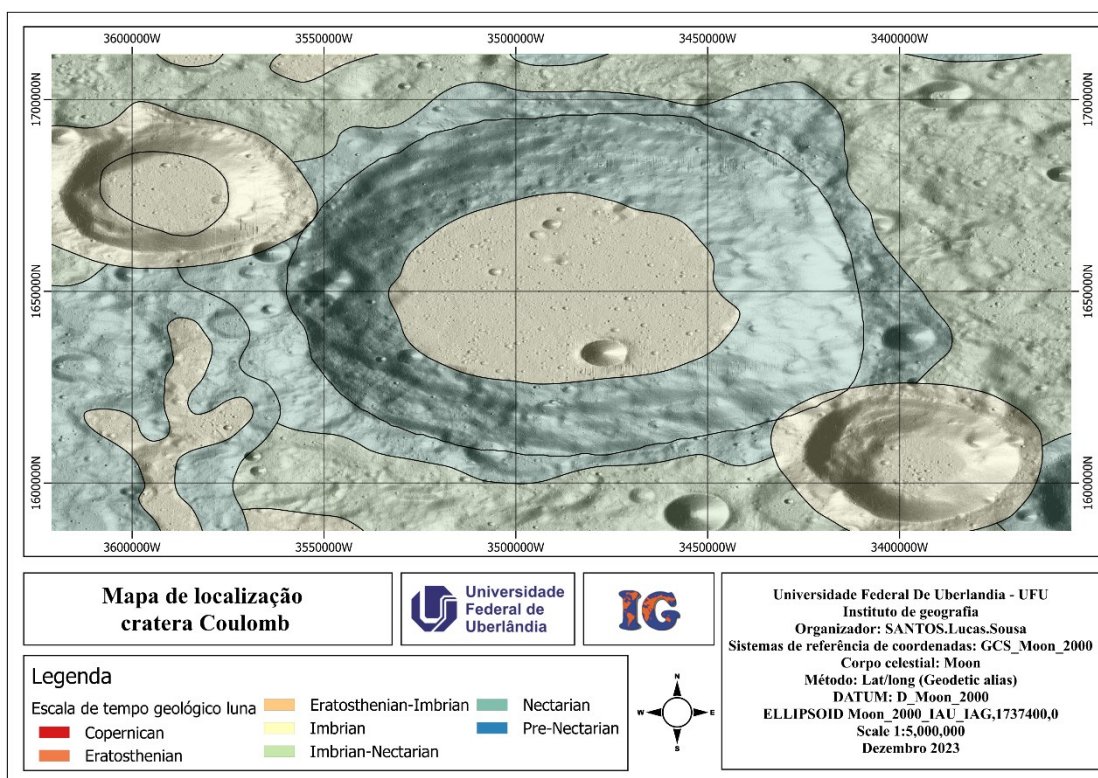
6.4 Período Nectarian

O período Nectárico Tardio tem sua ocorrência estimada entre 3,92 e 3,85 bilhões de anos atrás (Wilhelms, 1987).

Foi durante esse período geológico lunar que ocorreu a formação da bacia Nectárica, devido ao grande impacto de um objeto celeste na superfície lunar. Esse evento é uma das características marcantes desse período, assinalando o seu início.

O material ejetado durante o período Nectárico formou as partes mais elevadas da região com a maior concentração de crateras de impacto na superfície lunar.

Figura 11 - Exemplo de formação geológica do período Nectaris / Cratera Coulomb



Organizador: autor (2024).

6.5 Período Pre-Nectarian

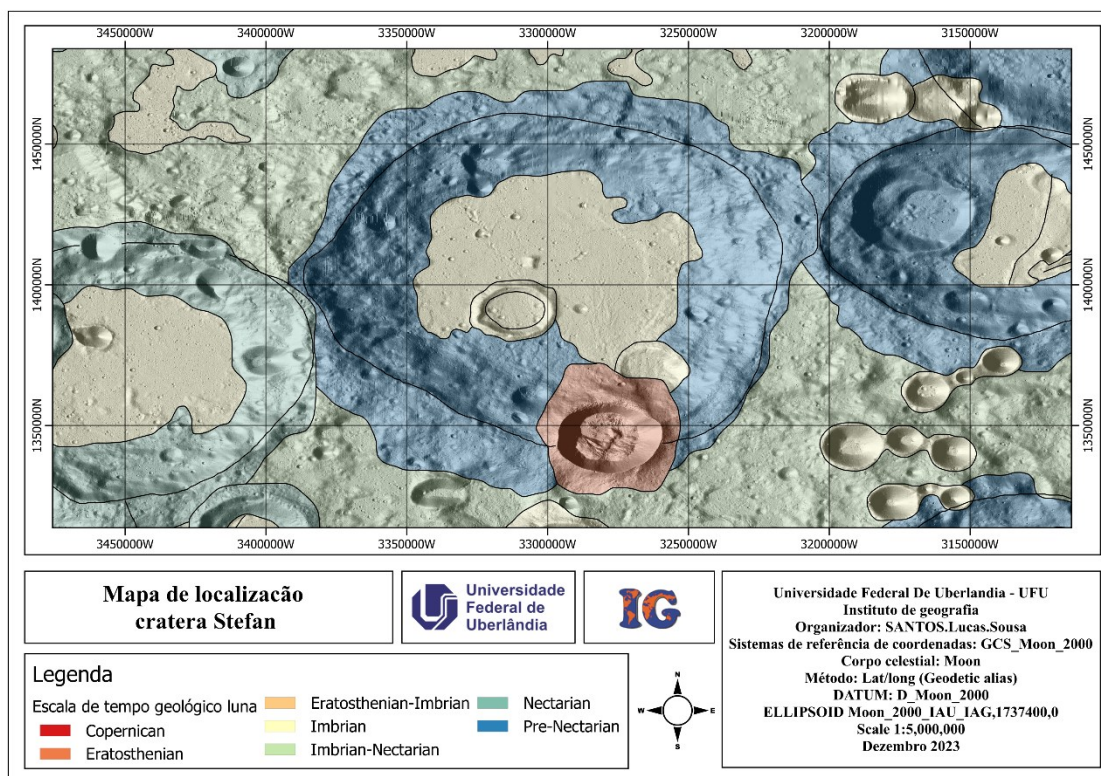
O período Pré-Nectárico tem sua ocorrência estimada entre 4,53 bilhões e 3,92 bilhões de anos atrás (WILHELMS, 1987). Entre os cinco períodos geológicos existentes, o Pré-Nectárico é definido como o mais antigo de todos. Seu término é marcado pela formação da bacia Mare Nectaris na superfície lunar.

Dada a antiguidade desse período geológico lunar, encontrar amostras desse período pode ser complicado, considerando as coletas e análises de dados superficiais às quais estamos atualmente restritos. Talvez seja necessário realizar uma prospecção mais profunda na superfície lunar para encontrar material suficiente para análises geológicas.

Utilizando a lei da superposição, que afirma que em uma sequência estratigráfica o material mais antigo estará naturalmente na parte inferior da sequência, é natural que o material desse período esteja em camadas mais profundas da formação estrutural lunar.

Outro ponto a ser considerado é que o material das partes mais elevadas da superfície lunar pode apresentar vestígios desse período geológico, através de depósitos que sobreviveram ao longo do processo geológico sofrido pela superfície lunar ao longo de sua história.

Figura 12 - Exemplo de formação geológica do período Pre-Nectaris / Cratera Mach



Organizador: autor (2024).

7 ANÁLISE DOS DADOS

7.1 Descritivo Inicial de cada Estrutura Escolhida

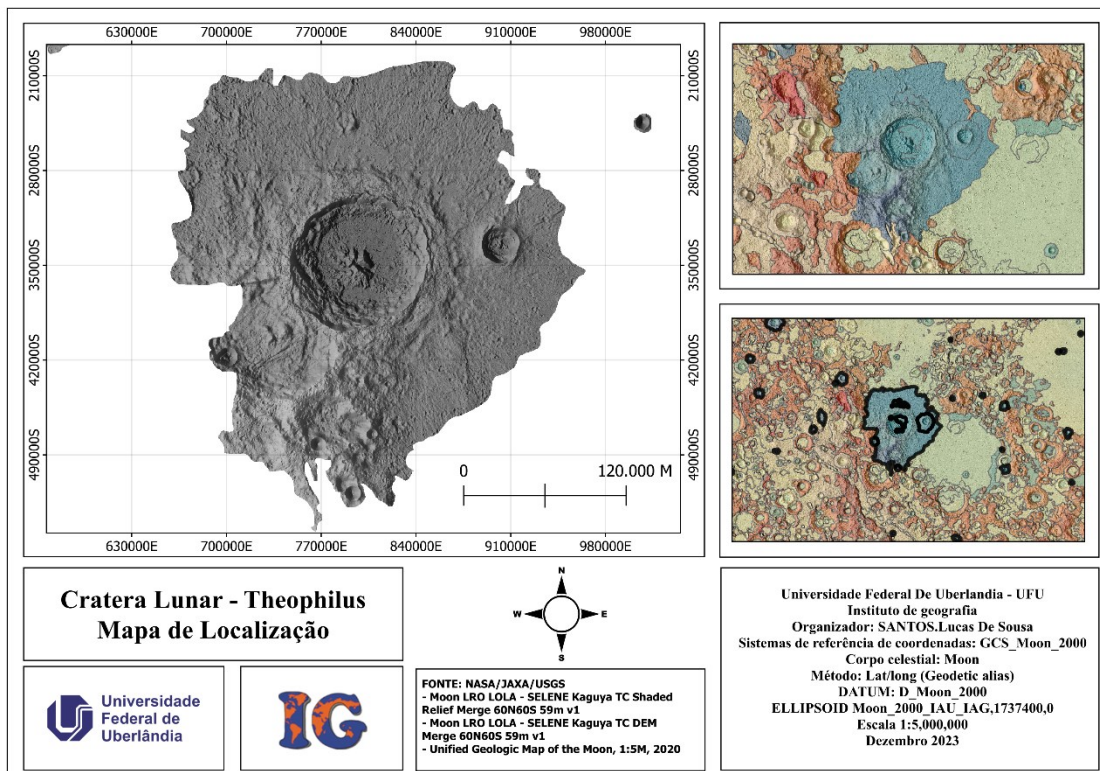
Dada a quantidade de feições, a análise de todas elas demandaria muito tempo e trabalho. Portanto, selecionaremos apenas uma amostra de cada período para realizar uma análise adequada. Foram escolhidas as maiores feições de cada período.

No modelo digital do mapa "*Digital Unified Global Geologic Map of the Moon At 1:5.000.000-Scale*" (Fortezzo, et al., 2020), já nos são fornecidos todos os dados relacionados às feições. Assim, utilizaremos essa base de dados para fundamentar nossa pesquisa.

7.1.1 Período Copérnico – Cratera Theophilus

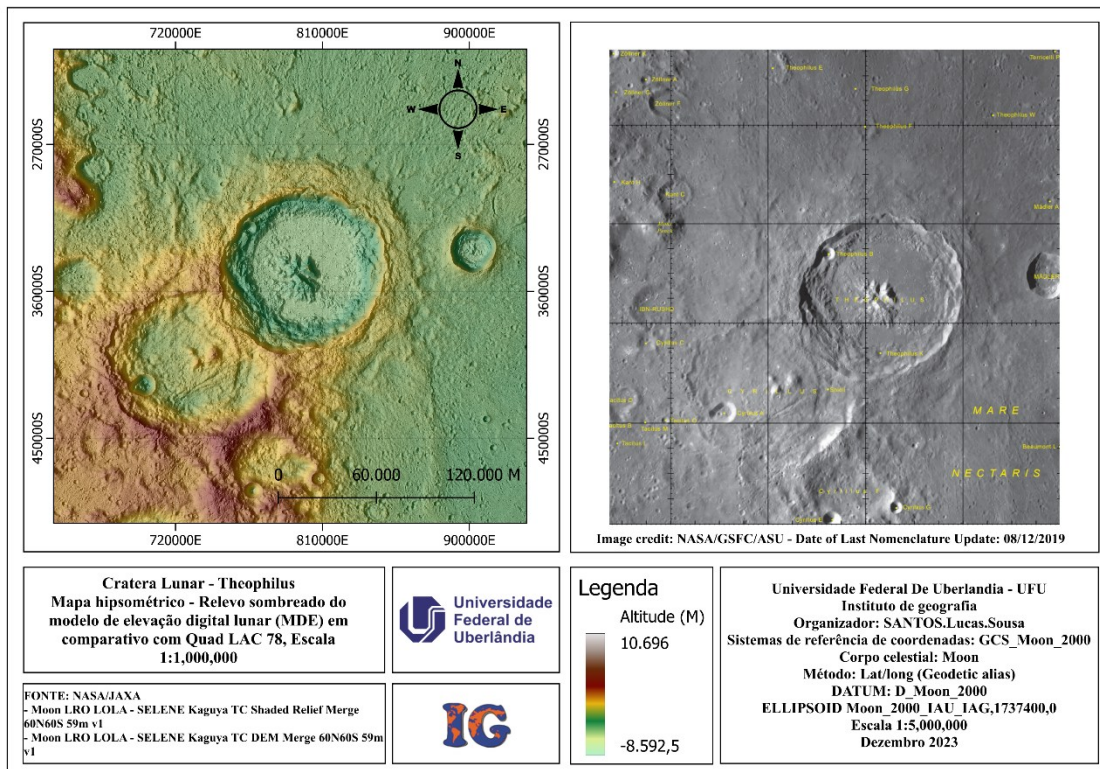
A primeira feição selecionada do período Copernican, tendo como referência o mapa geológico "*Digital Unified Global Geologic Map of the Moon At 1:5.000.000-Scale*" (Fortezzo, et al., 2020), é a cratera Theophilus, localizada dentro da área de estudo escolhida. No sistema de referência "Planetographic, +East, -180 - 180", suas coordenadas são: latitude mais ao norte: -9.83° , latitude mais ao sul: -13.08° , longitude oriental: 27.95° , e longitude mais ocidental: 24.63° . Possui um diâmetro estimado de 98.59 km resultante do impacto. As coordenadas centrais são: latitude -11.45° e longitude 26.28° .

Figura 13 - Mapa de localização / Cratera Theophilus



Organizador: autor (2024).

Figura 14 - Cratera Theophilus, Imagem de referência na escala de 1:1.000.000

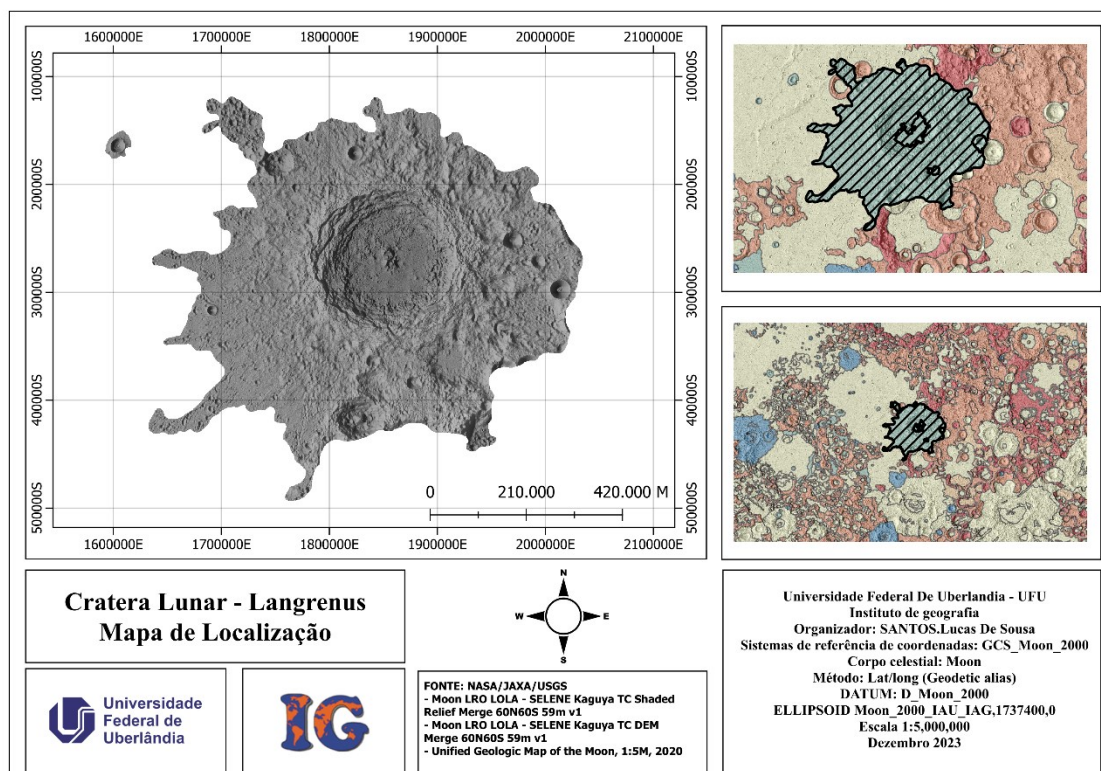


Organizador: autor (2024).

7.1.2 Período Eratosthenian – Cratera Langrenus

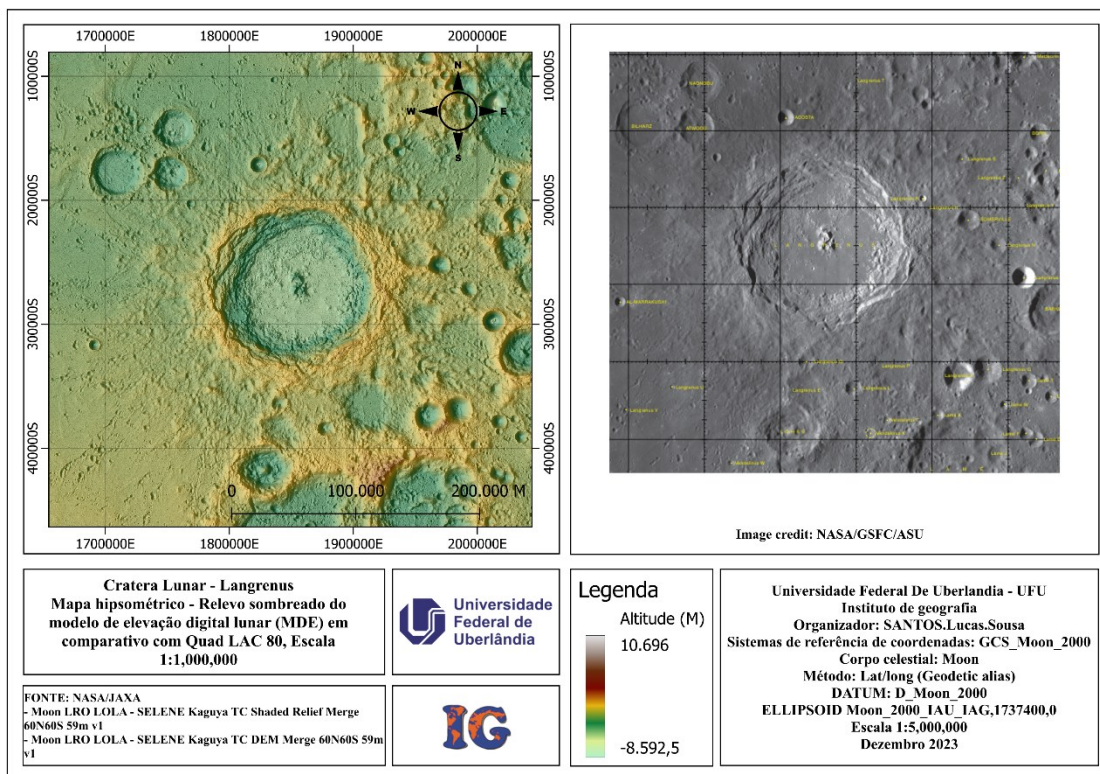
A feição selecionada dentro do período Eratosthenian, tendo como referência o mapa geológico "Digital Unified Global Geologic Map of the Moon At 1:5.000.000-Scale" (Fortezzo, et al., 2020), é a cratera Langrenus, localizada na área de estudo escolhida. No sistema de referência "Planetographic, +East, -180 – 180", suas coordenadas são: latitude mais ao norte: -6.68° , latitude mais ao sul: -11.04° , longitude oriental: 63.24° , e longitude mais ocidental: 58.84° . Possui um diâmetro estimado de 131.98 km resultante do impacto superficial. As coordenadas centrais são: latitude -8.86° e longitude 61.04° .

Figura 15 - Mapa de localização / Cratera Langrenus



Organizador: autor (2024).

Figura 16 - Cratera Langrenus, Imagem de referência na escala de 1:1.000.000

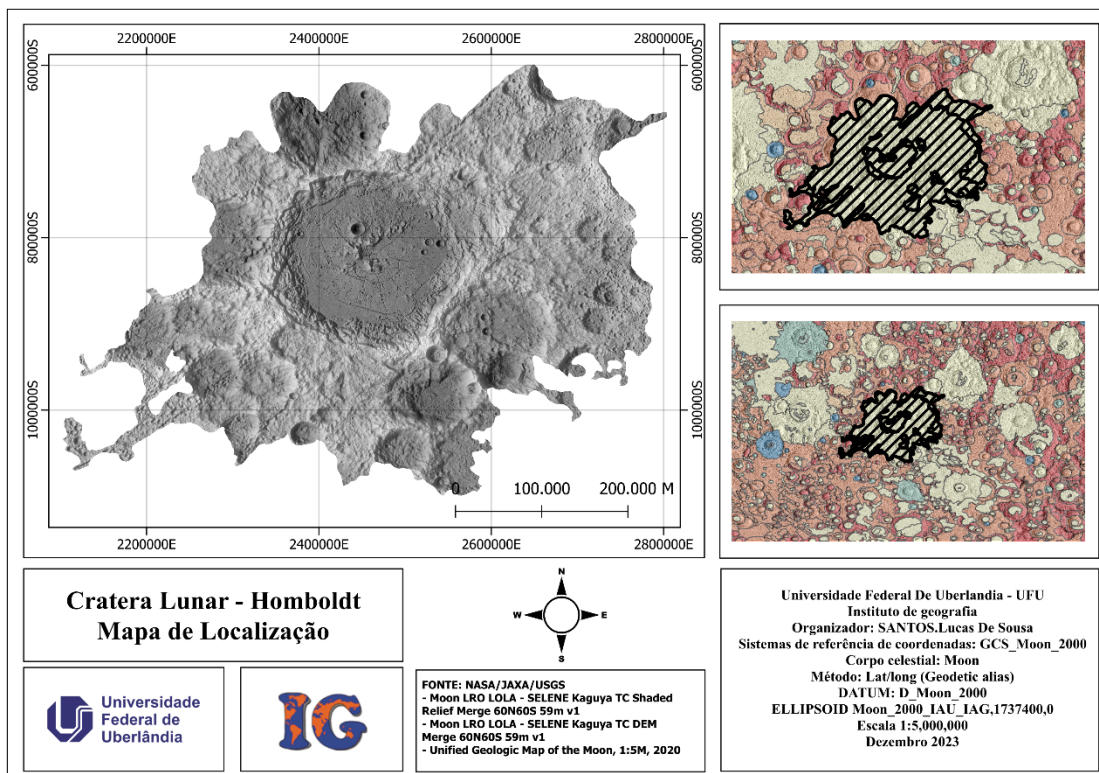


Organizador: autor (2024).

7.1.3 Período Imbrian – Cratera Humboldt

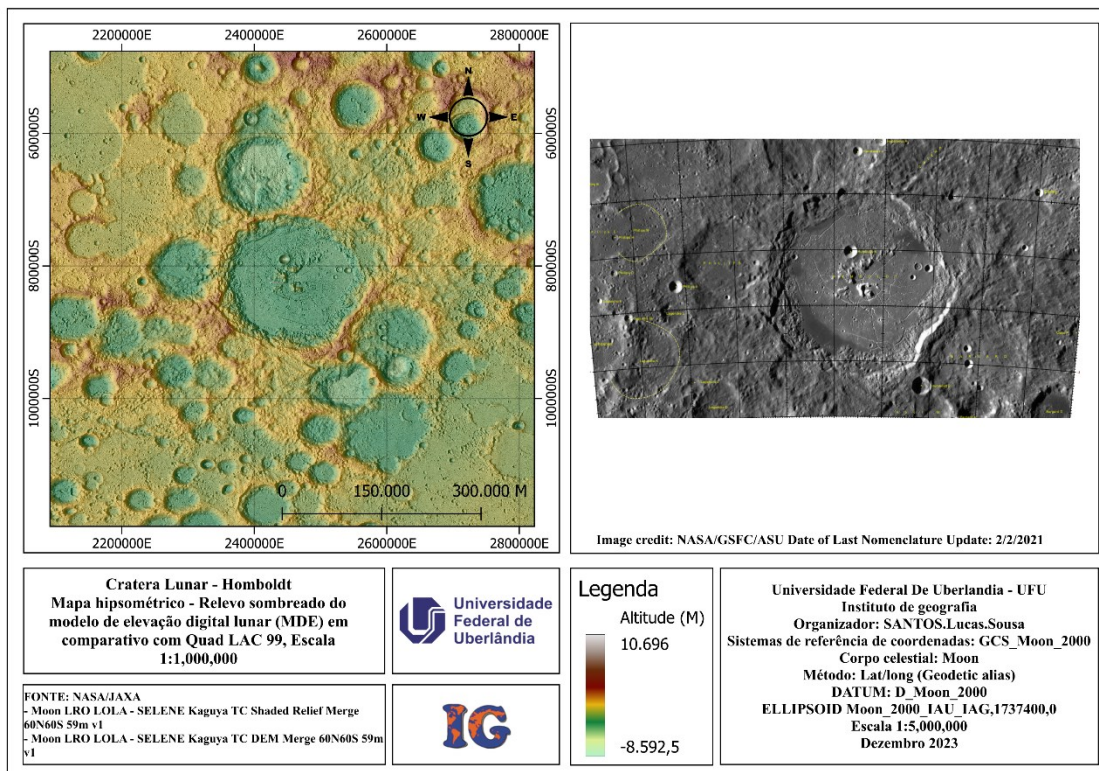
A feição selecionada dentro do período Imbrian, tendo como referência o mapa geológico "*Digital Unified Global Geologic Map of the Moon At 1:5.000.000-Scale*" (Fortezzo, et al., 2020), é a cratera Humboldt, localizada na área de estudo escolhida. No sistema de referência "Planetographic, +East, -180 – 180", suas coordenadas são: latitude mais ao norte: -23.73° , latitude mais ao sul: -30.31° , longitude oriental: 84.65° , e longitude mais ocidental: 77.28° . Possui um diâmetro estimado de 199.46 km resultante do impacto superficial. As coordenadas centrais são: latitude -27.02° e longitude 80.96° .

Figura 17 - Mapa de localização / Cratera Humboldt



Organizador: autor (2024).

Figura 18 - Cratera Homboldt, Imagem de referência na escala de 1:1.000.000

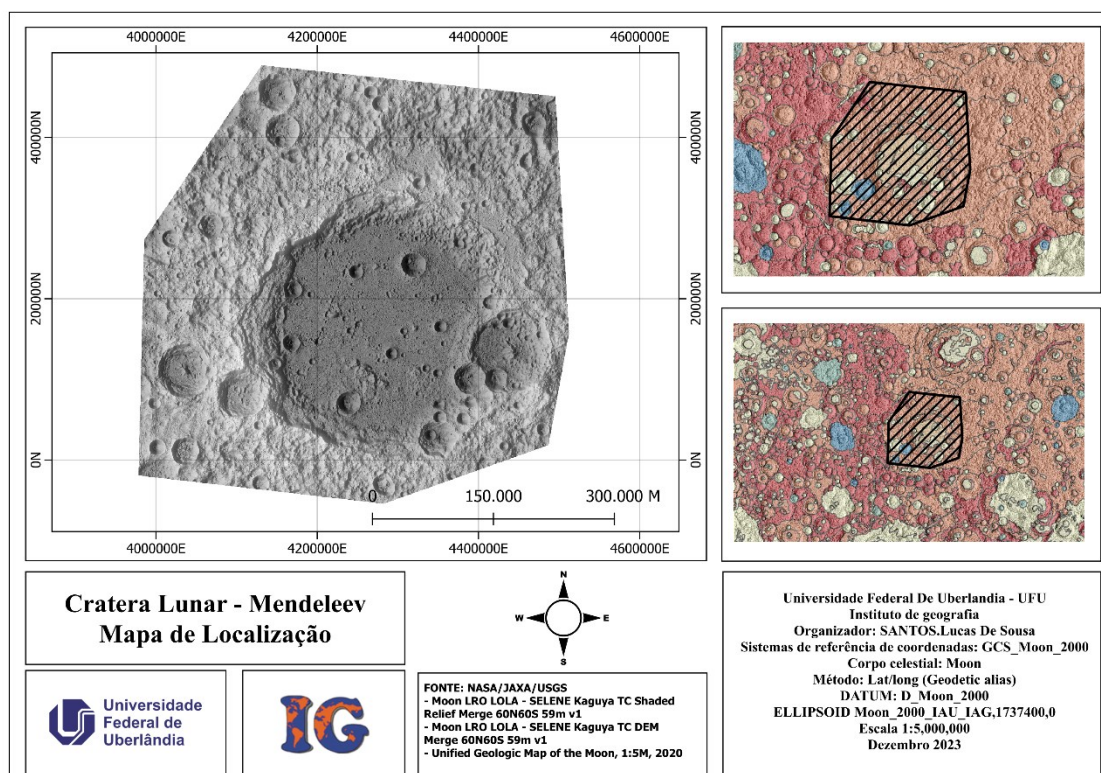


Organizador: autor (2024).

7.1.4 Período Nectarian – Cratera Mendeleev

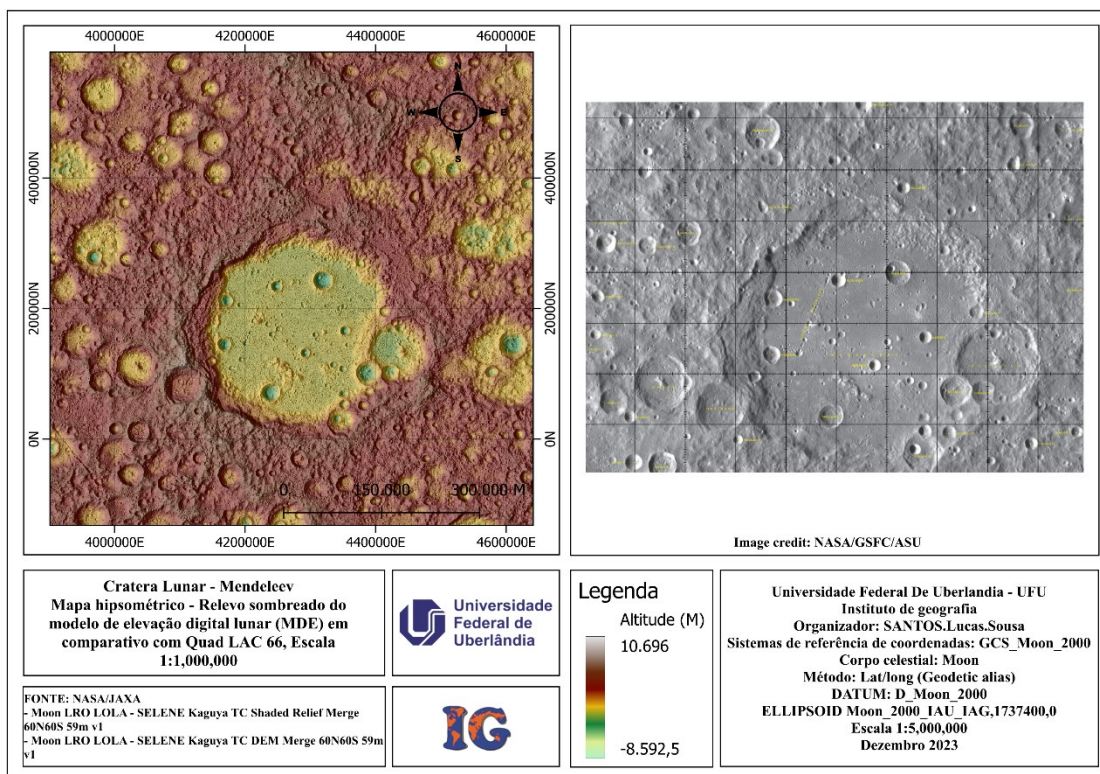
A feição selecionada dentro do período Nectarian, tendo como referência o mapa geológico "*Digital Unified Global Geologic Map of the Moon At 1:5.000.000-Scale*" (Fortezzo, et al., 2020), é a cratera Mendeleev, localizada na área de estudo escolhida. No sistema de referência "Planetographic, +East, -180 – 180", suas coordenadas são: latitude mais ao norte: 10.74° , latitude mais ao sul: 0.01° , longitude oriental: 146.55° , e longitude mais ocidental: 135.78° . Possui um diâmetro estimado de 325.13 km resultante do impacto superficial. As coordenadas centrais são: latitude 5.38° e longitude 141.17° .

Figura 19 - Mapa de localização / Cratera Mendeleev



Organizador: autor (2024).

Figura 20 - Cratera Mendeleev, Imagem de referência na escala de 1:1.000.000

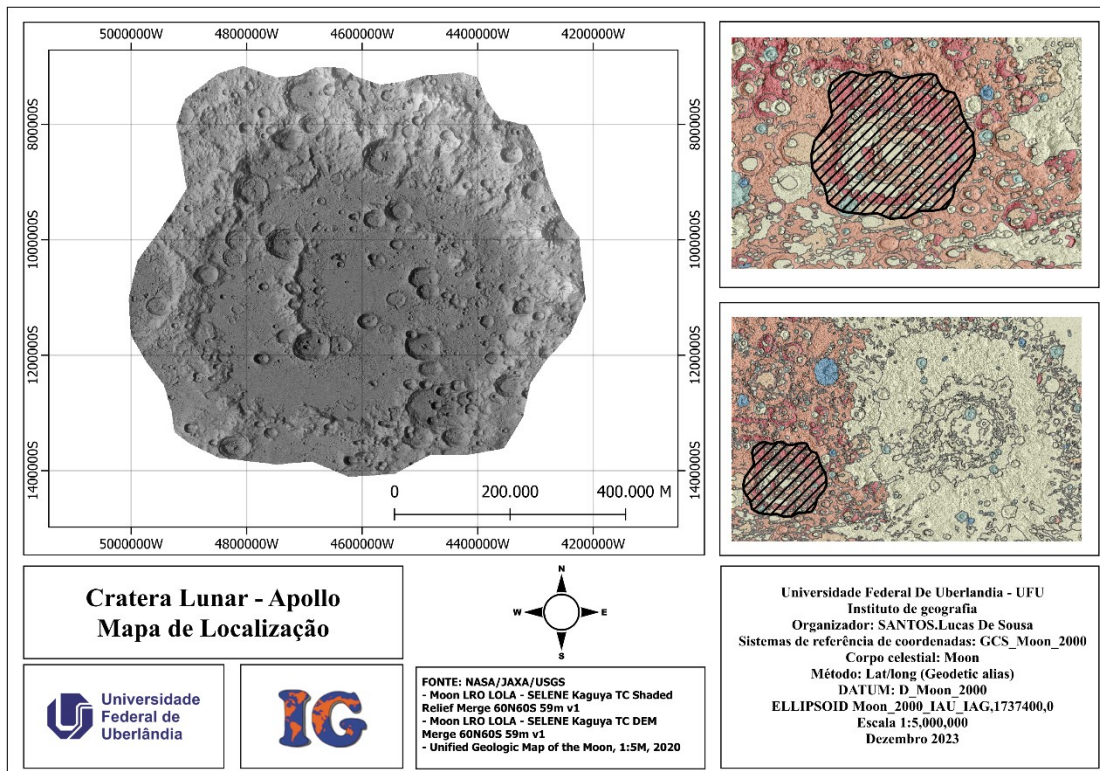


Organizador: autor (2024).

7.1.5 Período Pre-Nectarian – Cratera Apollo

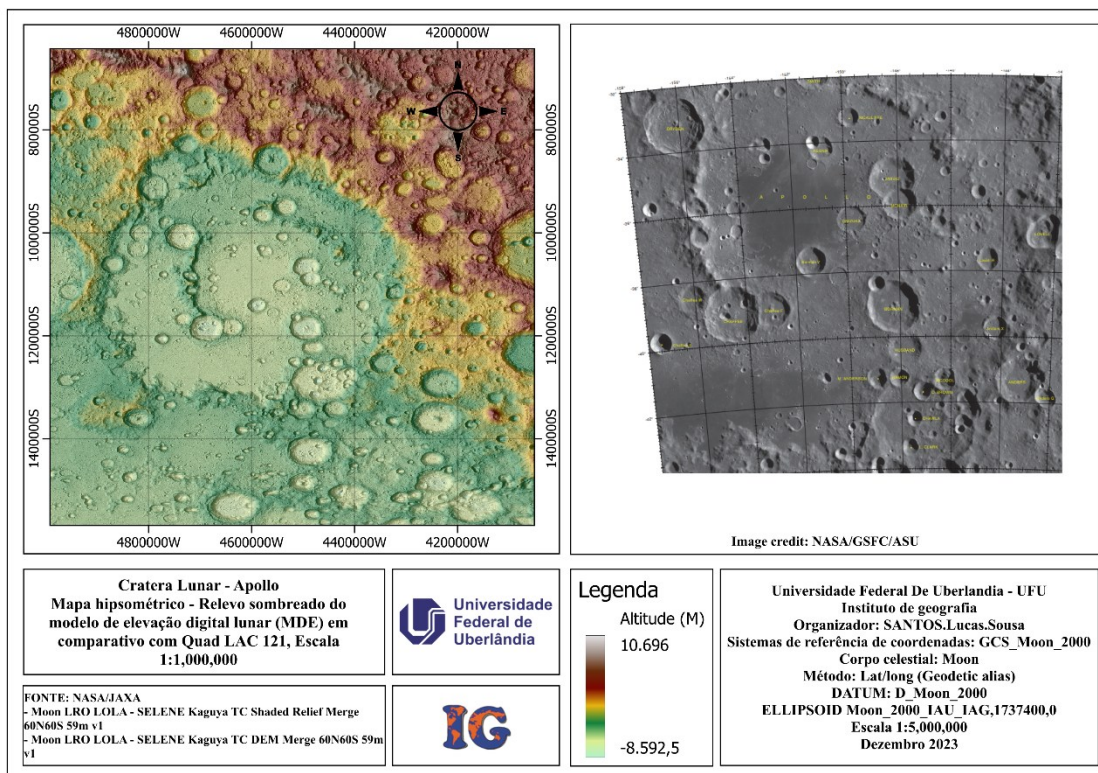
A feição selecionada dentro do período Pré-Nectarian, tendo como referência o mapa geológico "*Digital Unified Global Geologic Map of the Moon At 1:5.000.000-Scale*" (Fortezzo, et al., 2020), é a cratera Apollo, localizada na área de estudo escolhida. No sistema de referência "Planetographic, +East, -180 – 180", suas coordenadas são: latitude mais ao norte: -28.12° , latitude mais ao sul: -44.19° , longitude oriental: -140.58° , e longitude mais ocidental: -162.07° . Possui um diâmetro estimado de 524.23 km resultante do impacto superficial. As coordenadas centrais são: latitude -35.69° e longitude -151.48° .

Figura 21 - Mapa de localização / Cratera Apollo



Organizador: autor (2024).

Figura 22 - Cratera Apollo, Imagem de referência na escala de 1:1.000.000



Organizador: autor (2024).

7.2 Outras formações estruturas dentro da abrangência geomorfológica de cada área de estrutura

Dentro de cada estrutura escolhida para ser analisada, existem pequenas outras formações que abrangem toda a superfície da estrutura principal. Estas pequenas formações, ou em alguns casos, formações que podem ser iguais ou próximas em relação ao diâmetro da estrutura principal, compõem a paisagem local, conferindo características únicas a cada localidade. Isto permite fazer distinções únicas se analisadas de forma mais detalhada.

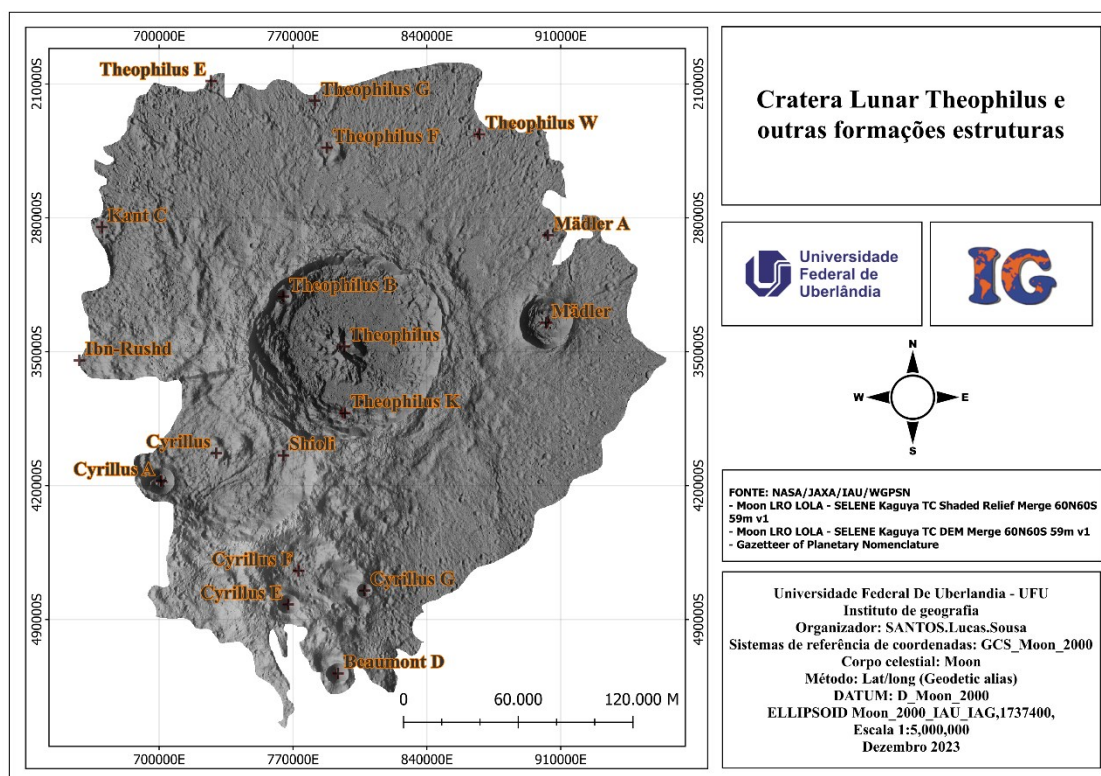
Como estas formações fazem parte do relevo local de cada área analisada e contribuem para a característica de cada paisagem, vale a pena listar essas estruturas que estão dentro de cada área de estudo, relacionando os seus nomes, diâmetros, posição geográfica.

É importante ressaltar que estas estruturas apresentadas a seguir não serão analisadas de forma aprofundada, mas sim apresentadas brevemente.

7.2.1 Cratera Theophilus – Outras estruturas presentes dentro de sua abrangência geomorfológica

Dentro da área abrangida pela formação geomorfológica da cratera Theophilus, encontram-se outras 17 formações estruturais que integram o relevo local. Essas formações foram nomeadas, classificadas e orientadas conforme o sistema de coordenadas "Planetográfico, +East, -180 - 180", e seus diâmetros relativos foram obtidos a partir do "Gazetteer of Planetary Nomenclature".

Figura 23 - Mapa de localização de nomes e estruturas / Cratera Theophilus



Organizador: autor (2024).

Tabela 6 - Cratera Theophilus - dados dos impactos secundaria próximos de sua formação

Nome das estruturas:	ID das estruturas:	Tipo de formação:	Sistema de Coordenadas:	Rede de Controle:	Diâmetro da formação:	Latitude Central:	Longitude Central:	Quad:
Cyrillus F	8531	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	43.90 km	-15.32 °	25.49 °	LAC-78
Kant C	10262	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	17.97 km	-9.39 °	22.10 °	LAC-78
Cyrillus	1372	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	98.09 km	-13.29 °	24.07 °	LAC-78
Mädler	4091	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	27.58 km	-11.04 °	29.76 °	LAC-78
Cyrillus G	8532	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	7.76 km	-15.66 °	26.63 °	LAC-78
Cyrillus A	8528	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	13.69 km	-13.77 °	23.12 °	LAC-78
Theophilus W	13466	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	3.59 km	-7.79 °	28.61 °	LAC-78
Beaumont D	7602	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	10.49 km	-17.09 °	26.17 °	LAC-96
Theophilus K	13465	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	5.52 km	-12.60 °	26.29 °	LAC-78
Cyrillus E	8530	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	10.46 km	-15.90 °	25.31 °	LAC-78

Mädler A	11035	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	4.48 km	-9.53 °	29.79 °	LAC-78
Theophilus E	13462	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	22.25 km	-6.87 °	23.98 °	LAC-78
Ibn-Rushd	2636	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	31.08 km	-11.69 °	21.71 °	LAC-78
Theophilus G	13464	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	19.20 km	-7.21 °	25.77 °	LAC-78
Theophilus F	13463	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	12.22 km	-8.02 °	25.98 °	LAC-78
Theophilus B	13461	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	8.20 km	-10.59 °	25.23 °	LAC-78
Shioli	15851	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	0.27 km	-13.33 °	25.23 °	LAC-78

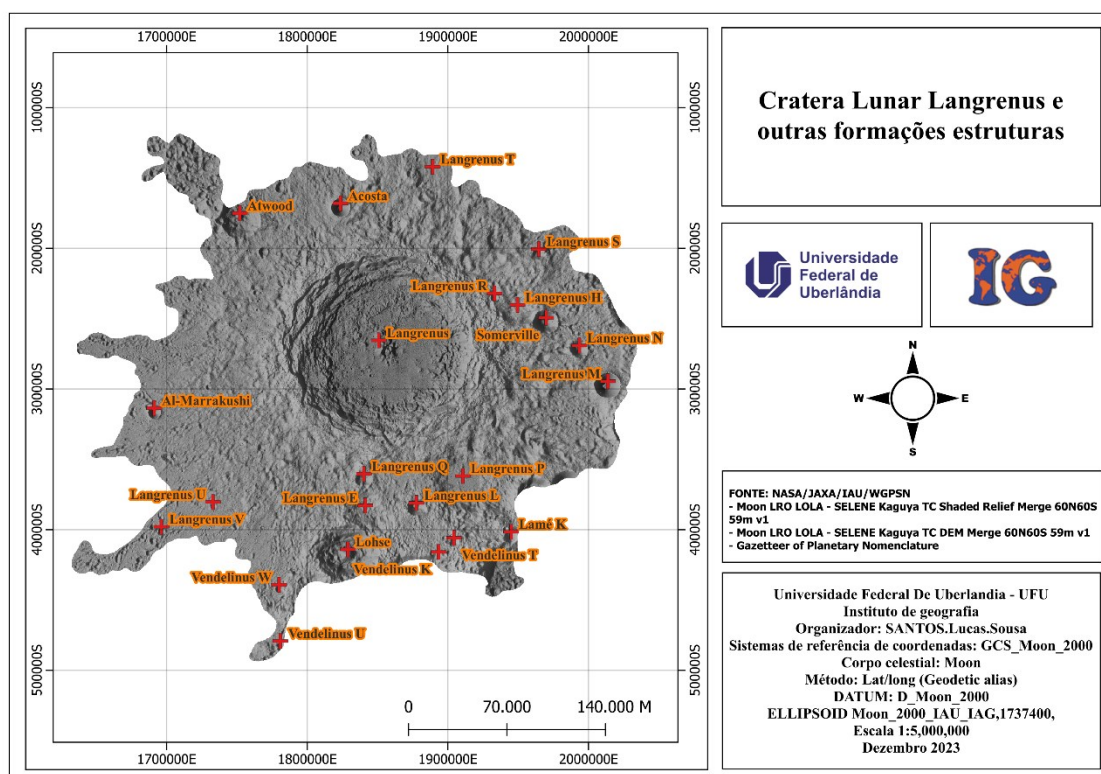
Fonte: Gazetteer of Planetary Nomenclature (2024)

Organizador: autor (2024).

7.2.2 Cratera Langrenus – Outras estruturas presentes dentro de sua abrangência

Dentro da abrangência da formação geomorfológica da cratera Langrenus, existem outras 22 formações estruturais que integram o relevo local. Essas formações foram nomeadas, classificadas e orientadas conforme o sistema de coordenadas "Planetográfico, +East, -180 - 180", e seus diâmetros relativos foram obtidos a partir do "Gazetteer of Planetary Nomenclature".

Figura 24 - Mapa de localização de nomes e estruturas / Cratera Langrenus



Organizador: autor (2024).

Tabela 7 - Cratera Langrenus - dados dos impactos secundaria próximos de sua formação

Nome das estruturas:	ID das estruturas:	Tipo de formação:	Sistema de Coordenadas:	Rede de Controle:	Diâmetro da formação:	Latitude Central:	Longitude Central:	Quad:
Acosta	40	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	13.06 KM	-5.65 °	60.14 °	LAC-80
Al-Marrakushi	150	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	8.57 KM	-10.45 °	55.77 °	LAC-80
Atwood	466	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	28.64 KM	-5.88 °	57.78 °	LAC-80
Lamé K	10584	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	9.61 KM	-13.35 °	64.14 °	LAC-80
Langrenus E	10608	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	31.03 KM	-12.73 °	60.72 °	LAC-80
Langrenus H	10610	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	25.24 KM	-8.03 °	64.29 °	LAC-80
Langrenus L	10611	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	12.64 KM	-12.67 °	61.92 °	LAC-80
Langrenus M	10612	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	18.17 KM	-9.82 °	66.41 °	LAC-80
Langrenus N	10613	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	12.54 KM	-8.98 °	65.74 °	LAC-80
Langrenus P	10614	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	42.27 KM	-12.04 °	63.01 °	LAC-80
Langrenus Q	10615	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	12.88 KM	-11.99 °	60.69 °	LAC-80
Langrenus R	10616	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	5.43 KM	-7.76 °	63.75 °	LAC-80

Langrenus S	10617	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	8.92 KM	-6.72 °	64.79 °	LAC- 80
Langrenus T	10618	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	40.01 KM	-4.79 °	62.30 °	LAC- 80
Langrenus U	10619	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	4.21 KM	-12.65 °	57.15 °	LAC- 80
Langrenus V	10620	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	5.01 KM	-13.23 °	55.94 °	LAC- 80
Lohse	3453	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	43.34 KM	-13.76 °	60.31 °	LAC- 80
Somerville	5644	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	17.08 KM	-8.33 °	64.96 °	LAC- 80
Vendelinus K	13639	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	8.92 KM	-13.82 °	62.44 °	LAC- 80
Vendelinus T	13644	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	5.65 KM	-13.49 °	62.80 °	LAC- 80
Vendelinus U	13645	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	5.39 KM	-15.91 °	58.73 °	LAC- 80
Vendelinus W	13647	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	4.93 KM	-14.59 °	58.70 °	LAC- 80

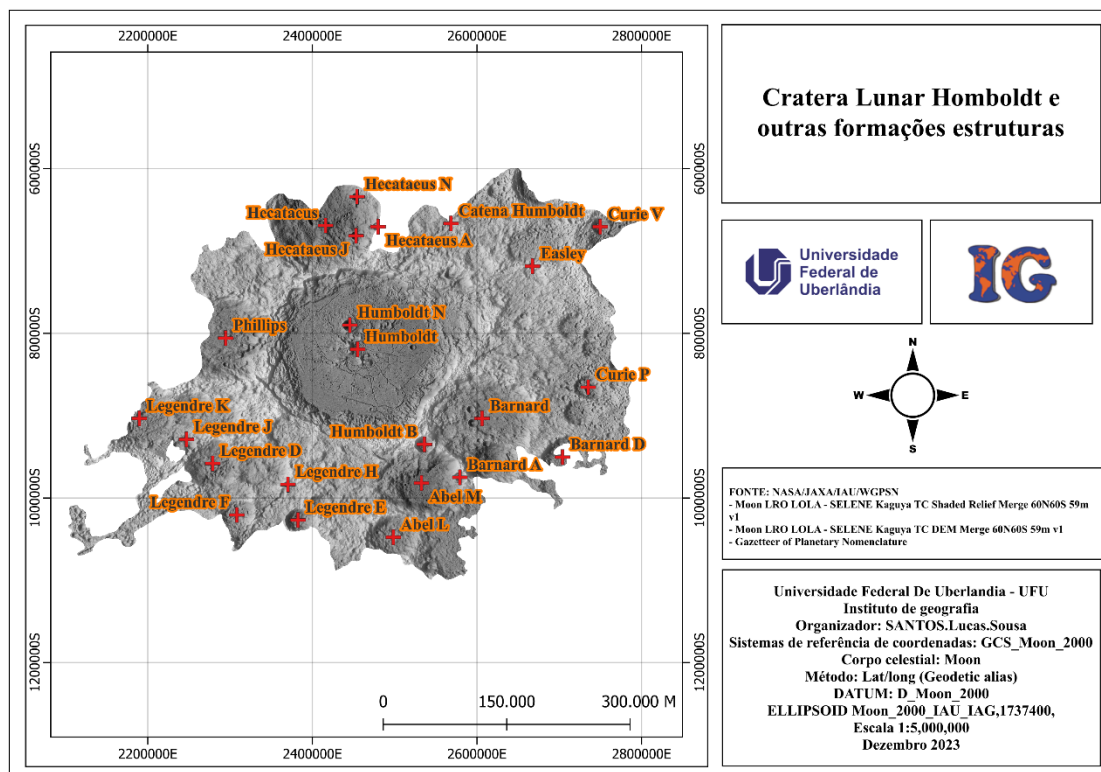
Fonte: Gazetteer of Planetary Nomenclature (2024)

Organizador: autor (2024).

7.2.3 Cratera Humboldt – Outras estruturas presentes dentro de sua abrangência

Dentro da abrangência da formação geomorfológica da cratera Humboldt a outras 22 formações estruturais que integram o relevo local. Essas formações foram nomeadas, classificadas e orientadas conforme o sistema de coordenadas "Planetográfico, +East, -180 - 180", e seus diâmetros relativos foram obtidos a partir do "Gazetteer of Planetary Nomenclature".

Figura 25 - Mapa de localização de nomes e estruturas / Cratera Humboldt



Organizador: autor (2024).

Tabela 8 - Cratera Humboldt - dados dos impactos secundaria próximos de sua formação

Nome das estruturas:	ID das estruturas:	Tipo de formação:	Sistema de Coordenadas:	Rede de Controle:	Diâmetro da formação:	Latitude Central:	Longitude Central:	Quad:
Abel L	7037	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	54.13 KM	-34.55 °	82.39 °	LAC-116
Abel M	7038	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	91.01 KM	-32.38 °	83.52 °	LAC-116
Barnard	608	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	115.73 KM	-29.79 °	85.95 °	LAC-99
Barnard A	7543	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	15.38 KM	-32.15 °	85.06 °	LAC-116
Barnard D	7544	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	52.24 KM	-31.34 °	89.17 °	LAC-99
Catena Humboldt	1061	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	162.29 KM	-21.98 °	84.70 °	LAC-99
Curie P	8485	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	29.37 KM	-28.54 °	90.20 °	LAC-100
Curie V	8486	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	21.12 KM	-22.11 °	90.68 °	LAC-100
Easley	15959	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	9.00 KM	-23.69 °	87.97 °	LAC-99
Hecataeus	2405	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	133.67 KM	-22.06 °	79.68 °	LAC-99
Hecataeus A	9779	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	11.15 KM	-22.11 °	81.78 °	LAC-99
Hecataeus J	9783	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	10.71 KM	-22.47 °	80.90 °	LAC-99

Hecataeus N	9787	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	10.82 KM	-20.91 °	80.94 °	LAC-99
Humboldt B	10075	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	20.88 KM	-30.83 °	83.64 °	LAC-99
Humboldt N	10076	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	14.49 KM	-26.05 °	80.65 °	LAC-99
Legendre D	10722	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	57.54 KM	-31.60 °	75.15 °	LAC-99
Legendre E	10723	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	26.08 KM	-33.86 °	78.57 °	LAC-115
Legendre F	10724	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	40.09 KM	-33.66 °	76.12 °	LAC-115
Legendre H	10726	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	8.44 KM	-32.44 °	78.17 °	LAC-115
Legendre J	10727	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	12.49 KM	-30.63 °	74.10 °	LAC-99
Legendre K	10728	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	91.91 KM	-29.79 °	72.21 °	LAC-99
Phillips	4689	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	104.21 KM	-26.57 °	75.67 °	LAC-99

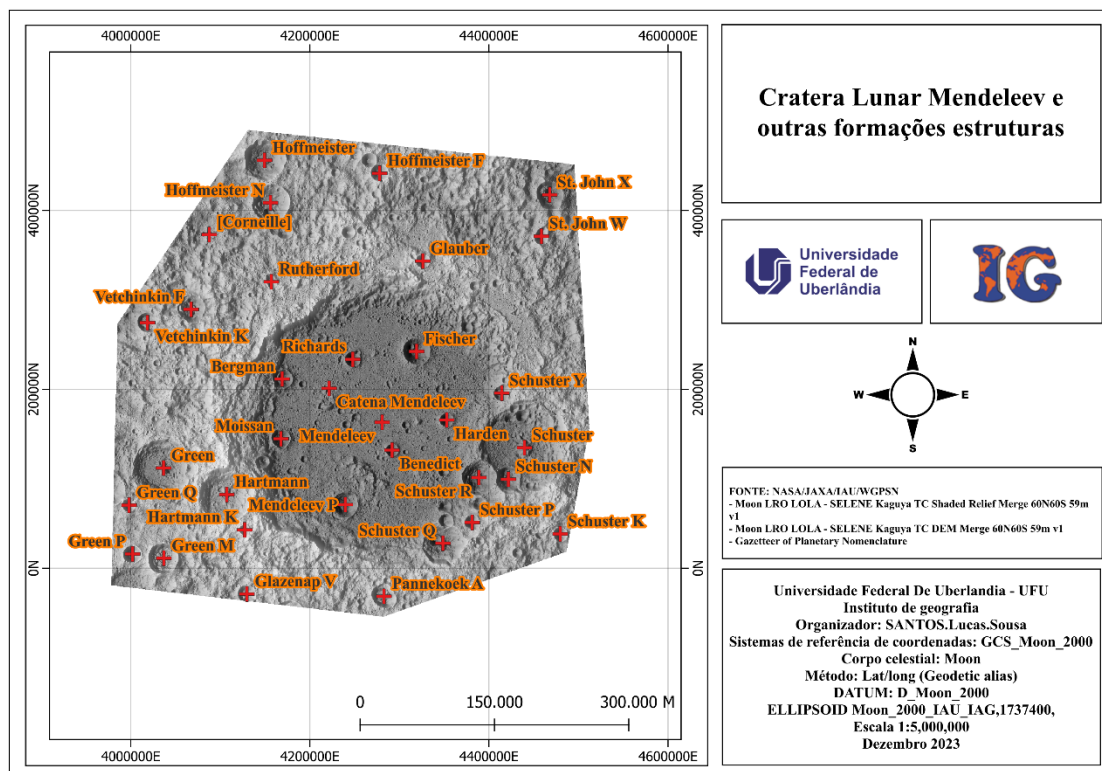
Fonte: Gazetteer of Planetary Nomenclature (2024)

Organizador: autor (2024).

7.2.4 Cratera Mendeleev – Outras estruturas presentes dentro de sua abrangência

Dentro da abrangência da formação geomorfológica da cratera Mendeleev a outras 33 formações estruturais que integram a relevo local. Essas formações foram nomeadas, classificadas e orientadas conforme o sistema de coordenadas "Planetográfico, +East, -180 - 180", e seus diâmetros relativos foram obtidos a partir do "Gazetteer of Planetary Nomenclature".

Figura 26 - Mapa de localização de nomes e estruturas / Cratera Mendeleev



Organizador: autor (2024).

Tabela 9 - Cratera Mendeleev - dados dos impactos secundaria próximos de sua formação

Nome das estruturas:	ID das estruturas:	Tipo de formação:	Sistema de Coordenadas:	Rede de Controle:	Diâmetro da formação:	Latitude Central:	Longitude Central:	Quad:
Benedict	689	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	13.83 KM	4.35 °	141.54 °	LAC-66
Bergman	700	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	22.51 KM	6.97 °	137.49 °	LAC-66
Catena Mendeleev	1067	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	125.22 KM	6.63 °	139.22 °	LAC-66
Fischer	1966	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	30.48 KM	7.99 °	142.44 °	LAC-66
Glauber	2184	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	15.24 KM	11.32 °	142.67 °	LAC-66
Glazenap V	9510	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	20.40 KM	-0.96 °	136.19 °	LAC-84
Green	2243	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	68.28 KM	3.69 °	133.12 °	LAC-66
Green M	9549	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	35.28 KM	0.36 °	133.13 °	LAC-66
Green P	9550	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	20.32 KM	0.52 °	131.98 °	LAC-66
Green Q	9551	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	14.76 KM	2.32 °	131.85 °	LAC-66
Harden	2361	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	14.98 KM	5.46 °	143.55 °	LAC-66

Hartmann	2375	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	63.29 KM	2.71 °	135.45 °	LAC-66
Hartmann K	9741	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	11.65 KM	1.41 °	136.11 °	LAC-66
Hoffmeister	2532	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	44.46 KM	15.04 °	136.84 °	LAC-66
Hoffmeister F	10013	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	18.66 KM	14.56 °	141.08 °	LAC-66
Hoffmeister N	10014	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	41.47 KM	13.47 °	137.06 °	LAC-66
Mendeleev P	11326	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	29.04 KM	2.34 °	139.81 °	LAC-66
Moissan	3950	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	22.45 KM	4.77 °	137.45 °	LAC-66
Pannekoek A	11777	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	29.00 KM	-1.04 °	141.24 °	LAC-84
Richards	5025	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	16.80 KM	7.70 °	140.09 °	LAC-66
Rutherford	5239	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	15.98 KM	10.56 °	137.09 °	LAC-66
Schuster	5387	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	100.08 KM	4.44 °	146.42 °	LAC-66
Schuster K	12987	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	15.58 KM	1.26 °	147.73 °	LAC-66
Schuster N	12988	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	29.02 KM	3.28 °	145.82 °	LAC-66

Schuster P	12989	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	16.25 KM	1.68 °	144.49 °	LAC-66
Schuster Q	12990	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	46.38 KM	0.91 °	143.41 °	LAC-66
Schuster R	12991	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	36.62 KM	3.34 °	144.73 °	LAC-66
Schuster Y	12992	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	17.33 KM	6.45 °	145.58 °	LAC-66
St. John W	13188	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	20.94 KM	12.24 °	147.04 °	LAC-66
St. John X	13189	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	31.24 KM	13.76 °	147.34 °	LAC-66
Vetchinkin F	13678	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	30.79 KM	9.54 °	134.14 °	LAC-66
Vetchinkin K	13679	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	23.10 KM	9.05 °	132.53 °	LAC-66

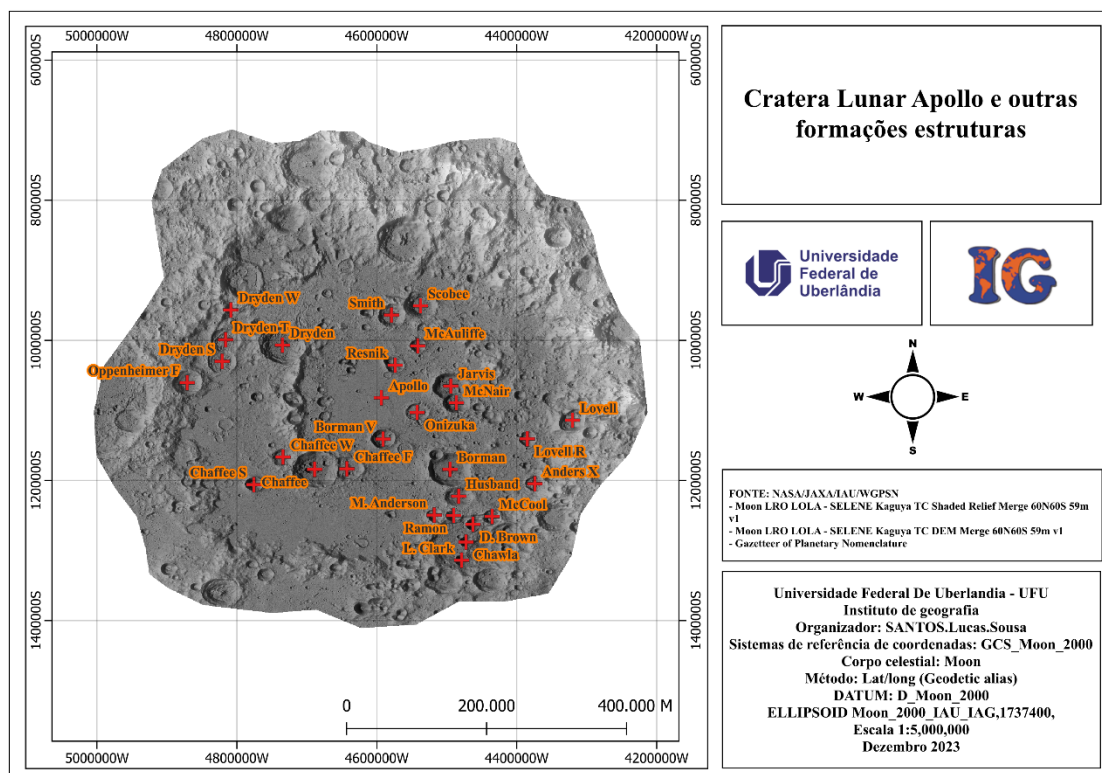
Fonte: Gazetteer of Planetary Nomenclature (2024)

Organizador: autor (2024).

7.2.5 Cratera Apollo – Outras estruturas presentes dentro de sua abrangência

Dentro da abrangência da formação geomorfológica da cratera Apollo a outras 28 formações estruturais que integram a relevo local. Essas formações foram nomeadas, classificadas e orientadas conforme o sistema de coordenadas "Planetográfico, +East, -180 - 180", e seus diâmetros relativos foram obtidos a partir do "Gazetteer of Planetary Nomenclature".

Figura 27 - Mapa de localização de nomes e estruturas / Cratera Apollo



Organizador: autor (2024).

Tabela 9 - Cratera Apollo - dados dos impactos secundaria próximos de sua formação

Nome das estruturas:	ID das estruturas:	Tipo de formação:	Sistema de Coordenadas:	Rede de Controle:	Diâmetro da formação:	Latitude Central:	Longitude Central:	Quad
Anders X	7268	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	21.45 KM	-39.73 °	-144.25 °	LAC-121
Borman	827	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	50.72 KM	-39.06 °	-148.25 °	LAC-121
Borman V	7852	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	28.01 KM	-37.63 °	-151.40 °	LAC-121
Chaffee	1120	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	51.75 KM	-39.06 °	-154.63 °	LAC-121
Chaffee F	8234	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	36.13 KM	-39.03 °	-153.11 °	LAC-121
Chaffee S	8235	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	19.88 KM	-39.77 °	-157.49 °	LAC-121
Chaffee W	8236	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	24.62 KM	-38.48 °	-156.12 °	LAC-121
Chawla	14139	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	14.25 KM	-42.48 °	-147.49 °	LAC-121
D. Brown	14138	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	16.12 KM	-41.65 °	-147.16 °	LAC-121
Dryden	1644	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	54.45 KM	-33.21 °	-156.15 °	LAC-121

Dryden S	8835	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	34.48 KM	-33.97 °	-158.99 °	LAC-120
Dryden T	8836	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	34.80 KM	-32.95 °	-158.83 °	LAC-120
Dryden W	8837	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	19.12 KM	-31.55 °	-158.58 °	LAC-105
Husband	14140	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	31.26 KM	-40.32 °	-147.84 °	LAC-121
Jarvis	2808	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	41.22 KM	-35.13 °	-148.21 °	LAC-121
L. Clark	14143	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	15.30 KM	-43.34 °	-147.70 °	LAC-121
Lovell	3489	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	35.10 KM	-36.74 °	-142.47 °	LAC-121
Lovell R	10946	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	20.74 KM	-37.62 °	-144.60 °	LAC-121
M. Anderson	14137	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	16.94 KM	-41.21 °	-148.99 °	LAC-121
McAuliffe	3777	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	19.11 KM	-33.24 °	-149.77 °	LAC-121
McCool	14141	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	20.47 KM	-41.28 °	-146.26 °	LAC-121
McNair	3785	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	32.02 KM	-35.93 °	-147.95 °	LAC-121

Onizuka	4468	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	26.88 KM	-36.38 °	-149.79 °	LAC-121
Oppenheimer F	11727	satélite	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	35.91 KM	-34.98 °	-160.64 °	LAC-120
Ramon	14142	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	17.23 KM	-41.23 °	-148.08 °	LAC-121
Resnik	5002	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	22.16 KM	-34.15 °	-150.84 °	LAC-121
Scobee	5392	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	41.53 KM	-31.36 °	-149.64 °	LAC-106
Smith	5604	Cratera	Planetographic, +East, -180 – 180	LOLA 2011	32.87 KM	-31.79 °	-151.01 °	LAC-105

Fonte: Gazetteer of Planetary Nomenclature (2024)

Organizador: autor (2024).

7.2.6 Comparativo entre as estruturas de impacto de menores dimensões dentro da abrangência das estruturas principais escolhidas

O número de impactos secundários, varia entre as estruturas, mas não representa uma informação que nos possa fornecer dados de comparação entre elas. Os impactos secundários podem decorrer de várias formas sendo resquícios de impactos primários, pequenos objetos estelares ou até mesmo a fragmentação de um objeto estelar maior que durante a sua aproximação em direção ao corpo celeste se fragmentou em pedaços menores e colidiram com a superfície Lunar.

Analisando os dados temos que próximo a cratera Theophilus, pertencente ao período Copérnico, temos 17 impactos de menores dimensões, próximo a cratera Langrenus, pertencente ao período Eratosthenian temos 22 impactos de menores dimensões, próximo a cratera Humboldt, pertencente ao período Imbrian temos 22 impactos de menores dimensões, próximo a cratera Mendeleev, pertencente ao período Nectarian temos 33 impactos de menores dimensões e próximo a cratera Apollo, pertencente ao período Pre-Nectarian temos 28 impactos de menores dimensões.

E possível ver que, pelo menos de uma forma superficial, não existe uma correlação, entre o número de impactos de menores dimensões em relação com os períodos geológicos ou as estruturas principais analisadas nessa pesquisa.

Tabela 10 - Comparativo entre estruturas secundárias de impacto

Estrutura Principal	Período geológico	Nº de impacto secundários	Estrutura de impacto, Maior Diâmetro	Latitude Central:	Longitude Central:	Quad:	Estrutura de impacto, Menor Diâmetro	Latitude Central:	Longitude Central:	Quad:
Theophilus	Copérnico	17	Cyrillus - 98.09 km	-13.29 °	24.07 °	LAC-78	Shioli - 0.27 km	-13.33 °	25.23 °	LAC-78
Langrenus	Eratosthenian	22	Lohse - 43.34 KM	-13.76 °	60.31 °	LAC-80	Vendelinus W - 4.93 KM	-14.59 °	58.70 °	LAC-80
Humboldt	Imbrian	22	Catena Humboldt - 162.29 KM	-21.98 °	84.70 °	LAC-99	Legendre H - 8.44 KM	-32.44 °	78.17 °	LAC-115
Mendeleev	Nectarian	33	Catena Mendeleev - 125.22 KM	6.63 °	139.22 °	LAC-66	Hartmann K - 11.65 KM	1.41 °	136.11 °	LAC-66
Apollo	Pre-Nectarian	28	Dryden - 54.45 KM	-33.21 °	-156.15 °	LAC-121	Chawla - 14.25 KM	-42.48 °	-147.49 °	LAC-121

Fonte: Gazetteer of Planetary Nomenclature (2024)

Organizador: autor (2024).

É importante observar que existem outras estruturas dentro da abrangência de cada cratera, estruturas estas que não possuem um nome ou uma caracterização específica. Assim, para esta parte do trabalho, foram limitadas apenas às estruturas conhecidas e que já dispunham de dados individuais sobre cada uma, facilitando a compreensão e o entendimento durante a observação individual de cada uma delas.

O “**ID** das estruturas” está relacionado ao identificador de cada uma das formações no “Gazetteer of Planetary Nomenclature”. Com este ID, é possível encontrar a estrutura correspondente e analisar os seus dados individuais disponíveis.

“**Quad**” refere-se ao mosaico na escala 1:1.000.000, que é dividido em 144 partes de toda a superfície Lunar e possui a sigla “LAC” para cada uma dessas partes. É possível obter o recorte correspondente de cada formação, disponibilizado pela “Gazetteer of Planetary Nomenclature”.

7.3 Analisando cada estrutura principal individualmente

Nesta etapa, abordaremos cada estrutura individualmente para realizar uma descrição detalhada com base nos mapas e dados obtidos. A análise individual das estruturas permitirá comparações dentro dos limites disponíveis, possibilitando uma interpretação que se aproxime ao máximo das características de cada formação.

Os modelos digitais de elevação (MDE) utilizados já oferecem uma excelente qualidade para análise das estruturas formadas na superfície lunar, considerando a dificuldade de obtenção de dados em um corpo celeste. Esse recurso possibilita uma compreensão mais precisa das formações. Além disso, o uso de métodos de SIG (Sistema de Informação Geográfica) na análise, criação e elaboração de mapas temáticos, a partir dos dados coletados, aprimora nossa interpretação dos dados após o processamento adequado.

Para cada estrutura escolhida, abordaremos os seguintes tópicos de análise:

Estrutura principal: Descreveremos as características físicas de cada cratera, incluindo topografia, altimetria e características dimensionais como diâmetro e profundidade da estrutura principal de impacto, dentro de cada área de estudo selecionada, conforme os períodos geológicos lunares.

Estruturas secundárias: Analisaremos as características físicas do entorno de cada área de estudo, focando na formação estrutural ao redor de cada cratera de impacto. Respeitaremos as delimitações dos recortes feitos para a estrutura de impacto e não realizaremos essa análise para formações situadas fora dessas delimitações.

Mapa hipsométrico: Realizaremos uma análise altimétrica usando o mapa hipsométrico de cada localidade, com dados fornecidos pelos MDE. Foram seguidas duas abordagens no contexto da pesquisa:

1. Um recorte do MDE foi feito na localidade, respeitando o perfil geológico da estrutura, sempre que possível.

2. A análise foi realizada na camada global de todo o MDE, sem recortes, considerando a superfície lunar entre $\pm 60^\circ$, conforme proposto inicialmente. Isso visa proporcionar uma melhor compreensão da formação estrutural geral da superfície em relação à altimetria.

Modelo tridimensional da estrutura: Criamos um modelo tridimensional das localidades para possibilitar uma percepção e compreensão visual das formações de impacto estudadas. Essa representação, gerada por processamento computacional a partir dos MDE, facilita a análise visual. A altitude nas legendas dos mapas temáticos corresponde ao recorte feito na camada e não à superfície global lunar.

Imagem na escala 1:1.000.000: As imagens fornecidas pela NASA, GSFC e ASU, através do repositório Gazetteer of Planetary, permitem observar cada localidade analisada com precisão, garantindo a exatidão dos pontos escolhidos a partir de fontes oficiais. Assim, asseguramos a integridade dos dados apresentados ao longo desta pesquisa.

Outras formações de grande dimensão: Abordaremos e compararemos outras formações de impacto superficial de dimensões significativas, ou seja, com diâmetro estrutural semelhante ao da estrutura principal. Não abordaremos estruturas menores neste contexto. Nem todas as áreas analisadas possuem esse tipo de formação, mas, para as que apresentam, esse comparativo será interessante, pois permitirá um conhecimento mais abrangente dos locais.

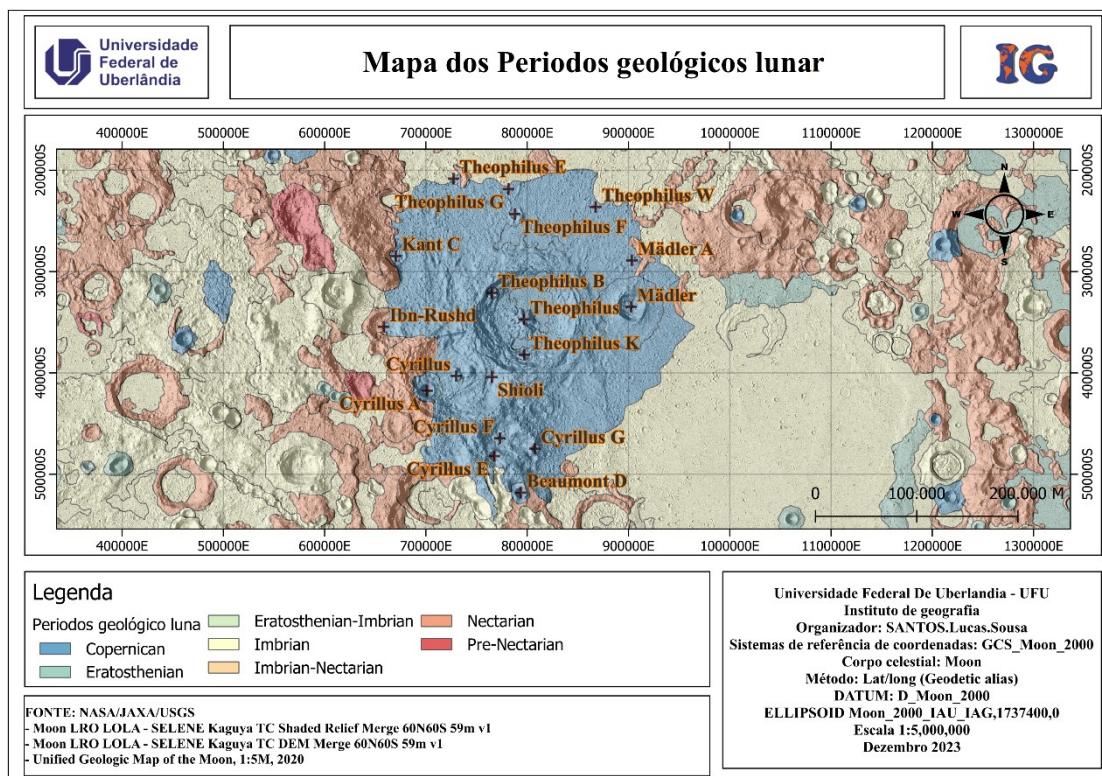
7.3.1 Cratera Theophilus

Pertencente ao período Copernicano, a cratera Theophilus é uma das maiores se considerarmos todas as estruturas formadas dentro desse período geológico. Como comparação, pode ser um dos últimos grandes impactos sofridos pela superfície lunar desde a sua formação, há milhões de anos.

Por pertencer ao período geológico mais recente, acredita-se que sua formação seja uma das mais novas e, portanto, uma das crateras mais bem preservadas em suas proporções estruturais na superfície lunar. Lógico que esse fator, em questão, não é um requisito para distinguir a idade de formação das estruturas na superfície lunar. Como mencionado anteriormente, o intemperismo espacial pode afetar a composição química e física dos materiais que compõem a estrutura,

dependendo de sua localidade. Além disso, os materiais que constituem a estrutura também devem ser considerados, pois cada material pode ter suas peculiaridades em relação ao ambiente analisado, sendo alguns mais resistentes que outros e preservando, por mais tempo, sua originalidade. São todos pontos a serem considerados ao analisar esse tipo de estrutura.

Figura 28 - Cratera Theophilus / Mapa local dos períodos geológicos



Organizador: autor (2024).

7.3.1.1 Estrutura principal

Dentro da sua formação estrutural, no interior da cratera, é possível perceber a presença de uma estrutura central. Essa formação é decorrente do impacto de um objeto em velocidade extremamente elevada, criando um aspecto bem característico; essas formações são chamadas de crateras complexas.

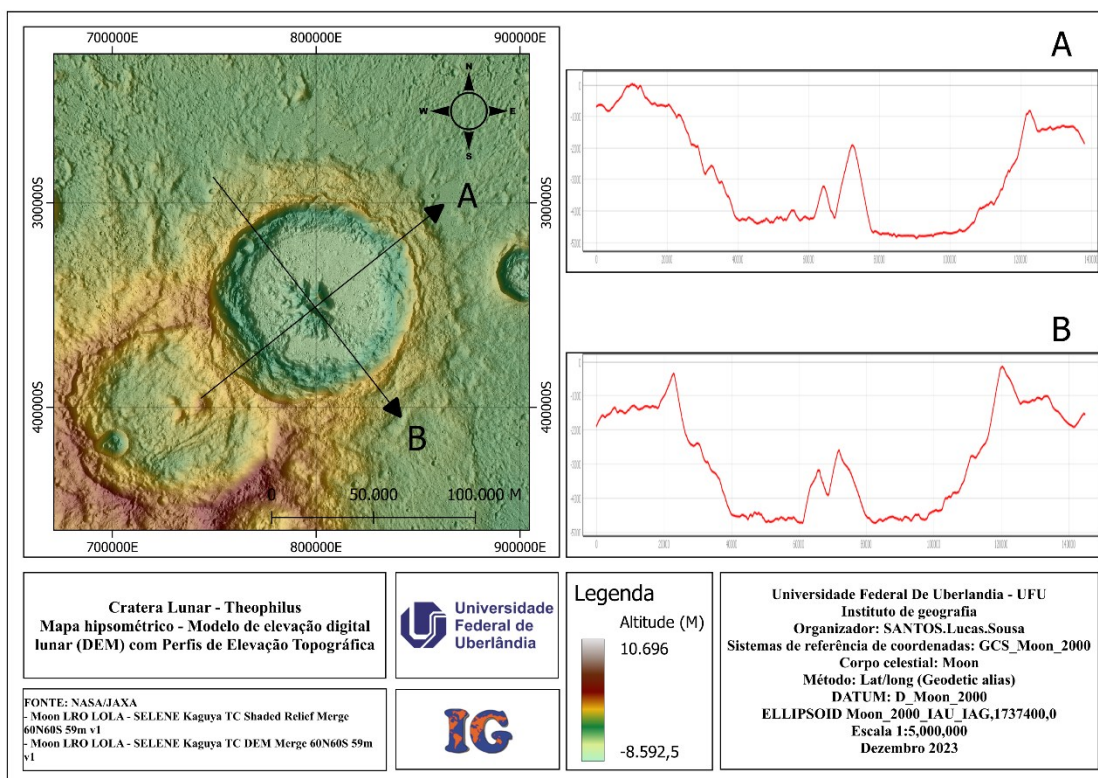
A cratera Theophilus possui um diâmetro de aproximadamente 98,59 km, com características de uma cratera complexa, resultado da colisão entre um corpo celeste e a superfície lunar.

Dentro da estrutura principal, sua altimetria varia da parte mais alta, aproximadamente 0 m, à parte mais baixa, chegando a cerca de aproximadamente -4.800 m, como pode ser observado a figura 29. Com base nesses dados, é possível perceber a potência do impacto nessa localidade,

capaz de criar uma cratera de 98,59 km de diâmetro e 4,8 km de profundidade, dando origem à cratera Theophilus.

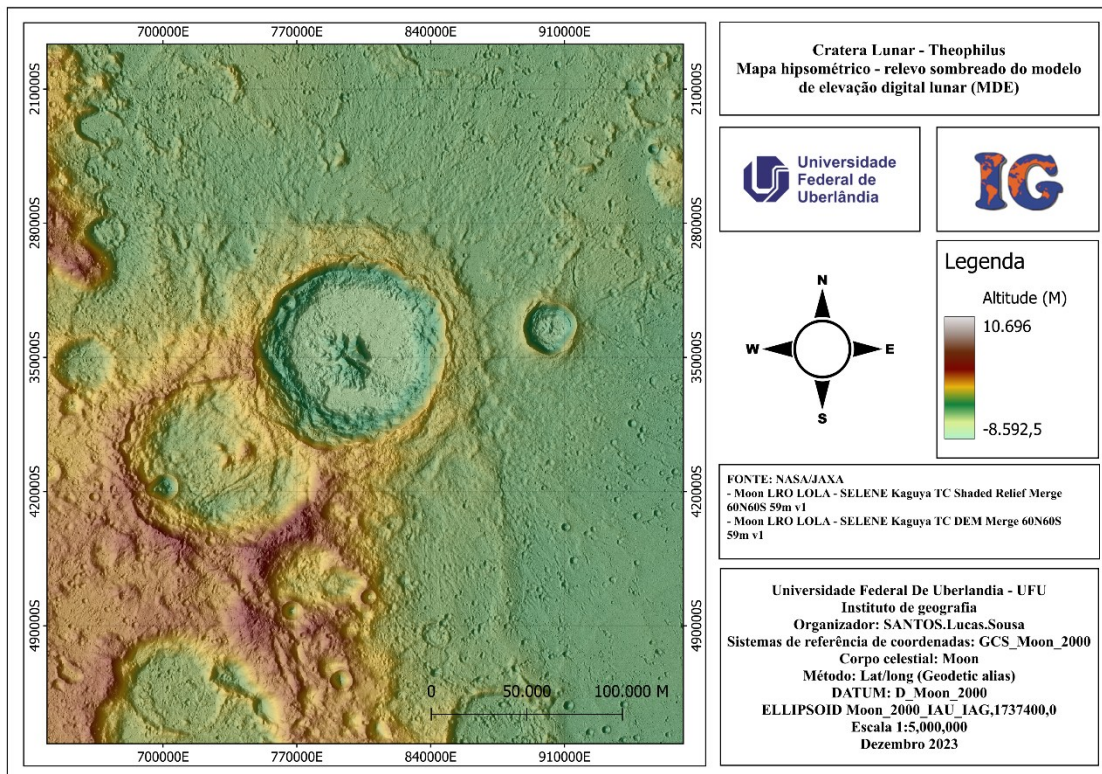
Por se tratar de uma cratera complexa, existe em seu centro a formação montanhosa característica desse tipo de estrutura. Ao analisar a cratera Theophilus, essa formação varia cerca de 2.700 m de altura, dependendo da formação que se está examinando, usando o gráfico topográfico “A” (figura 29) como exemplo. A estrutura central não é composta de uma única estrutura, mas sim de múltiplas estruturas montanhosas.

Figura 29 - Cratera Theophilus / estrutura principal



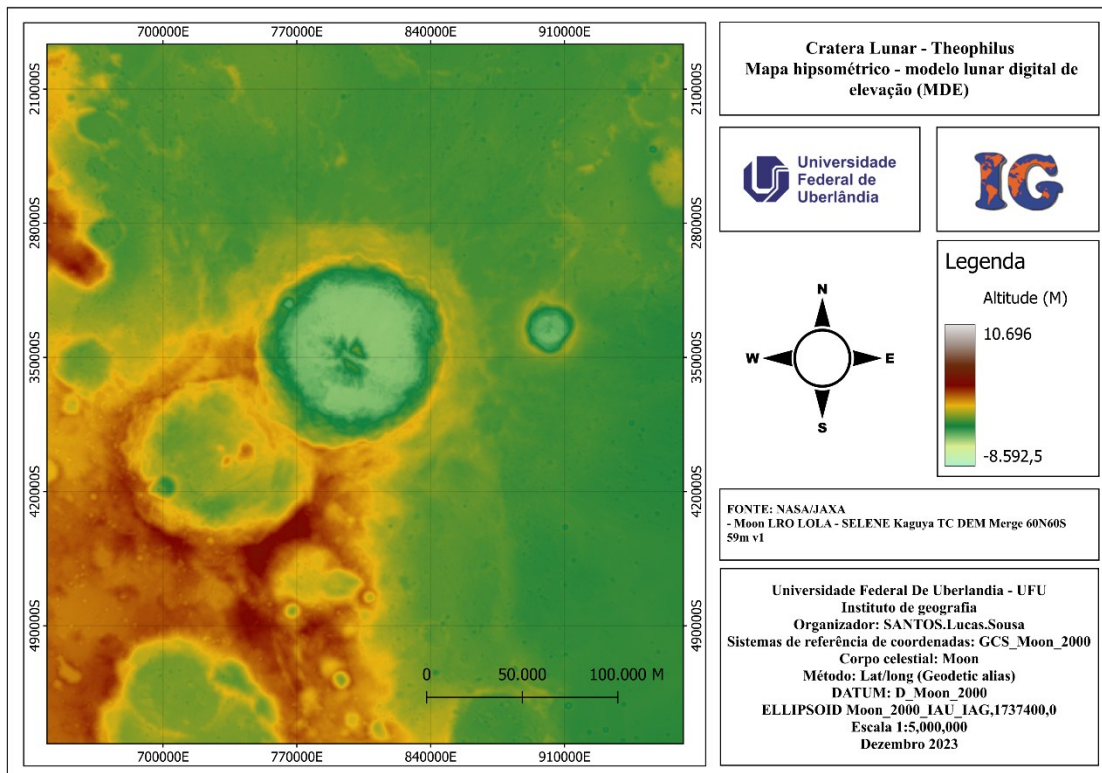
Organizador: autor (2024).

Figura 30 - Cratera Theophilus / Mapa hipsométrico com relevo sombreado



Organizador: autor (2024).

Figura 31 - Cratera Theophilus / Mapa hipsométrico



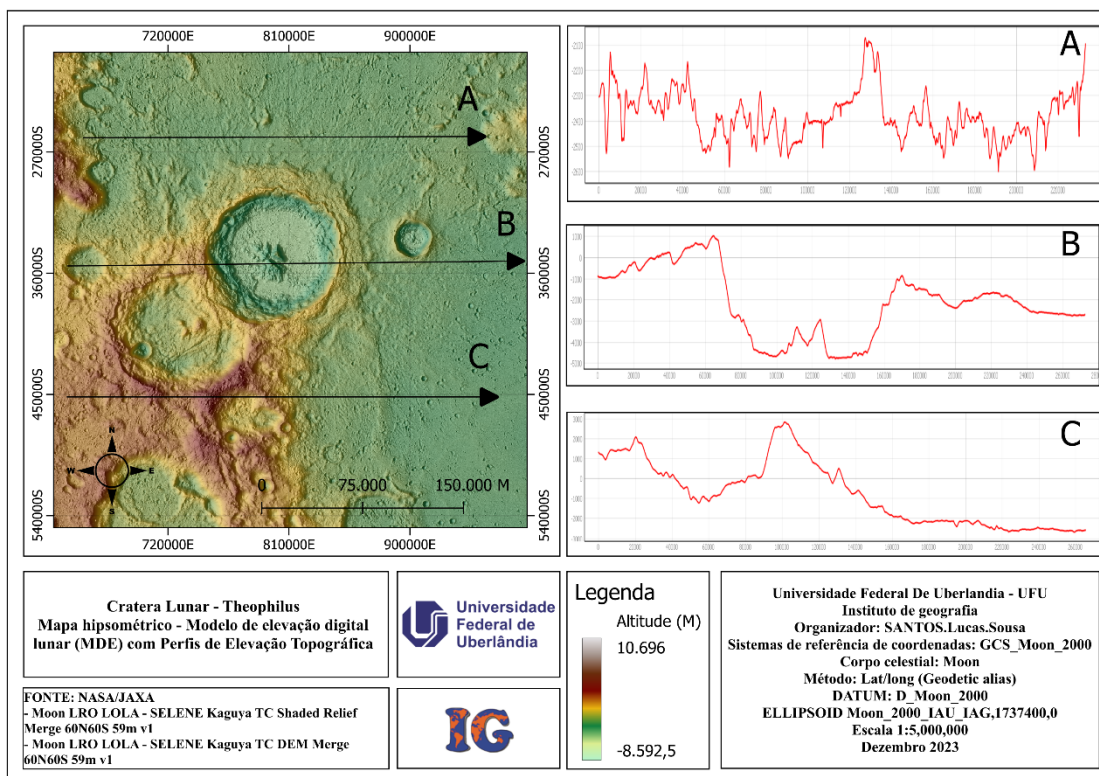
Organizador: autor (2024).

Na figura 32, temos o exemplo da topografia local em um recorte horizontal. Foram traçados três perfis paralelos entre si, de forma a abranger tanto a estrutura principal — "a cratera de impacto" — quanto seu entorno, permitindo assim uma noção de como o relevo ao redor da estrutura se forma superficialmente.

Analisando os gráficos topográficos "A" e "C", é possível observar o quão acidentado é o terreno no entorno da cratera. Observando o gráfico "C" à esquerda do mapa, segundo o direcionamento indicado pela seta de marcação, percebe-se que ele apresenta uma área mais plana em comparação com o gráfico topográfico "A" exibido na figura 29 acima.

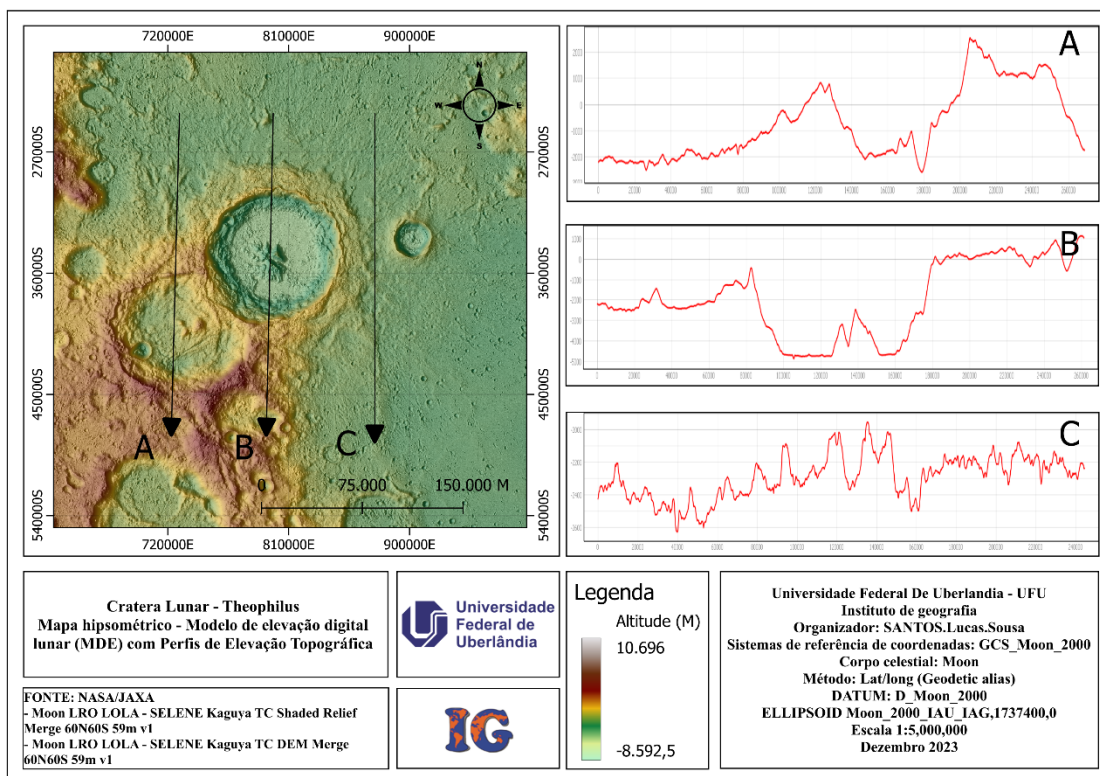
Na figura 33, também foram traçados três perfis topográficos paralelos na posição vertical, de forma a contemplar todo o terreno ao redor da estrutura principal. Comparando ambos os mapas de perfil topográfico, fica visível que o entorno é composto por formações irregulares, com poucas áreas próximas de serem planas.

Figura 32 - Cratera Theophilus / Mapa topografico, perfil horizontal



Organizador: autor (2024).

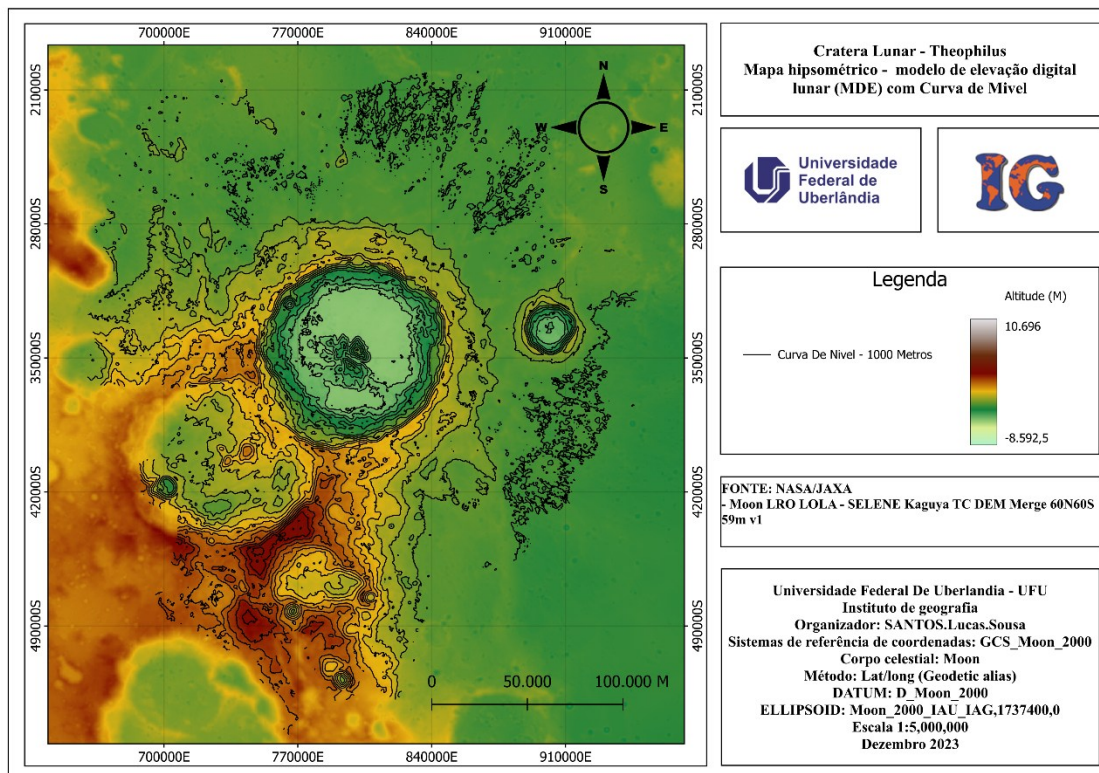
Figura 33 - Cratera Theophilus / Mapa topografico, perfil vertical



Organizador: autor (2024).

Na figura 34 um mapa hipsometria com a adição de curva de nível 1000 M para dar uma melhor representatividade das características do terreno no local. Assim permite um melhor entendimento visual da regularidade local na superfície.

Figura 34 - Cratera Theophilus / Mapa representativo de irregularidade na superfície

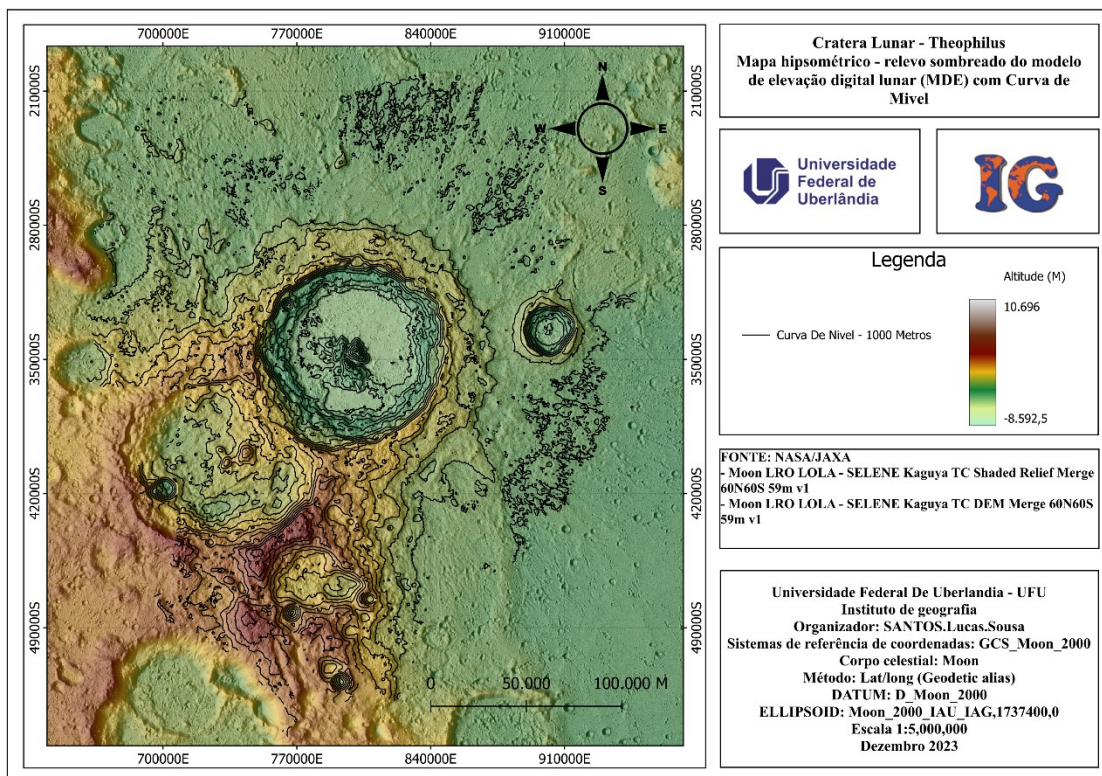


Organizador: autor (2024).

Já na figura 35 representa a mesma localidade, com os mesmos parâmetros da figura 34 só que acrescido com o MDE sombreado da localidade. Dando um melhor contraste na imagem.

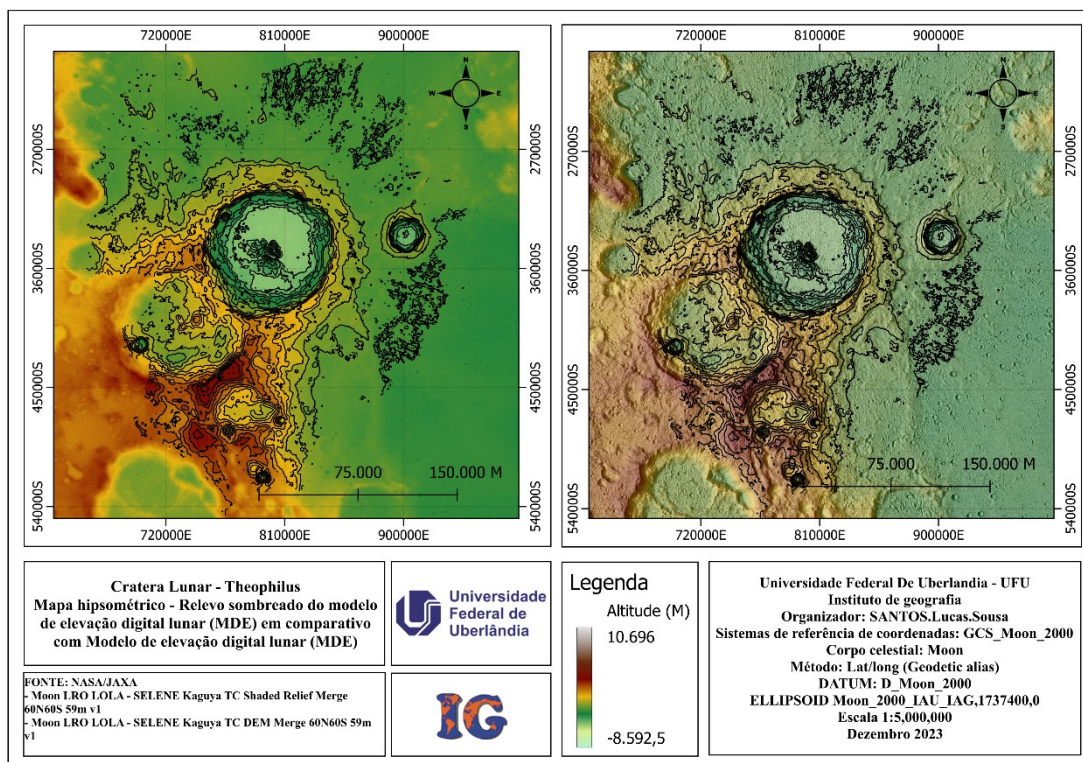
Na figura 36 temos os comparativos entre os dois mapas gerados, que nos permite observar as características do relevo na localidade analisados

Figura 35 - Cratera Theophilus / Mapa sombreado, representativo de irregularidade na superfície



Organizador: autor (2024).

Figura 36 - Cratera Theophilus / Mapa comparativo

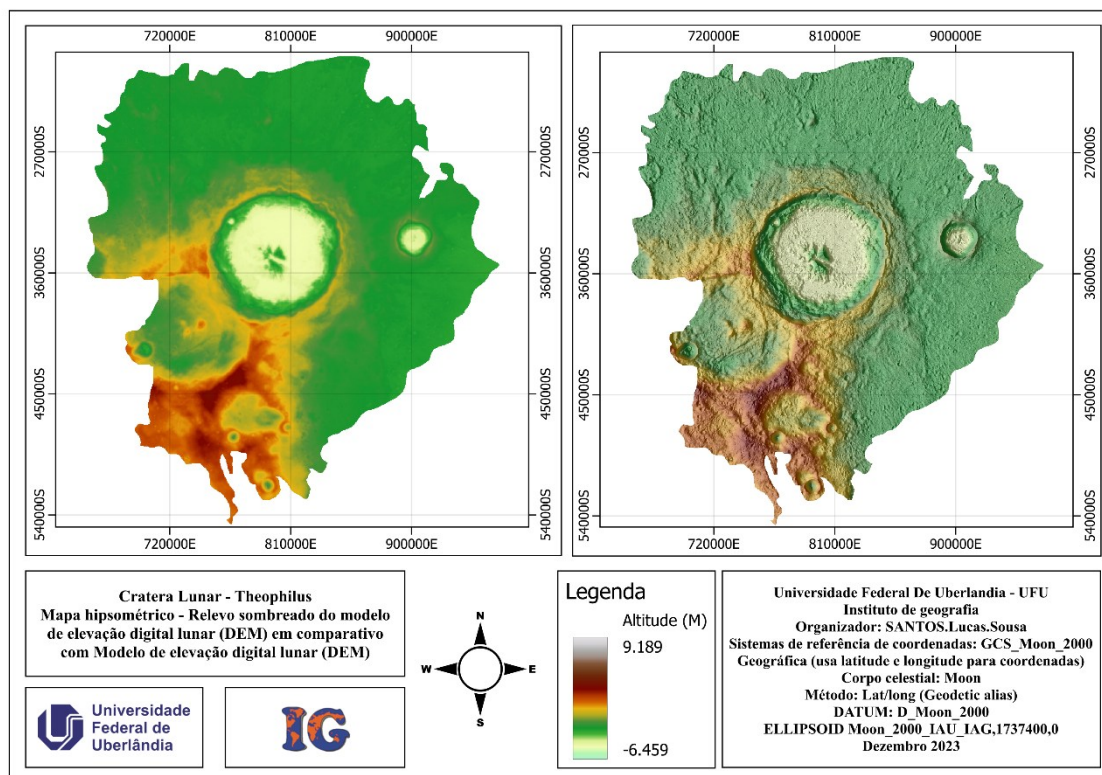


Organizador: autor (2024).

7.3.1.2 Mapa hipsométrico

Dentro do recorte geológico que compõe a estrutura da cratera Theophilus (Figura 37), a altimetria varia entre aproximadamente -6.459 m e 9.189 m em todo o recorte. Mas, na imagem, é possível notar que, em boa parte da estrutura, a altimetria se mantém no mesmo nível relativo, e somente algumas poucas cadeias montanhosas representam as partes mais elevadas dentro da área de formação da estrutura. A parte mais baixa é a área inferior da formação convexa gerada pelo impacto superficial. Além disso, é possível notar que a cratera Mädler, à direita da estrutura principal em análise, também possui uma altimetria negativa próxima à da cratera Theophilus.

Figura 37 - Cratera Theophilus / Mapa comparativo entre os recortes



Organizador: autor (2024).

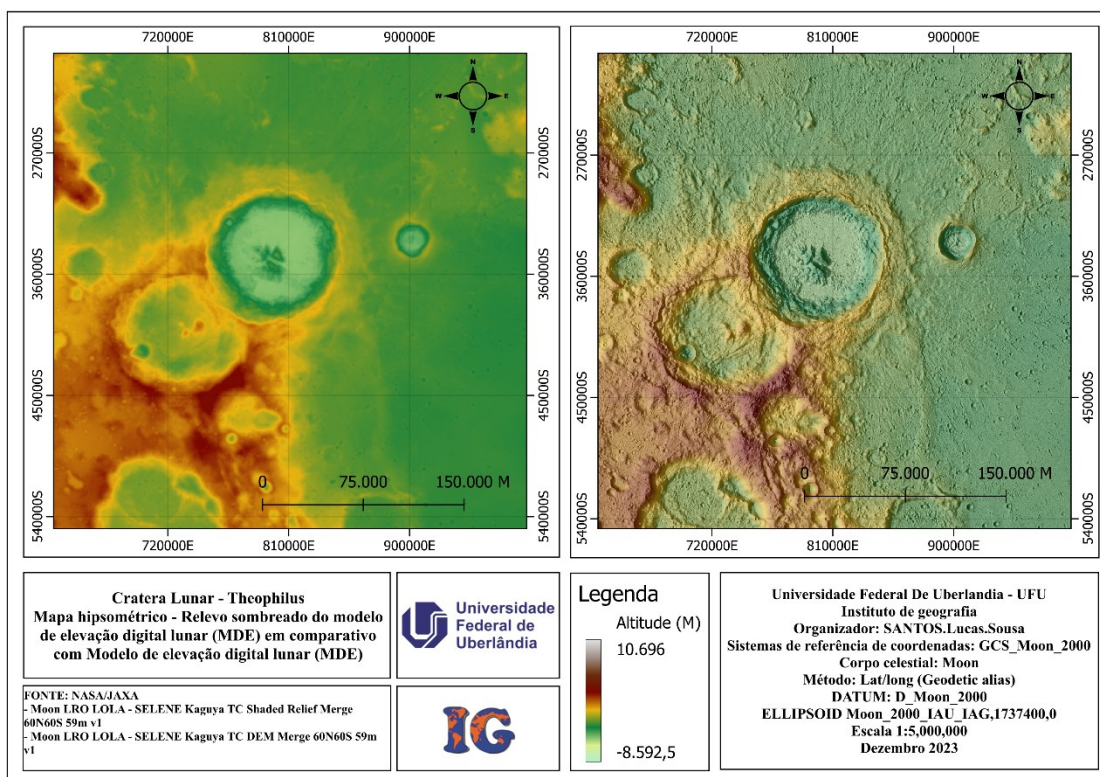
Agora, analisando de forma ampla (Figura 38), abrangendo toda a área lunar delimitada inicialmente, temos a variação altimétrica entre aproximadamente +10.696 m e -8.592,5 m de altitude.

Para comparação, dentro do recorte geológico, temos uma variação de aproximadamente -6.459 m a 9.189 m; já no mapa superficial, dentro da nossa limitação inicial de $\pm 60^\circ$ (que não abrange os polos da superfície lunar), temos uma variação de aproximadamente -8.592,5 m a 10.696 m.

Isso mostra que a variação entre pontos na superfície lunar é bem acentuada, considerando a sua dimensão como um todo.

No segundo mapa (Figura 38), feito com o MDE, temos uma representação que abrange toda a superfície lunar e não apenas o recorte geológico da estrutura da cratera Theophilus. Essa é a única diferença entre os dois mapas altimétricos, possibilitando a análise individual de cada localidade e uma melhor interpretação dos dados.

Figura 38 - Cratera Theophilus / Mapa hipsometria, superfície entre $\pm 60^\circ$



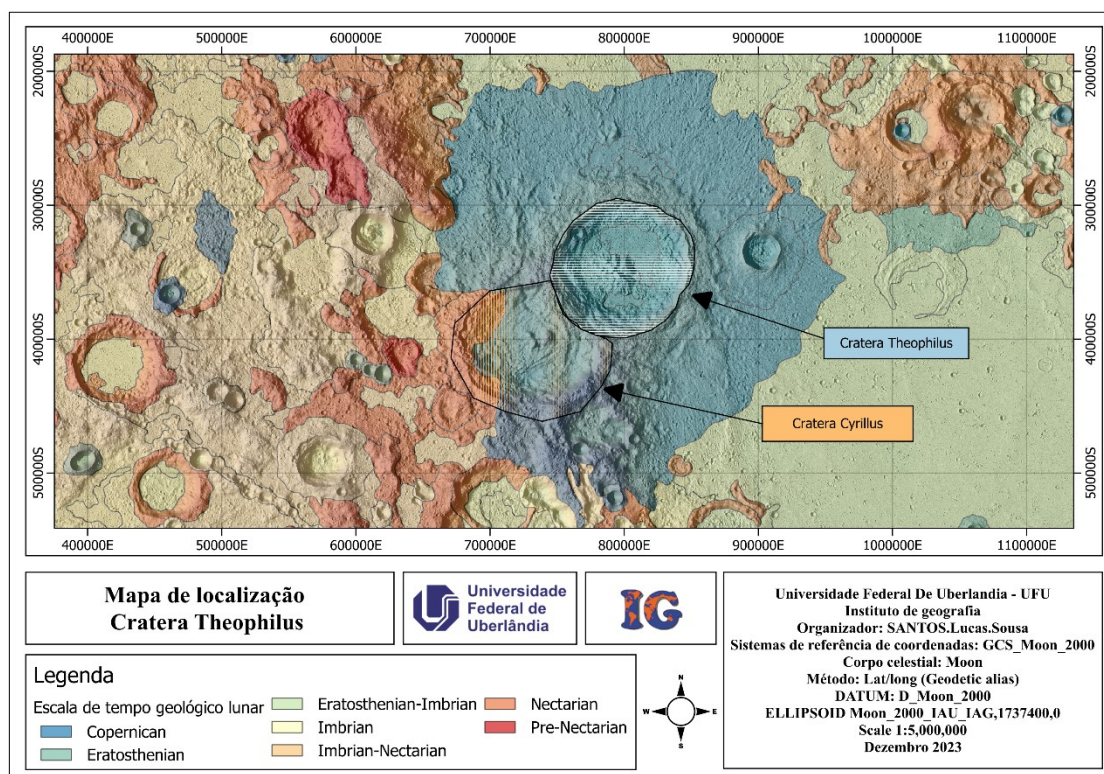
Organizador: autor (2024).

7.3.1.3 Outras formações de grandes dimensões

Dentro da abrangência de formação da Cratera Theophilus e possível notar uma outra formação de tamanho proporcional a da Cratera Theophilus.

A cratera Cyrillus possui um diâmetro estimado de 98.09 KM, em comparação com a Cratera Theophilus que possui um diâmetro de 98.59KM. ~ 500 M de diferença entre as duas formações estruturais.

Figura 39 – Mapa de localização / Crateras Theophilus, Cyrillus



Organizador: autor (2024).

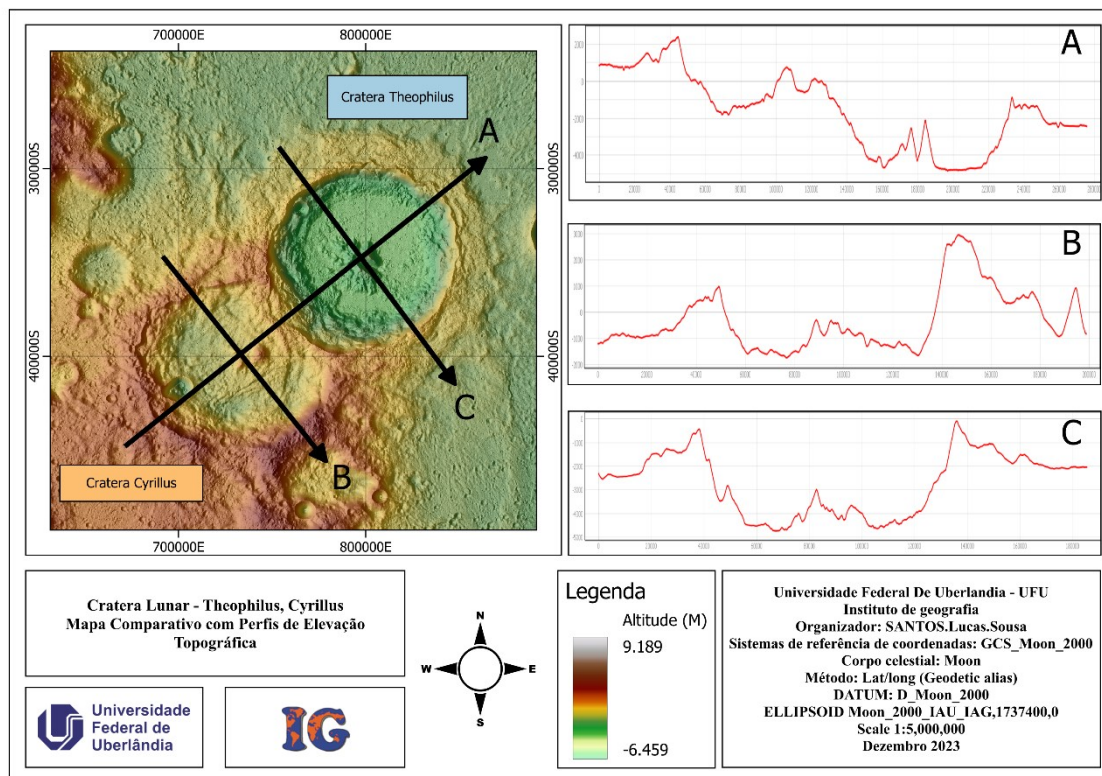
Na figura 39, é possível ver ambas as estruturas. Note que a cratera Theophilus está sobreposta à cratera Cyrillus, de acordo com os modelos. Considerando a análise física das estruturas, é fácil observar essa sobreposição, pois a cratera Theophilus possui uma estrutura circular íntegra, recobrando parte da estrutura da cratera Cyrillus.

Portanto, a estrutura criada por último preservará sua integridade em relação às demais estruturas próximas. Com essa observação, é possível fazer essa diferenciação.

Ainda na figura 39, ao observarmos a cratera Cyrillus à esquerda, percebemos que parte de sua estrutura geológica remete ao período geológico Nectárico, um dos mais antigos dentro dos períodos geológicos lunares.

Utilizando a topografia, é possível notar as diferenças entre as estruturas no terreno e como cada uma deixou sua marca na superfície lunar.

Figura 40 - Crateras Theophilus, Cyrillus / Mapa topográfico



Organizador: autor (2024).

Na figura 40, é possível observar a topografia das estruturas, dividida em três partes. O traçado A transpõe ambas as estruturas de ponta a ponta, permitindo ter uma noção da profundidade de cada uma em comparação à outra. Já os recortes B e C mostram o perfil individual de cada cratera, possibilitando uma análise mais detalhada.

É bom ressaltar que não existe simetria nas bordas das estruturas, podendo variar de acordo com a amostra escolhida para análise.

Observando o gráfico A, vemos a variação topográfica total entre ambas as estruturas, que está entre aproximadamente +2000 m e -4300 m.

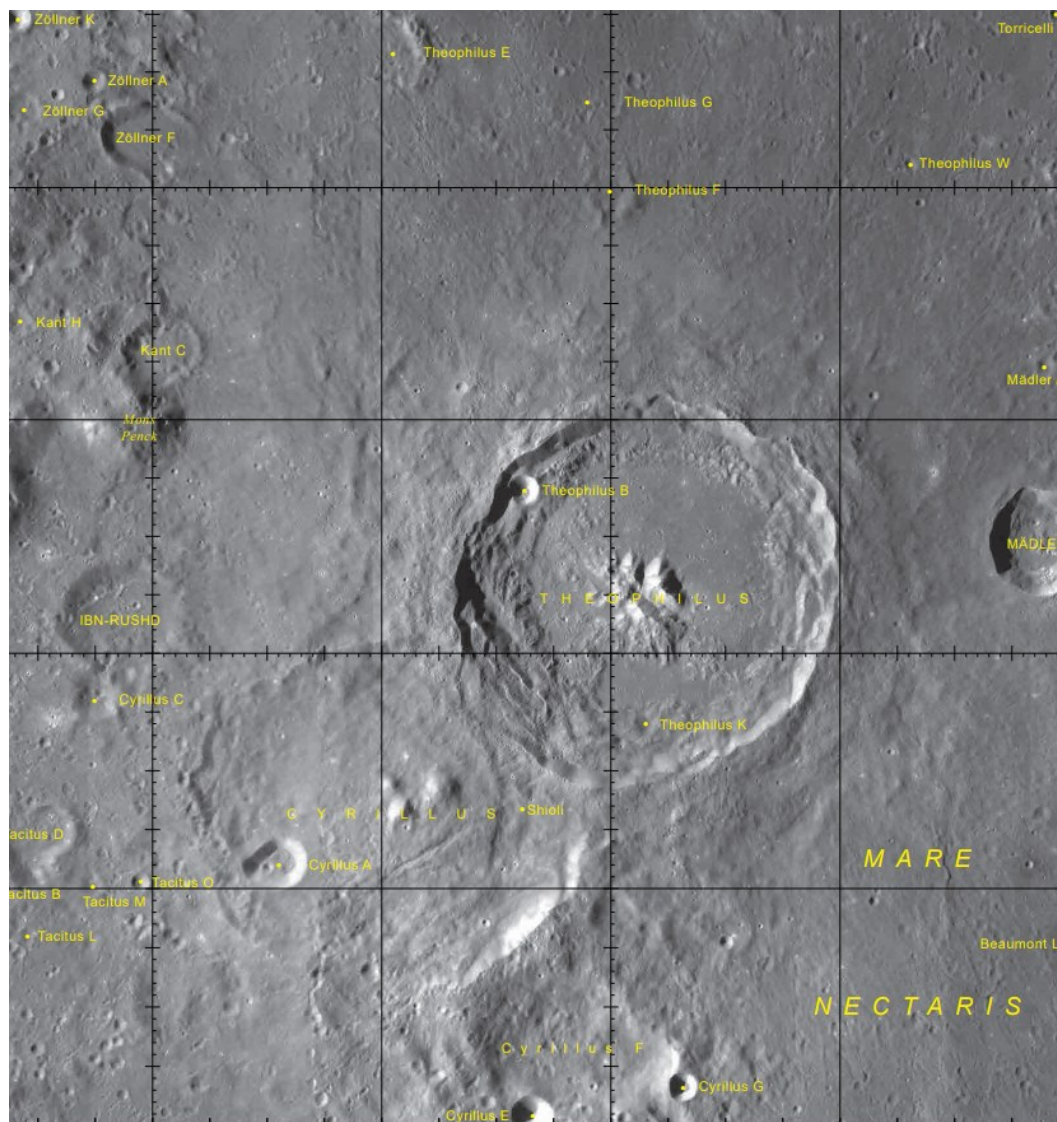
No gráfico B, que mostra a topografia da cratera Cyrillus dentro do recorte realizado para abranger toda sua formação, a variação topográfica é de aproximadamente +3000 m a -1400 m.

Já no gráfico C, relativo à cratera Theophilus, temos uma variação topográfica entre cerca de aproximadamente 0 m e -4800 m de altitude.

7.3.1.5 Imagem na escala 1:1.000.000

Na figura 57 abaixo e apresentado a imagens na escala 1:1.000.000 das Crateras Theophilus e Cyrillus retirada pela NASA

Figura 41 - Crateras Theophilus, Cyrillus / Mapa na escala 1:1.000.000



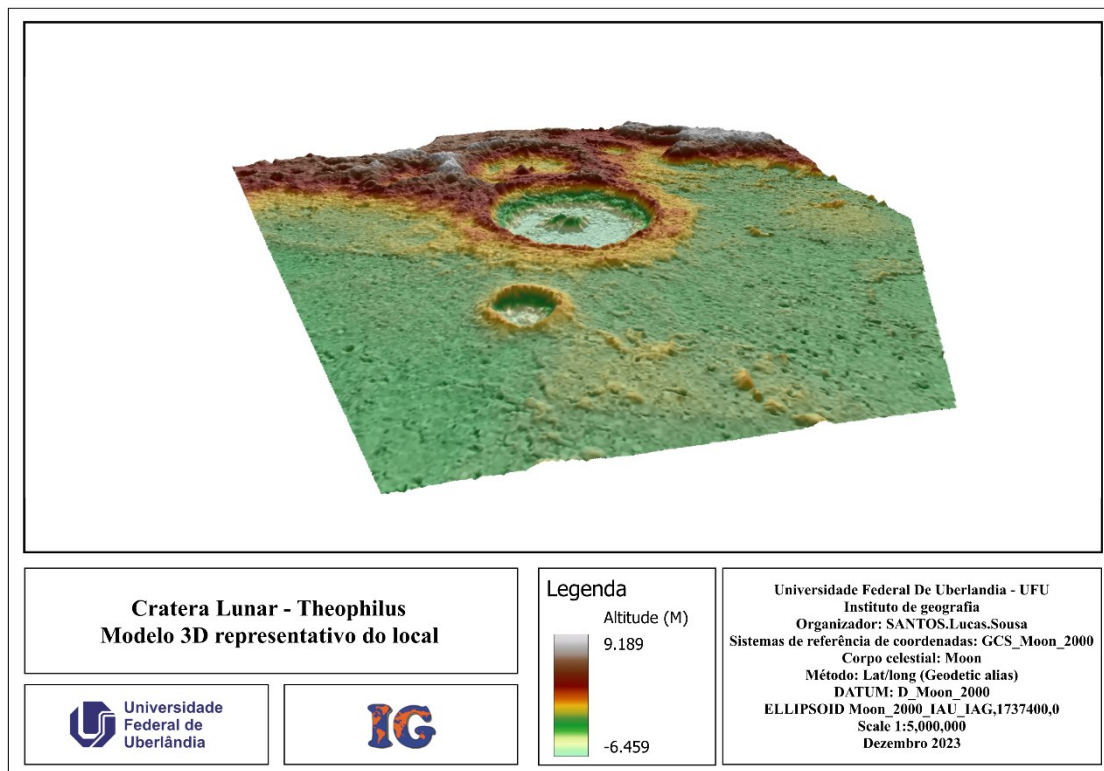
Fonte: Gazetteer of Planetary (2013)

Image credit: NASA/GSFC/ASU (2013).

7.3.1.6 Modelo tridimensional das estruturas

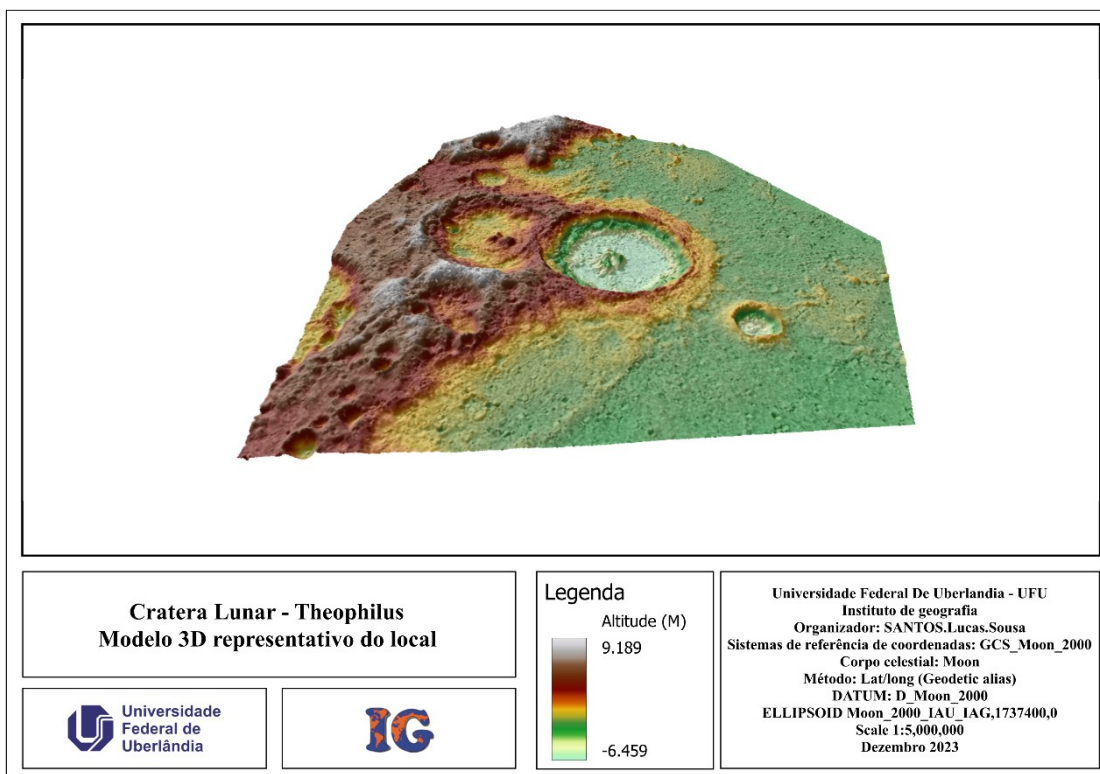
Abaixo são os modelos tridimensionais criados como forma de fazer uma representação visual da estrutura analisada como pode ser observado nas figuras 42, 43 e 44 abaixo.

Figura 42 - Crateras Theophilus, Cyrillus / 1º Modelo tridimensional da estrutura local



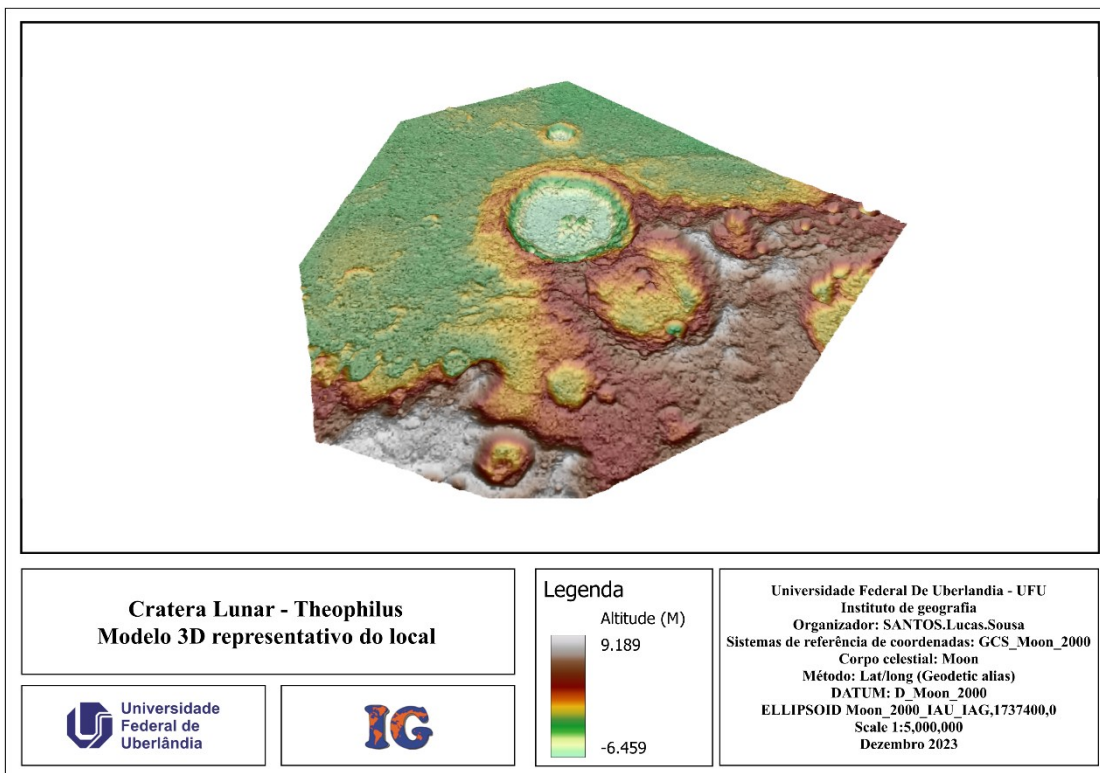
Organizador: autor (2024).

Figura 43 - Crateras Theophilus, Cyrillus / 2º Modelo tridimensional da estrutura local



Organizador: autor (2024).

Figura 44 - Crateras Theophilus, Cyrillus / 3º Modelo tridimensional da estrutura local



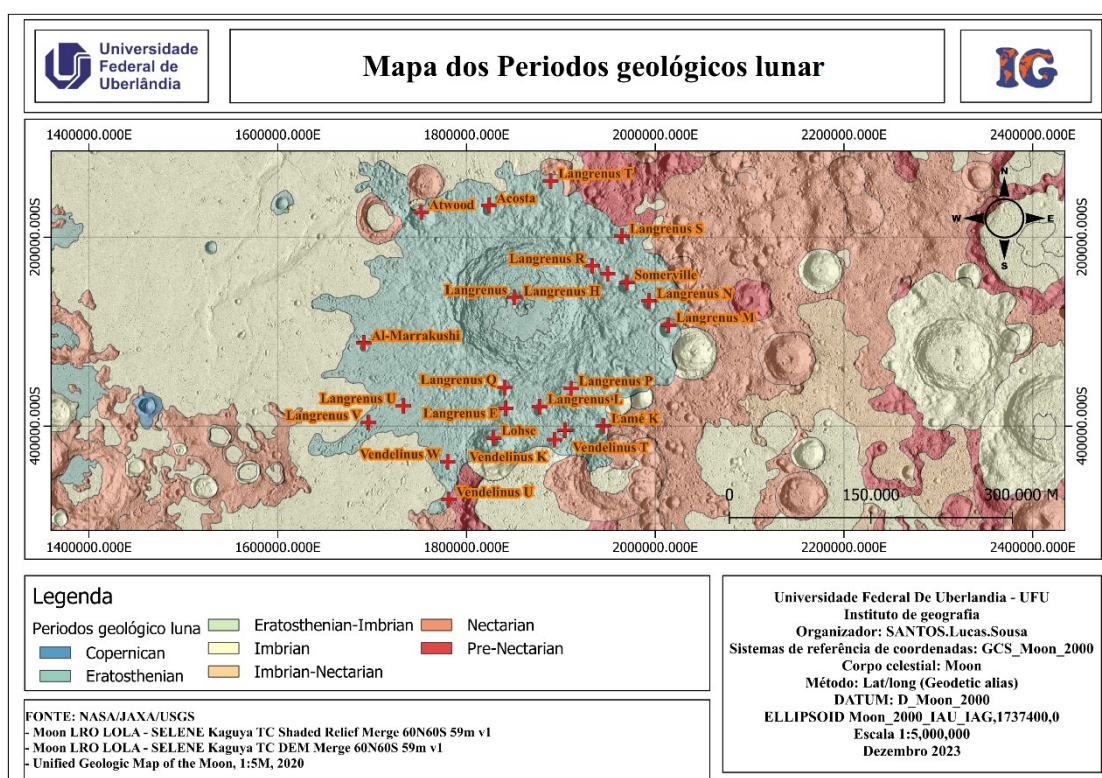
Organizador: autor (2024).

7.3.2 Cratera Langrenus

Na figura 45, é possível visualizar a cratera Langrenus, escolhida do período geológico Eratosteniano para análise de sua formação estrutural. Sua formação na superfície lunar é aparentemente decorrente da colisão de um objeto estelar em alta velocidade, conferindo-lhe essa característica e compondo a paisagem local dessa área.

Dentro do período geológico ao qual a cratera Langrenus pertence, ela é uma das maiores formações estruturais, sendo um dos grandes impactos sofridos pela superfície lunar nesse período.

Figura 45 - Crateras Langrenus / Mapa local dos periodos geologicos



Organizador: autor (2024).

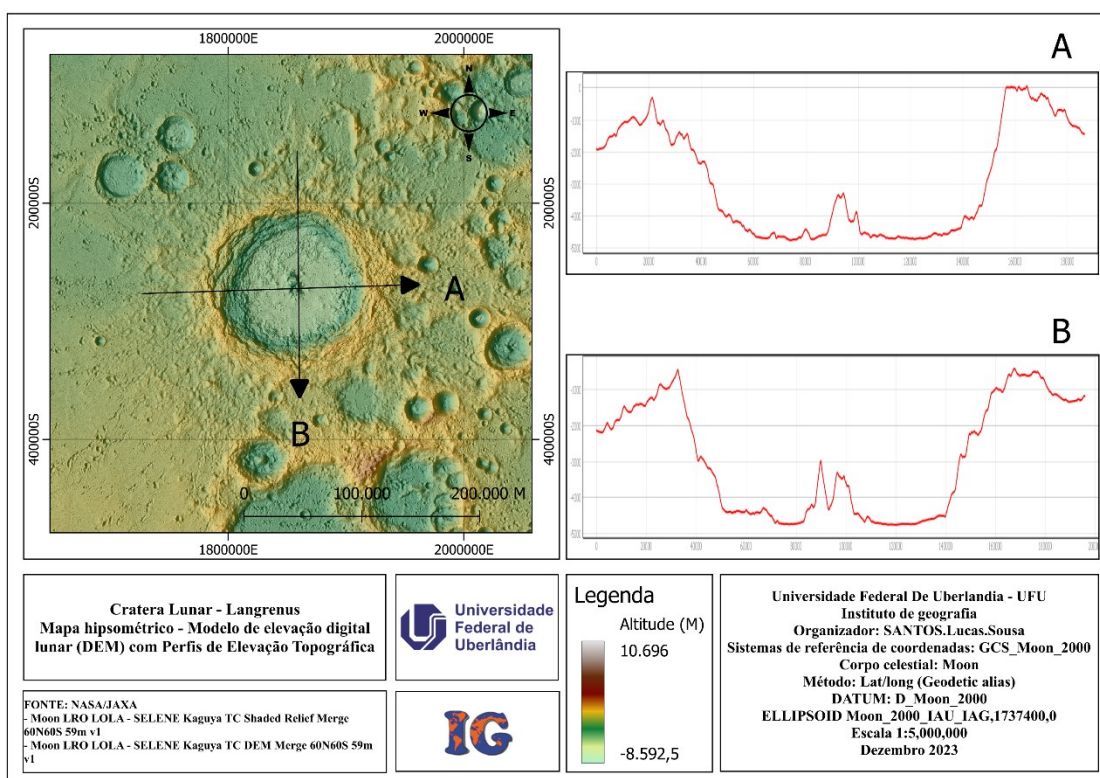
7.3.2.1 Estrutura Principal

A cratera Langrenus possui um diâmetro estimado de 131,98 km, resultante do impacto na superfície lunar. Em relação à altimetria da estrutura principal, temos uma variação do ponto mais alto, em torno de aproximadamente 0 m, até o ponto mais baixo -4700 m.

A formação também apresenta uma estrutura central em forma de cadeia montanhosa, características que permitem classificá-la como uma cratera complexa.

Seu interior possui uma estrutura irregular e sinuosa; no entanto, observando a figura 46, é possível ver que o centro da estrutura possui uma área relativamente plana em comparação com o restante do terreno ao redor. Essa parte plana pode ter se formado após a criação da estrutura principal, decorrente de um derramamento basáltico em seu interior, em algum momento de atividade magmática no interior da Lua.

Figura 46 - Crateras Langrenus / estrutura principal



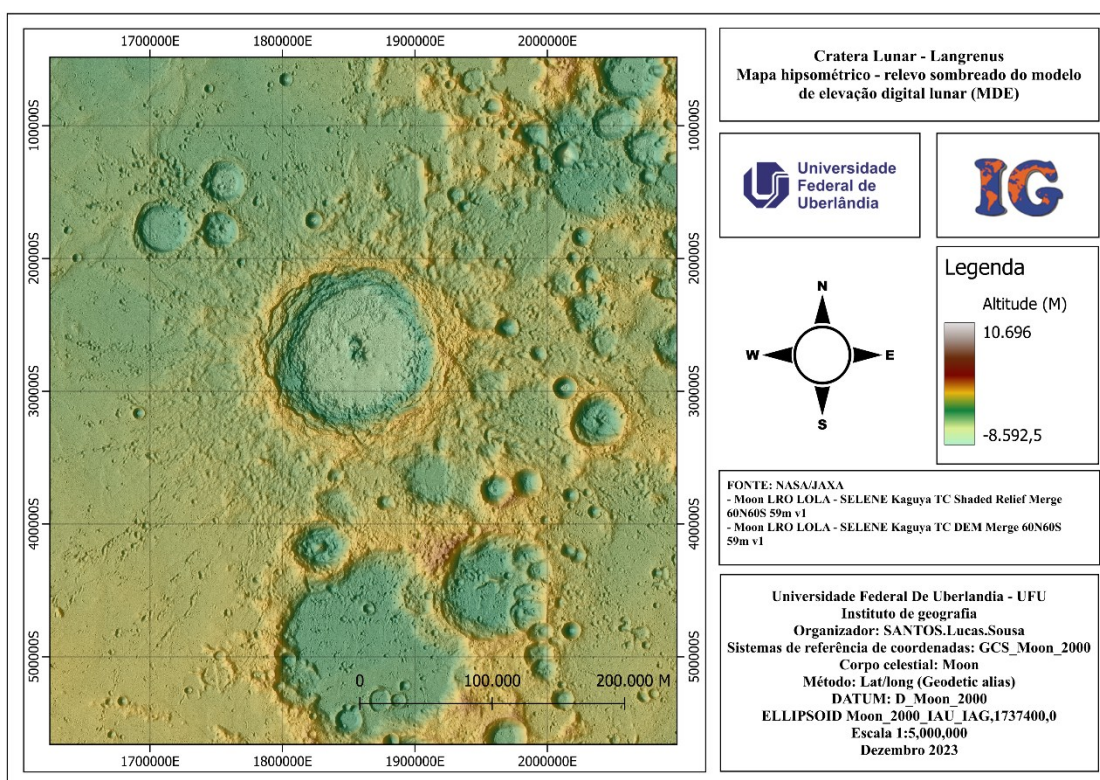
Organizador: autor (2024).

7.3.2.2 Estrutura Secundárias

No entorno da cratera Langrenus, é possível observar, pela figura 47, que se trata de um local bastante acidentado, com formações irregulares em boa parte da localidade. No entanto, ao observar a parte esquerda do mapa, nota-se que se trata de um terreno menos bombardeado por objetos espaciais, o que permite manter a originalidade do local, dentro do possível. Diferentemente do lado direito do mesmo mapa, onde há uma quantidade significativa de formações de impacto, com estruturas elevadas e de diferentes diâmetros. De forma geral, toda a localidade apresenta variações altimétricas semelhantes, não mostrando pontos de maior elevação, como pode ser observado.

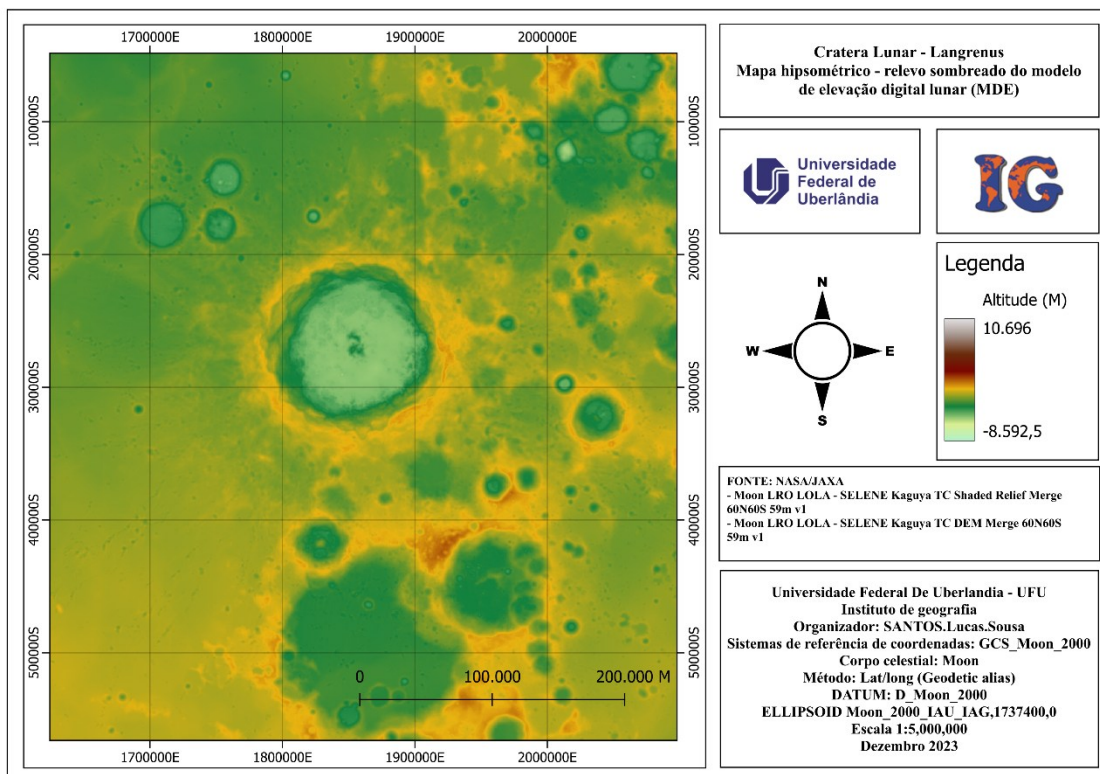
Na figura 48, logo abaixo, o mapa hipsométrico permite uma melhor interpretação em relação à altimetria local e à formação do relevo. Apresenta algumas manchas de locais acentuados, mas estas são bem mínimas se considerarmos o tamanho de toda a localidade.

Figura 47 - Crateras Langrenus / Mapa hipsométrico com relevo sombreado



Organizador: autor (2024).

Figura 48 - Crateras Langrenus / Mapa hipsométrico

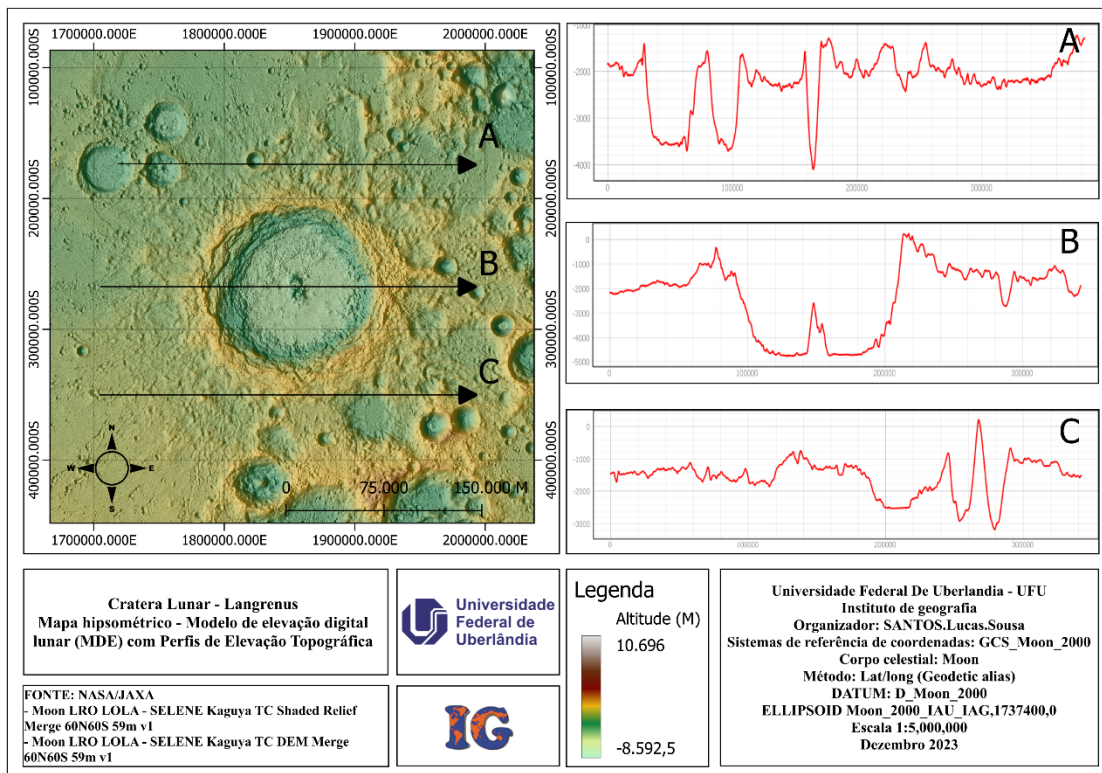


Organizador: autor (2024).

Na figura 50, no mapa de perfil de elevação topográfica com recorte horizontal e possível ter uma melhor noção do entorno da estrutura principal de pesquisa, mostrando a irregularidade do terreno no entorno.

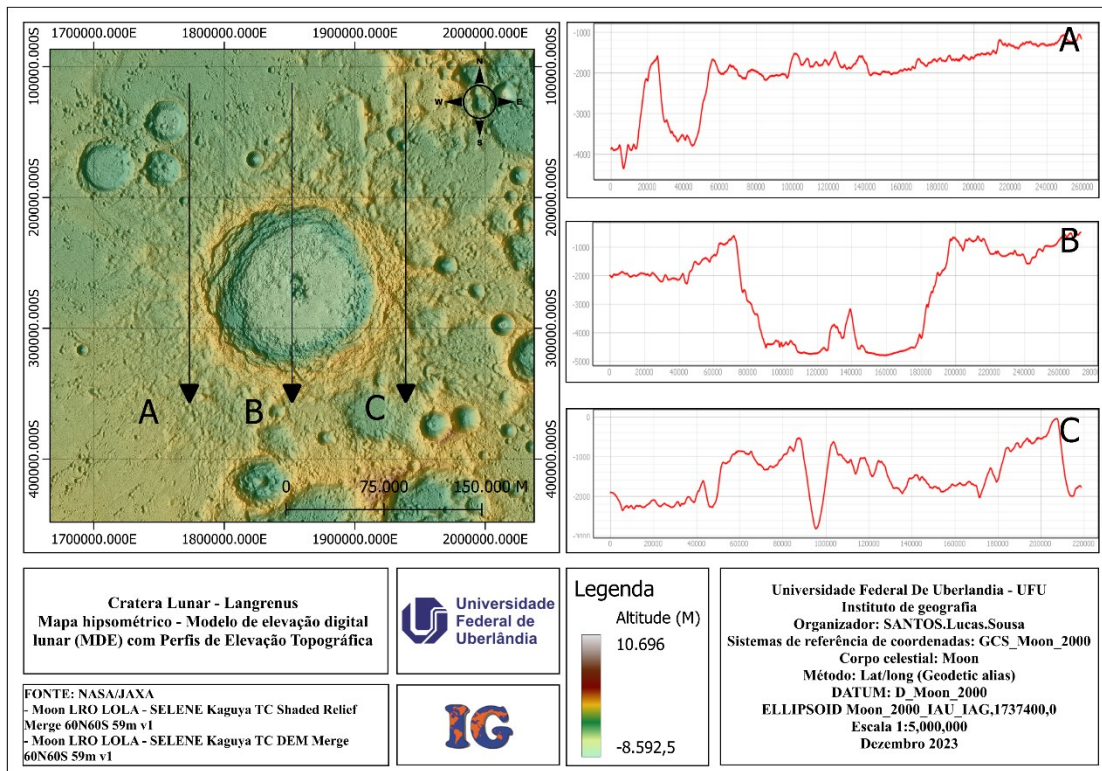
Na figura 51 com o recorte vertical, no gráfico “A” e possível observar uma área menos sinuosa em comparação com os demais gráficos. Fazendo essa observação juntamente como MDE e imagens do local e possível ver que e uma área com uma maior preservação estrutural, com uma menor formação de estruturas de impacto superficial.

Figura 50 - Crateras Langrenus / Mapa topografico, perfil horizontal



Organizador: autor (2024).

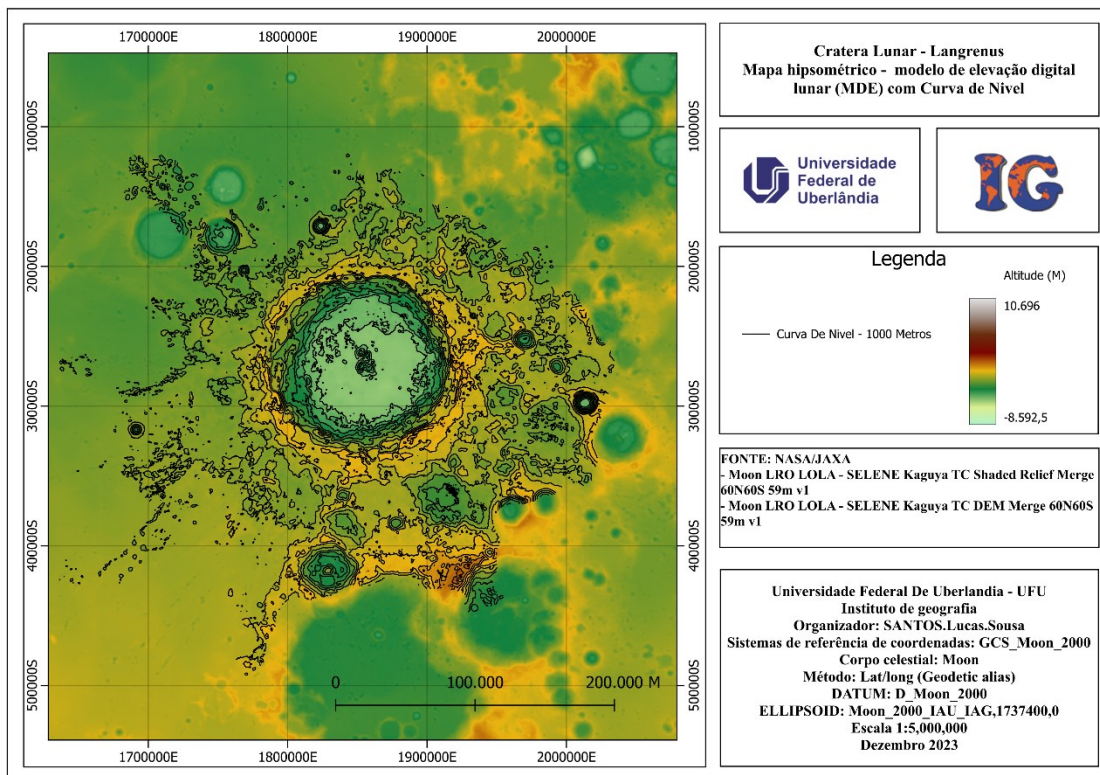
Figura 51 - Crateras Langrenus / Mapa topografico, perfil vertical



Organizador: autor (2024).

Na figura 52 um mapa hipsométrico com a acreção de curva de nível 1000 M para dar uma melhor representatividade das características do terreno no local. Assim permite um melhor entendimento visual da irregularidade local na superfície analisada.

Figura 52 - Cratera Lunar - Langrenus / Mapa representativo de irregularidade na superfície

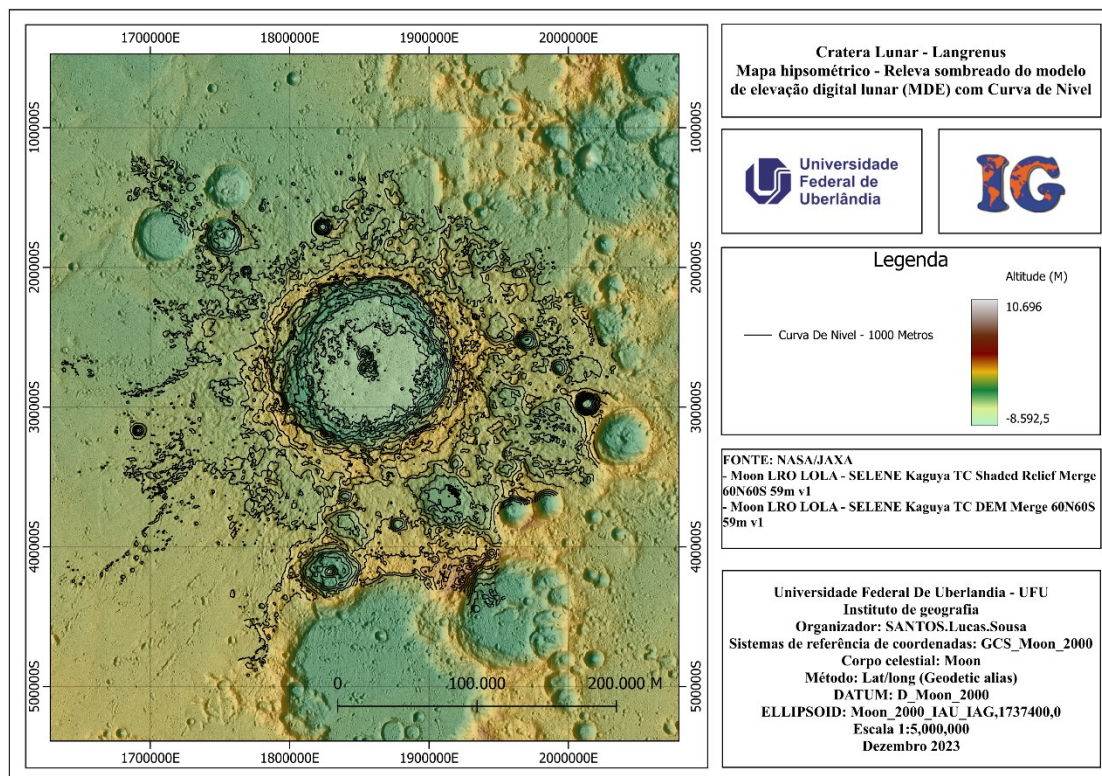


Organizador: autor (2024).

já na figura 53 representa a mesma localidade, com os mesmos parâmetros da figura 53 só que acrescido com o MDE sombreado da localidade. Dando um melhor contraste na imagem.

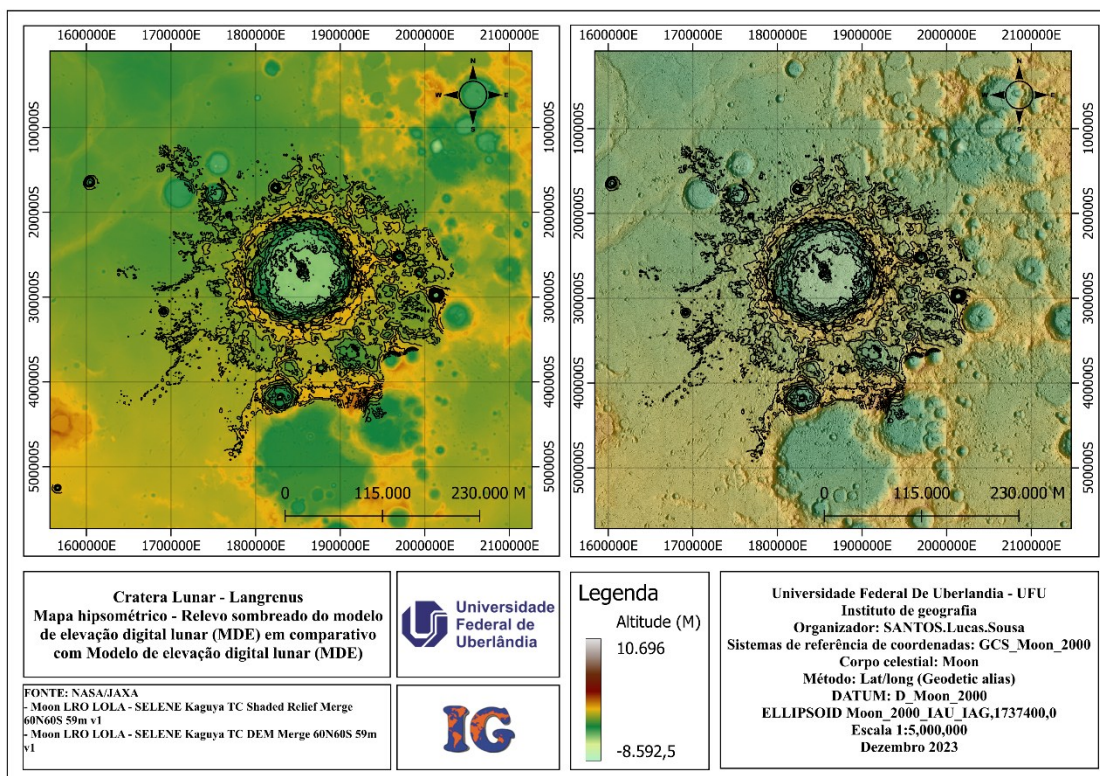
Na figura 54 temos os comparativos entre os dois mapas gerados, que nos permite observar as características do relevo na localidade analisados

Figura 53 - Cratera Langrenus / Mapa sombreado, representativo de irregularidade na superfície



Organizador: autor (2024).

Figura 54 - Cratera Langrenus / Mapa comparativo

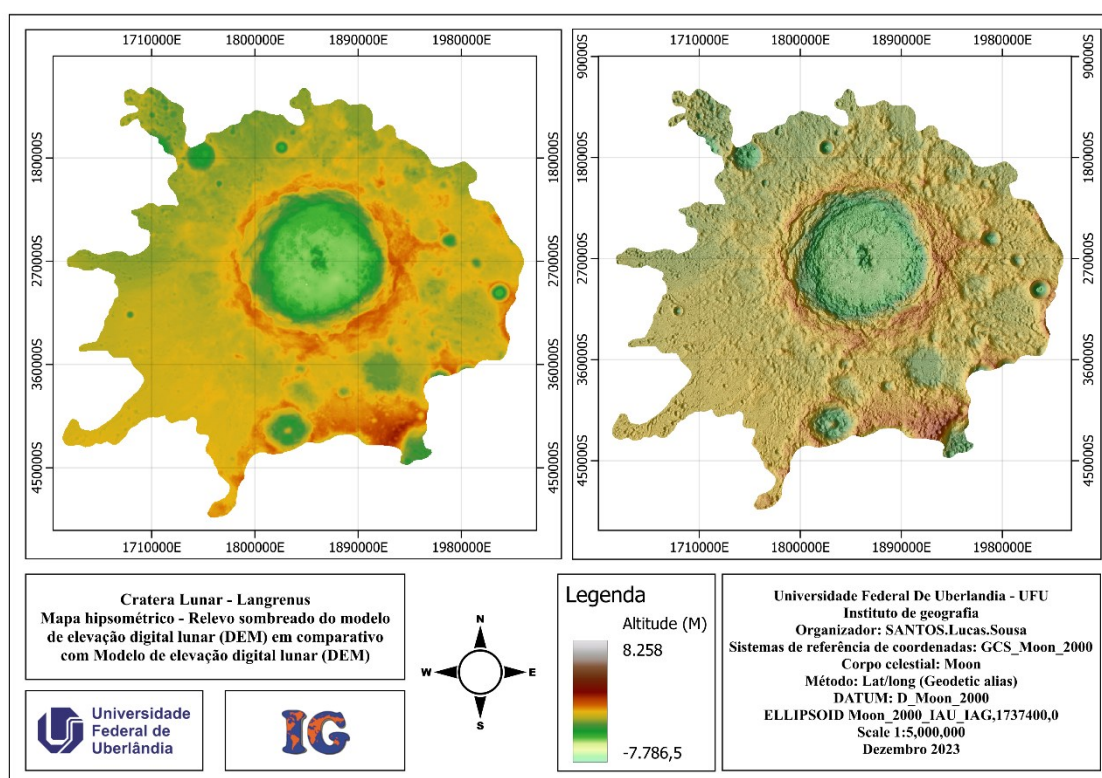


Organizador: autor (2024).

7.3.2.3 Mapa hipsométrico

Dentro do recorte geológico que compõe a estrutura da cratera Langrenus, a altimetria varia entre aproximadamente +8.258 m e -7.786 m em toda a estrutura. Porém, na imagem, é possível notar que, em boa parte da estrutura, a altimetria se mantém em um mesmo nível relativo, com apenas algumas cadeias montanhosas representando as partes mais elevadas dentro da área de formação. Conseqüentemente, a parte mais baixa é a área inferior da formação côncava gerada pelo impacto superficial.

Figura 55 - Cratera Langrenus / Mapa hipsométrico comparativo entre os recortes



Organizador: autor (2024).

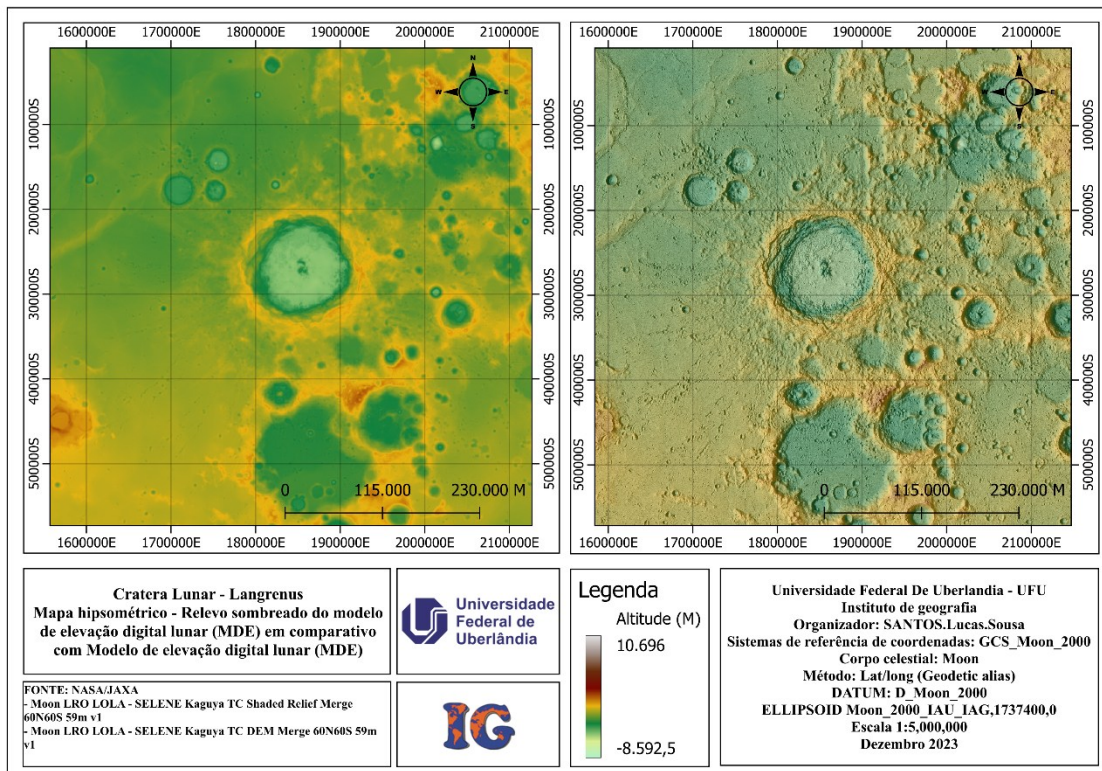
Agora, analisando de forma ampla (Figura 56), abrangendo toda a área lunar delimitada inicialmente, temos a variação altimétrica entre aproximadamente +10.696 m e -8.592,5 m de altitude.

Para comparação, dentro do recorte geológico, temos uma variação de aproximadamente +8.258 m a -7.786,5 m; já no mapa superficial, dentro da nossa limitação inicial de $\pm 60^\circ$ (que não abrange os polos da superfície lunar), temos uma variação de aproximadamente +10.696 m a -8.592,5 m.

Isso mostra que a variação entre pontos na superfície lunar é bem acentuada, considerando sua dimensão como um todo.

Esse segundo mapa (Figura 56), feito com o MDE da superfície lunar, abrange toda a área ao redor e não somente o recorte geológico da estrutura — nesse caso, a cratera Langrenus. Essa é a única diferença entre os dois mapas altimétricos, permitindo a análise individual de cada localidade e uma melhor interpretação dos dados.

Figura 56 - Cratera Langrenus / Mapa hipsometria, superfície entre ±60°

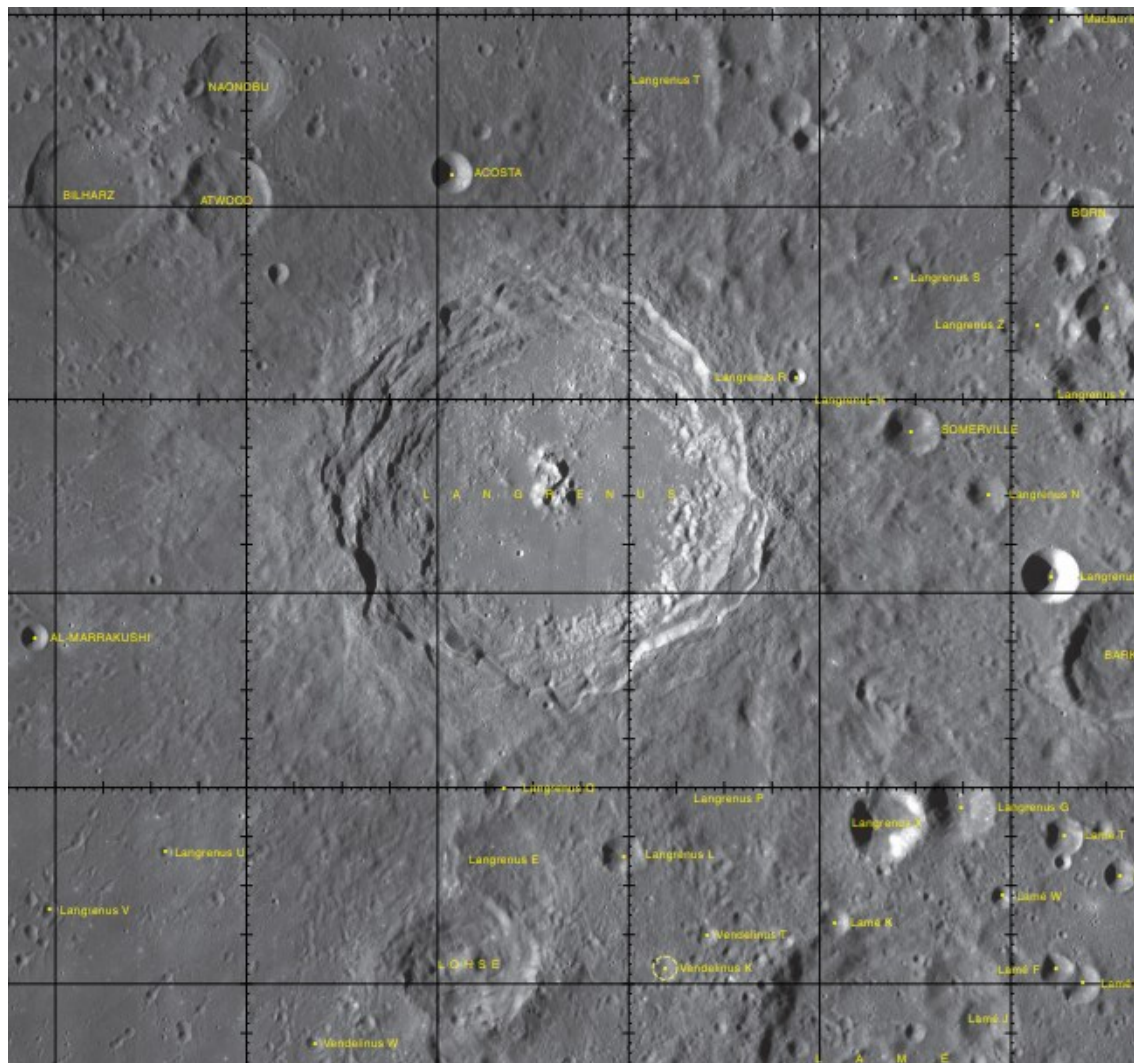


Organizador: autor (2024).

7.3.2.4 Imagem na escala 1:1.000.000

Na figura 57 abaixo e apresentado a imagens na escala 1:1.000.000 da Cratera Langrenus, retirada pela NASA.

Figura 57 - Cratera Langrenus / Imagem na escala 1:1.000.000



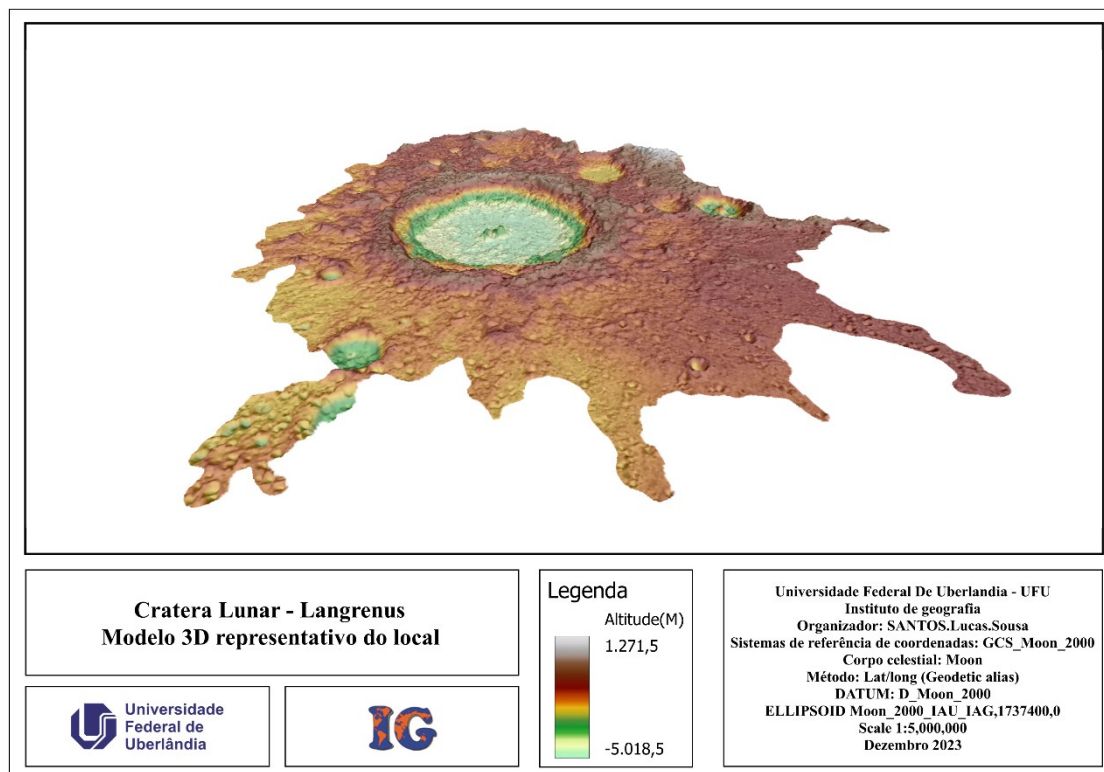
Fonte: Gazetteer of Planetary (2013)

Image credit: NASA/GSFC/ASU (2013)

7.3.2.5 Modelo tridimensional das estruturas

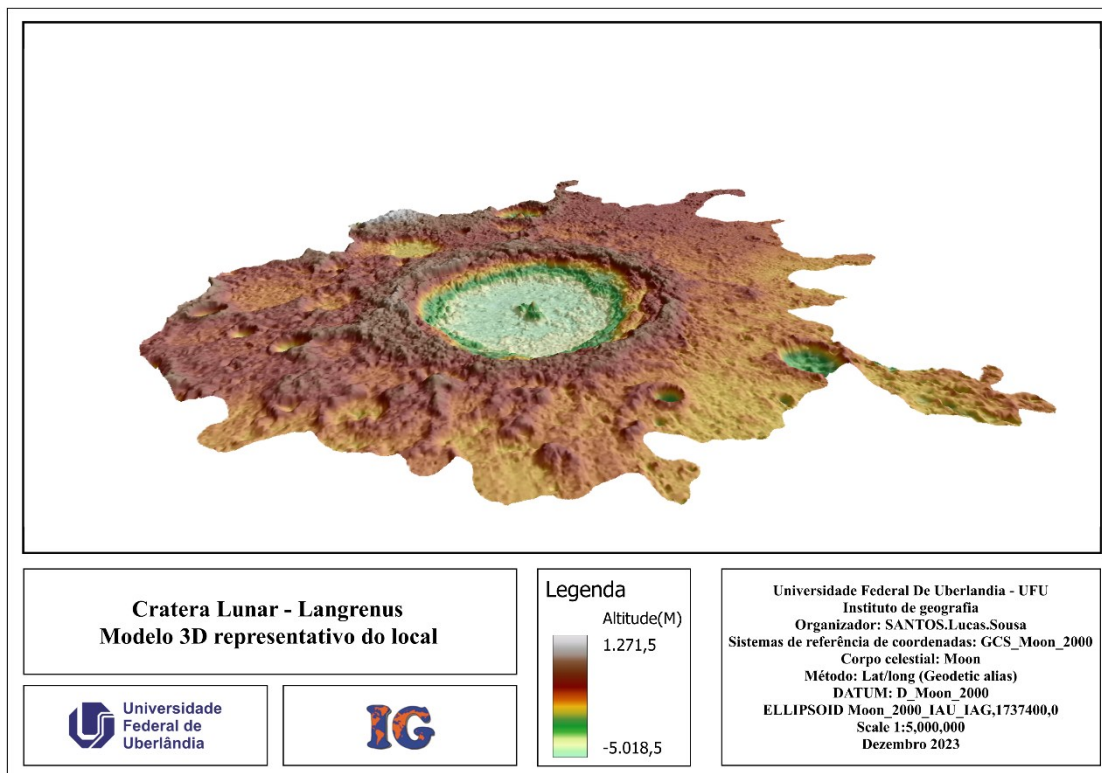
Abaixo estão os modelos tridimensionais criados para fornecer uma representação visual da estrutura analisada, como pode ser observado nas figuras 58, 59 e 60.

Figura 58 - Crateras Langrenus / 1º Modelo tridimensional das estruturas da local



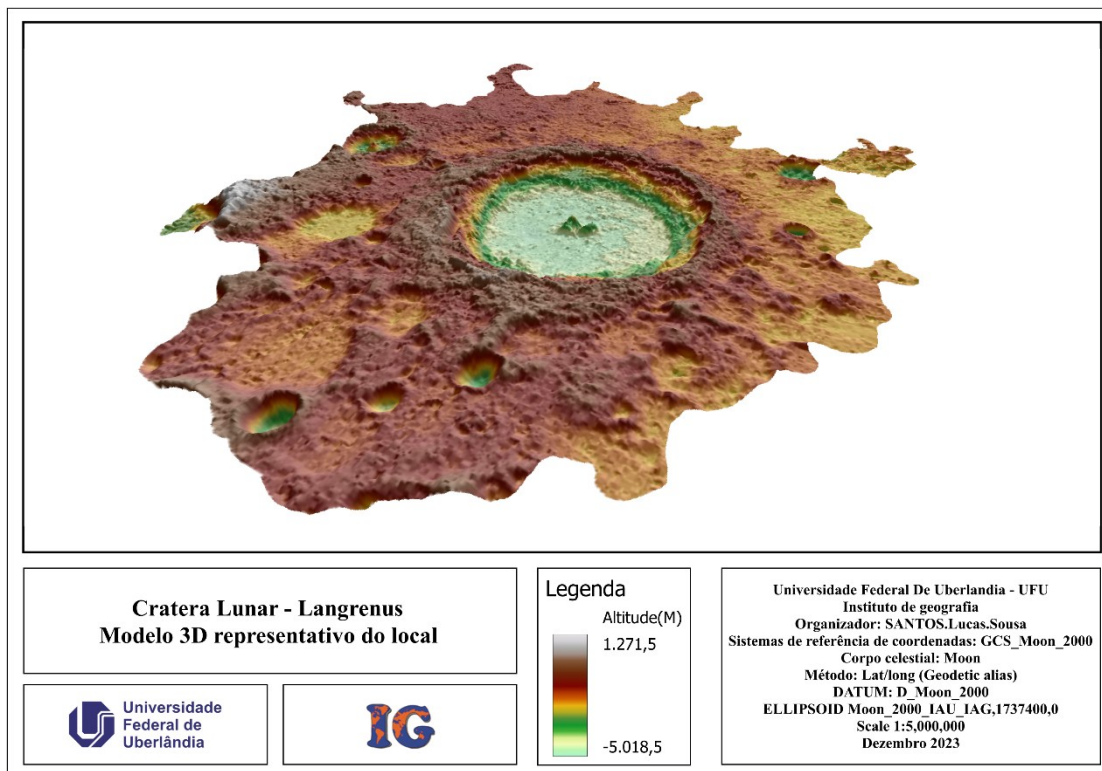
Organizador: autor (2024).

Figura 59 - Crateras Langrenus / 2º Modelo tridimensional da estrutura



Organizador: autor (2024).

Figura 60 - Crateras Langrenus / 3º Modelo tridimensional da estrutura



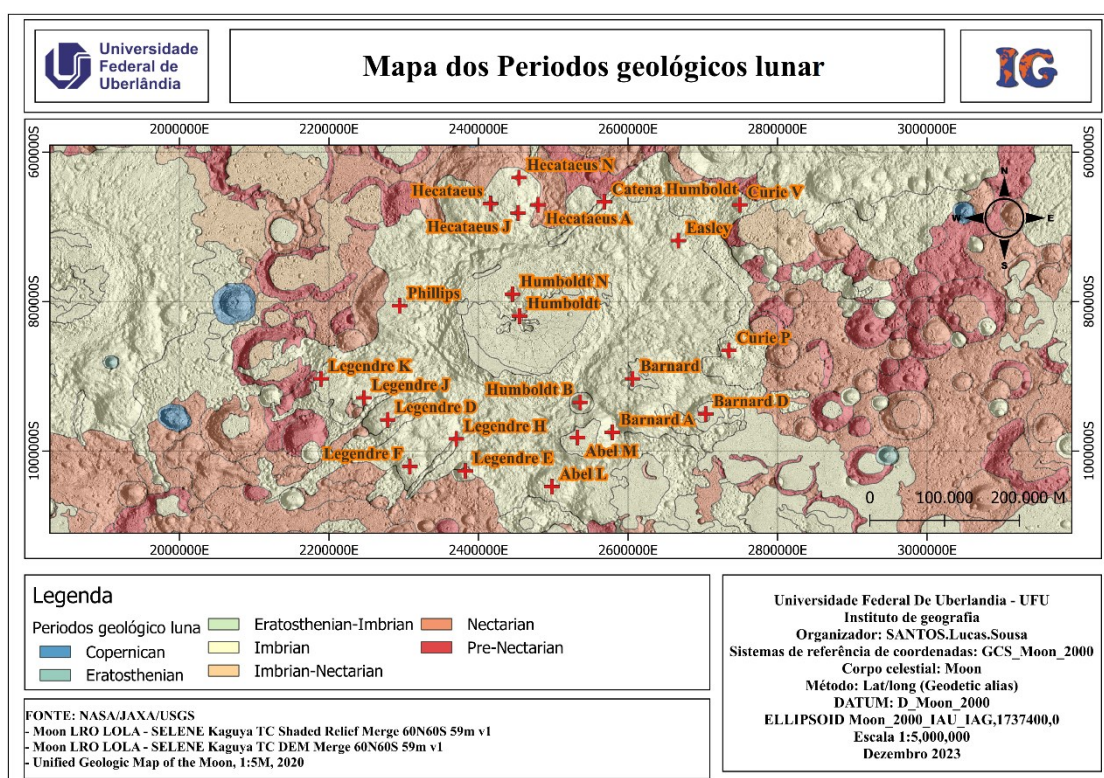
Organizador: autor (2024).

7.3.3 Cratera Homboldt

Na figura 61, é possível visualizar a cratera Humboldt, escolhida do período geológico Ímbrico para a análise de sua formação estrutural. Sua formação na superfície lunar parece ser decorrente da colisão de um objeto estelar em alta velocidade, conferindo-lhe essa característica e compondo a paisagem local dessa área.

Dentro desse período geológico, a cratera Humboldt é uma das maiores formações, sendo um dos grandes impactos sofridos pela superfície lunar.

Figura 61 - Cratera Humboldt / Mapa local dos periodos geologicos



Organizador: autor (2024).

7.3.3.1 Estrutura principal

A Cratera Humboldt possui um diâmetro estimado de 199.46 KM decorrente ao impacto na superfície Lunar.

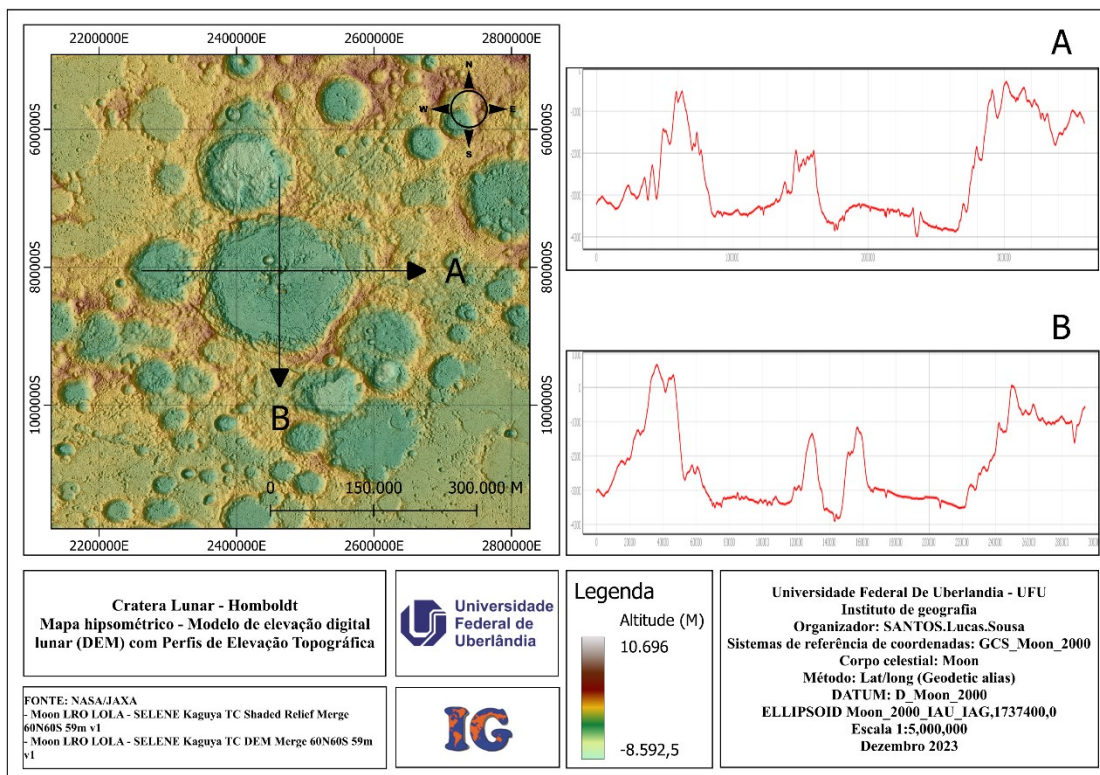
Em relação à altimetria da estrutura principal, temos uma variação do ponto mais alto de aproximadamente +800 m ao ponto mais baixo -4000 m. como pode ser observado na figura 62. A formação também apresenta uma estrutura central em formato de cadeia montanhosa, o que a caracteriza como uma cratera complexa.

Essa estrutura, em específico, possui uma característica que chama bastante a atenção quando observada de perto: em seu interior, é possível ver rachaduras na base, dispostas em um padrão radial. Diferentemente de outras formações, Humboldt não apresenta a definição interna típica de uma cratera de impacto, como é comum nas formações mais recentes do tempo geológico lunar.

Geralmente, uma estrutura de impacto possui um interior côncavo-convexo, um formato perceptível através dos gráficos topográficos das formações mais novas. Contudo, Humboldt não exibe essa característica; tanto na análise visual quanto na topográfica, é possível observar que seu interior aparenta ter sido parcialmente preenchido por material, o que fez com que perdesse essa definição característica.

A cratera Humboldt pode ter sofrido um derramamento de material derretido em seu interior em algum momento durante ou após sua formação. Durante o processo de resfriamento, as rachaduras surgiram devido à alta velocidade de esfriamento, uma vez que a temperatura na superfície lunar é a mesma do espaço sideral. A rápida queda de temperatura poderia criar fraturas na estrutura da cratera.

Figura 62 - Cratera Humboldt / estrutura principal



Organizador: autor (2024).

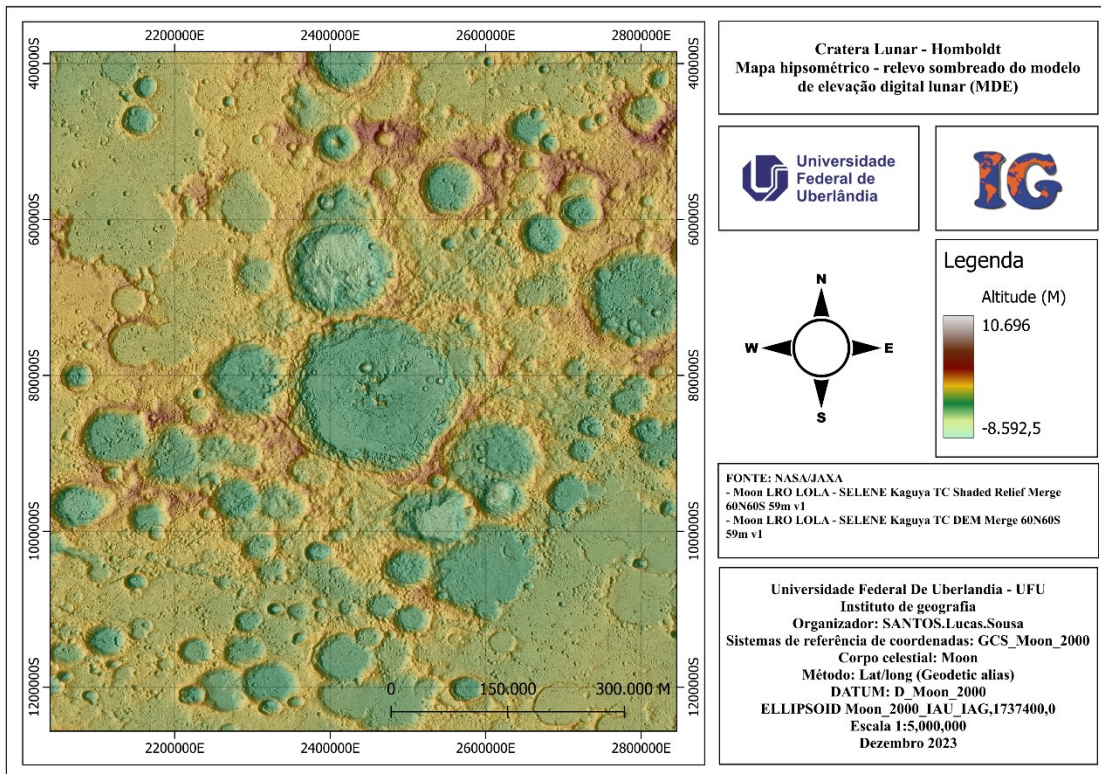
7.3.3.2 Estrutura secundárias

No entorno da cratera Humboldt, é possível observar pela figura 63 que se trata de uma área com um número significativo de outras formações que aparentam ser de impactos superficiais, a maioria de médio e pequeno porte. Não há outra formação próxima em dimensão à estrutura principal de análise. Também é possível ver, nas periferias, formações residuais que possivelmente já foram crateras de impacto, restando apenas parte dos contornos de suas bordas.

O terreno nessa localidade é bastante montanhoso e irregular, especialmente no interior da estrutura principal de análise.

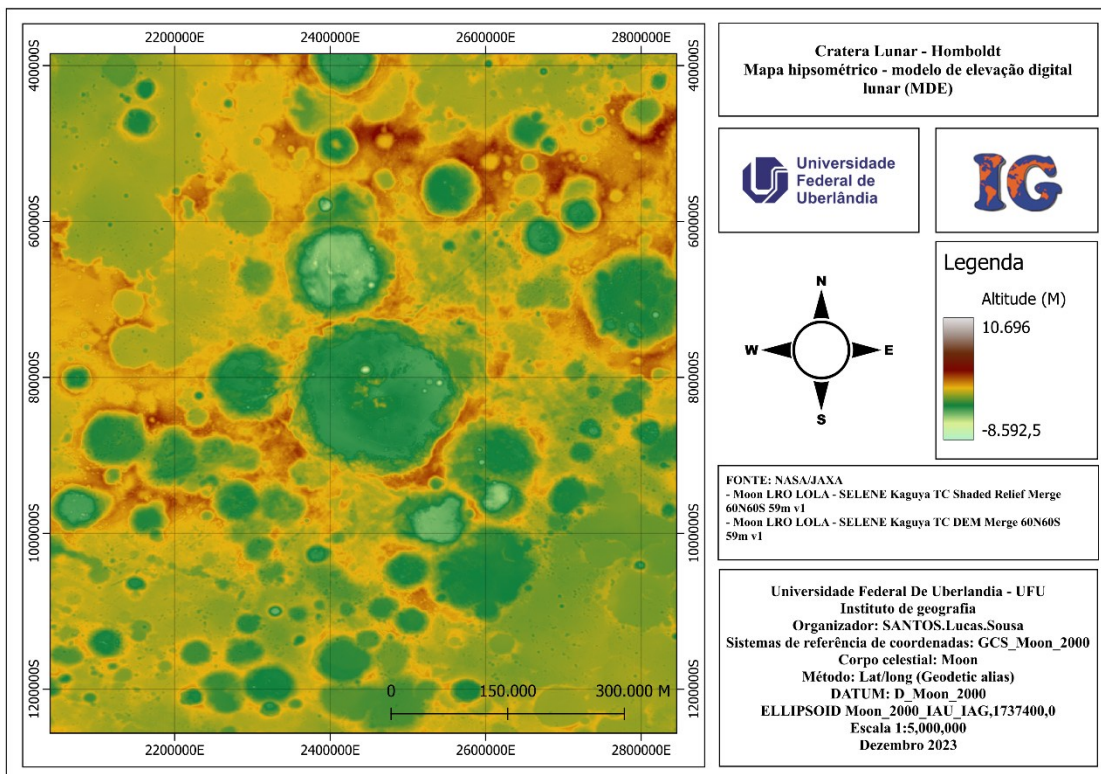
Na figura 64, o mapa hipsométrico permite uma melhor interpretação da altimetria local e da formação do relevo. Observa-se um número maior de áreas elevadas em comparação com o restante da região.

Figura 63 - Cratera Humboldt / Mapa hipsométrico com relevo sombreado



Organizador: autor (2024).

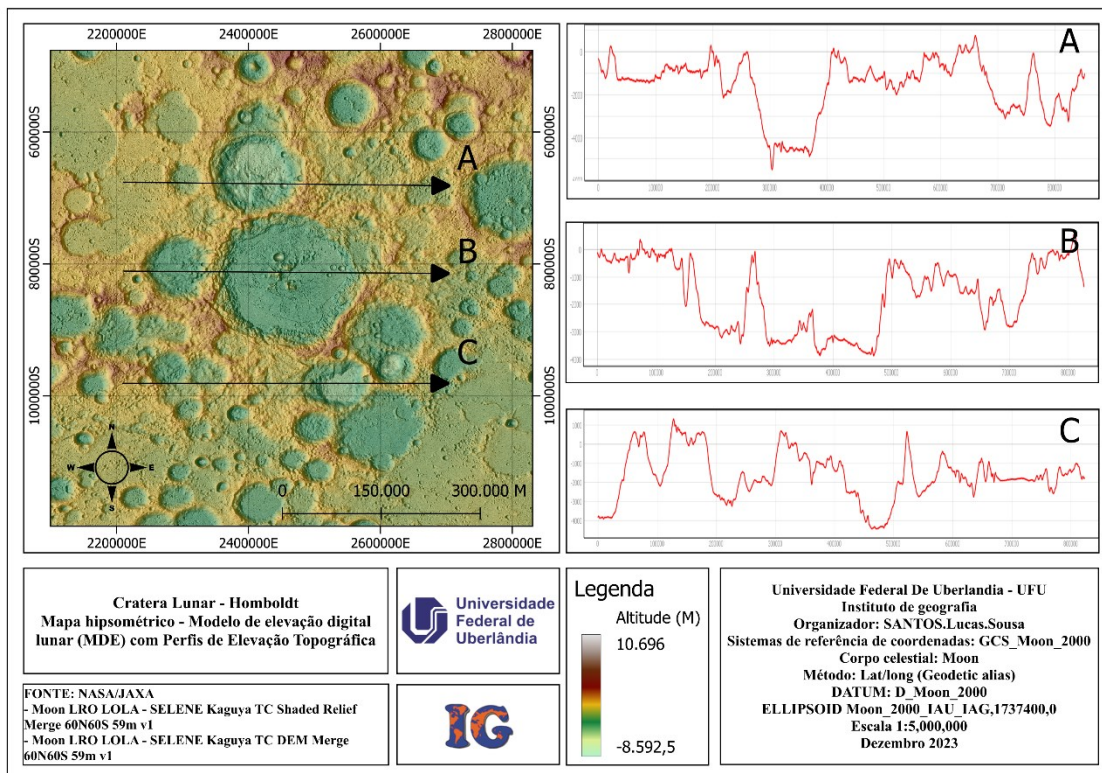
Figura 64 - Cratera Humboldt / Mapa hipsométrico



Organizador: autor (2024).

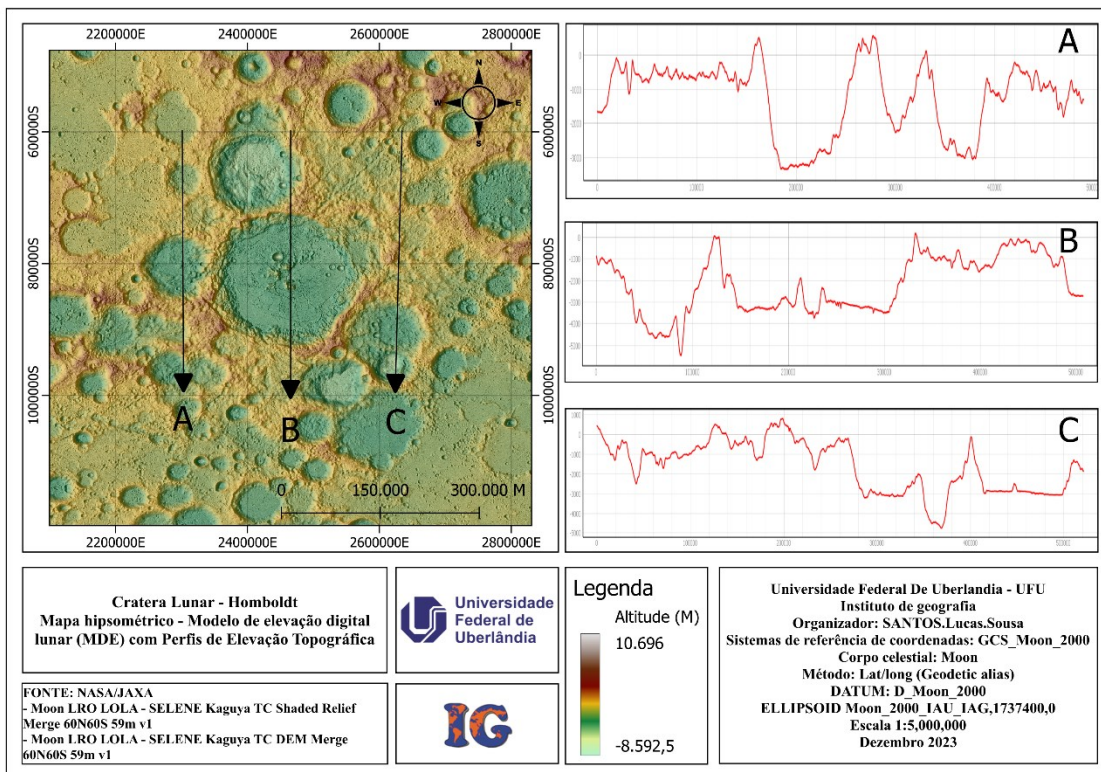
Na figura 65, no mapa de perfil de elevação topográfica com recorte horizontal e possível ter uma melhor noção do entorno da estrutura principal de pesquisa, mostrando a regularidade do terreno no entorno. Através dos MDE isso já fica bem nítido quanto a irregularidade no terreno, mais com os gráficos e possível tem uma melhor noção e comparação dos dados.

Figura 65 - Cratera Humboldt / Mapa topografico, perfil horizontal



Organizador: autor (2024).

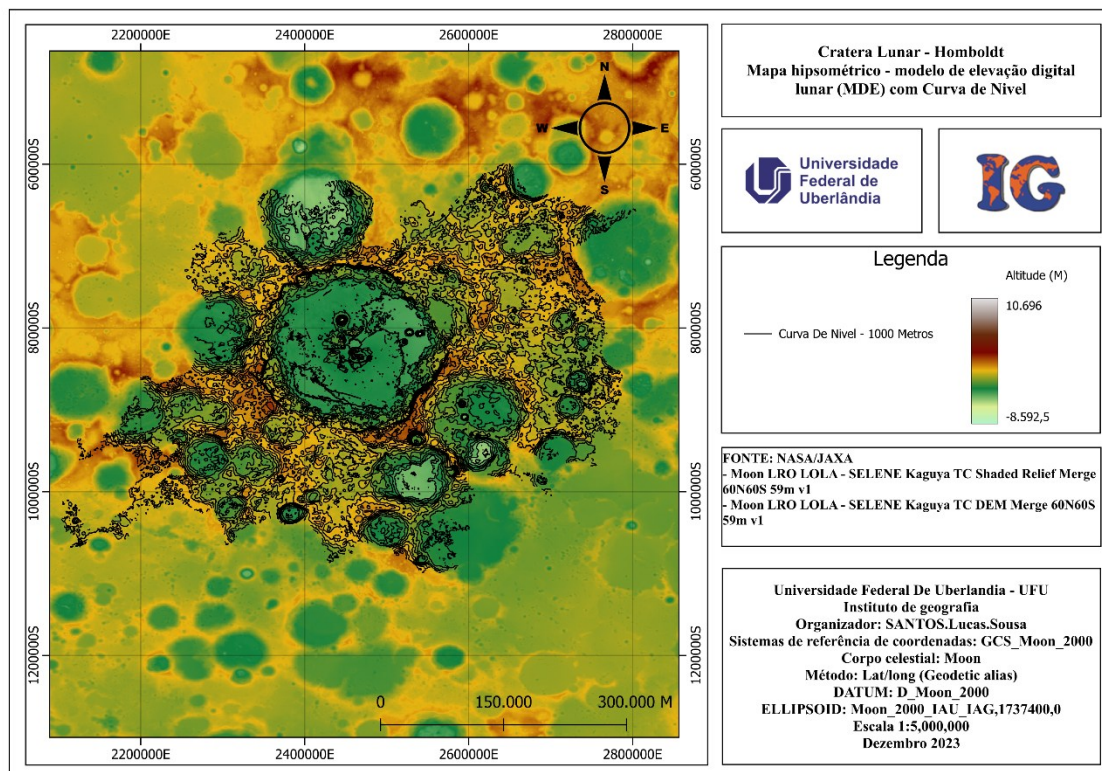
Figura 66 - Cratera Humboldt / Mapa topografico, perfil vertical



Organizador: autor (2024).

Na figura 67 um mapa hipsométrico com a adição de curva de nível 1000 M para dar uma melhor representatividade das características do terreno no local. Assim permite um melhor entendimento visual da regularidade local na superfície.

Figura 67 - Cratera Humboldt / Mapa representativo de irregularidade na superfície.

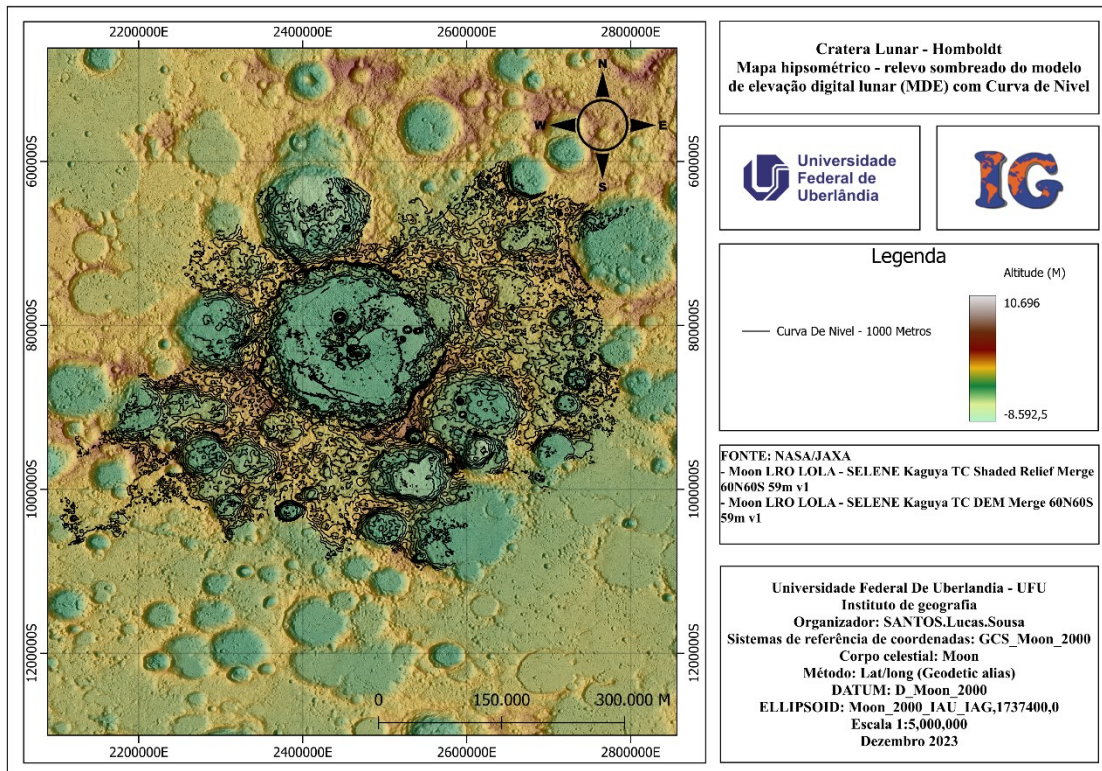


Organizador: autor (2024).

já na figura 68 representa a mesma localidade, com os mesmos parâmetros da figura 67 só que acrescido com o MDE sombreado da localidade. Dando um melhor contraste na imagem.

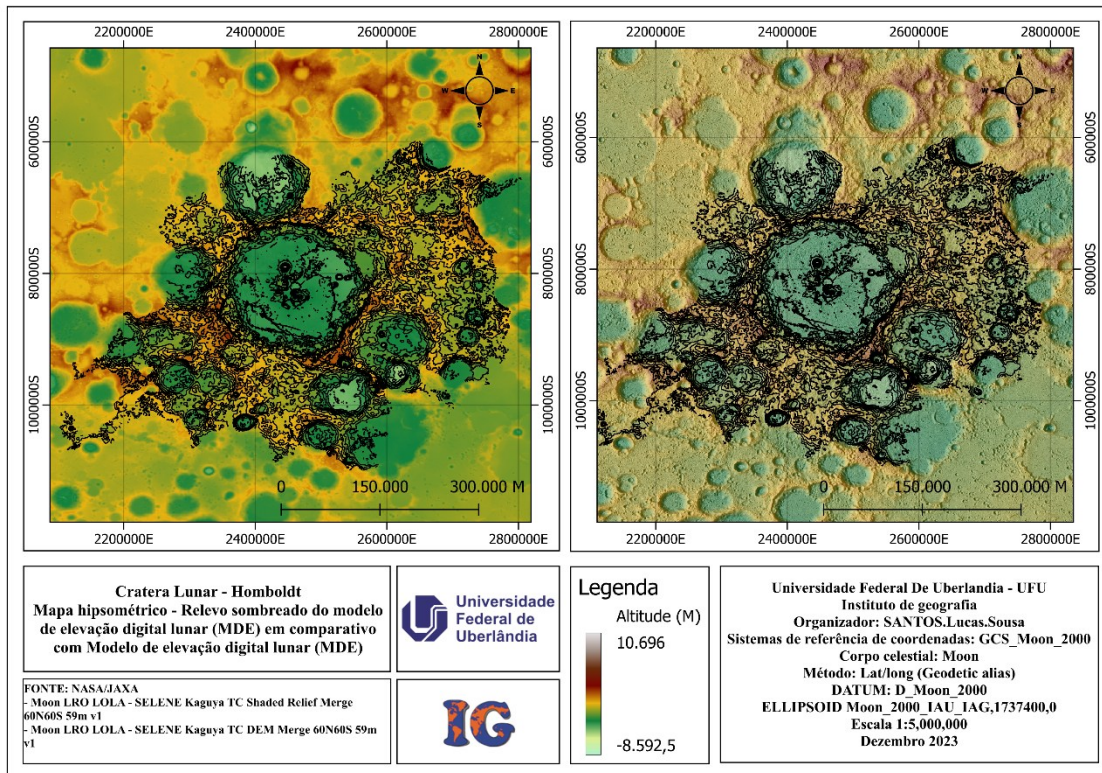
Na figura 69 temos os comparativos entre os dois mapas gerados, que nos permite observar as características do relevo na localidade analisados

Figura 68 - Cratera Humboldt / Mapa sombreado, representativo de irregularidade na superfície



Organizador: autor (2024).

Figura 69 - Cratera Humboldt / Mapa comparativo

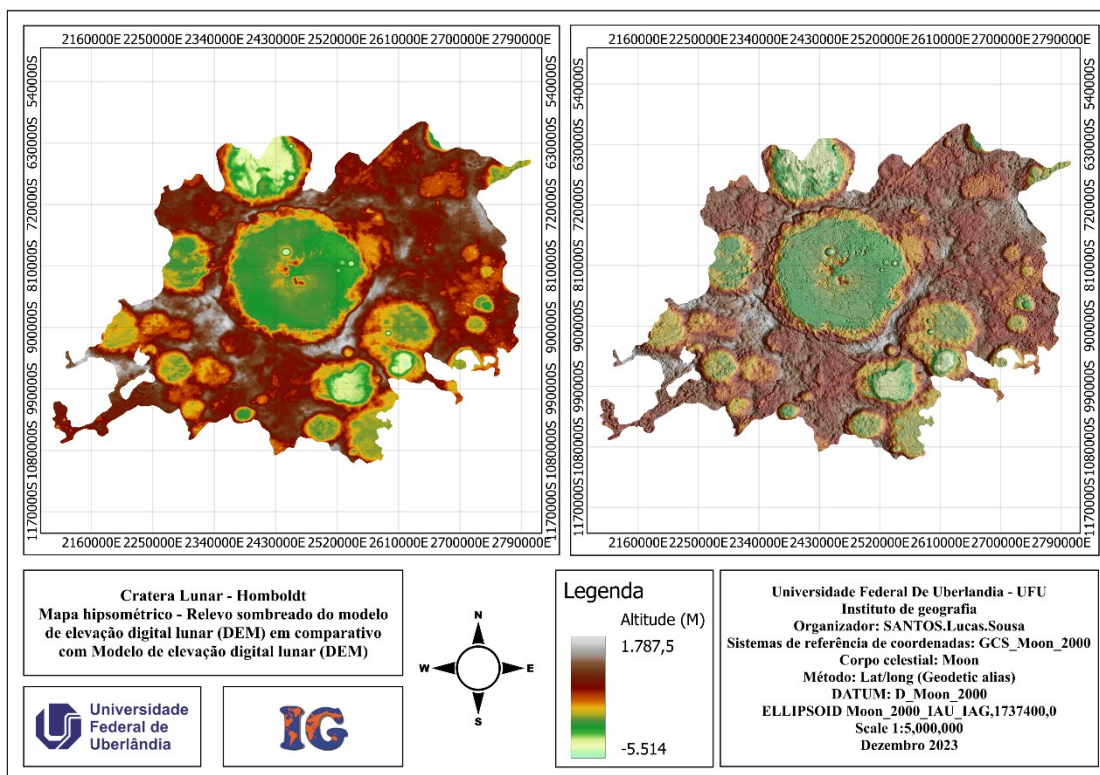


Organizador: autor (2024).

7.3.3.3 Mapa hipsométrico

Dentro do recorte geológico (Figura 70) que compõe a estrutura da cratera Humboldt, a altimetria varia entre aproximadamente +1.787,5 m e -5.514 m em toda a estrutura. No entanto, é possível notar que grande parte da estrutura é composta por cadeias montanhosas em um terreno bastante irregular, sendo a área mais próxima do plano o interior da estrutura principal de pesquisa. Mesmo as cadeias montanhosas que cobrem a área estão praticamente no mesmo nível altimétrico, com algumas poucas áreas variando positivamente até o limite máximo da altimetria local. As partes mais profundas correspondem às bases internas das crateras de impacto presentes no local.

Figura 70 - Cratera Humboldt / Mapa hipsométrico comparativo entre os recortes



Organizador: autor (2024).

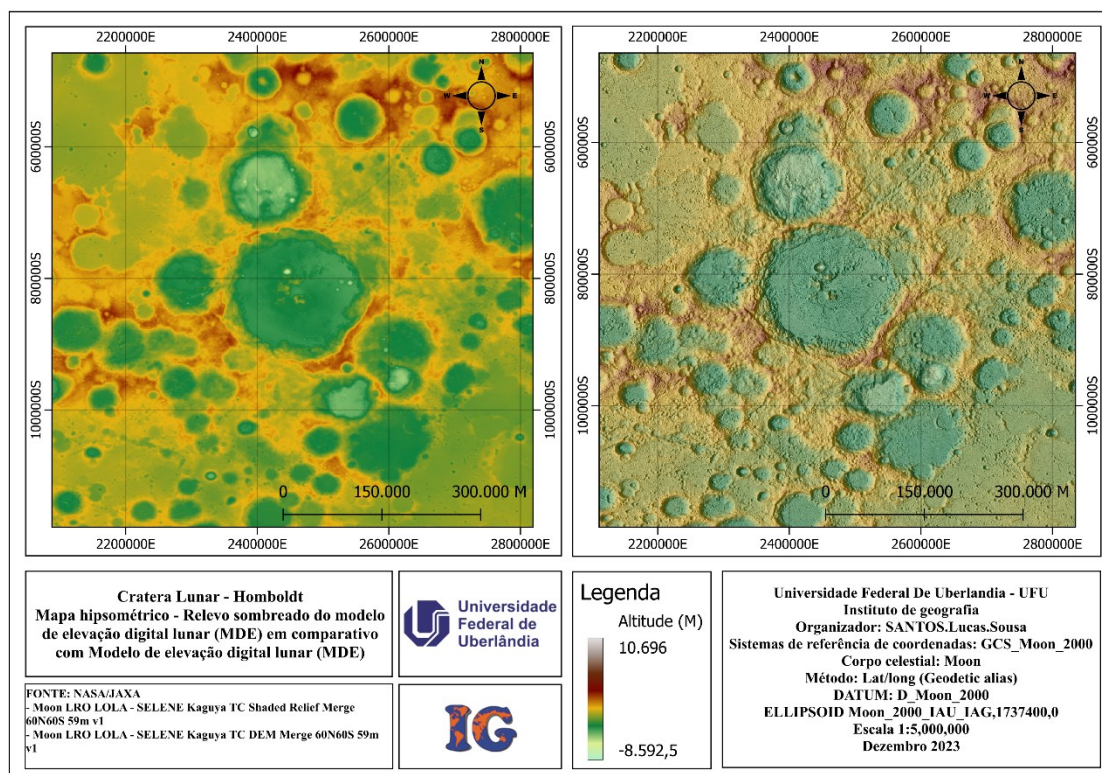
Agora, analisando de forma ampla (Figura 71), abrangendo toda a área lunar delimitada inicialmente, temos a variação altimétrica entre aproximadamente +10.696 m e -8.592,5 m de altitude.

Para comparação, dentro do recorte geológico temos uma variação de +1.787,5 m a -5.514 m, enquanto no mapa superficial, considerando nossa delimitação inicial de $\pm 60^\circ$ (que não abrange os polos da superfície lunar), temos uma variação de aproximadamente +10.696 m a -8.592,5 m.

Isso mostra que a variação altimétrica na superfície lunar é bastante acentuada, dada sua dimensão total.

Esse segundo mapa (Figura 71), feito com o MDE da superfície lunar, abrange toda a área ao redor, e não apenas o recorte geológico da estrutura, no caso, a cratera Humboldt. Essa é a única diferença entre os dois mapas altimétricos, o que permite analisar cada localidade de forma individual e obter uma melhor interpretação dos dados.

Figura 71 - Cratera Humboldt / Mapa hipsometria, superfície entre $\pm 60^\circ$

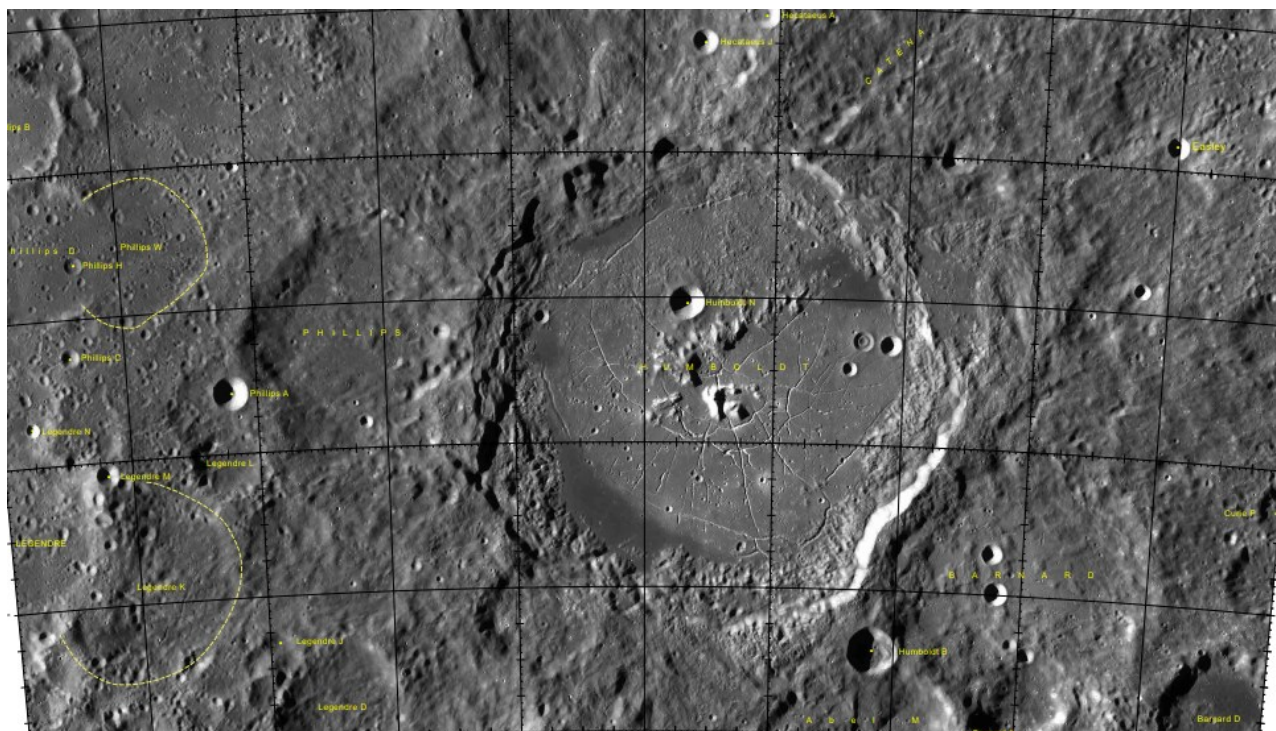


Organizador: autor (2024).

7.3.3.4 Imagem na escala 1:1.000.000

Na figura 72 abaixo e apresentado a imagens na escala 1:1.000.000 da Cratera Humboldt retirada pela NASA.

Figura 72 - Cratera Humboldt / Imagem na escala 1:1.000.000



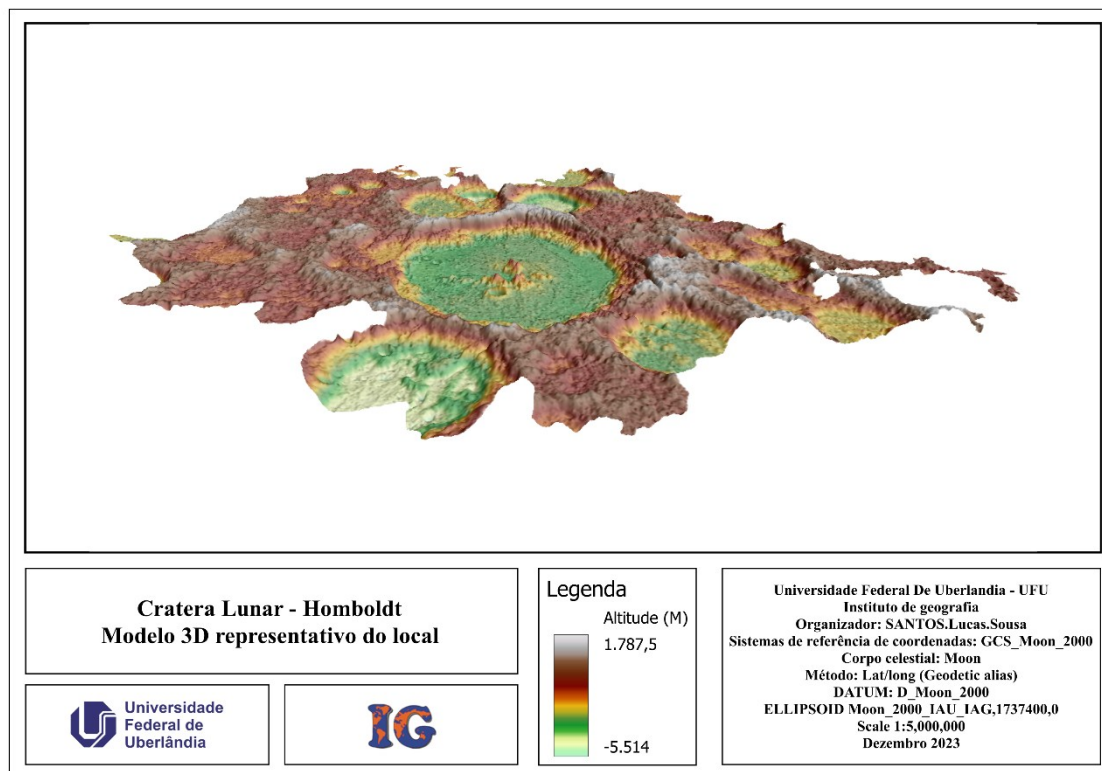
Fonte: Gazetteer of Planetary (2013)

Image credit: NASA/GSFC/ASU (2013)

7.3.3.5 Modelo tridimensional das estruturas

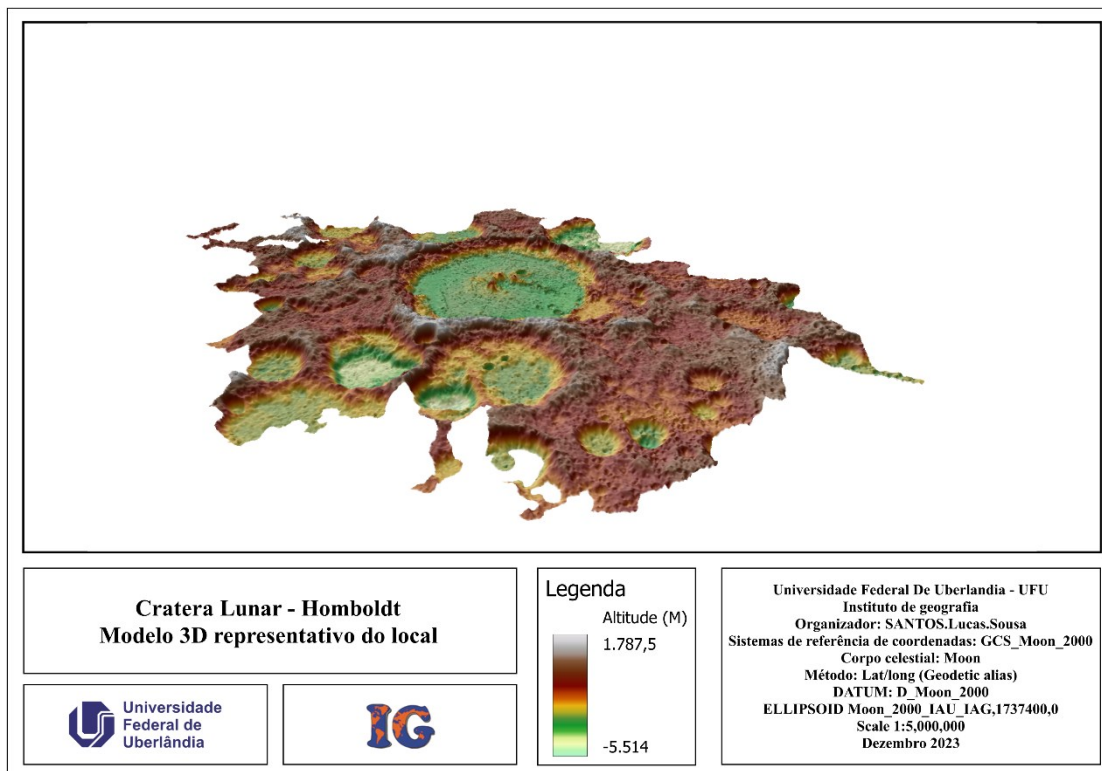
Abaixo estão os modelos tridimensionais criados para representar visualmente a estrutura analisada, como pode ser observado nas figuras 73, 74 e 75.

Figura 73 - Cratera Humboldt / 1º Modelo tridimensional da estrutura



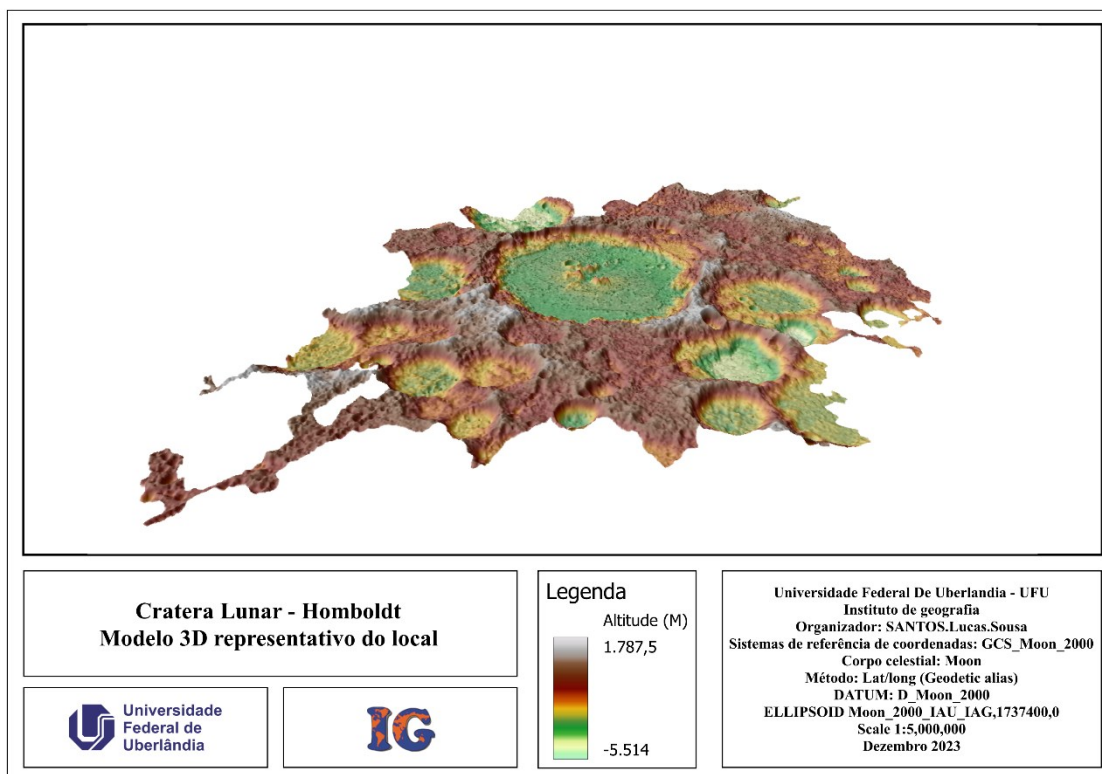
Organizador: autor (2024).

Figura 74 - Cratera Humboldt / 2° Modelo tridimensional da estrutura



Organizador: autor (2024).

Figura 75 - Cratera Humboldt / 3° Modelo tridimensional da estrutura



Organizador: autor (2024).

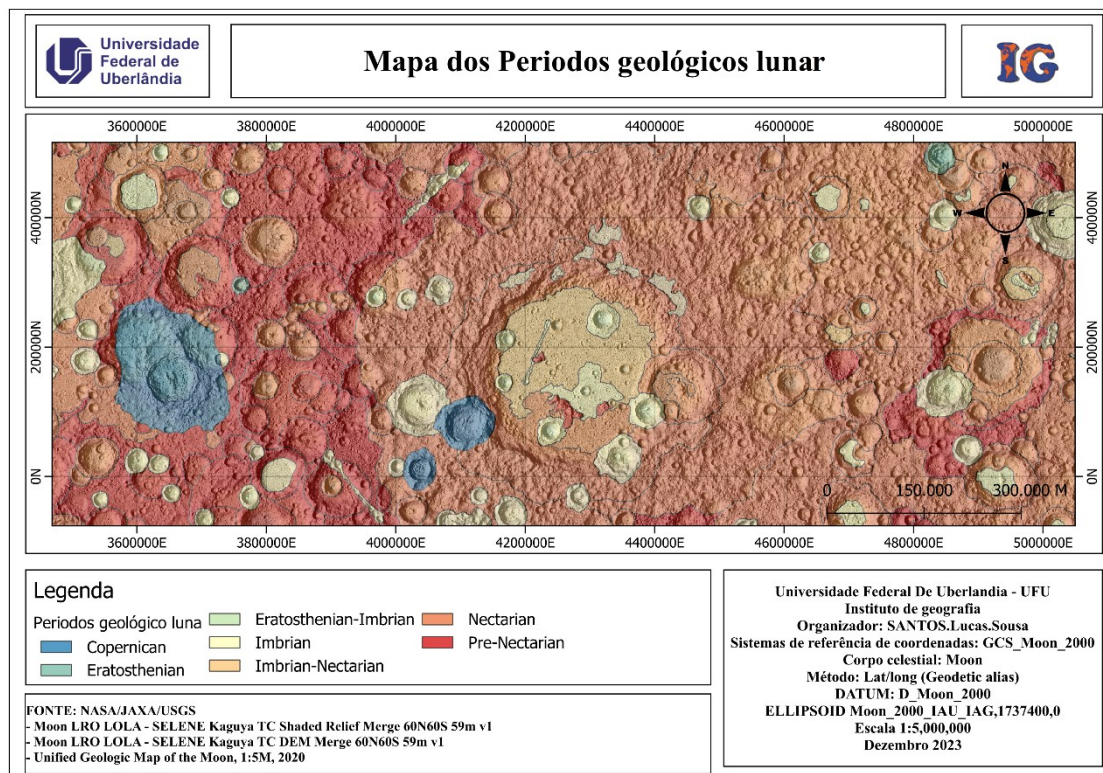
7.3.4 Cratera Mendeleev

Na figura 76, é possível visualizar a cratera Mendeleev, escolhida dentre o período geológico Nectarian para a análise de sua formação estrutural. Sua formação na superfície lunar decorreu, aparentemente, da colisão de um objeto estelar em alta velocidade, conferindo-lhe essa característica e compondo a paisagem local dessa área.

A cratera Mendeleev é composta por formações de mais de um período geológico, todos mais recentes que a própria cratera. No seu interior, é possível observar formações dos períodos Imbrian, Imbrian-Nectarian e até mais antigas, como o Pré-Nectarian.

Da formação original de sua estrutura, restam apenas as bordas da cratera e boa parte do seu entorno.

Figura 76 - Crateras Mendeleev / Mapa local dos períodos geológicos



Organizador: autor (2024).

7.3.4.1 Estrutura principal

A cratera Mendeleev possui um diâmetro estimado de 325,13 km, resultante do impacto na superfície lunar. Em relação à altimetria da estrutura principal, a variação é de aproximadamente +5000 m no ponto mais alto e -1800 m no ponto mais baixo como pode ser observado a figura 77.

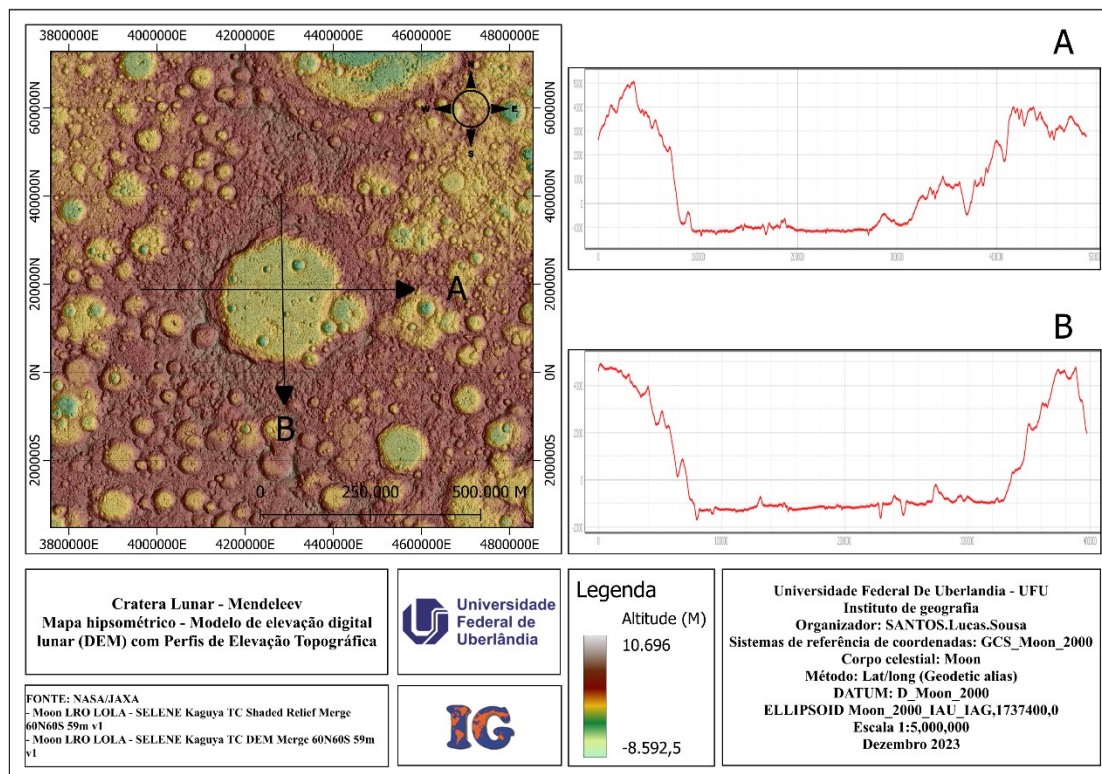
Embora a formação não apresente uma estrutura central em forma de cadeia montanhosa, isso não implica que não seja uma cratera complexa. É possível que seu interior tenha sido preenchido por material, ocultando a formação original.

Uma cratera de impacto tipicamente possui um interior côncavo, característica que pode ser percebida em gráficos topográficos de formações mais novas. No entanto, a cratera Mendeleev não exibe essa característica; tanto na análise visual quanto na topográfica, observa-se que seu interior parece ter sofrido um preenchimento de material, fazendo com que ela perdesse parcialmente essa definição característica.

A cratera Mendeleev pode ter experimentado um derramamento de material derretido em seu interior em algum momento, durante ou após sua formação. Além disso, é possível observar sinais de impacto no interior da estrutura, ocorrências que podem ter acontecido após a formação da cratera, cobrindo parte da estrutura original.

No interior, a superfície é relativamente plana, com a única reminiscência de sua originalidade sendo a definição das bordas laterais da estrutura principal.

Figura 77 - Crateras Mendeleev / estrutura principal



Organizador: autor (2024).

7.3.4.2 Estrutura secundárias

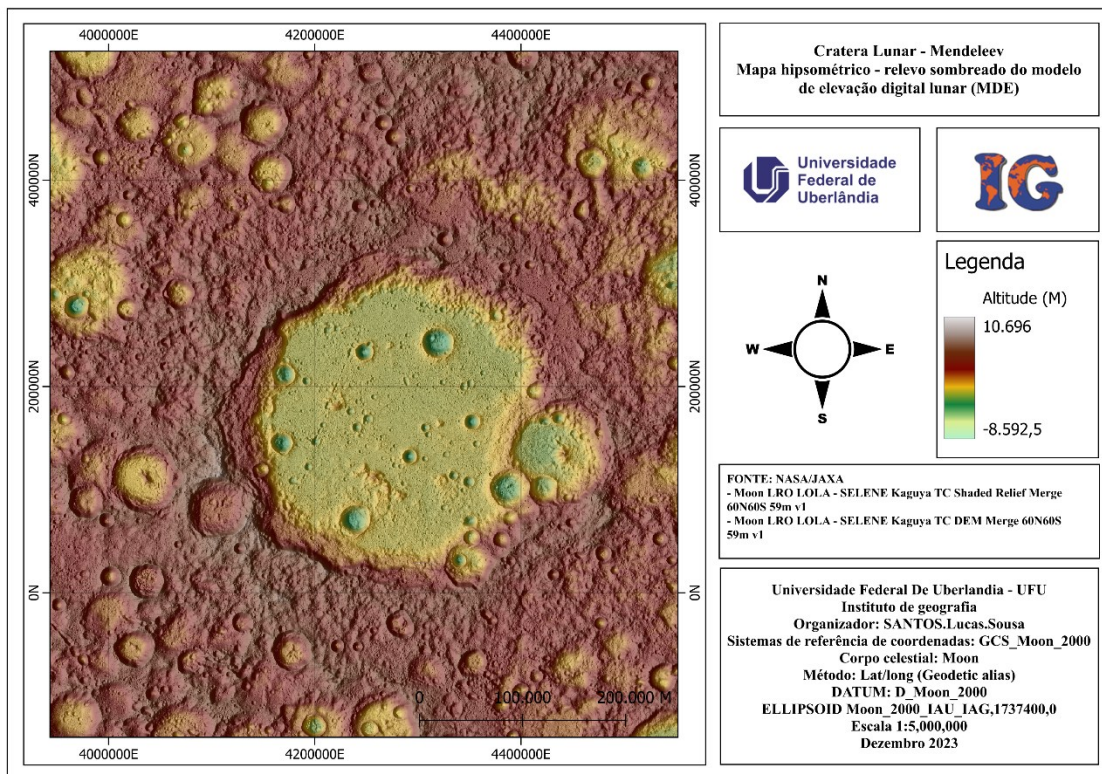
No entorno da cratera Mendeleev, é possível observar na figura 78 que a região abriga um número significativo de outras formações estruturais que aparentam ser resultado de impactos superficiais. A maioria dessas estruturas é de médio e pequeno porte, e não há outra formação de dimensões comparáveis à estrutura principal de análise.

O terreno nessa localidade é bastante montanhoso e irregular. Em toda a área selecionada do mapa (Figura 78), é notável a predominância de cadeias montanhosas.

Em relação à altimetria, o terreno apresenta um nível relativamente uniforme, sem variações bruscas, exceto nas áreas onde as estruturas de impacto se encontram.

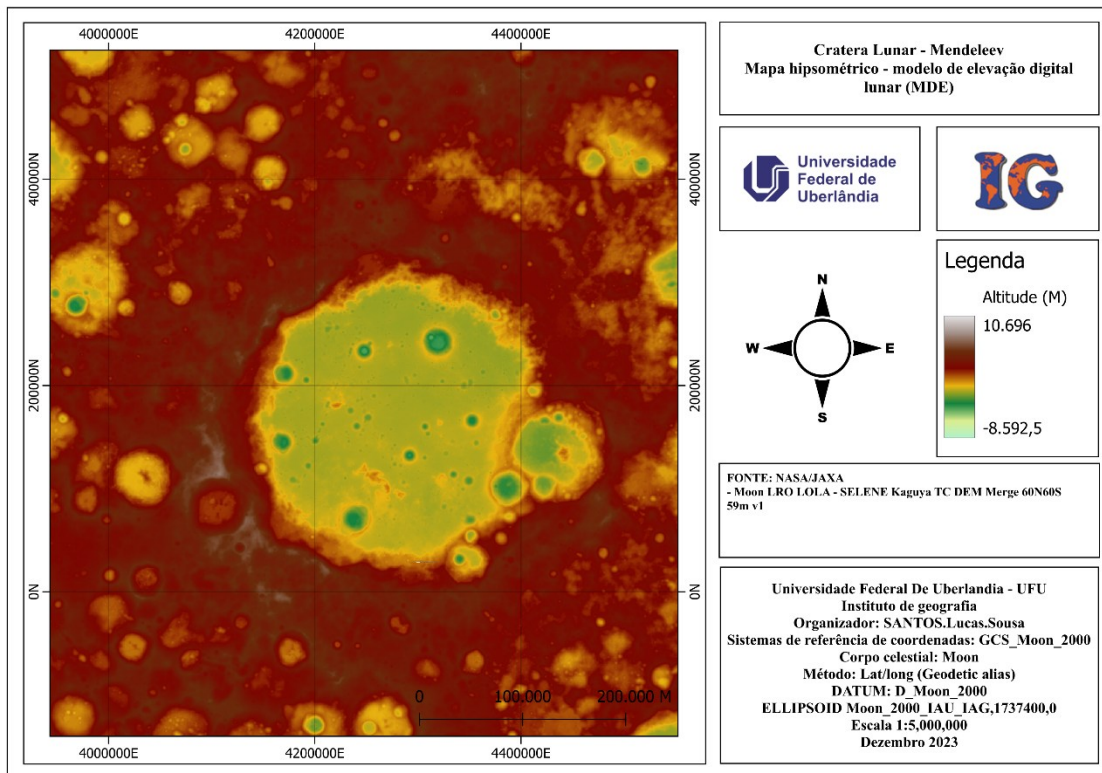
Na figura 79, o mapa hipsométrico fornece uma melhor interpretação da altimetria local e da formação do relevo. Apesar de haver um número maior de locais elevados, essas formações são mínimas em comparação com a totalidade da localidade.

Figura 78 - Crateras Mendeleev / Mapa hipsométrico com relevo sombreado



Organizador: autor (2024).

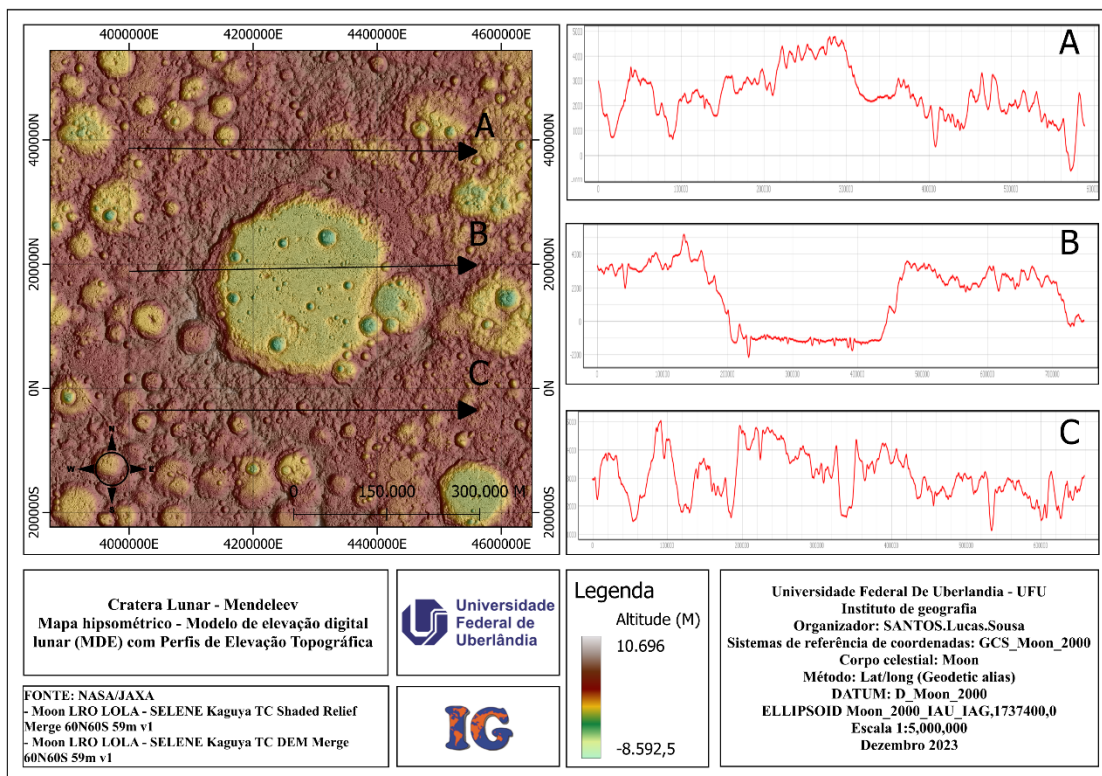
Figura 79 - Crateras Mendeleev / Mapa hipsométrico hipsométrico



Organizador: autor (2024).

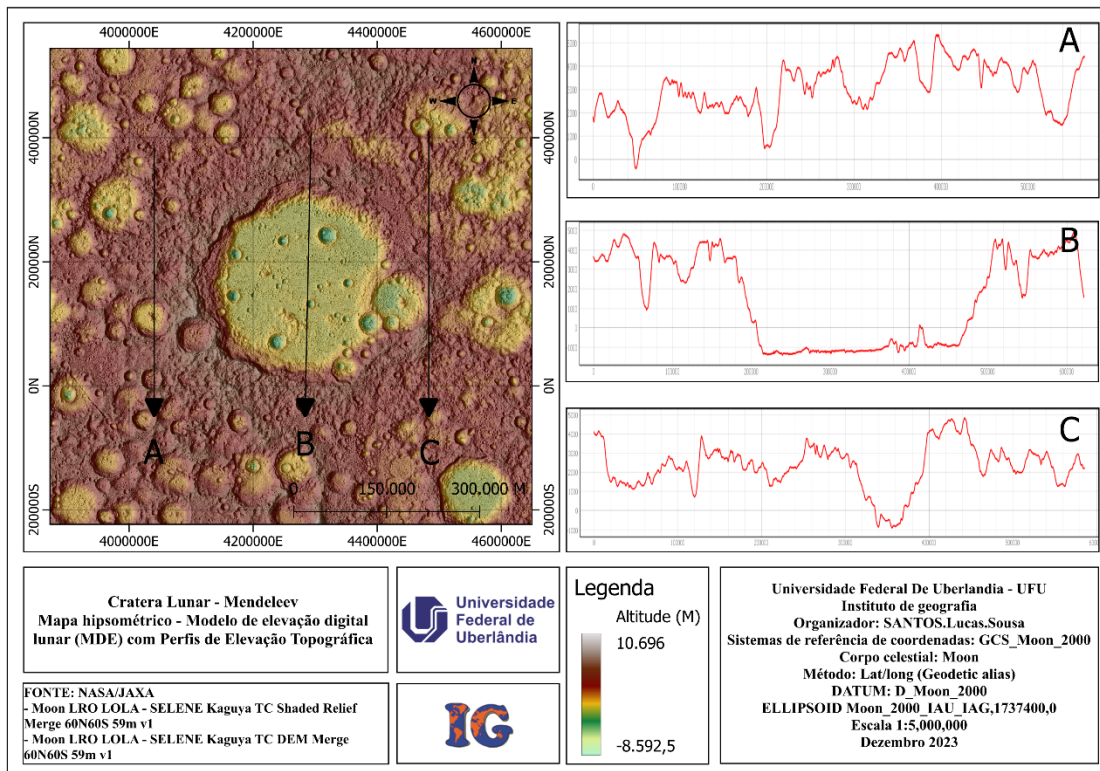
Na figura 80, o mapa de perfil de elevação topográfica com recorte horizontal permite uma melhor compreensão do entorno da estrutura principal de pesquisa, evidenciando a regularidade do terreno ao redor. Embora os Modelos Digitais de Elevação (MDE) já demonstrem claramente a irregularidade do terreno, os gráficos proporcionam uma comparação mais detalhada e uma visualização aprimorada dos dados.

Figura 80 - Crateras Mendeleev / Mapa topografico, perfil horizontal



Organizador: autor (2024).

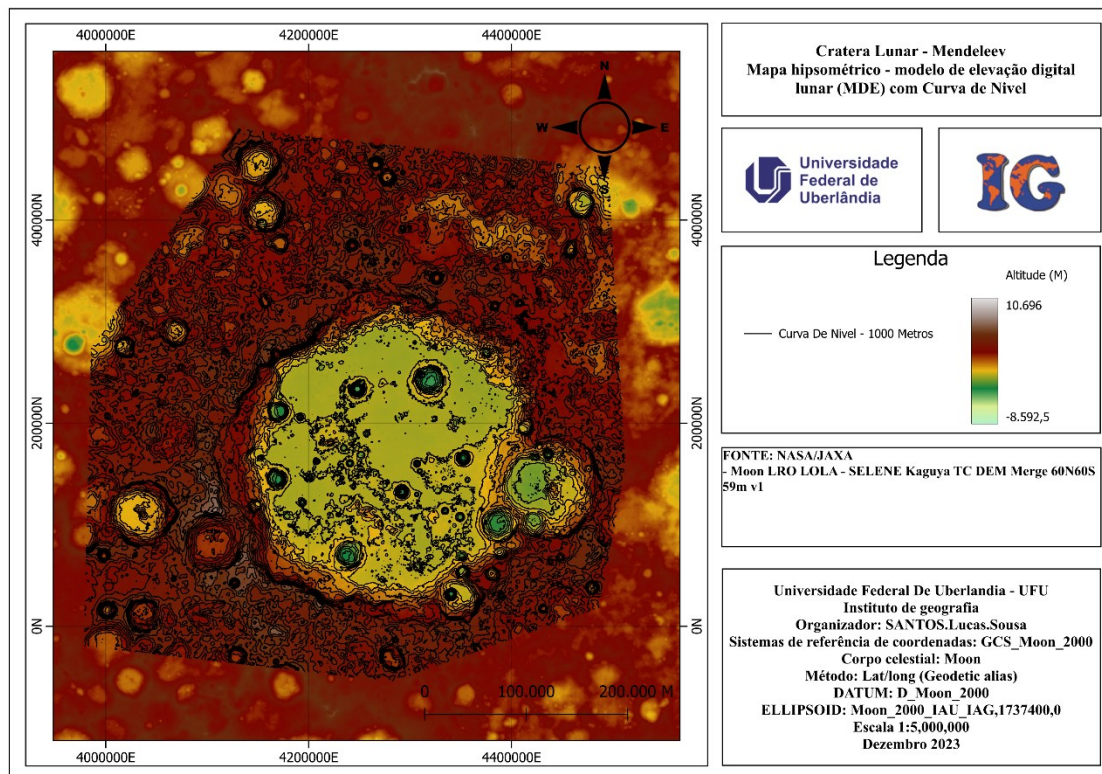
Figura 81 - Crateras Mendeleev / Mapa topográfico, perfil vertical



Organizador: autor (2024).

Na figura 82, apresentamos um mapa hipsométrico com a adição de curvas de nível a cada 1000 metros, que proporciona uma melhor representatividade das características do terreno na área. Essa abordagem permite um entendimento visual mais claro da irregularidade da superfície local.

Figura 82 - Cratera Mendeleev / Mapa representativo de irregularidade na superfície

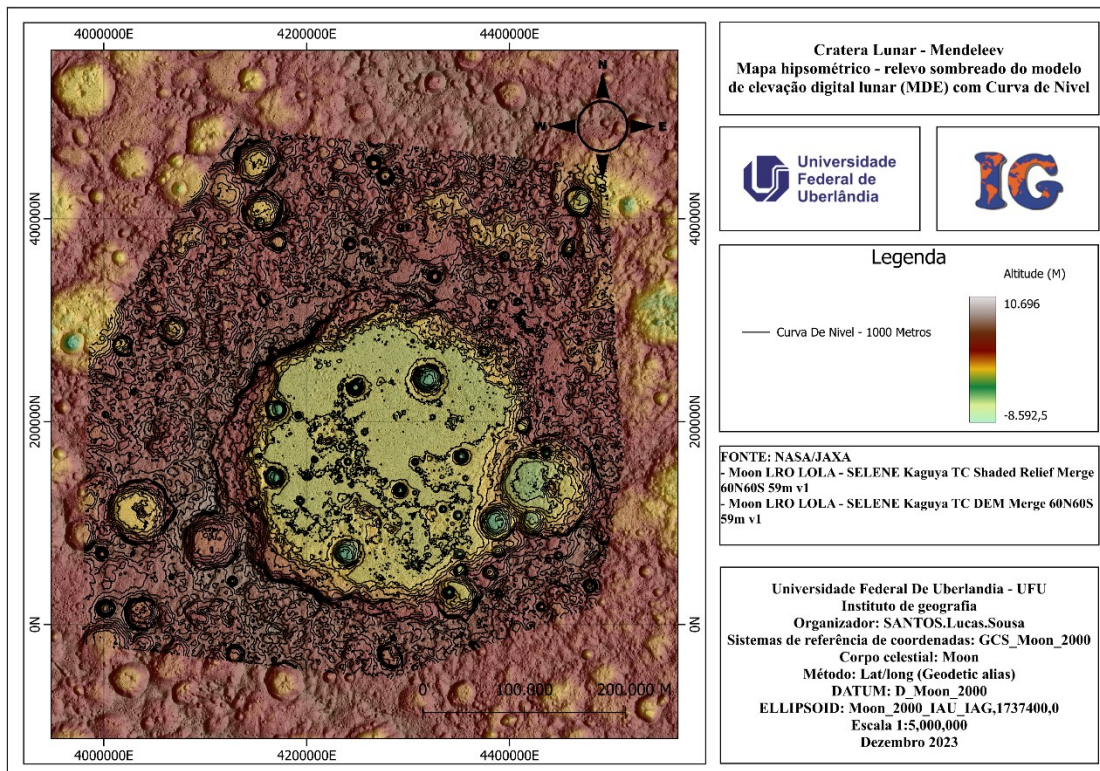


Organizador: autor (2024).

Na figura 83, apresentamos a mesma localidade, utilizando os mesmos parâmetros da figura 82, mas agora acrescida do Modelo Digital de Elevação (MDE) sombreado da área. Essa adição proporciona um melhor contraste na imagem, facilitando a visualização das características do terreno.

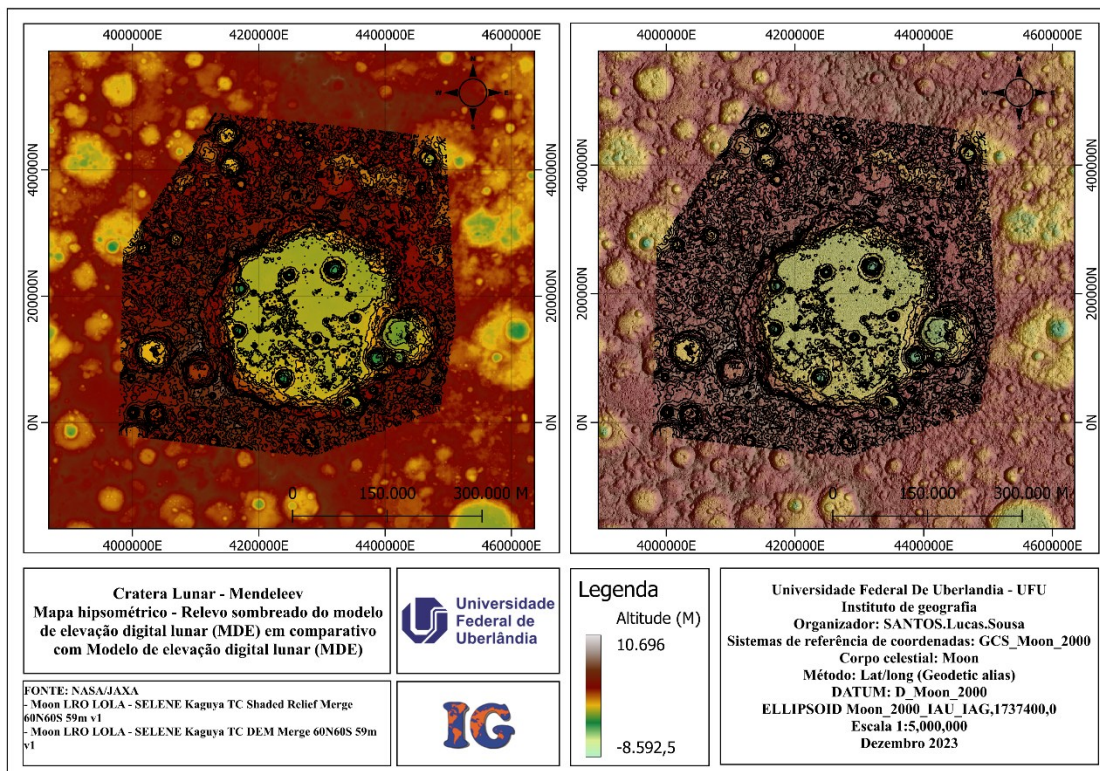
Na figura 84 temos os comparativos entre os dois mapas gerados, que nos permite observar as características do relevo na localidade analisados.

Figura 83 - Cratera Mendeleev / Mapa sombreado, representativo de irregularidade na superfície



Organizador: autor (2024).

Figura 84 - Cratera Mendeleev / Mapa comparativo

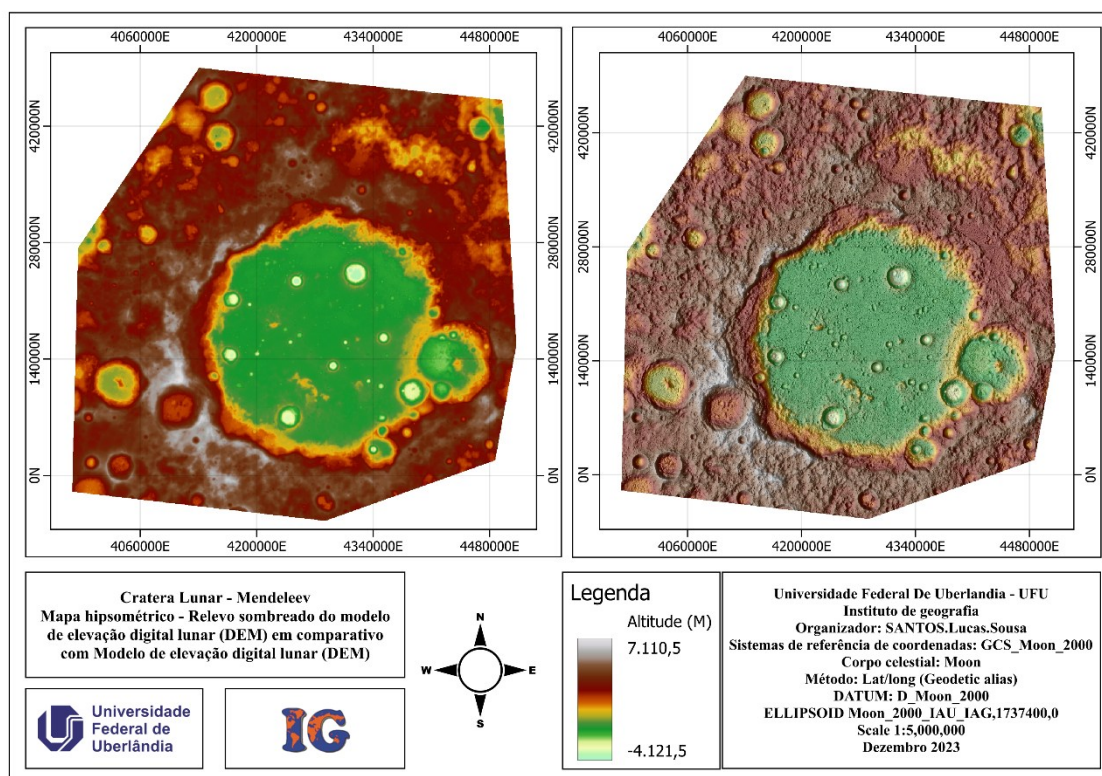


Organizador: autor (2024).

7.3.4.3 Mapa hipsométrico

Dentro do recorte geológico (Figura 85) que compõe a estrutura da Cratera Mendeleev, a altimetria varia entre aproximadamente +7.110,5 m e -4.121,5 m em toda a área analisada. Na imagem, é possível notar que a maior parte do mapa é composta por cadeias montanhosas com um terreno bastante irregular, sendo a área mais próxima do plano localizada no interior da estrutura principal de pesquisa. Mesmo as cadeias montanhosas que cobrem a área apresentam altimetria quase uniforme, com apenas algumas áreas mostrando variações positivas em relação ao nível máximo da altimetria local. As partes mais profundas correspondem às bases internas das crateras de impacto presentes na região.

Figura 85 - Cratera Mendeleev / Mapa hipsométrico comparativo entre os recortes

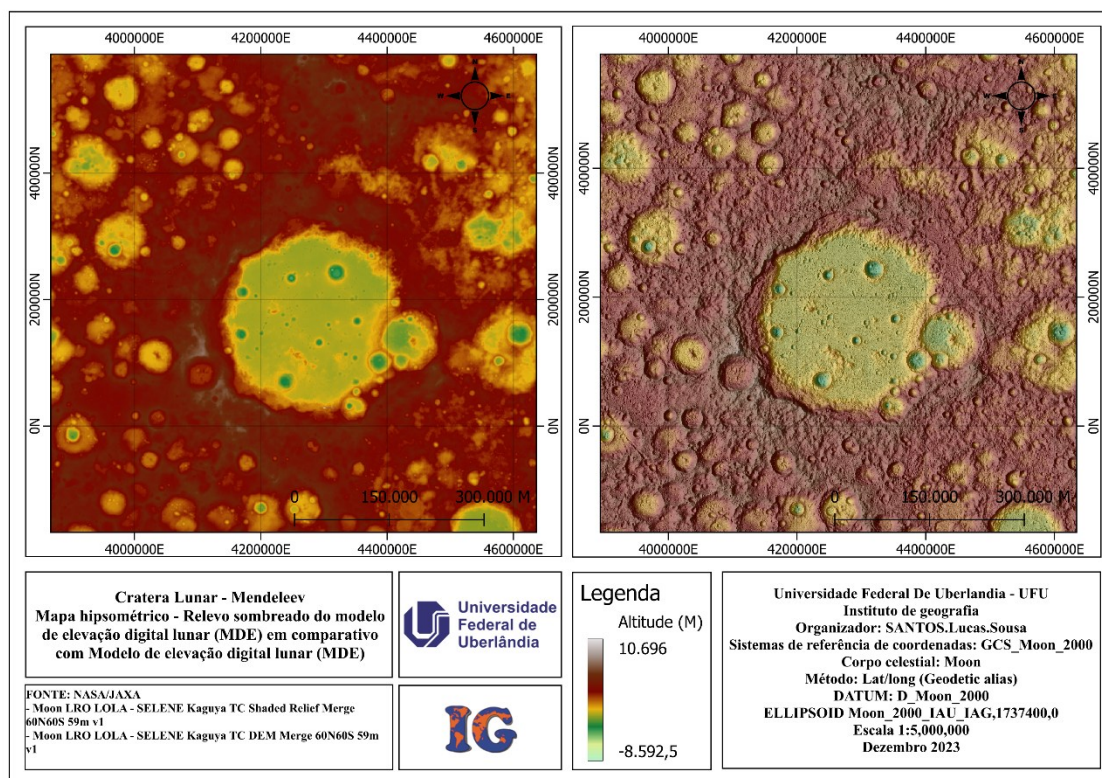


Organizador: autor (2024).

Agora, ao analisar de forma ampla (Figura 86), abrangendo toda a área lunar delimitada inicialmente, observamos uma variação altimétrica entre aproximadamente +10.696 m e -8.592,5 m de altitude. Para comparação, dentro do recorte geológico, a variação é de +7.110,5 m a -4.121,5 m. No mapa superficial, considerando nossa limitação inicial de $\pm 60^\circ$, que não abrange os polos da superfície lunar, a variação permanece em +10.696 m a -8.592,5 m.

Isso evidencia que a variação entre os pontos na superfície lunar é bastante acentuada, dada a sua dimensão como um todo. O segundo mapa (Figura 86), elaborado com o Modelo Digital de Elevação (MDE) da superfície lunar, abrange toda a área circundante e não se limita apenas ao recorte da estrutura, neste caso, a Cratera Mendeleev. Esta é a única diferença entre os dois mapas altimétricos, permitindo uma análise individual de cada localidade e, assim, uma melhor interpretação dos dados.

Figura 86 - Cratera Mendeleev / Mapa hipsometria, superfície entre ±60°

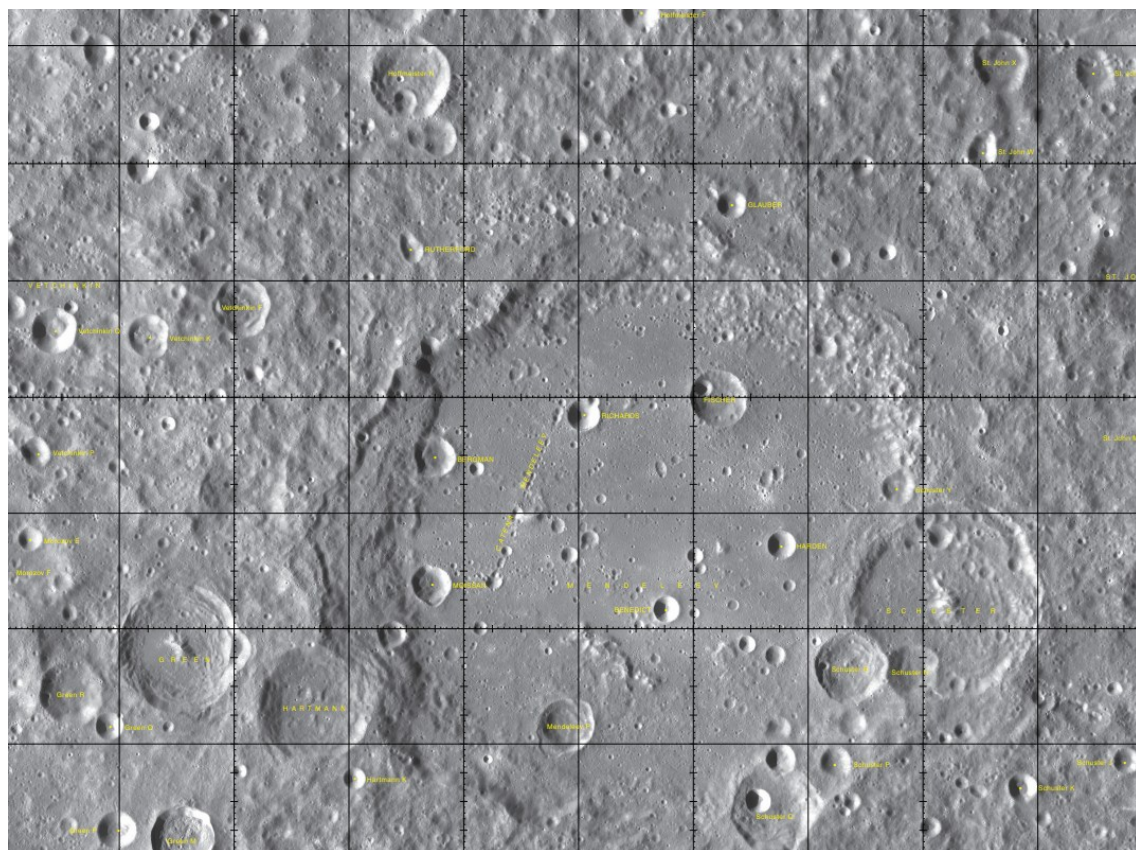


Organizador: autor (2024).

7.3.4.4 Imagem na escala 1:1.000.000

Na figura 87 abaixo, é apresentada uma imagem na escala 1:1.000.000 da Cratera Mendeleev, obtida pela NASA.

Figura 87 - Cratera Mendeleev / Imagem na escala 1:1.000.000



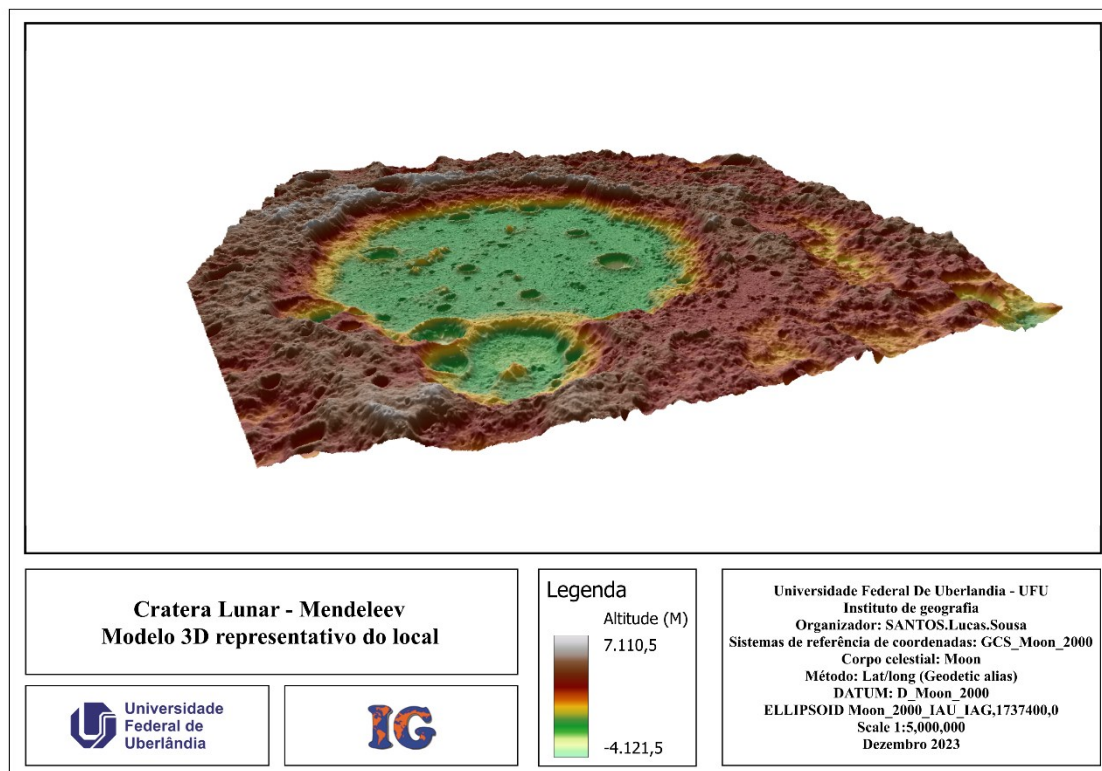
Fonte: Gazetteer of Planetary (2013)

Image credit: NASA/GSFC/ASU (2013)

7.3.4.5 Modelo tridimensional das estruturas

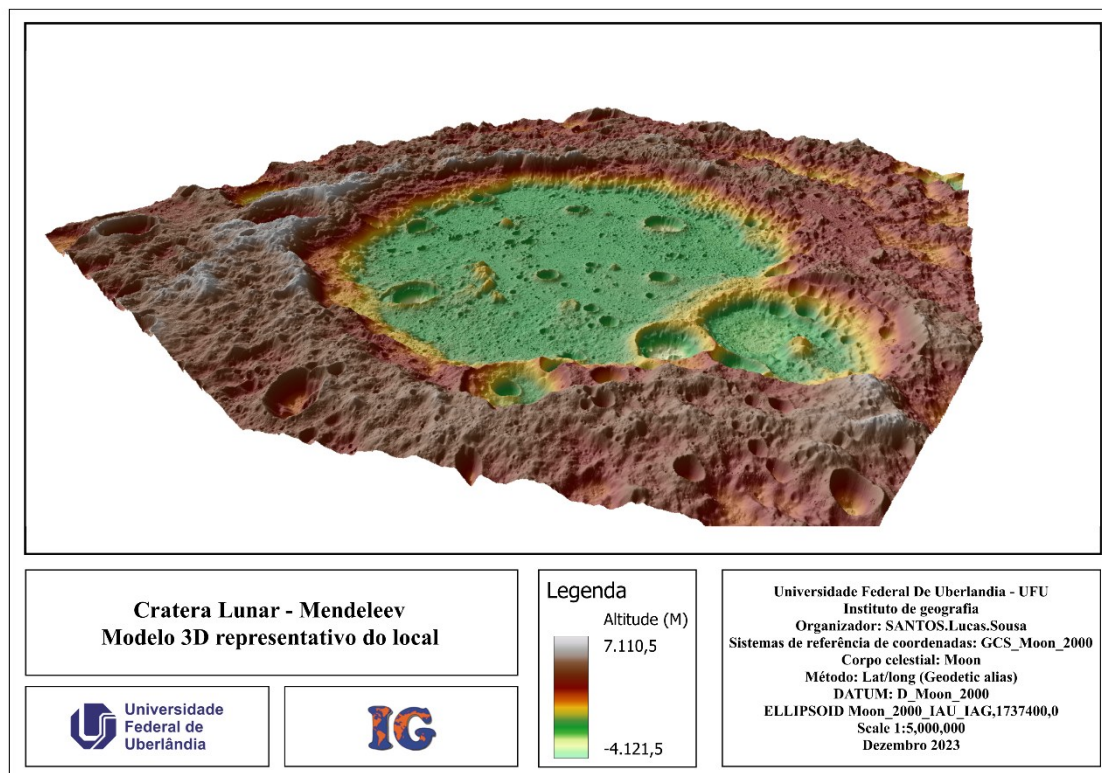
Abaixo, são apresentados os modelos tridimensionais criados para representar visualmente a estrutura analisada, como pode ser observado nas figuras 88, 89 e 90.

Figura 88 - Crateras Mendeleev / 1º Modelo tridimensional da estrutura



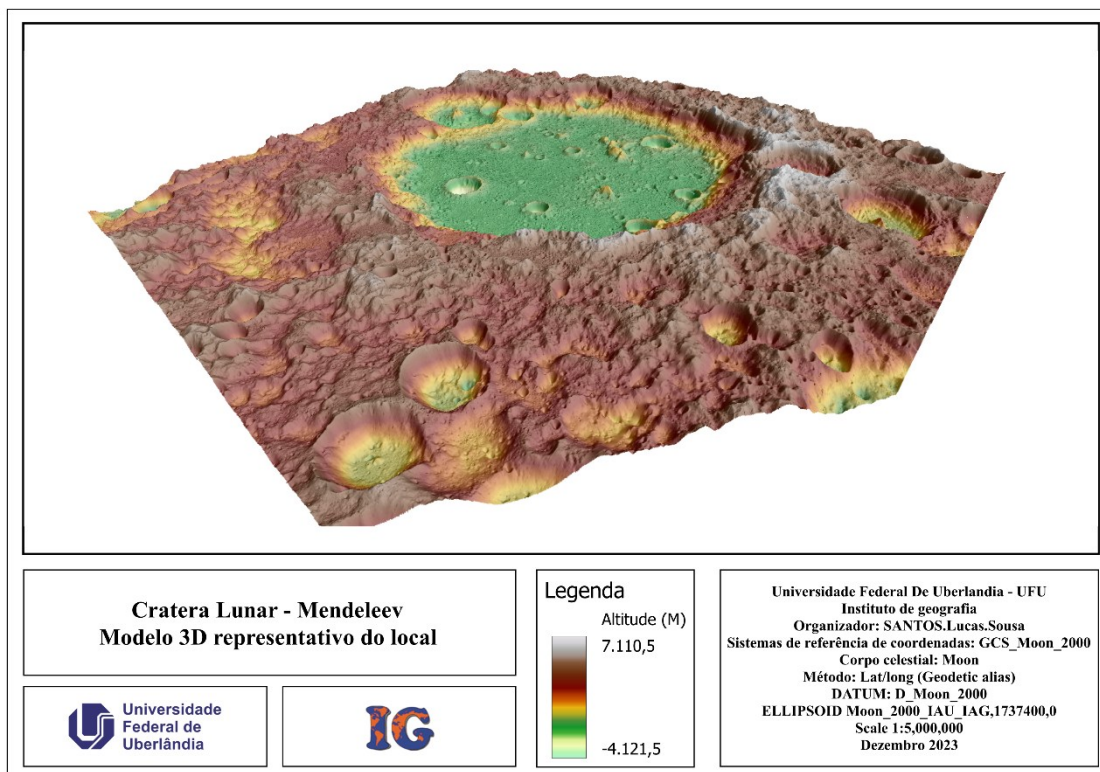
Organizador: autor (2024).

Figura 89 - Crateras Mendeleev / 2º Modelo tridimensional da estrutura



Organizador: autor (2024).

Figura 90 - Crateras Mendeleev / 3º Modelo tridimensional da estrutura



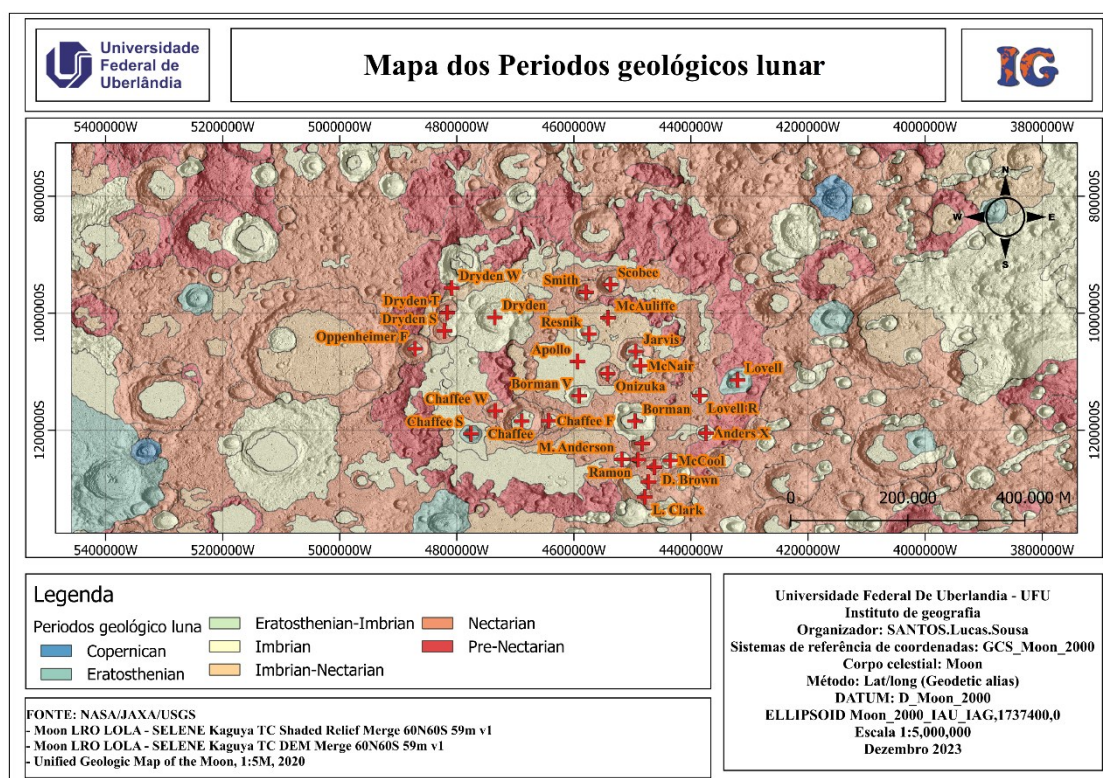
Organizador: autor (2024).

7.3.5 Cratera Apollo

Na figura 91, é possível visualizar a Cratera Apollo, escolhida dentre o período geológico Pre-Nectarian para a análise de sua formação estrutural. Sua formação na superfície lunar ocorreu aparentemente devido à colisão de um objeto estelar em alta velocidade, resultando nessa característica marcante que compõe a paisagem local.

A cratera Apollo pertence ao período Pre-Nectarian e é composta por formações de períodos geológicos mais recentes, incluindo Eratosthenian, Imbrian e Nectarian. Da formação original de sua estrutura, restam apenas algumas partes das bordas, enquanto o restante foi substituído ou degradado ao longo do tempo.

Figura 91 - Crateras Apollo / Mapa local dos períodos geológicos



Organizador: autor (2024).

7.3.5.1 Estrutura Principal

A cratera Apollo possui um diâmetro estimado de 524,23 km, resultante do impacto na superfície lunar. Em relação à altimetria da estrutura principal, temos uma variação do ponto mais alto de aproximadamente -2.700 m e do ponto mais baixo de -6.300 m. A formação não apresenta uma estrutura central no formato de cadeia montanhosa, mas isso não significa que ela não seja uma cratera complexa. É possível que o interior tenha sido preenchido por material, ocultando sua formação original.

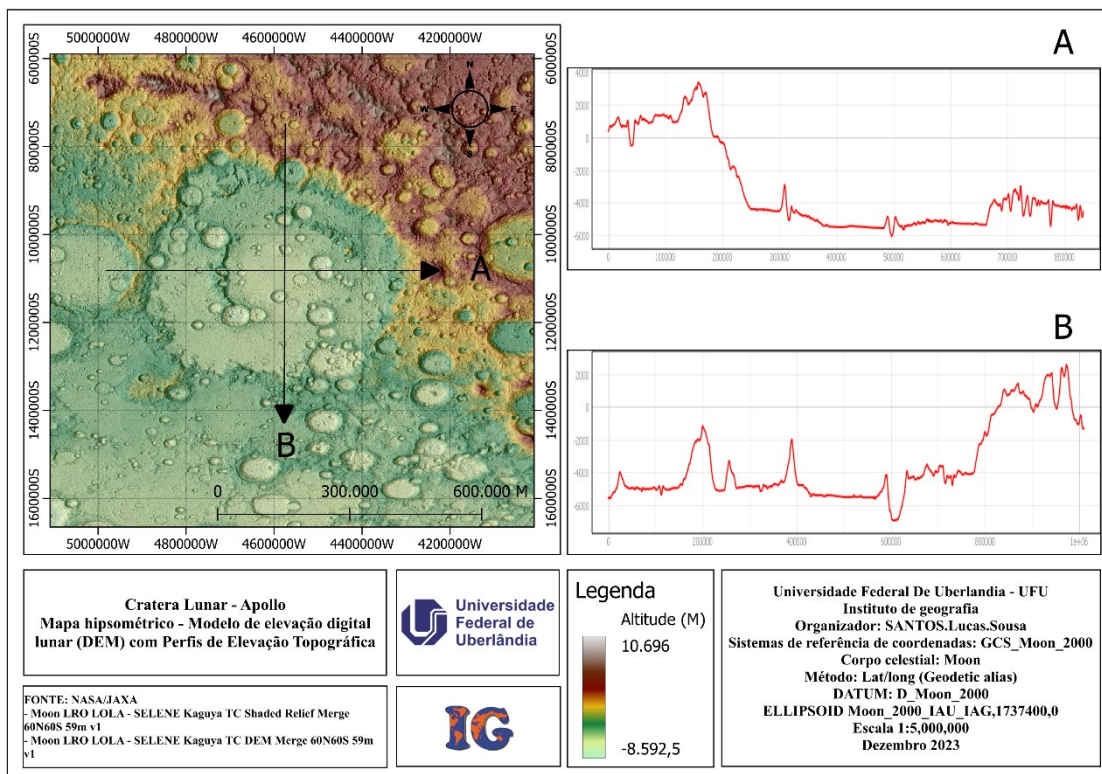
Uma estrutura de impacto normalmente possui um interior côncavo, como pode ser observado em gráficos topográficos de formações mais recentes. No entanto, a cratera Apollo não apresenta essa característica. Tanto na análise visual quanto na topográfica, é possível observar que o interior sofreu um preenchimento de material, resultando em uma perda quase completa dessa definição característica.

A cratera Apollo pode ter experimentado um derramamento de material derretido em seu interior em algum momento durante ou após sua formação estrutural. Também são visíveis sinais de impactos no interior da estrutura, ocorrendo após a formação da cratera e cobrindo parte da estrutura original.

No interior da cratera, o terreno é relativamente plano, com a única remanescente de sua originalidade sendo as bordas laterais que ainda permanecem. Após ser coberta por material, a estrutura da cratera Apollo sofreu numerosos impactos, formando microestruturas de impactos menores. É possível perceber que, em seu centro, existe uma formação relativamente grande. Esta formação apresenta características de estrutura bem definidas, mas, devido ao seu tempo geológico, está em um estágio avançado de decomposição.

Outro ponto relevante é que essa formação também pertence ao mesmo período da cratera Apollo, o Pre-Nectarian, de acordo com o mapa geológico. Isso sugere que, após a formação da cratera Apollo na superfície lunar, houve o preenchimento por material e, quando esse material se solidificou, ocorreu um segundo impacto em seu interior. Após essa formação, também houve o preenchimento interno da estrutura principal.

Figura 92 - Crateras Apollo / estrutura principal



Organizador: autor (2024).

7.3.5.2 Estrutura secundárias

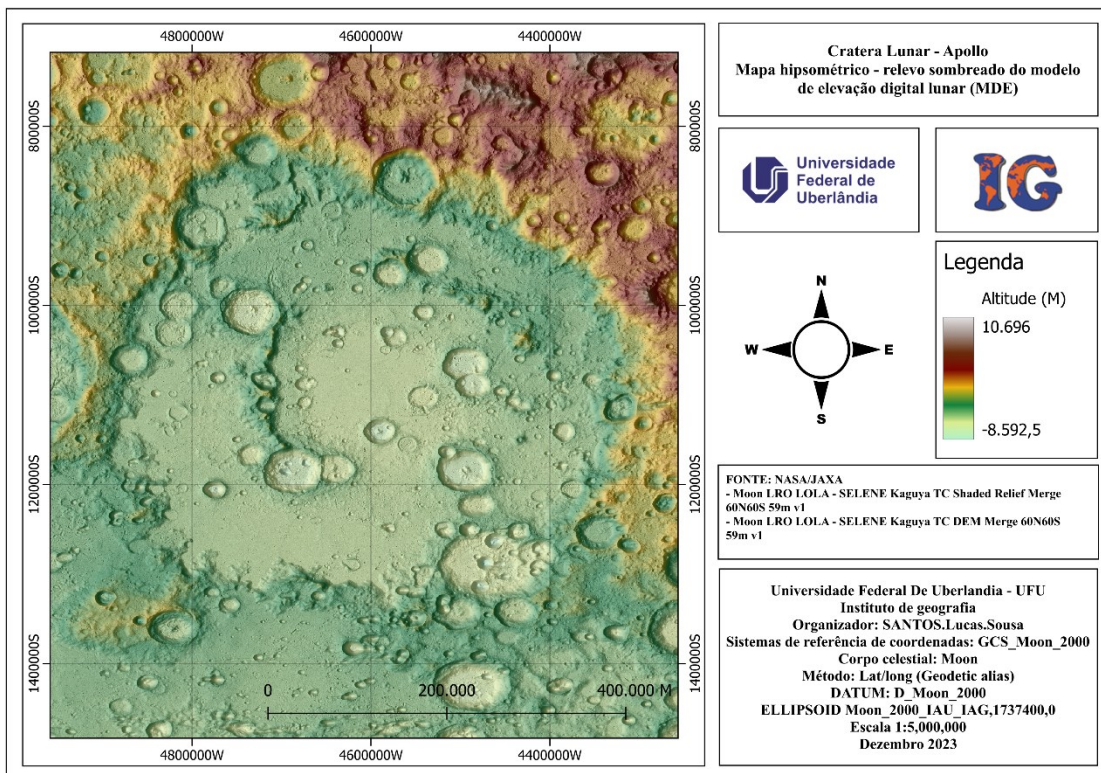
No entorno da cratera Apollo, é possível observar na figura 93 que a localidade apresenta um número significativo de outras formações que aparentam ser estruturas resultantes de impactos superficiais. A maioria dessas estruturas é de médio e pequeno porte.

O terreno na região pode ser dividido em duas formas predominantes: na parte superior do mapa, há um agrupamento elevado de terreno bastante irregular e montanhoso, enquanto na parte inferior é possível notar uma formação menos montanhosa, com áreas que se aproximam da planicidade em algumas localidades.

Adicionalmente, é possível identificar formações circulares que podem ter sido formadas por impactos superficiais, as quais estão em um estágio avançado de degradação, restando apenas seus contornos na superfície lunar.

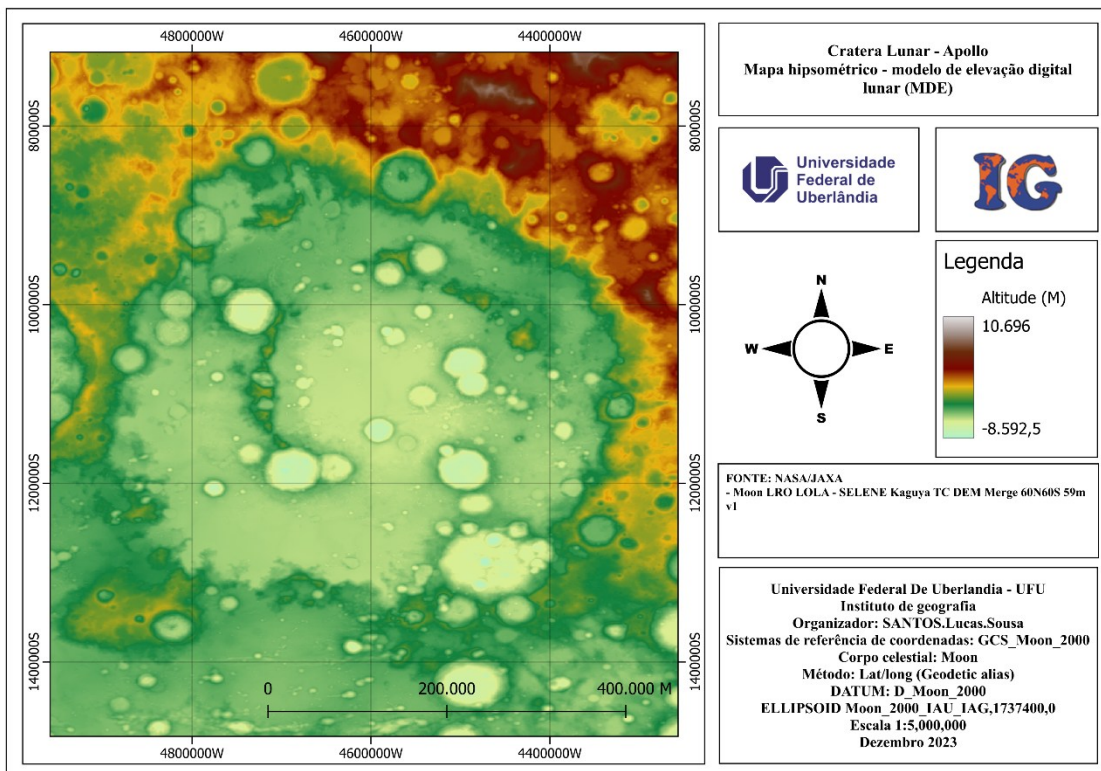
Em relação à altimetria, há uma diferença clara que demonstra a divisão do terreno em duas partes, evidenciando que a variação entre os pontos nesse local é bastante acentuada. Na figura 94, o mapa hipsométrico permite uma melhor interpretação da altimetria local e da formação do relevo.

Figura 93 - Crateras Apollo / Mapa hipsométrico com relevo sombreado



Organizador: autor (2024).

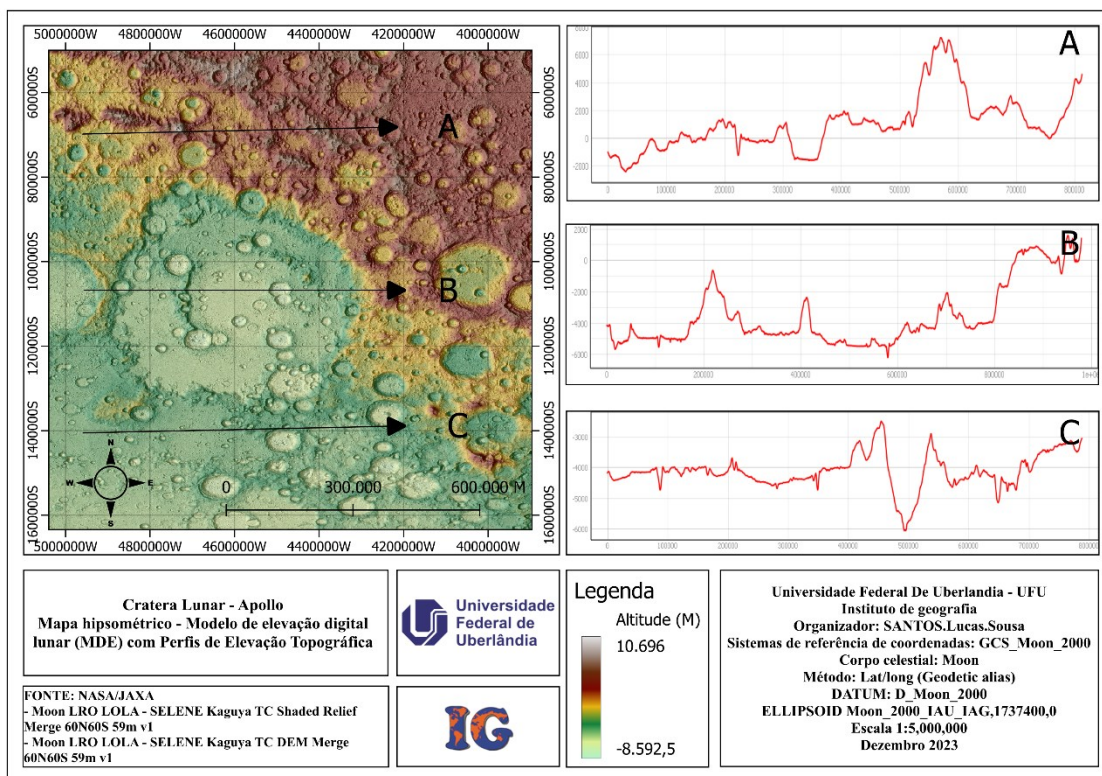
Figura 94 - Crateras Apollo / Mapa hipsométrico



Organizador: autor (2024).

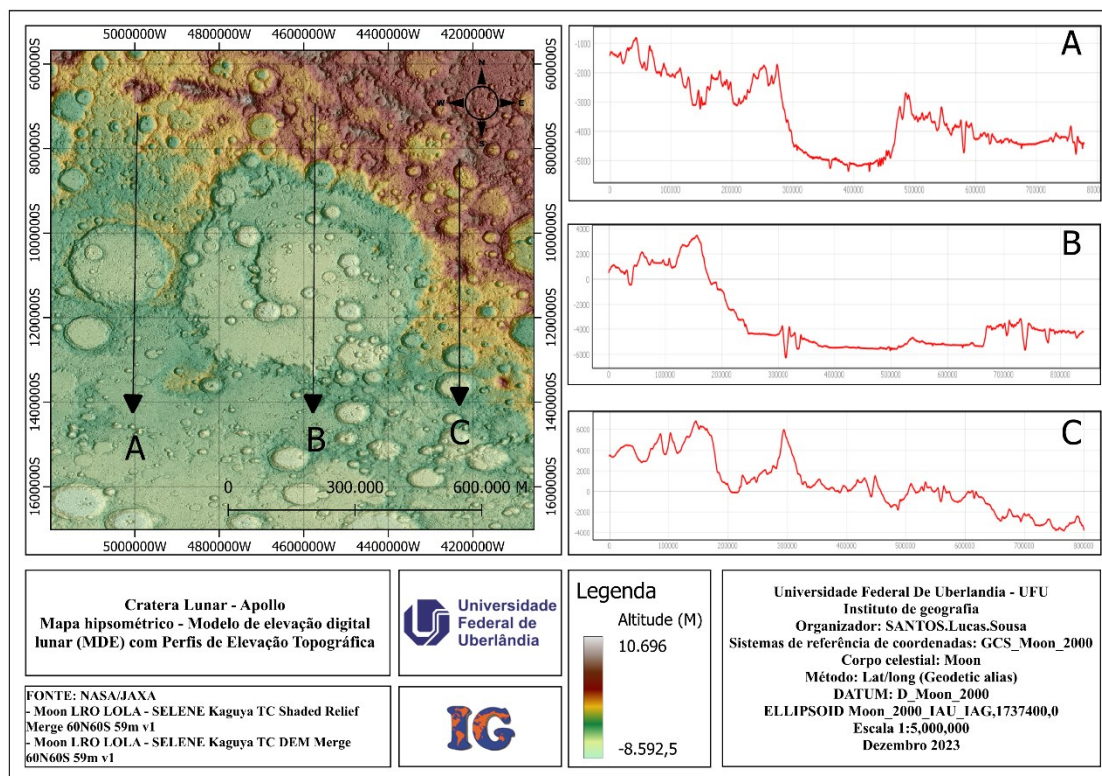
Na figura 95, o mapa de perfil de elevação topográfica com recorte horizontal permite uma melhor compreensão do entorno da estrutura principal de pesquisa, evidenciando a regularidade do terreno nas proximidades. Embora a irregularidade do terreno já seja clara através dos Modelos Digitais de Elevação (MDE), os gráficos proporcionam uma visualização mais precisa e uma comparação mais eficaz dos dados.

Figura 95 - Crateras Apollo / Mapa topografico, perfil horizontal



Organizador: autor (2024).

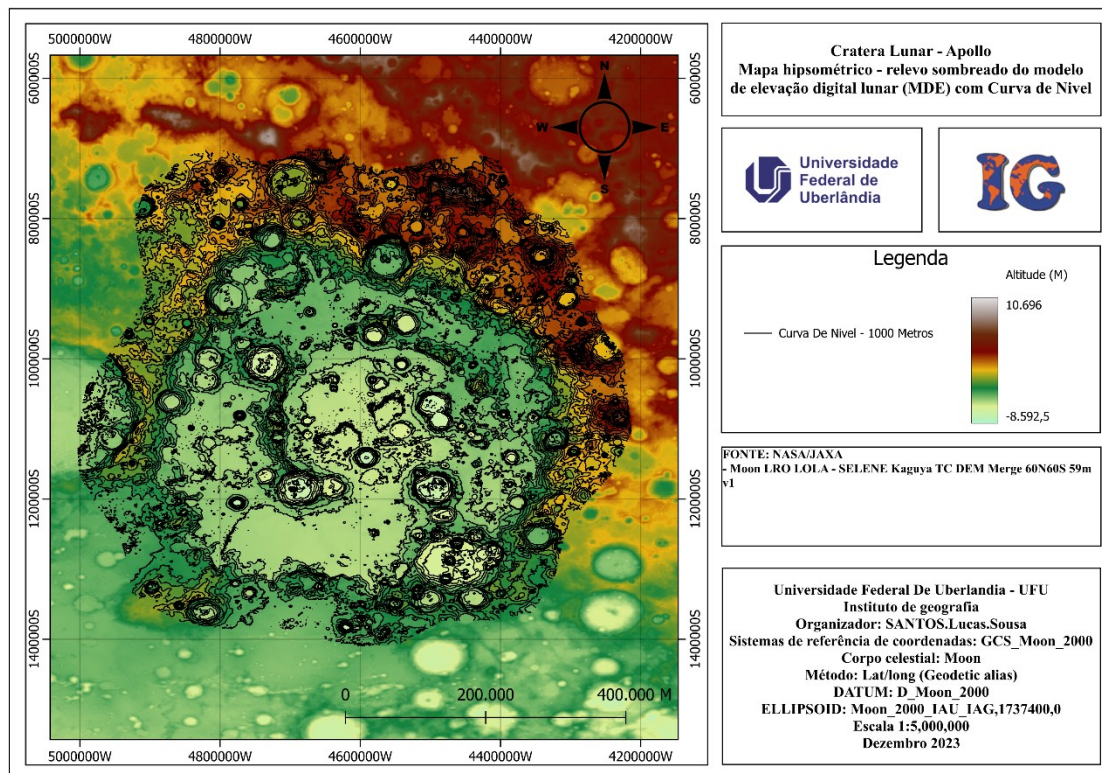
Figura 96 - Crateras Apollo / Mapa topografico, perfil vertical



Organizador: autor (2024).

Na figura 97, apresenta-se um mapa hipsométrico com a adição de curvas de nível de 1000 metros, proporcionando uma representação mais clara das características do terreno na localidade. Essa abordagem facilita um melhor entendimento visual da regularidade da superfície local.

Figura 97 - Cratera Apollo / Mapa representativo de irregularidade na superfície

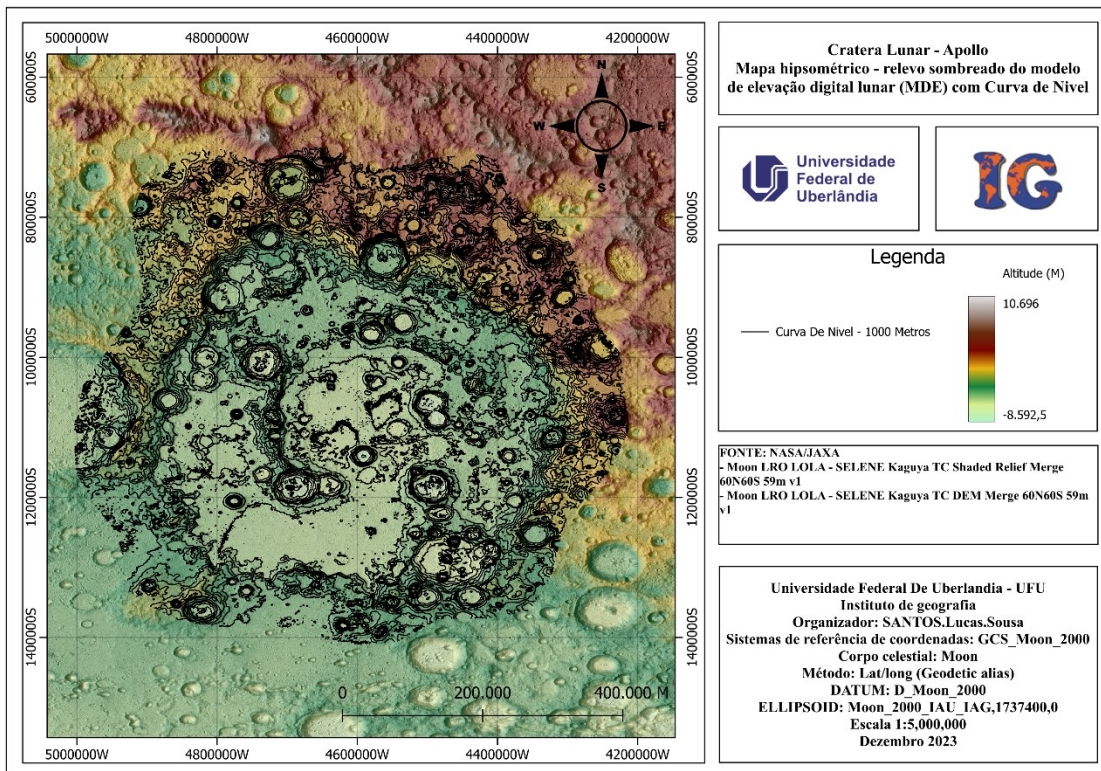


Organizador: autor (2024).

Na figura 98, apresenta-se a mesma localidade com os mesmos parâmetros da figura 97, mas agora com a adição do Modelo Digital de Elevação (MDE) sombreado. Essa modificação proporciona um melhor contraste na imagem, realçando as características do terreno.

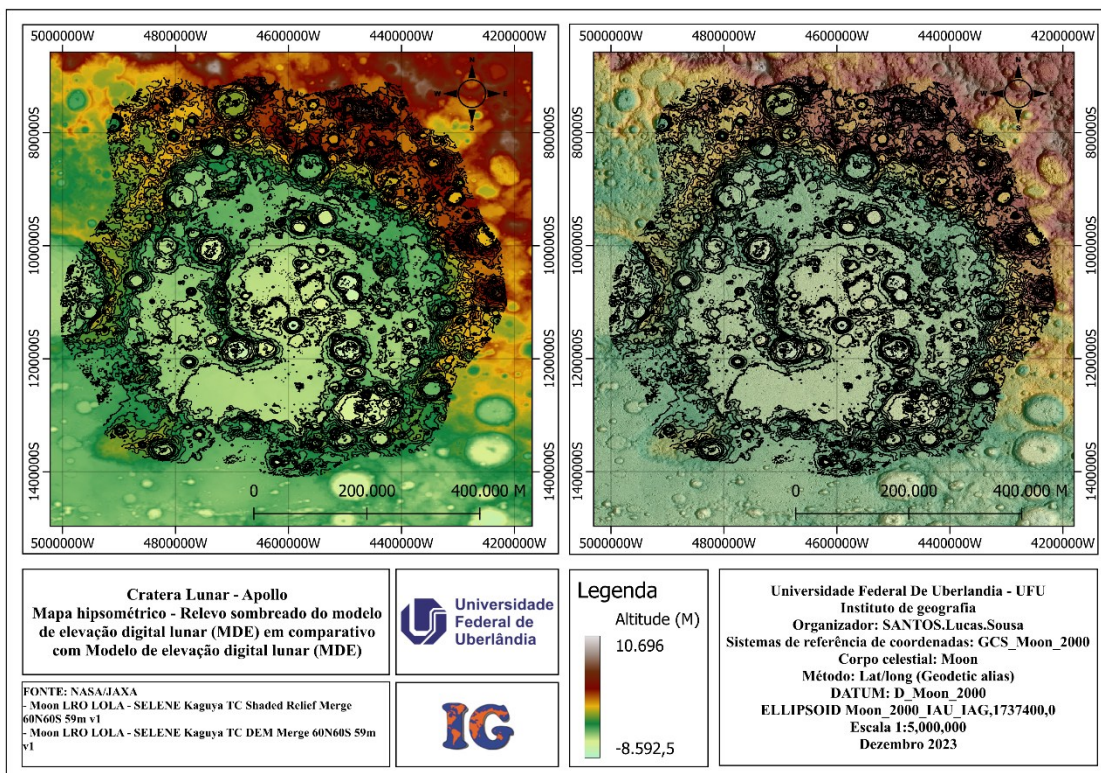
Na figura 99 temos os comparativos entre os dois mapas gerados, que nos permite observar as características do relevo na localidade analisados.

Figura 98 - Cratera Apollo / Mapa sombreado, representativo de irregularidade na superfície



Organizador: autor (2024).

Figura 99 - Cratera Apollo / Mapa comparativo

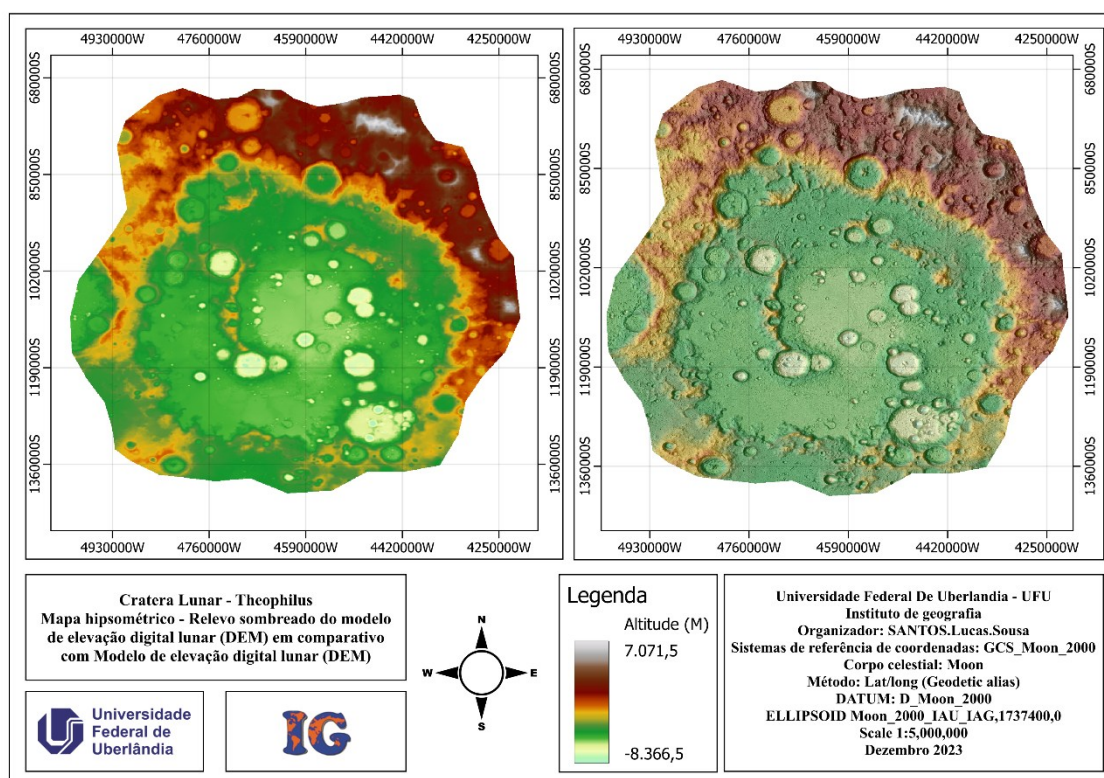


Organizador: autor (2024).

7.3.5.3 Mapa hipsométrico

Dentro do recorte (Figura 100) que compõe a estrutura da Cratera Apollo, a altimetria varia entre aproximadamente +7.071,5 m e -8.366,5 m em toda a estrutura. Na imagem, é possível notar que apenas uma pequena parte do mapa é composta por cadeias montanhosas com terreno bastante irregular, localizadas próximas às bordas, que também representam a parte de maior elevação nesse recorte. A maior parte da área está praticamente no mesmo nível altimétrico e apresenta extensas áreas que se aproximam de um terreno plano nessa localidade.

Figura 100 - Cratera Apollo / Mapa hipsométrico comparativo entre os recortes



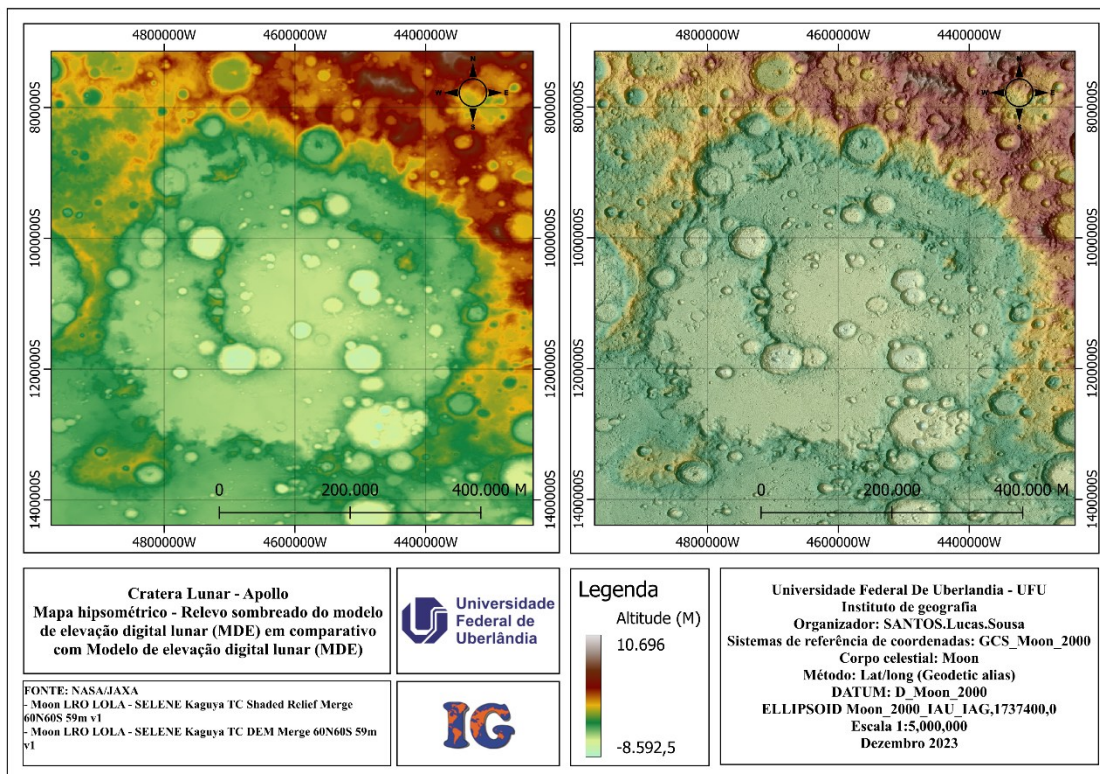
Organizador: autor (2024).

Agora, analisando de forma ampla (Figura 101), que abrange toda a área lunar delimitada inicialmente, observamos uma variação altimétrica entre aproximadamente +10.696 m e -8.592,5 m de altitude. Para comparação, dentro do recorte geológico, temos uma variação de +7.071,5 m a -8.366,5 m. No mapa superficial, dentro da nossa limitação inicial de $\pm 60^\circ$, que não abrange os polos da superfície lunar, a variação é de +10.696 m a -8.592,5 m. Isso mostra que a variação entre os pontos na superfície lunar é bastante acentuada, dada sua dimensão como um todo.

Esse segundo mapa (Figura 101), feito com o Modelo Digital de Elevação (MDE) da superfície lunar, abrange toda a área ao redor e não apenas o recorte da estrutura, neste caso, a

Cratera Apollo. Essa é a única diferença entre os dois mapas altimétricos, permitindo uma análise individual de cada localidade para uma melhor interpretação dos dados.

Figura 101 - Cratera Apollo / Mapa hipsometria, superfície entre $\pm 60^\circ$

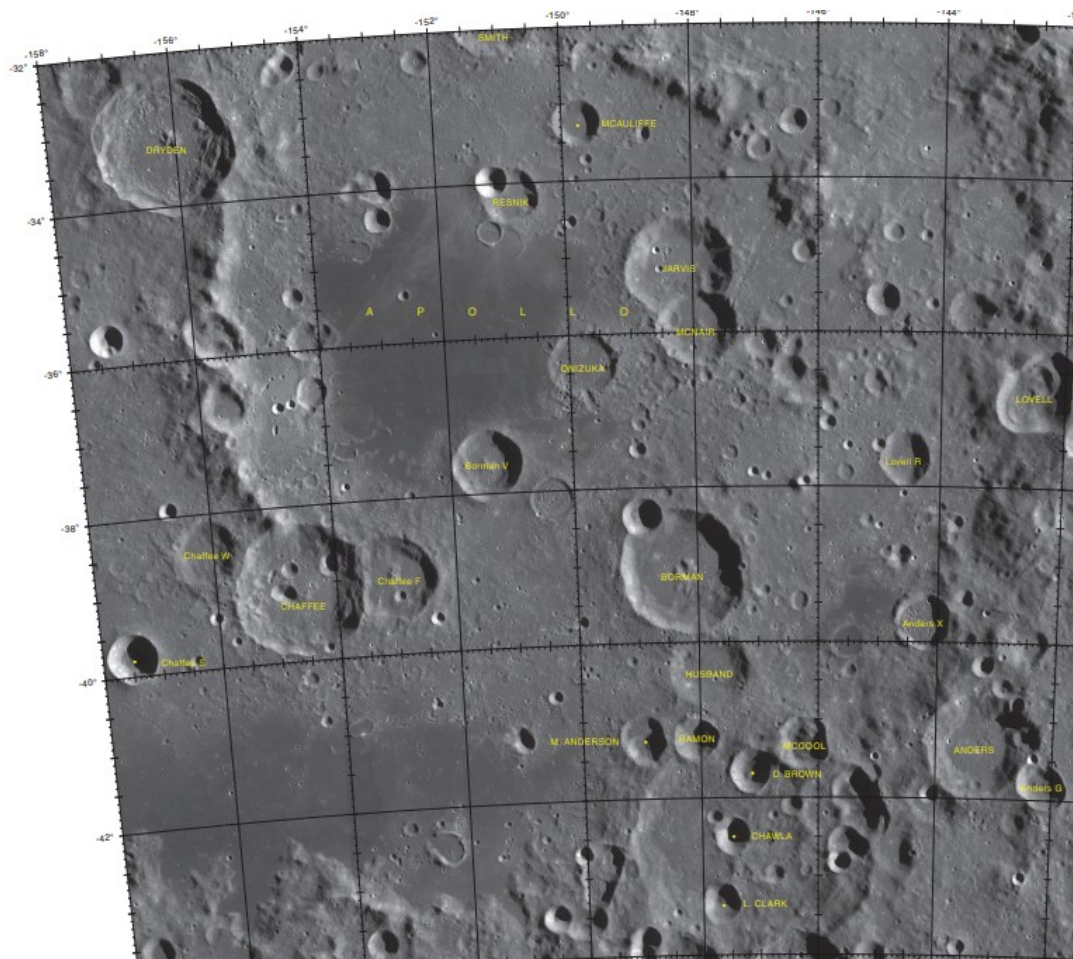


Organizador: autor (2024).

7.3.5.4 Imagem na escala 1:1.000.000

Na figura 102, é apresentada a imagem da Cratera Apollo na escala de 1:1.000.000, obtidas pela NASA.

Figura 102 - Cratera Apollo / Imagem na escala 1:1.000.000



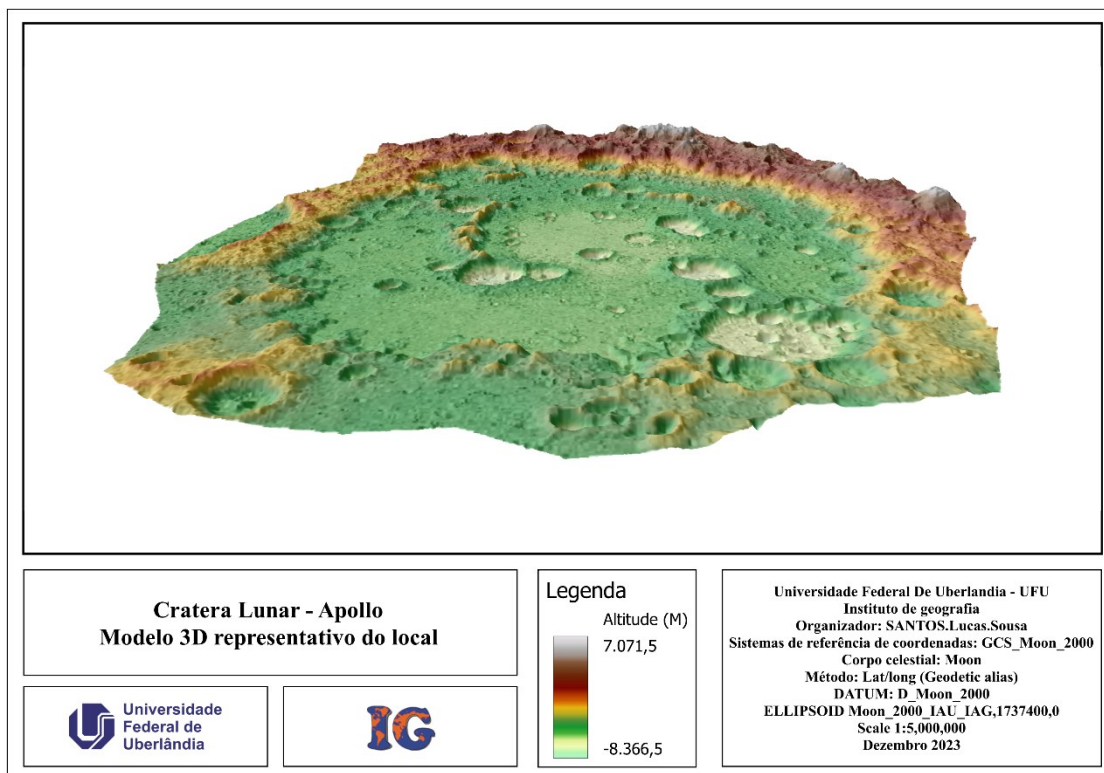
Fonte: Gazetteer of Planetary (2013)

Image credit: NASA/GSFC/ASU (2013)

7.3.5.5 Modelo tridimensional das estruturas

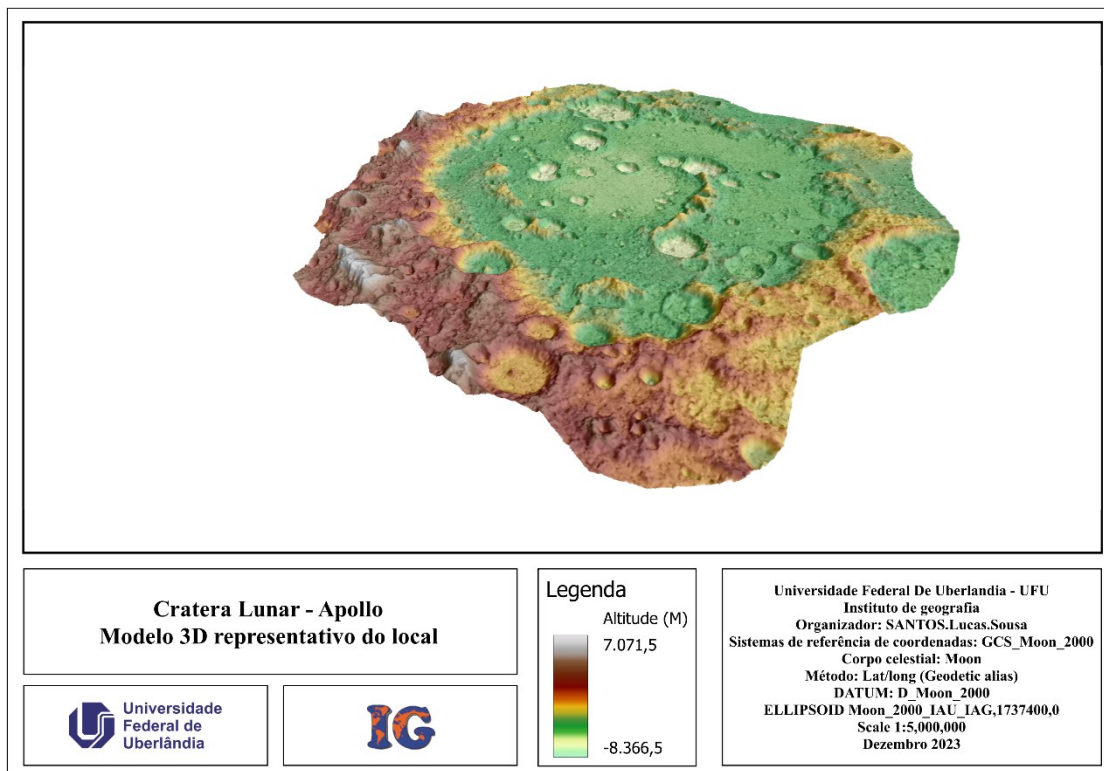
Abaixo, são apresentados os modelos tridimensionais criados para representar visualmente a estrutura analisada, conforme ilustrado nas figuras 103, 104 e 105.

Figura 103 - Crateras Apollo / 1º Modelo tridimensional da estrutura



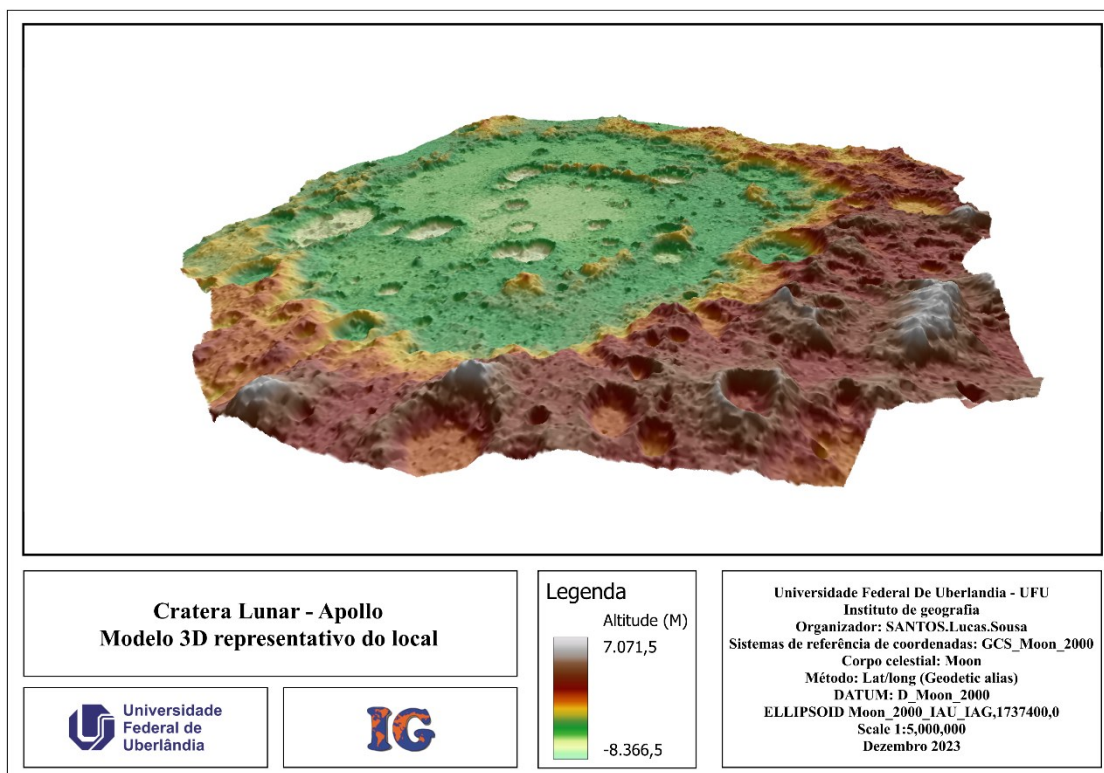
Organizador: autor (2024).

Figura 104 - Crateras Apollo / 2º Modelo tridimensional da estrutura



Organizador: autor (2024).

Figura 105 - Crateras Apollo / 3º Modelo tridimensional da estrutura



Organizador: autor (2024).

8 COMPARATIVOS ENTRE AS ESTRUTURAS

Agora faremos um comparativo entre as estruturas analisadas no âmbito desta pesquisa, com o objetivo de fornecer uma visão evolutiva das formações estruturais na superfície lunar e observar, se possível, como esse processo ocorre em cada período geológico lunar.

A melhor maneira de realizar essa análise, dadas as limitações impostas por se tratar do estudo de um corpo espacial, será aproveitar os dados já obtidos durante a execução deste trabalho. Assim, faremos a comparação das estruturas com base nas informações individuais de cada uma delas, tentando tornar o comparativo o mais simples e plausível possível.

Observar como as formações se comportaram ao longo da história geológica lunar nos permite entender melhor sua formação estrutural como um todo. Esse tipo de análise é fundamental para estudos de corpos celestes distantes, onde muitas vezes temos acesso apenas a imagens orbitais. Por meio dessas restrições de dados, devemos ser capazes de realizar análises que resultem em dados e interpretações aceitáveis.

Com base nos dados coletados, foi criada a tabela a seguir (Tabela 6), que nos permite visualizar algumas informações básicas, mas relevantes para a análise comparativa entre as estruturas. O ponto essencial dessa tabela é a informação referente aos diâmetros das estruturas formadas na superfície lunar. É possível perceber que, ao comparar a estrutura mais antiga com a mais nova, há uma diminuição do diâmetro. Isso sugere que os grandes impactos sofridos pela superfície lunar ocorreram no início de sua formação, e, ao longo dos milhões de anos, o tamanho relativo dos objetos celestes que colidiram com sua superfície foi diminuindo.

Esse fenômeno reflete bem como era o entorno do planeta Terra durante sua criação, evidenciando a turbulência do espaço ao seu redor e o tamanho das formações rochosas que circundavam ou passavam próximas à Terra ou à Lua. Gradativamente, o diâmetro desses objetos foi diminuindo ao longo do tempo, resultando em um espaço como o conhecemos hoje, relativamente limpo e sem corpos celestes grandes transitando nas proximidades do nosso planeta.

Cada estrutura escolhida para a análise foi selecionada entre as maiores de cada período geológico, dentro das limitações do MDE ($\pm 60^\circ$) e do modelo geológico digital. Em relação à profundidade de cada estrutura, não é possível realizar uma análise precisa, pois as estruturas mais antigas já não preservam sua originalidade de formação, apresentando em algumas delas o interior preenchido por material. Isso dificulta a obtenção de dados viáveis para a análise. Embora seja possível especular sobre o formato do interior da formação original com base no diâmetro, essa especulação estaria sujeita às variáveis do processo de formação de estruturas dessa magnitude. Contudo, como essa não é a proposta desta pesquisa, não aprofundaremos mais nesse tema.

Tabela 11 – Comparativo entre estruturas Principais.

Período geológico	Nome	Diâmetro	Altimetria aproximada das Estrutura principais	Profundidade aproximada
Copernico	Theophilus	98.59 KM	~ 0 M a ~ -4.800 M	4.8 km
Eratosthenian	Langrenus	131.98 KM	~ 0 M a ~ -4.700 M	4.7 km
Imbrian	Humboldt	199.46 KM	~ +800 M a ~ -4000 M	4.8 km
Nectarian	Mendeleev	325.13 KM	~ +5.000 M a ~ -1800 M	6.8 km
Pre_Nectarian	Apollo	524.23 KM	~ -2.700 M a ~ -6.300 M	9 km

Organizador: autor (2024).

Para finalizar, faremos um comparativo dos gráficos topográficos de cada uma das estruturas, seguindo a ordem cronológica da mais nova para a mais antiga. Assim, poderemos perceber a evolução das estruturas ao longo dos milhares de anos no tempo geológico lunar. Nesta última parte, analisaremos apenas os gráficos topográficos das estruturas principais.

1º - Os gráficos no eixo A de cada uma delas

2º - Os gráficos no eixo B de cada uma delas.

8.1 Gráficos Topográficos, Recorte No Eixo “A” Das Estruturas

Gráfico 1 - Recorte no eixo A, Gráfico topográfico da cratera Theophilus

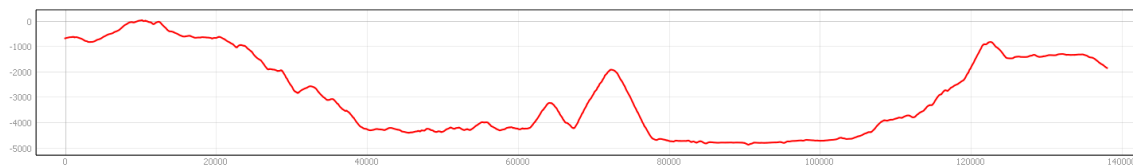


Gráfico 2 - Recorte no eixo A, Gráfico topográfico da cratera Langrenus



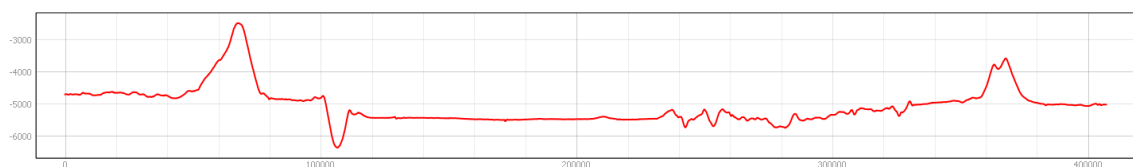
Gráfico 3 - Recorte no eixo A, Gráfico topográfico da cratera Humboldt



Gráfico 4 - Recorte no eixo A, Gráfico topográfico da cratera Mendeleev



Gráfico 5 - Recorte no eixo A, Gráfico topográfico da cratera Apollo



8.2 Gráficos Topográficos, Recorte No Eixo “B” Das Estruturas

Gráfico 6 – Recorte no eixo B, Gráfico topográfico da Cratera Theophilus

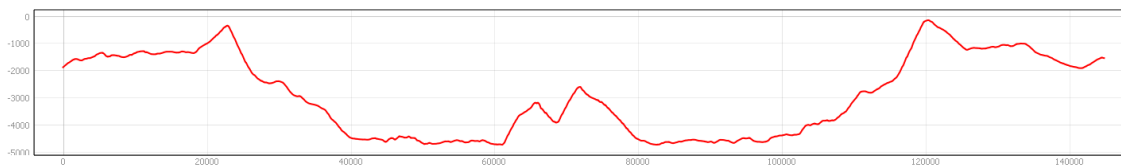


Gráfico 7 - Recorte no eixo B, Gráfico topográfico da Cratera Langrenus



Gráfico 8 - Recorte no eixo B, Gráfico topográfico da Cratera Humboldt

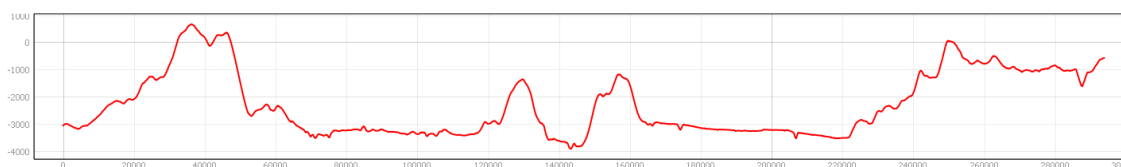


Gráfico 9 - Recorte no eixo B, Gráfico topográfico da Cratera Mendeleev

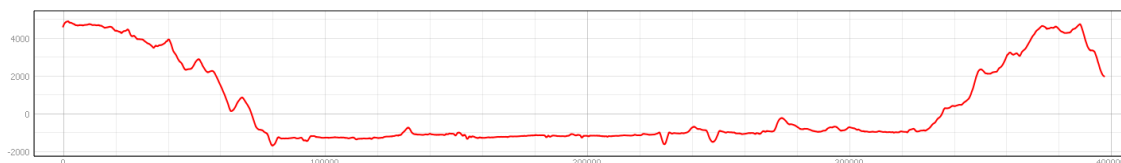


Gráfico 10 - Recorte no eixo B, Gráfico topográfico da Cratera Apollo



*** Todos os gráficos apresentados ao longo da pesquisa foram elaborados pelo o autor.**

9 CONCLUSÃO

É possível notar uma degradação das estruturas, onde as mais antigas, dentro do tempo geológico, já não apresentam a formação característica de uma estrutura de impacto. Através dos dados, mapas e gráficos apresentados neste trabalho, e dentro das amostras escolhidas de cada período geológico conforme o modelo geológico digital, esses pontos tornam-se evidentes. Ao longo da evolução geomorfológica da superfície lunar, diversas alterações se manifestam na sua estrutura superficial.

Entre as cinco estruturas analisadas de cada período lunar, as crateras Theophilus, do período Copernicano, e Langrenus, do período Eratosteniano, são as formações que possuem maior preservação estrutural, permitindo um melhor entendimento de suas características formativas. Contudo, é importante destacar que essa análise se baseia nos modelos e dados obtidos e utilizados no âmbito deste trabalho.

Na cratera Humboldt, pertencente ao período Ímbrico, sua estrutura de formação já não apresenta a originalidade completa. Visualmente, é perceptível que seu interior foi parcialmente preenchido com material externo à sua formação, deixando poucos traços em comparação com formações mais recentes. Apesar desse preenchimento parcial, Humboldt apresenta uma estrutura central na forma de picos acentuados, uma característica das crateras complexas. Esse detalhe permite um melhor entendimento de sua formação estrutural, uma vez que pertence a uma categoria específica de crateras de impacto.

Entre as estruturas mais antigas, a cratera Mendeleev, do período Nectárico, e a cratera Apollo, do período Pré-Nectárico, são as que apresentam maior alteração estrutural. A cratera Mendeleev, em comparação com Apollo, ainda possui uma estrutura de formação mais nítida, sendo visíveis as bordas da cratera com melhor detalhamento. Diferentemente, a cratera Apollo apresenta apenas resquícios de sua estrutura principal, não sendo tão nítida visualmente. Isso demonstra que a degradação ao longo dos períodos geológicos lunares afetou de forma extrema essas formações, alterando a geomorfologia local.

Dentro das amostras escolhidas, é possível observar a alteração das estruturas formadas na superfície lunar em cada período geológico. A degradação estrutural é evidente entre as amostras, destacando esse processo de transformação ao longo do tempo geológico lunar. Fica evidente que talvez seja possível correlacionar as estruturas de impacto com os períodos geológicos lunares. Com base nos dados obtidos e analisados ao longo desta pesquisa, essa correlação entre as estruturas e os períodos geológicos torna-se clara.

Essas observações nos permitem perceber, através das cicatrizes presentes na superfície lunar, sua evolução geomorfológica ao longo de bilhões de anos de existência.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN METEOR SOCIETY. FAQs: Fireballs. Disponível em: <https://www.amsmeteors.org/fireballs/faqf/#12>. Acesso em: 04 set. 2024.
- Apollo Index - **Lunar and Planetary Institute**. Disponível em: <https://www.lpi.usra.edu/resources/mapcatalog/apolloindex/>. Acesso em: 01 Nov 2023.
- Geologic History of the Moon: The Geologic Approach, **Arizona State University**. School of Earth and Space Exploration, 2007.
- GIS Data of the Moon's Geology. Geography Realm, Disponível em: <https://www.geographyrealm.com/gis-data-of-the-moons-geology/>. Acesso em: 01 Nov 2023.
- BARKER, M. K.; MAZARICO, E.; NEUMANN, G. A.; ZUBER, M. T.; HARUYAMA, J.; SMITH, D. E. A new Lunar digital elevation model from the Lunar Orbiter Laser Altimeter and SELENE Terrain Camera. *Icarus*, p. 273. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2015.07.039> *Earth Planets Space*, v. 60, p. 243-255, 2016. <https://doi.org/10.1186/BF03352788>
- BARKER, M. K.; MAZARICO, E.; NEUMANN, G. A.; ZUBER, M. T.; HARUYAMA, J.; SMITH, D. E. A new Lunar digital elevation model from the Lunar Orbiter Laser Altimeter and SELENE Terrain Camera. *Icarus*, p. 273, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2015.07.039>
- Catálogo de Mapas - Lunar and Planetary Institute. Disponível em: <https://www.lpi.usra.edu/resources/mapcatalog/>. Acesso em: 01 Nov 2023.
- Clementine - Lunar Explorer - **Arizona State University**. Disponível em: <https://ser.sese.asu.edu/MOON/clem.html>. Acesso em: 01 Nov 2023.
- WILHELMS. US Geological Survey. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/astrogeology-science-center/don-Wilhelms>. Acesso em: 01 Nov 2023.
- Exploration of Venus. **Journal of Geophysical Research: Planets**, 108(E12), 5127, 2003. DOI: [10.1029/2002JE001985](https://doi.org/10.1029/2002JE001985).
- FORTEZZO, C.M.; Spudis, P. D; and Harrel, S. L. *Release of the Digital Unified Global Geologic Map of the Moon At 1:5.000.000- Scale*. Paper presented at the 51st Lunar and Planetary Science Conference, **Lunar and Planetary Institute**, Houston, TX, 2020.
- FRENCH; BEVAN M. Chapter 4: Shock-Metamorphic Effects in Rocks and Minerals. In: *Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures*. **Lunar and Planetary Institute**, p. 31-60, 1998.
- Gazetteer of Planetary Nomenclature - US Geological Survey. Disponível em: <https://planetarynames.wr.usgs.gov/Page/Moon1to1MATlas>. Acesso em: 01 Nov 2023.
- Gazetteer of Planetary Nomenclature - US Geological Survey. Disponível em: <https://planetarynames.wr.usgs.gov/Page/MOON/target>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Gazetteer of Planetary Nomenclature - US Geological Survey. Disponível em: <<https://planetarynames.wr.usgs.gov/Page/Website>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Gazetteer of Planetary Nomenclature Search Results for Moon. Disponível em: <https://planetarynames.wr.usgs.gov/SearchResults?Target=16_Moon>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Geologic History Moon - School of Earth and Space Exploration, **Arizona State University**. Disponível em: <<https://ser.sese.asu.edu/GHM/>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

GIS Downloads - Gazetteer of Planetary Nomenclature - US Geological Survey. Disponível em: <https://planetarynames.wr.usgs.gov/GIS_Downloads>. Acesso em: 01 Nov 2023.

HARUYAMA, J.; MATSUNAGA, T.; OHTAKE, M.; MOROTA, T.; HONDA, C.; YOKOTA, Y.; TORII, M.; OGAWA, Y. LISM Working Group, Global Lunar-surface mapping experiment using the Lunar Imager/Spectrometer on SELENE. *Earth Planets Space*, v. 60, p. 243-255, 2008. <https://doi.org/10.1186/BF03352788>

IMSTER; ELEANOR. Active moon volcanoes in geologically recent times. EarthSky, 2014. Disponível em: <<https://earthsky.org/space/active-moon-volcanoes-in-geologically-recent-times/>>. Acesso em: 01 Nov. 2023.

JOHN, D. K. Lunar Science: a Post-Apollo View. NASA Technical Reports Server, 1975.

KATO, M.; TAKIZAWA, Y.; SASAKI, S. SELENE Project Team. *The SELENE Mission: Present status and science goals*. Paper presented at the 38th Lunar and Planetary Science Conference, **Lunar and Planetary Institute**, Houston, TX, 2006. <https://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2007/pdf/1211.pdf>

KENKMANN, T; HÖRZ, F; DEUTSCH, ALEXANDER. Large Meteorite Impacts III. **Geological Society of America**. p. 34, 2005.

KLEINE, T.; PALME, H.; MEZGER, K.; HALLIDAY, A. N. H.–W. Chronometry of Lunar Metals and the Age and Early Differentiation of the Moon. *Science*, v. 310, n. 5754, p. 1671–1674, 2005. [doi:10.1126/science.1118842](https://doi.org/10.1126/science.1118842)

LANG, KENNETH R. *The Cambridge Guide to the Solar System*. Cambridge: **Cambridge University Press**, p. 170, 2003.

LANG, KENNETH. *The Cambridge Guide to the Solar System*. 2. ed. New York: **Cambridge University Press**, p. 199, 2011.

LEVIN, H. L. *The Earth Through Time*. 9. ed. John Wiley and Sons, p. 15, 2009.

LOFGREN, GARY E. et al. *Basaltic Volcanism on the Terrestrial Planets*. New York: **Pergamon Press**, p. 765, 1981.

Lunar Anorthosites: What is the Big Deal, *Planetary Science Research Discoveries*, Abril de 2004. Disponível em: <<http://www.psrh.hawaii.edu/April04/LunarAnorthosites.html>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA) - Planetary Data System Geosciences Node. Disponível em: <<https://pds-geosciences.wustl.edu/missions/lro/lola.htm>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA) - SLDEM - Orbital Data Explorer (ODE) - **Planetary Data System Geosciences Node**. Disponível em: <https://ode.rsl.wustl.edu/moon/pagehelp/Content/Missions_Instruments/LRO/LOLA/SLDEM.htm>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Lunar Rays: What are They and Where did They Come From, **Planetary Science Research Discoveries**, 2004. Disponível em: <<http://www.psr.d.hawaii.edu/Sept04/LunarRays.html>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Lunar Reconnaissance Orbiter Camera - Arizona State University. Disponível em: <<https://ser.sese.asu.edu/LO/>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Lunar Reconnaissance Orbiter Camera - Arizona State University. Disponível em: <<https://www.lroc.asu.edu/images>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Lunar Reconnaissance Orbiter Camera Image Gallery - Arizona State University. Disponível em: <<https://www.lroc.asu.edu/images/298>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Lunar Reconnaissance Orbiter Camera Image Gallery - Arizona State University. Disponível em: <<https://www.lroc.asu.edu/images/1167>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

LYELL, CHARLES. Principles of Geology. London: **John Murray**, 1830.

Map Search - Orbital Data Explorer (ODE) - Planetary Data System Geosciences Node. Disponível em: <<https://ode.rsl.wustl.edu/moon/mapsearch>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Mapa Geológico Unificado da Lua 1:5M - US Geological Survey Astrogeology Science Center. Disponível em: <https://astrogeology.usgs.gov/search/map/unified_geologic_map_of_the_moon_1_5m_2020>. Acesso em: 01 Nov 2023.

MARTEL, L. M. V. Lunar crater rays point to a new lunar time scale. **Planetary Science Research Discoveries**, set. 2004. Disponível em: <http://www.psr.d.hawaii.edu/Sept04/LunarRays.html>. Acesso em: 04 set. 2024.

MATSUNAGA, T.; OHTAKE, M.; HARUYAMA, J.; OGAWA, Y.; NAKAMURA, R.; YOKOTA, Y.; MOROTA, T.; et al. Discoveries on the lithology of Lunar crater central peaks by SELENE Spectral Profiler. **Geophysical Research Letters**, 2008. <https://doi.org/10.1029/2008GL035868>

MAZARICO, E.; ROWLANDS, D. D.; NEUMANN, G. A.; SMITH, D. E.; TORRENCE, M. H.; LEMOINE, F. G.; ZUBER, M. T., Orbit determination of the Lunar Reconnaissance Orbiter. **Journal of Geodesy**, v. 86, n. 3, p. 193-207, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00190-011-0509-4>

MELOSH; H. J. Impact Cratering: A Geologic Process. New York: **Oxford University Press**, p. 245, 1989.

MELOSH; H.J., Impact cratering: A geologic process: New York, **Oxford University Press**, p. 245, 1989.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

NASA. Lunar Rocks and Soils from Apollo Missions. Disponível em: <<https://curator.jsc.nasa.gov/Lunar/>>. Acesso em: 01 Nov. 2023.

NASA. Exploring the Moon: A Teacher's Guide with Activities for Earth and Space Sciences. Washington, D.C.: NASA, 1994.

ODE Coverage Map - Orbital Data Explorer (ODE) - **Planetary Data System Geosciences Node**. Disponível em: <https://ode.rsl.wustl.edu/moon/coverage/ODE_Coverage.aspx>. Acesso em: 01 Nov 2023.

OHTAKE, M.; HARUYAMA, J.; MATSUNAGA, T.; YOKOTA, Y.; MOROTA, T.; HONDA, C.; LISM TEAM . Performance and scientific objectives of the SELENE (KAGUYA) Multiband Imager. **Earth Planets Space**, v. 60, n. 257-264, 2008. <https://doi.org/10.1186/BF03352789>

PDS Cartography and Imaging Sciences Node - USGS. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/centers/astrogeology-science-center/science/pds-cartography-and-imaging-sciences-node-usgs>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

PETRO, N. E.; KELLER, J. W.; COHEN, B. A.; MCCLANAHAN, T. P. *Ten years of the Lunar Reconnaissance Orbiter: Advancing Lunar science and context for future Lunar exploration*. Paper presented at the 50th Lunar and Planetary Science Conference, **Lunar and Planetary Institute**, Houston, TX, 2019. <https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2019/pdf/2780.pdf>

PLANETARY GEOMORPHOLOGY. Lunar Lava Layers and Their Hawaiian Analogs. *Planetary Geomorphology*, 01 set. 2020. Disponível em: <<https://planetarygeomorphology.wordpress.com/2020/09/01/Lunar-lava-layers-and-their-hawaiian-analogs/>>. Acesso em 01 Nov 2023.

Plate 1: Geologic map of the Apollo landing area (APOLLO 17) - US Geological Survey. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/imap/0713/plate-1.pdf>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Target Coordinates - Gazetteer of Planetary Nomenclature - US Geological Survey. Disponível em: <<https://planetarynames.wr.usgs.gov/TargetCoordinates>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

TAYLOR, STUART R., Lunar Science: a Post-Apollo View. Oxford: **Pergamon Press**, p. 64, 1975.

TOOLEY, C. R.; HOUGHTON, M. B.; SAYLOR JR, S. S.; PEDDIE, C.; EVERETT, D. F.; BAKER, C. L.; SAFDIE, K. N. Lunar Reconnaissance Orbiter mission and spacecraft design. **Space Science Reviews**, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11214-009-9624-4>

Unified Geologic Map of the Moon - **Lunar and Planetary Institute**. Disponível em: <<https://www.lpi.usra.edu/resources/mapcatalog/UGM/>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Unified Lunar Control Network 300m Version 2 (ULCN 300m V2) - **NASA Goddard Space Flight Center**. Disponível em: <<https://pgda.gsfc.nasa.gov/products/54>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Unified Lunar Control Network 300m Version 3 (ULCN 300m V3) - **NASA Goddard Space Flight Center**. Disponível em: <<https://pgda.gsfc.nasa.gov/products/78>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Unified Lunar Control Network 300m Version 4 (ULCN 300m V4) - **NASA Goddard Space Flight Center**. Disponível em: <<https://pgda.gsfc.nasa.gov/products/81>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

United States Geological Survey. Procellarum. Disponível em: https://planetarynames.wr.usgs.gov/Feature/4395?__fsk=-380014324. Acesso em: 04 set. 2024.

US Geological Survey Astrogeology Science Center. Disponível em: <<https://astrogeology.usgs.gov/search?target=Moon&system=&p=1&accscope=&geoform=&mapprojn=&missikey=&searchBar=>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

US Geological Survey. Astrogeology Science Center. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/centers/astrogeology-science-center>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

US Geological Survey. Disponível em: <<https://astrogeology.usgs.gov/search?target=Moon&system=&p=1&accscope=&geoform=&mapprojn=&missikey=&searchBar=>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

US Geological Survey. PDS Cartography and Imaging Sciences Node - Astrogeology Science Center. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/centers/astrogeology-science-center/science/pds-cartography-and-imaging-sciences-node-usgs>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

US Geological Survey. Planetary Geology Investigations: Moon (1960). Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/pp/1348/report.pdf>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

USRA. Handle: 20.500.11753/1598. Disponível em: <<https://repository.hou.usra.edu/handle/20.500.11753/1598>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

Vatican Observatory. Sacred Space Astronomy: Nectarian Nectar. Disponível em: <<https://www.vaticanobservatory.org/sacred-space-astronomy/nectarian-nectar/>>. Acesso em: 01 Nov 2023.

WAC Global Mosaic - Lunar Reconnaissance Orbiter Camera - Arizona State University. Disponível em: <https://wms.lroc.asu.edu/lroc/view_rdr/WAC_GLOBAL>. Acesso em: 01 Nov 2023.

WASSON, J. T.; AND WARREN, P. H., Compositional Diversity among the Apollo 17 Rocks: Based on the Data of Manned and Unmanned Samples. *Lunar and Planetary Science Conference*, v. 7, p. 2883, 1976.

WASSON, J. T.; WARREN, P. H.; et al. Compositional Diversity among the Apollo 17 Rocks: Based on the Data of Manned and Unmanned Samples. **Lunar and Planetary Science Conference**, v. 7, p. 2883, 1976.

WIKIPÉDIA. KREEP. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/KREEP>. Acesso em: 04 set. 2024.

WILHELMS, D. E., *The Geologic History of the Moon*. Washington: U.S. Government Printing Office, 1987.