

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

MÁRCIA CARVALHO DE OLIVEIRA

MAPEAMENTO DO CALCÁRIO LIOZ NAS EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS DO CENTRO DE MANAUS-AM: GEODIVERSIDADE, PATRIMÔNIO CONSTRUÍDO E CRIAÇÃO DE UM ROTEIRO VIRTUAL

MANAUS-AM

2025

MÁRCIA CARVALHO DE OLIVEIRA

MAPEAMENTO DO CALCÁRIO LIOZ NAS EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS DO CENTRO DE MANAUS-AM: GEODIVERSIDADE, PATRIMÔNIO CONSTRUÍDO E CRIAÇÃO DE UM ROTEIRO VIRTUAL

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós Graduação em Geociências, da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências.

ORIENTADOR: PROF. DR. ROBERTO CESAR DE MENDONÇA BARBOSA

MANAUS-AM

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

O48m Oliveira, Márcia Carvalho de
Mapeamento do Calcário Lioz nas edificações históricas do
Centro de Manaus-AM: Geodiversidade, Patrimônio construído e
criação de um roteiro virtual. / Márcia Carvalho de Oliveira. - 2025.
139 f. : il., color. ; 31 cm.

Orientador(a): Roberto Cesar de Mendonça Barbosa.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas,
Programa de Pós-Graduação em Geociências, Manaus, 2025.

1. Geoturismo. 2. Geologia Urbana. 3. Geoconservação. 4.
Fósseis. 5. Modelos 3D. I. Barbosa, Roberto Cesar de Mendonça.
II. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-
Graduação em Geociências. III. Título

MÁRCIA CARVALHO DE OLIVEIRA

MAPEAMENTO DO CALCÁRIO LIOZ NAS EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS DO CENTRO
DE MANAUS/AM: GEODIVERSIDADE, PATRIMÔNIO CONSTRUÍDO E CRIAÇÃO DE
UM ROTEIRO VIRTUAL

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geociências da
Universidade Federal do Amazonas, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Mestre em Geociências, área de
concentração em Geociências.

Aprovada em: 11 de abril de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 ROBERTO CESAR DE MENDONÇA BARBOSA
Data: 14/04/2025 21:26:00-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Roberto Cesar de Mendonça Barbosa, Presidente.
Universidade Federal do Amazonas, PPGGEO



Prof.^a Dr.^a Eliane Aparecida Del Lama, Membro.
Universidade de São Paulo - USP

Documento assinado digitalmente
 RAIMUNDO HUMBERTO CAVALCANTE LIMA
Data: 21/03/2025 09:54:25-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Raimundo Humberto Cavalcante Lima, Membro.
Universidade Federal do Amazonas, PPGGEO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me concedido o dom da vida e por sempre me confortar nas minhas orações.

À Universidade Federal do Amazonas – UFAM, pelos incentivos e apoio nos estudos. Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Geociências – PPGGEO, por compartilharem suas experiências acadêmicas.

Ao meu orientador, Roberto Cesar, por compartilhar seus conhecimentos nestes dois anos.

Aos meus amigos da Pós por me proporcionarem boas risadas e um ombro amigo para minhas loucuras. Meus dias foram melhores por simplesmente tomarmos um café com fofocas. Obrigada por cada conselho amigo.

À minha família por sempre me apoiar e comemorar as minhas vitórias. Em especial à minha mãe que nunca mediu esforços para minha felicidade.

Agradeço ao meu esposo. Nunca terei palavras suficientes para expressar toda minha gratidão. Obrigada pelas risadas, choros, surtos e muito mais. Obrigada por cada palavra de incentivo que me encorajava a terminar minha dissertação. Obrigada até por sempre estar certo quanto as minhas questões acadêmicas. Sem ele eu jamais chegaria lúcida ao final deste mestrado.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram indiretamente para que este fim chegasse. Minha sincera gratidão.

RESUMO

O Calcário Lioz, reconhecido como pedra do patrimônio pela União Internacional de Ciências Geológica *Heritage Stone Resource* é amplamente utilizado em edificações históricas de grandes capitais brasileiras, transcendendo as fronteiras de Portugal. Em Manaus, essa rocha caracteriza uma fase marcante da antiga Belle Époque, se concentrando no Centro Histórico, tanto em edifícios imponentes quanto em calçamentos de ruas e avenidas. Sua presença na capital Amazonense não apenas possibilita o mapeamento deste material, mas também documenta e promove a geoconservação do patrimônio cultural de maneira didática, histórica e educativa. Para realizar um mapeamento detalhado da forma de ocorrência, conteúdo fossilífero e documentação do Calcário Lioz em Manaus, foi realizado um inventário patrimonial do Centro Histórico, selecionando locais de interesse geológico que contém essa rocha em suas estruturas. Entre os principais locais mapeados estão o Teatro Amazonas, Centro Cultural Palácio da Justiça, Mercado Adolpho Lisboa, Paço da Liberdade, Praça Dom Pedro II, Colégio Amazonense Dom Pedro, Instituto Benjamim Constant, Catedral Metropolitana de Manaus, Igreja dos Remédios e calçamentos ao longo das vias públicas. As variedades de Calcário Lioz identificadas, como chainette, encarnadão, amarelo negrais e lioz de primeira, foram agrupadas em elementos estruturais (colunas e arco de porta), funcionais (pisos, calçadas e meio fio, peitoril e soleiras) e decorativos (pias batismais, altares, mausoléu, sacrário, escadas e capitéis). Estruturas como arcos e colunas, em sua maioria, utilizam a variedade chainette, enquanto os elementos funcionais como calçamentos e meio fio, são em amarelo negrais, e elementos decorativos, com revestimentos de escadarias e móveis sacros utilizam encarnadão e lioz de primeira. No conteúdo fossilífero, foram identificados três gêneros de bivalves (*Caprinulas*, *Radiolites* e *Distefanella*), cinco gênero de gastrópodes (*Nerinea*, *Neoptyxis*, *Plesioptygmatis*, *Turritela* e *Tylostoma*) e um icnogênero de *Thalassinoide*. Os bivalves estão predominantemente concentrados nas variedades chainette, encarnadão e lioz de primeira, enquanto os gastrópodes e icnofósseis são mais comuns em amarelo negrais. Para complementar o estudo, foram adquiridas imagens aéreas para criação do roteiro geoturístico virtual. Esse roteiro integra dados sobre as rochas através de imagens panorâmicas e modelos tridimensionais das edificações históricas selecionadas, complementados por links, imagens auto explicativas, vídeos e modelos 3D do registro fóssil. A ferramenta proporciona uma experiência imersiva e interativa, promovendo o aprendizado integrado de história, geologia, arquitetura e biologia. Além disso, contribui para geoinformação e a conservação do patrimônio pétreo, oferecendo uma experiência lúdica e integrada com a tecnologia para a sociedade.

Palavras chaves: Geoturismo, Geologia Urbana, Geoconservação, Fósseis, Modelos 3D

ABSTRACT

Lioz Limestone, recognized as a Heritage Stone by the International Union of Geological Sciences, is widely used in historic buildings in major capitals, transcending the borders of Portugal. In Manaus, this rock characterizes a notable phase of the old Belle Époque, concentrated in the Historic Center, both in imposing buildings and in streets and avenues. Its presence in the capital of Amazonas not only allows the mapping of this material, but also documents and promotes the conservation of cultural heritage in a didactic, historical and educational manner. In order to carry out a detailed mapping of the form of occurrence, fossil content and documentation of Lioz Limestone in Manaus, a heritage inventory of the Historic Center was made by, selecting sites of geological interest that contain this stone in their structures. The main locations mapped include the Theater Amazonas, the Palácio da Justiça Cultural Center, the Adolpho Lisboa Market, Paço da Liberdade, the Dom Pedro II Square, the Dom Pedro Amazonian School, the Benjamim Constant Institute, the Manaus Metropolitan Cathedral, the Remédios Church, and paving stones along public roads. The varieties of limestone identified, such as chainette, encarnadão, amarelo negrais and first-class limestone, were grouped into structural elements (columns and door arches), functional elements (floors, sidewalks, curbs, window sills, and thresholds), and decorative elements (baptismal fonts, altars, mausoleums, tabernacles, stairs, and capitals). Most structures, such as arches and columns, use the chainette variety, while functional elements, such as paving stones and curbs, use amarelo negrais limestone, and decorative elements, such as staircase coverings and sacred furniture, use encarnadão and first-class limestone. In the fossil content, three genera of bivalves (*Caprinulas*, *Radiolites* and *Distefanella*), five genera of gastropods (*Nerinea*, *Neoptyxis*, *Plesioptygmatis*, *Turritela* and *Tylostoma*) and one ichnogenus of *Thalassinoide* were identified. The bivalves are predominantly concentrated in the chainette, encarnadão and lioz de primeira varieties, while the gastropods and ichnofossils are more common in amarelo negrais. To complement the study, aerial images were acquired to create virtual geotourism itinerary. This itinerary integrates data about the stones through panoramic images and three-dimensional models of the selected historical buildings, complemented by links, self-explanatory images, videos and 3D models of the fossil record. The tool provides an immersive and interactive experience, promoting the integrated learning of history, geology, architecture and biology. Furthermore, it contributes to geoinformation and the conservation of stone heritage, offering a fun and technology-integrated experience for society.

Keywords: Geotourism, Urban Geology, Geoconservation, Fossils, 3D Models

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da cidade de Manaus com as edificações e vias públicas do centro histórico onde estão registradas a utilização do Calcário Lioz como elementos arquiteturais e decorativos.....	22
Figura 2 – Esquema metodológico aplicados nessa dissertação.....	26
Figura 3 – Modelos esquemáticos e características anatômicas distintivas utilizadas para o reconhecimento do conteúdo fossilífero registrado no Calcário Lioz. A – Caprinulidae em corte transversal mostrando canais poligonais, comissura e sulco de ligamento. B – Radiolitedae destacando a abertura habitacio-nal e bandas radiais internamente. 1 destaca o corte longitudinal. 2 destaca corte transversal. C – Características internas do habitáculo e columela em concha de Turritelinedae. D – Dobras internas de Nerinedae. E – Modelo esquemático para representação das terminologias usadas para descre-ver traços fósseis com base na classificação de Seilacher 2007. Hipo e Epirelevos côncavos e con-vexos.....	28
Figura 4 – Rochas ornamentais do patrimônio da IUGS – <i>Heritage Stone</i> reconhecidas até 2024.....	32
Figura 5 – Mapa de localização e geológico simplificado da Bacia Lusitânica com destaque para o intervalo de idade referente aos calcários Rudistas. A – Disposição geográfica da Bacia Lusitânica e seus limites geológicos. B – Destaque da Bacia Lusitânica e disposição espacial das unidades cronoestratigráficas do território Português.	33
Figura 6 – Carta estratigráfica da Bacia Lusitânica com a identificação das unidades sedimentares e faciologia organizadas em sequências transgressivas-regressivas de 1ª ordem. Observe o destaque para a Formação Bica (retângulo com bordas vermelha) fonte do Calcário Lioz.....	34
Figura 7 – Ocorrências de Calcário Lioz em edificações brasileiras. A – Pavimento “alcatifado” combinado com Lioz na capela-mor do convento de São Francisco, Salvador. B – Fachada principal na qual se observa o uso do Lioz no embasamento, na base do relógio de ambas as torres, no frontão e nos três vãos centrais na Catedral de Sé em Belém. C – Viela Catarina Mina com destaque para a escadaria ornamentada com lajotas de Calcário Lioz. D – Calçadas externas e paralelepípedos	

de Calcário Lioz no Teatro Amazonas. Setas brancas indicando as ocorrências de Calcário Lioz.	40
Figura 8 – Esquemas morfológicos da classe Bivavia. A – Padrões morfológicos externos e internos da concha de bivalves. Modificado de Scholle Ulmer-Scholle (2003). B – Possíveis padrões de preservação diagenética de acordo com a mineralogia original da concha.....	41
Figura 9 – Bivalves rudistas de Caprinulas e Radiolites. A – Corte transversal de Caprinula com detalhe da morfologia interna da concha. (CL) Crista de ligamento; (dpa) dente posterior e alvéolo; (da) dente anterior e alvéolo; (ma) mióforo anterior; (mp) mióforo posterior. Detalhe da morfologia interna da concha de um Caprinula com canais piriformes e poligonais em pavimento de Calcário Lioz. Traços morfológicos internos e externos de bivalve Radiolites. (1-3) vistas superior e lateral da válvula direita, mostrando o posicionamento da crista ligamentar (CL), das bandas radiais ventral (BV) e posterior (BP). Detalhe da concha de Radiolites mostrando a estrutura celulo-prismática em um pavimento de Calcário Lioz.	43
Figura 10 – Principais características anatômicas da concha de gastrópodes. A – Padrões morfológicos externos e internos da concha de gastrópodes em espiral (1), globosa (2) e (3) espiral interna com destaque para os elementos das dobras columelares. Estruturas típicas mais proeminentes da parede aragonítica dos gastrópodes.	44
Figura 11 – Características morfológicas das dobras columelares dos gêneros Neoptyxis (cinco dobras), Pchelinesevia (quatro dobras), Nerinea (três dobras), Sogdianella (Dobra alongada em torno do eixo com três dobras secundárias na borda inferior).....	45
Figura 12 – Representação esquemática da relação entre traços pós e pré-deposicionais e modos de preservação toponômicos.	47
Figura 13 – Padrões estruturais de icnogêneros de Thalassinoide e Rhicorallium. A – Tubos ramificados com padrões verticais e horizontais de Thalassinoide. Fonte Carvalho et al. (2007). B – Tubos paralelos verticalizados de Rhizocorallium, com destaque para a formação de tubos conectados em forma de “U”.	48
Figura 14 – Fluxo de processo de certificação de voos de Drones RPA segundo os órgãos regulamentadores (ANATEL, ANAC e DECEA).	51

Figura 15 – Modelagem tridimensional de áreas de riscos com corpos de brechas localizados na Itália processados com o software Metashape.	52
Figura 16 – Tipos de voos com Veículo Aéreo Não Tripulado. A – Exemplo de voos orbitais em torno da torre de água na Fortaleza de Modlin (Polônia) para aquisição de imagens para reconstrução 3D. Quadrados azuis informam as posições de imagens capturadas para o processamento de imagens. V1 – Voo automático. V2 – Voo manual, V3 – Fotos tiradas de câmera profissional. B – Voos paralelos nos sentidos longitudinal e transversal da Igreja de São Francisco de Assis em Belo Horizonte. Setas verdes identificando o percurso de sobrevoos do VANT.	54
Figura 17 – Mapa de localização da Catedral Metropolitana de Manaus, situada na Praça XV de Novembro, Centro Histórico da capital.	62
Figura 18 – Linha do tempo das fases evolutivas interpretadas com os principais eventos de construção da Catedral Metropolitana de Manaus.	63
Figura 19 – Praça XV de Novembro, situado no Centro Histórico de Manaus, com principais elementos da geodiversidade mapeados: o arenito Manaus, calcário portugueses fossilíferos e obras funcionais, como o busto de bronze, a fonte de ferro fundido e o Relógio Municipal.	67
Figura 20 – Modos de ocorrência do arenito Manaus na Praça XV de Novembro e na Catedral Metropolitana de Manaus. A – Arenito Manaus exposto nas paredes do altar da atual sacristia. B – Arenito Manaus nos passeios externos ao entorno da Catedral dedicado a passagens de veículos. C – Detalhe de blocos irregulares de arenito Manaus na pavimentação externa. D – Fragmentos de arenito Manaus (setas) utilizados como material de restauro em colunas internas da Catedral.	69
Figura 21 – Formas de ocorrência dos calcários portugueses na porção externa da Catedral Metropolitana de Manaus. A – Escadarias frontais da Catedral com espelhos e degraus revestidos com Calcário Lioz. B – Escadarias de acesso à entrada frontal da Catedral e calçamento frontal externo com pavimentação em Calcário Lioz. C – Calçamento, meio fio e fachadas da Catedral revestidos com Calcário Lioz. D – Detalhe do Calcário Lioz revestindo a calçada frontal e utilizados na ornamentação da porta de entrada principal do Templo.	70
Figura 22 – Ocorrências fossilíferas em carbonatos portugueses utilizados como elementos decorativos e funcionais na Praça XV de novembro. A – Pavimento de Calcário Lioz com fóssil de Nerinea em corte longitudinal. B – Calcário Lioz com fóssil de	

Tylostoma. C – Calcário Lioz com fóssil de Turritela em corte longitudinal com espaço interno preenchido com matriz micrítica. D – Calcário Lioz rosado do Altar de S. Teresinha do Menino Jesus com fóssil de Caprinulidae em corte transversal. E – Calcário lioz encarnação do Altar de S. Teresinha do Menino Jesus com fóssil de Radiolites em corte transversal. F – Galerias do icnogênero Thalassinoide no Calcário Lioz do calçamento externo da Catedral Metropolitana de Manaus.	71
Figura 23 – Carbonatos portugueses e outras rochas ornamentais utilizadas como rocha de revestimento na CMM. A – Mosaico em forma de mandala composto por lioz de primeira e Mármore Negro, e pias batismais laterais com lioz rosado no átrio da entrada. B – Jazigo à direita da entrada principal, revestido com lioz rosado. C – Altar de N. S. das Graças revestido com Mármore Negro e carrara, lioz rosado e encarnação. D – Piso da ala lateral da igreja com ladrilhos quadrados de Mármore Negro e lioz de primeira.	73
Figura 24 – Obras funcionais com valores da geodiversidade da Praça XV de novembro. A – Chafariz da Praça XV de Novembro feito em ferro fundido. B – Detalhe da ornamentação interna da fonte principal do chafariz. C – Detalhe da ornamentação superior do chafariz com doze anjos sustentando a estátua de Vênus ao topo do monumento. D – Relógio Municipal de Manaus com estrutura construída em blocos de arenito Manaus. E – Detalhe da estrutura do relógio expondo blocos de arenito Manaus. F – Busto de bronze do Marechal Floriano Peixoto. Observe as placas de rochas graníticas revestindo o pedestal.	74
Figura 25 – Espaço interno do museu da Catedral Metropolitana de Manaus. A – Antiga sacristia oeste da Catedral com piso mosaico em xadrez composto por lioz de primeira e Mármore Negro com destaque para o andor de procissões. Observe ao fundo a antiga parede com fragmentos angulosos de arenito Manaus. B – Escavações da antiga sacristia, atual museu, com partes expostas do material que sustenta toda estrutura da Catedral. C – Detalhe da parede com blocos irregulares de arenito Manaus. D – Andor de procissões recoberto por finas folhas de ouro.	76
Figura 26 Croqui esquemático com destaque para os principais elementos da geodiversidade mapeados e indicados nas 13 estações navegáveis.	80
Figura 27 – Layout de abertura do roteiro virtual da geodiversidade da Catedral Metropolitana de Manaus na plataforma Google Earth– Projetos. A – Visão geral do roteiro na plataforma Google Earth acessada via web por computador com destaque	

para as estações navegáveis na coluna à esquerda. B – Modo de apresentação do roteiro acessada via smartphone.	81
Figura 28 – Página inicial do Web Site com informações gerais da pesquisa e acesso ao roteiro virtual.	83
Figura 29 – 18 th century Portuguese colonies with Lioz limestone as a building stone, with an emphasis on Brazilian cities.	88
Figura 30 – Lioz limestone in the buildings and sidewalks of the Historic Center of Manaus. The historic buildings were organized according to their cultural, religious and academic functions.	90
Figura 31 – Examples of columns and arches of the Chainette variety in the City Museum, the Dom Pedro II Amazonian College and the Metropolitan Cathedral of Manaus. a. Front facade of the City Museum with column shafts of the Chainette variety in the front gate. b. Details of the blocks (arrow) that make up the columns of the Chainette variety of the City Museum. c. Amazonense Dom Pedro II School with columns and arches of the Chainette variety. d. Detail of the central column with a smooth shaft in the Tuscan style and Chainette blocks that support the entrance arch. e. Facade of the Metropolitan Cathedral of Manaus with three front arches carved in Lioz limestone. f. The Roman-style arch is carved in first class Lioz limestone in the Metropolitan Cathedral of Manaus, highlighting the ornaments (arrows).	93
Figura 32 – Lioz limestone floors of the Metropolitan Cathedral of Manaus, Adolpho Lisboa Market and Amazonas Theatre. a. The wind rose mosaic floor is a black marble and Chainette variety (see arrow). b. The lateral floor of the Metropolitan Cathedral is composed of black marble and Lioz limestone, mostly of the Chainette variety (see arrow). c. Details of the cathedral's sacristy floor, which includes black marble and Chainette variety (see arrow). d. The Amarelo Negrais from Adolpho Lisboa Market floors e. The floor of the Amazonas Theater is composed entirely of the first class Lioz. f. Details of the lateral floor of the Amazonas Theater showing polished first class Lioz limestone.	94
Figura 33 – Lioz limestone pavements around buildings, avenues and streets at the Historic Center of Manaus. a. Amazonas Theater's Amarelo Negrais variety sidewalks and curbs. b. Amarelo Negrais sidewalks around the Palace of Justice at Eduardo Ribeiro Avenue. c. Part of Eduardo Ribeiro Avenue paved with Amarelo Negrais variety. d. Sidewalks and curbs of 10 de Julho Street with the Amarelo Negrais variety. e. The	

24 de Maio Street sidewalks composed of the Amarelo Negrais variety. f. Sete de Setembro Avenue, around the Amazonense Dom Pedro II School, paved with Amarelo Negrais variety.	95
Figura 34 – The Amazon Theater, Palace of Justice, Metropolitan Cathedral of Manaus and City Museum have door sills composed of Chainette variety. a. Front entrance of the Amazonas Theater with Chainette sills (arrow). b. Chainette door sill (arrow) from the Palace of Justice floor. c. The Chainette variety sills on the front doors of the Metropolitan Cathedral of Manaus. d. Abrased Chainette sill at the City Museum. e. Front facade of the City Museum with frames, door sills, and window sills (arrows) composed of Chainette varieties. f. City Museum’s lateral window with a Chainette variety sill.	96
Figura 35 – Sacred objects of the Metropolitan Cathedral of Manaus composed of first class Lioz limestone, Chainette, Amarelo Negrais and Encarnadão varieties. a. Mausoleum with walls made of first-class limestone and Amarelo Negrais varieties (arrows). b. Holy water font at the atrium composed of Chainette variety. c. The altar with walls ornamented with the Encarnadão variety (arrows). d The Encarnadão tabernacle.	97
Figura 36 – Staircases in the Historic Center of Manaus ornamented with Amarelo Negrais, first class Lioz, Chainette and Encarnadão varieties. a. Stairs of the Benjamin Constant Institute are composed of all limestone varieties. b. Palace of Justice staircase with rounded floors and recessed risers of first class Lioz and Encarnadão varieties. c. Detail of the Palace of Justice staircase with first class Lioz floor and iron risers. d. Details of the front staircase of the Amazonas Theater with floors and risers mainly ornamented with the first class Lioz. e. The staircases of the Amazonense Dom Pedro II School ornamented mainly the first class Lioz, Encarnadão and Chainette varieties. f. Details of the City Museum stairs ornamented with the Encarnadão variety.	98
Figura 37 – Capitals and pediment of the Amazonense Dom Pedro II School and City Museum. a. The front façade of the Amazonense Dom Pedro II School with simple Chainette pediment and capitals in the Ionic style (arrow) and details of the capital spiral volutes. b. Façade of the City Museum, which is composed of a Chainette variety pediment, tympanum and simple capitals in the Tuscan style.	99

Figura 38 – Caprinula in Lioz limestone from the Historic Center of Manaus. a. Palace of Justice inner staircases with Caprinula. b. Longitudinal section of Caprinula in the first class Lioz inner staircases of the Palace of Justice. c. Cross and oblique section showing the internal morphology of Caprinula in the first class Lioz staircases of the Palace of Justice. d. Morphology schematic model of the Caprinula valves. (1) External morphology, highlighting the free (VL) and fixed (VF) valves. (2) Cross section of the free valve showing the internal structure (Cpo) polygonal canals. (Cpi) pyriform canals. (mi) myophyte. (Cc) body cavity. (Ca) accessory cavity.	102
Figura 39 – The Radiolites in the staircases of the Amazonas Theater. a. Front staircases of the Amazonas Theater with Radiolites. b. Longitudinal sections of Radiolites in the first class Lioz staircases. c. Cross-section of Radiolites in the Encarnadão variety. d. Internal and external schematic model of the Radiolites in cross (1) and longitudinal sections (2).	103
Figura 40 – Distefanella in the Lioz limestone pavements of the Amazonas Theater. a. Frontal pavements with Distefanella. b. Distefanella in the first class Lioz frontal pavements. c. Morphologic diagram highlighting the internal shell patterns.	103
Figura 41 – Nerinea, Neoptixis and Plesioptygmatis at the Amazonas Theater and the Metropolitan Cathedral of Manaus. a. Amarelo Negrais sidewalks of Eduardo Ribeiro Avenue with gastropods. b. Plesioptygmatis in the Amarelo Negrais sidewalks of the Metropolitan Cathedral of Manaus. c. Nerinea shell longitudinal section and details of the internal folds in the Amarelo Negrais pavement of the Amazonas Theater. d. Neoptixis internal folds details in a longitudinal section recorded on the Amarelo Negrais variety of the Amazonas Theater. e. Plesioptygmatis internal morphologic details in a longitudinal section from the Amarelo Negrais pavement of the Metropolitan Cathedral of Manaus.	104
Figura 42 – Turritela and Tylostoma in the Historic Center of Manaus. a. The first class Lioz sidewalks in the front wing of the Amazonas Theater. b. Amarelo Negrais lateral pavements of the Metropolitan Cathedral of Manaus. c. Longitudinal section and internal morphology of Turritela in the first class Lioz pavement of the Amazon Theater. d. Frontal view of a Tylostoma with details of the fold patterns and apex.	105
Figura 43 – Fossil traces in the Lioz limestone of the Amazonas Theater. a. Thalassinoides traces in Amarelo Negrais inner pavement. b. Horizontal ramification galleries and convex relief of Thalassinoides in Amarelo Negrais lateral paving. c.	

Details of horizontal gallery ramifications with concave and total relief. d. Schematic model of Thalassinoides trace relief.	106
Figura 44 – 3D models of the Amazonas Theater and Marco Zero Architectural Complex used for virtual tours. a. 3D model of the Marco Zero Architectural Complex highlighting support points (1 to 6) with historical, fossil content and uses of the Lioz limestone in built heritage. b. The main screen of the virtual tour of the Amazonas Theater. c and d. A panoramic image of the Marco Zero Architectural Complex highlighting the 3D model access points (indicated by the red circle) and an example of the Amazonas Theater 3D model. e and f. 3D models of the Amazonas Theater and Marco Zero Architectural Complex, including details of geodiversity, especially the Lioz limestone used in built heritage and fossil content.	108

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Locais e modos de ocorrências do Calcário Lioz nas antigas colônias portuguesas e outros países. CV – Cabo Verde; CN – China; IN – Índia.	38
Tabela 2 – Capitais de estados brasileiros e modos de ocorrências do Calcário Lioz.	39
Tabela 3 – Regras de acesso ao espaço aéreo segundo a legislação ICA 100-40. Fonte: DECEA (2019).	50
Tabela 4 – Classificação dos principais elementos da geodiversidade mapeados na Praça XV de Novembro e na Catedral Metropolitana de Manaus organizados com base nos critérios adotados por Gray (2013) e Brilha (2016). Potencial de Valor Educacional (VE) e Turístico (VT): 1. Didático; 2. Acessibilidade; 3. Cenário; 4. Interpretativo; 5. Diversidade Geológica; 6. Segurança. Valores da Geodiversidade: 1. Intrínseco; 2. Cultural; 3. Estético; 4. Econômico; 5. Funcional; 6. Científico; 7. Educativo.	66
Tabela 5 – Rota das estações navegáveis selecionadas para o roteiro virtual da Catedral Metropolitana de Manaus e seus aspectos de destaque.....	80
Tabela 6 – Rota das estações navegáveis selecionadas para o roteiro virtual da Catedral Metropolitana de Manaus com características geológicas de cada estação.	83
Tabela 7 – Lioz limestone in the buildings of the Historic Center of Manaus and its architectural uses. 1. Amazonas Theater, 2. São Sebastião Church, 3. Metropolitan	

Cathedral of Manaus (Nossa Senhora da Conceição), 4. Remédios Church, 5. Palace of Justice, 6. Adolpho Lisboa Market, 7. City Museum, 8. Benjamin Constant Institute, and 9. Amazonense Dom Pedro II School. 92

Tabela 8 – Taxonomic hierarchy of the fossils cataloged in the Lioz limestone of the buildings in the Historic Center of Manaus. (1) Amazonas Theater, (2) São Sebastião Church, (3) Metropolitan Cathedral of Manaus, (4) Remédios Church, (5) Palace of Justice, (6) Adolpho Lisboa Market, (7) City Museum, (8) Benjamin Constant Institute, and (9) Amazonense Dom Pedro II School. 101

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	19
1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1. JUSTIFICATIVA	23
1.2. OBJETIVOS.....	24
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	24
CAPÍTULO 2.....	26
2. MÉTODOS.....	26
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
2.2 MAPEAMENTO DO MODO DE OCORRÊNCIA DO CALCÁRIO LIOZ	27
2.3 AEROLEVANTAMENTO E PROCESSAMENTO COM VANT	28
2.4 CRIAÇÃO DO ROTEIRO	30
CAPÍTULO 3.....	31
3. REFERENCIAL TEÓRICO	31
3.1 ROCHAS ORNAMENTAIS.....	31
3.1.1 Bacia Lusitânica.....	32
3.1.2 A Formação Bica	36
3.1.3 O Calcário Lioz	37
3.2 MACROFÓSSEIS DA FORMAÇÃO BICA.....	39
3.2.1 Bivalvia	40
3.2.2 Gastropodas	44
3.2.3 Icnofósseis.....	46
3.3 AEROLEVANTAMENTO COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO - VANT 48	
3.3.1 Definição de VANTs	48
3.3.2 Regulamentação no Brasil	49
3.3.3 Voos de Drones (RPA).....	50
3.3.4 VANT nas Geociências	51
3.3.5 Aplicação de VANT na Modelagem 3D de Edifícios Históricos.....	53
3.4 ROTEIROS GEOTURÍSTICO	54
3.4.1 Roteiros Virtuais.....	55
CAPÍTULO 4.....	58
4. ROTEIRO GEOTURÍSTICO VIRTUAL PARA DIFUSÃO DA GEODIVERSIDADE DA CATEDRAL METROPOLITANA DE MANAUS (AM)	58

4.1	RESUMO	58
4.2	ABSTRACT	59
4.3	INTRODUÇÃO	60
4.4	MATERIAIS E MÉTODOS	61
4.5	REFERÊNCIAL TEORICO	62
4.5.1	Da Taipa ao Templo de Pedra	62
4.6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
4.6.1	Inventário da Geodiversidade Urbana	66
4.5.2	4.6.2 O Roteiro Virtual da Catedral Metropolitana de Manaus	79
4.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
CAPÍTULO 5 – Artigo submetido na revista Geoheritage Qualis A2		85
5. CONSTRUCTED GEOHERITAGE: PORTUGUESE LIOZ IN THE HISTORIC CENTER OF MANAUS, BRAZIL		85
5.1	ABSTRACT:	85
5.2	INTRODUCTION	87
5.3	METHODS	89
5.6	PORTUGUESE ROYAL STONES IN THE HISTORICAL CENTER OF MANAUS	90
5.7	THE LIOZ LIMESTONE ARCHITECTURAL USES	91
5.7.1	Lioz Structures	91
5.7.2	Lioz Functional Elements	93
5.7.3	Lioz Decorative Elements	96
5.8	FOSSIL ASSEMBLAGES	100
5.8.1	Bivalvia	100
5.8.2	Gastropods	104
5.8.3	Fossil Traces	106
5.9	LIOZ HISTORIC BUILDING 3D MODELING AND VIRTUAL TOUR GUIDE ..	107
	CONCLUSIONS	110
CAPÍTULO 6		111
6. CONCLUSÃO		111
CAPÍTULO 7		Erro! Indicador não definido.
7. CRONOGRAMA		Erro! Indicador não definido.
CAPÍTULO 8		112
8. REFERÊNCIAS		112

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A designação de Recurso de Pedra do Patrimônio Global (GHSR) foi introduzido em 2008 no 33º Congresso Geológico Internacional pela Subcomissão de Pedra do Patrimônio (HSS) da União Internacional de Ciência Geológica (IUGS), em colaboração com a Associação Internacional de Geologia de Engenharia e Meio Ambiente (IAEG). A finalidade do GHSR é promover o estudo geológico, a aplicação e a preservação de rochas naturais que tenham relevância histórica em diferentes partes do mundo (Del Lama e Costa, 2022; Hannibal et al., 2020; Pereira e Van den Enynde, 2019).

Segundo a União Internacional de Ciência Geológica (IUGS), um GHSR é uma rocha que forneceu material para construções arquitetônicas e monumentos ao redor do mundo, representativos de aspectos integrais da cultura humana (Kato, 2013; Marker, 2015). Através desta designação é possível explicar a relevância de certas rochas para a conservação e restauração de edifícios históricos e por consequência, da própria história cultural da humanidade (Kaur et al., 2021; Pereira, 2023). Para ser considerado um GHSR, uma rocha precisa atender a alguns requisitos, como ter sido usada por mais de 50 anos em diferentes regiões; ter sido empregada em obras públicas ou industriais importantes; ser um símbolo da cultura local; estar disponível para extração e; fornecer benefícios potenciais para a sociedade, ciência, meio ambiente e/ou o comércio (Cooper, 2015; Del Lama e Costa, 2022).

Até 2024, a denominação IUGS – *Heritage Stone*, que é a designação atual da GHSR, reconheceu 55 rochas do patrimônio, provenientes em mais de 20 localidades ao redor do mundo. Essas rochas possuem exposições em países como Portugal (Lopes e Martins, 2015), Espanha (Pereira, 2019), Irlanda (Wyse et al., 2020), Reino Unido (Lott et al., 2013), França (Dumont e Sauvegarde, 2020), Bélgica (Pereira et al., 2015), Alemanha (Siedel et al., 2019), Itália (Primavori, 2015), Eslovênia (Kramar et al., 2015), Malta (Cassar et al., 2017), Noruega (Heldal et al., 2015), Suécia (Wikstrom e Pereira, 2015), Canadá (Pratt et al., 2016), Estados Unidos (Rose et al., 2017), México (Canet, 2018), Argentina (Cravero et al., 2015) e Índia (Garg et al., 2019), entre outras localidades.

De acordo com Ehling et al. (2024) a proposta da rocha brasileira Gnaiss Facoidal foi oficialmente reconhecida na lista da IUGS-Heritage Stone. Porém, o território brasileiro possui diversos monumentos e edificações que incorporam rochas reconhecidas pela IUGS-*Heritage Stone*, como o Calcário Lioz e o Mármore Estremoz de Portugal, o Mármore Carrara e o Granito Rosa Beta da Itália, e o Larvikito da Noruega (Careddu e Grillo, 2015; Heldal et al., 2015; Lopes e Martins, 2015; Pereira e Medeiros, 2022).

Em consideração ao Calcário Lioz, avaliações do patrimônio histórico e cultural indicam que um fator importante para a frequente utilização deste recurso rochoso em algumas capitais brasileiras como Rio de Janeiro, Belém e Manaus foi devido os mais de 300 anos de colonização portuguesa, origem da rocha, e o Ciclo da Borracha (Figura 1; Del Lama e Costa, 2022; Mozer et al., 2022; Sanjad et al., 2021). No período colonial, a construção de edifícios e monumentos empregou intensamente materiais importados, como o calcário Lioz, valorizado tanto por suas qualidades estéticas quanto por suas propriedades geotécnicas ideais para obras comerciais (Lima et al., 2021b; Oliveira et al., 2024). Essa prática continuou durante o Ciclo da Borracha, quando Manaus e Belém, se beneficiaram economicamente do monopólio da exploração e comercialização do látex. Esse período foi marcado por uma intensificação dos investimentos em infraestrutura urbana e pela modernização de diversos centros urbanos envolvidos no ciclo econômico da borracha (Colares e Pimenta, 2022; Cruz, 2019).

O Calcário Lioz é uma rocha natural que tem sido explorada desde a época romana, em especial, devido ao cataclismo de 1755 em Lisboa, quando passou a ser utilizado especialmente na reconstrução da "Capital do Império". Sua inclusão na lista de IUGS – Heritage Stone foi aprovada em julho de 2019 (Castro et al., 2023; Del Lama e Costa, 2022)

De acordo com a proposta de Lopes (2017), o Calcário Lioz é uma rocha natural que tem sido explorada desde a época romana, em especial, devido ao cataclismo de 1755 em Lisboa, quando passou a ser utilizado especialmente na reconstrução da "Capital do Império".

O Lioz é um calcário fossilífero microcristalino de idade cretácea, amplamente explorado nos arredores de Lisboa, incluindo locais como Sintra, Maceira, Lameiras,

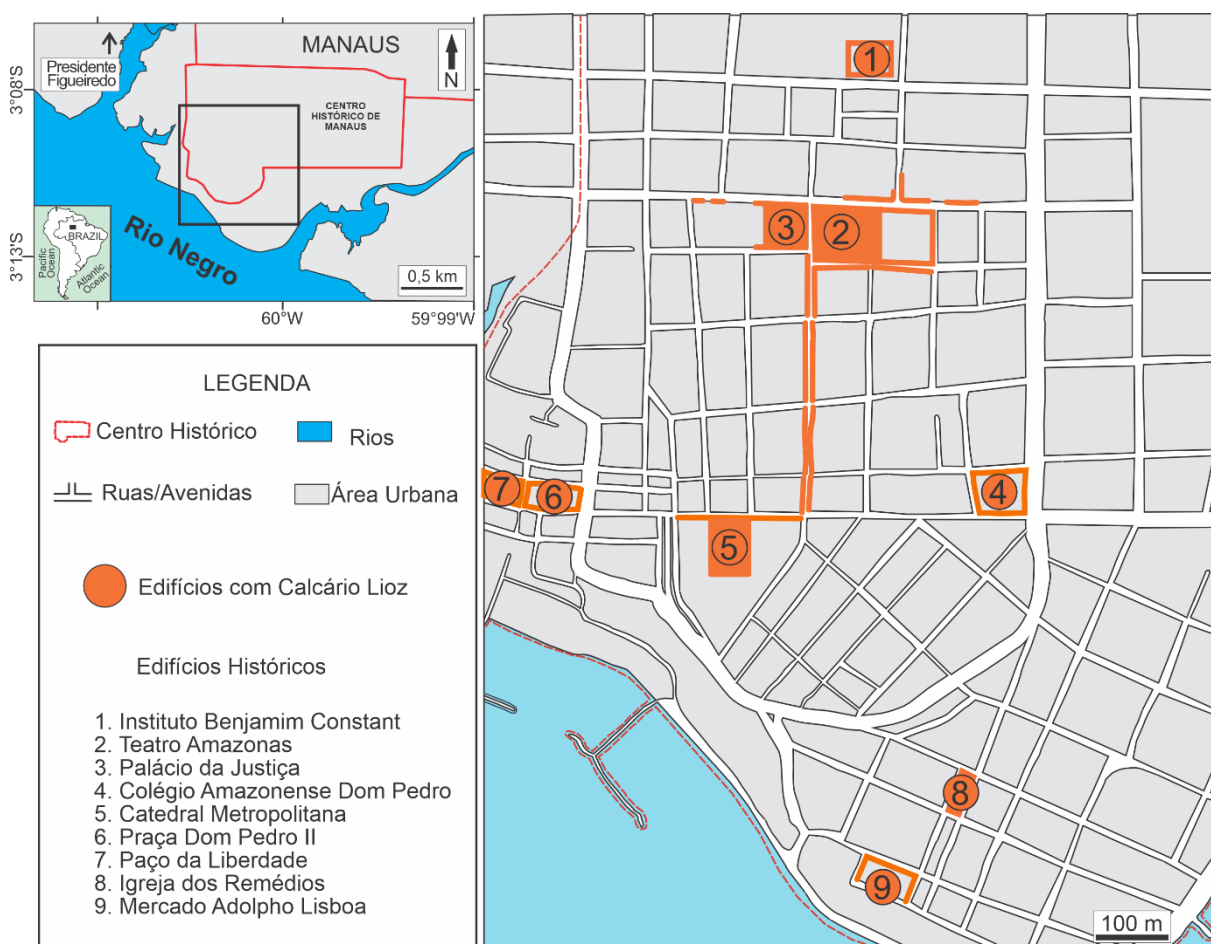
Negrais e Pêro Pinheiro. As variedades de Lioz podem diferir dependendo da origem e da orientação do corte da rocha. As variedades mais comuns incluem o Lioz de primeira ou Abancado (creme/beje), Encarnadão (rosa escuro/avermelhado), Chainette (de corte cruzado), Amarelo Negrais (amarelo/ouro) e Azulino (cinza/azul) (Carvalho et al., 2013; Mozer et al., 2022; Silva C, 2019; Silva Z, 2019; Silva et al., 2024). Além dessas variedades, existem outras mais coloridas, como Encarnadão Chainette (lilás com manchas amareladas), Almiscarada (vermelha com manchas brancas ou amarelas), Encarnadão de Lameiras (rosado com vênulas rosa-salmão) e Encarnado da Pedra Furada (geralmente vermelho com manchas salmão ou amarelo-alaranjadas) (Carvalho et al., 2000; Del Lama e Costa, 2022). Por sua vez, o conteúdo fóssil do Calcário Lioz corresponde a invertebrados do Filo Molusca composta pelas classes de Bivalves e Gastropodas de águas rasas, claras e quentes, típica do ambiente recifal, além de icnofósseis (Pacheco e Cachão, 2021; Polck et al., 2020b; Silva C, 2019).

Assim como o Calcário Lioz, os demais IUGS-*Heritage Stone* que integram o patrimônio edificado mundial merecem estudos e divulgação devido a sua imponente capacidade de compreender tanto a histórica cultural quanto o passado geológico (Kaur, 2022; Pereira, 2023). No entanto, em países com vasta extensão territorial como o Brasil, documentar e conservar *Heritage Stone* é uma tarefa desafiadora, especialmente devido à falta de tradição na construção com pedra (Castro et al., 2023). Porém, uma das ferramentas frequentemente utilizada nos últimos anos para promoção, valorização e conservação das rochas do patrimônio é através da virtualização de monumentos, uma vez que oferece uma variedade de ferramentas para a documentação e imersão, como a virtualização tridimensional (Gisbert, 2019; Templin e Popielarczyk, 2020). Além disso, a virtualização tridimensional permite criar passeios virtuais em locais históricos, proporcionando uma experiência lúdica e educativa (Cirulis et al., 2015; Peruzzini et al., 2023).

O uso dessas arquiteturas emergentes de banco de dados baseados em imagens é uma maneira eficaz de aprimorar a ciência e documentar meios físicos que podem ser explorados em qualquer lugar do mundo (Maschner et al., 2013). Não só facilita o acesso à informação sobre as rochas do patrimônio, mas também ajuda a preservar e compartilhar esses recursos valiosos com um público mais amplo (Kantaros et al., 2023; Peinado et al., 2021).

Sendo assim, esta pesquisa utiliza modelagem tridimensional e virtualização de monumentos do Centro Histórico de Manaus com o Teatro Amazonas, Centro Cultural Palácio da Justiça, Mercado Adolpho Lisboa, Paço da Liberdade, Praça Dom Pedro II, Colégio Amazonense Dom Pedro, Instituto Benjamin Constant, Catedral Metropolitana de Manaus, Igreja dos Remédios e demais calçamentos ao longo das vias públicas, para criar um roteiro geoturístico virtual (Figura 1).

Figura 2 – Mapa de localização da cidade de Manaus com as edificações e vias públicas do centro histórico onde estão registradas a utilização do Calcário Lioz como elementos arquiteturais e decorativos.



Fonte: Autora

A realização desse estudo representa um passo importante para promoção do geoturismo e preservação do patrimônio da região. Esse projeto não apenas proporcionará uma experiência imersiva para os visitantes, destacando a riqueza geológica e histórica da área, mas também contribuirá para aumentar a conscientização sobre a importância desses elementos. Além disso, se constitui como uma forma de documentar as edificações históricas, auxiliando na sua conservação. Ao mesmo tempo, a

iniciativa tem o potencial de atrair novos públicos e fomentar o turismo científico, oferecendo oportunidades para estudos e pesquisas adicionais sobre a geodiversidade e história local.

1.1. JUSTIFICATIVA

O Brasil é um país com um enorme potencial turístico, impulsionado por sua rica diversidade cultural e natural. Oferece uma ampla experiência para os turistas, desde praias paradisíacas até florestas tropicais, cidades históricas e culturas diversas (Silva et al., 2021; Melo et al., 2021). De acordo com o Guia Turístico Digital produzido pela Empresa Estadual de Turismo do Amazonas, a capital amazonense reuni atrativos que vão desde edifícios patrimoniais como Teatro Amazonas, Palácio da Justiça, etc, até atrativos naturais como o encontro das águas e interação com os botos, além de experiências gastronômicas regionais (Amazonastur, 2024; Braga e Santos, 2022).

A cidade de Manaus possui um rico patrimônio histórico, refletido especialmente em seu Centro Histórico, caracterizado por uma variedade de edificações que remontam ao período imperial e refletem a influência europeia na região (Guimarães et al., 2020; Patrón, 2023). No entanto, apesar do grande potencial turístico, a valorização da geodiversidade presente nas edificações, ainda é subutilizada devido à predominância de práticas turísticas focadas na arquitetura, com pouca atenção direcionada aos aspectos geológicos dessas edificações (Magabi et al., 2021; Marques et al., 2020; Oliveira et al., 2024).

Sendo assim a conservação do Patrimônio Geológico é fundamental para iniciativas que integram ciência, cultura e sociedade. Ao reconhecer o valor da geodiversidade nessas edificações históricas, promove-se uma valorização multidisciplinar que uni saberes geológicos, históricos e turísticos.

Para isto, a criação de um roteiro geoturístico virtual da geodiversidade surge como uma estratégia oportuna para expandir e aprimorar o portfólio turístico de Manaus. Essa estratégia já foi adotada com sucesso por outros centros urbanos, como São Paulo e Rio de Janeiro, que estão na vanguarda do mapeamento da geodiversidade, com uma abordagem multidisciplinar que não apenas promove a preservação do patrimônio pétreo, mas também enriquece a experiência turística local, acrescentando um valor significativo ao destino (Monteiro et al., 2021; Polck et al., 2020a; Silva et al., 2024).

Ao incorporar perspectivas multidisciplinares, essas iniciativas não apenas contribuem para a preservação do patrimônio pétreo, mas também enriquecem a experiência dos turistas. Além disso, ao considerarmos a importância da educação patrimonial e ambiental, a criação de novos espaços próximos das escolas que podem ser explorados é uma estratégia valiosa. Integrar o roteiro geoturístico ao currículo escolar e oferecer visitas guiadas educativas não só sensibiliza as novas gerações para a valorização do patrimônio, mas também fortalece os laços entre a comunidade local e seu legado histórico.

Portanto, a conservação do Patrimônio Geológico-Cultural, valorização multidisciplinar e implementação de um roteiro geoturístico em Manaus tem o potencial de destacar e valorizar os elementos geológicos presentes em seu patrimônio histórico, impulsionando assim o setor turístico local e promovendo uma maior apreciação da diversidade natural e cultural da região.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa é mapear as ocorrências do Calcário Lioz em edificações históricas, identificar seu conteúdo fossilífero e desenvolver um roteiro geoturístico virtual que evidencie a importância histórica, geológica e cultural desse material pétreo. Para que essas metas sejam alcançadas, são necessários seguir um conjunto de objetivos específicos descritos a seguir:

- Mapear o Calcário Lioz com posicionamento georreferenciado e ranqueamento das ocorrências;
- Caracterizar a petrografia do Calcário Lioz;
- Identificar a taxonômica dos fósseis encontrados no Calcário Lioz;
- Realizar modelos tridimensionais das edificações ornamentadas com Calcário Lioz.
- Criar um roteiro geoturístico virtual com os modos de ocorrência do Calcário Lioz e registro fossilífero.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está organizada em sete capítulos. O capítulo 1 compreende a introdução, onde são apresentados o contexto geral da pesquisa, a problemática abordada, a justificativa para o estudo, os objetivos e a descrição da organização do

documento. No capítulo 2 são detalhados os métodos empregados para o desenvolvimento do trabalho. Já o capítulo 3 aborda o referencial teórico que fundamenta a pesquisa.

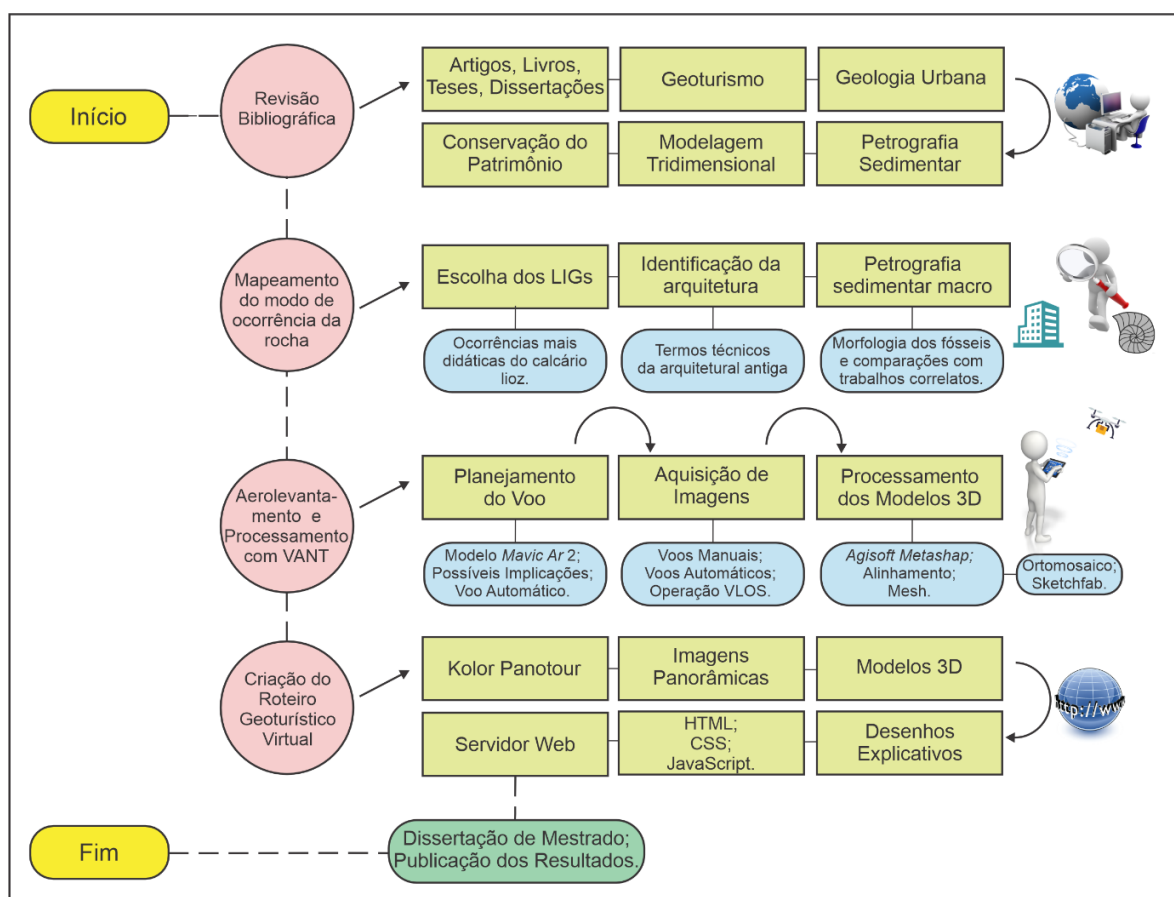
Por sua vez, no capítulo 4 são apresentados os resultados do mapeamento da geodiversidade na Catedral Metropolitana de Manaus, com base em um artigo publicado na revista Geonorte (A3 Qualis CAPES). O capítulo 5 trata de um artigo submetido na revista Geoheritage (A2 Qualis CAPES) a respeito do mapeamento do Calcário Lioz nas edificações históricas do centro de Manaus, assembleia fossilífera e criação de um roteiro virtual. O capítulo 6 descreve as considerações finais, e o capítulo 8 contempla a lista de referências bibliográficas utilizadas ao longo da pesquisa.

CAPÍTULO 2

2. MÉTODOS

Esta pesquisa aplica métodos científicos, como observação, registro, análise e interpretação de dados (Raupp e Beuren, 2006). As propostas metodológicas aplicadas nesta pesquisa incluem critérios qualitativos de potenciais educativos e turísticos estabelecidos por Brilha (2016): Revisão bibliográfica, Mapeamento do Calcário Lioz no Centro Histórico de Manaus, Aerolevantamento e processamento de imagens com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e a Criação do roteiro geoturístico, explicados a seguir (Figura 2).

Figura 3 – Esquema metodológico aplicados nessa dissertação.



Fonte: Autora

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica será baseada em bibliotecas virtuais nacionais e internacionais, por meio de livros, teses, dissertações e artigos científicos relacionados a: geoturismo, geologia urbana, conservação patrimonial, petrografia sedimentar,

modelagem tridimensional e georroteiros. Segundo Pereira e Cunha (2021), os estudos sobre o geoturismo oferecem interpretações sobre a seleção dos locais de interesse geológico, enquanto a geologia urbana inclui a catalogação e análise das rochas ornamentais utilizadas com elementos arquiteturais em construções históricas. Além disso, o estudo sobre a conservação do patrimônio estabelece técnicas para preservação das edificações históricas, incluídos métodos de documentação e virtualização por meio da modelagem 3D (Innocencio et al., 2021). Por sua vez, o estudo petrográfico no Calcário Lioz fornecerá uma base sólida para a classificação do material pétreo e para a identificação detalhada dos gêneros fossilíferos presentes.

O desenvolvimento de georroteiros aplicados à geologia urbana facilitará a divulgação das geoinformações associadas ao Calcário Lioz em plataformas dinâmicas e imersivas, ampliando sua aplicação em áreas como paleontologia e geoturismo (Eckpar, 2019).

2.2 MAPEAMENTO DO CALCÁRIO LIOZ

O inventário do patrimônio geológico, quando baseados em critérios sólidos e claros, representa o primeiro passo para qualquer estratégia de conservação (Santos et al., 2020). Sendo assim, a fase inicial deste processo consiste na seleção dos locais de interesse geológicos (LIGs) com base em critérios educacionais e turísticos estabelecidos por Bilha (2016) que compreendem as construções históricas da cidade de Manaus relacionada ao Ciclo da Borracha e que apresentam a inserção do Calcário Lioz como elementos arquiteturais e ornamentais. Para isto, foi realizado um mapeamento detalhado das edificações históricas do Centro de Manaus para compreender padrões arquitetônicos, históricos e culturais.

Além disso, o material pétreo catalogado foi alvo de métodos não destrutivos em conformidade com a Lei nº 6.044 de 2022 que estabelece multa para quem picar, destruir, depredar ou danificar um patrimônio público estadual no Amazonas. Neste sentido, foi realizada uma descrição macroscópica das características petrográficas das rochas carbonáticas, com ênfase na identificação dos fósseis e coloração das rochas.

A análise taxonômica dos fósseis e icnofósseis foi desenvolvida levando em consideração padrões morfológicos e técnicas comparativas com estudos já realizados

por outros pesquisadores. Assim, foram descritas características como tamanho, formato, dobras e cavidades internas, sinuosidades, tipos de cortes e grau de preservação (Figura 3).

Nesta etapa, foram essenciais as referências voltadas à identificação de fósseis no Calcário Lioz, como os estudos de Ayoub-Hannaa e Fürsich (2011) sobre fósseis das famílias Nerineidae e Tilostomidae; Allmon (2011), sobre o gênero *Turritella*; Fabbi et al. (2020), sobre Radiolitidae; Philip et al. (2024), que abordam Caprinulidae; e Knaust (2024), com estudos sobre a icnofamília Thalassinoididae. Além disso, os trabalhos de Medeiro e Polck (2017), Polck et al. (2020b) e Silva et al. (2024), que tratam do reconhecimento de fósseis em afloramentos urbanos também foram essenciais.

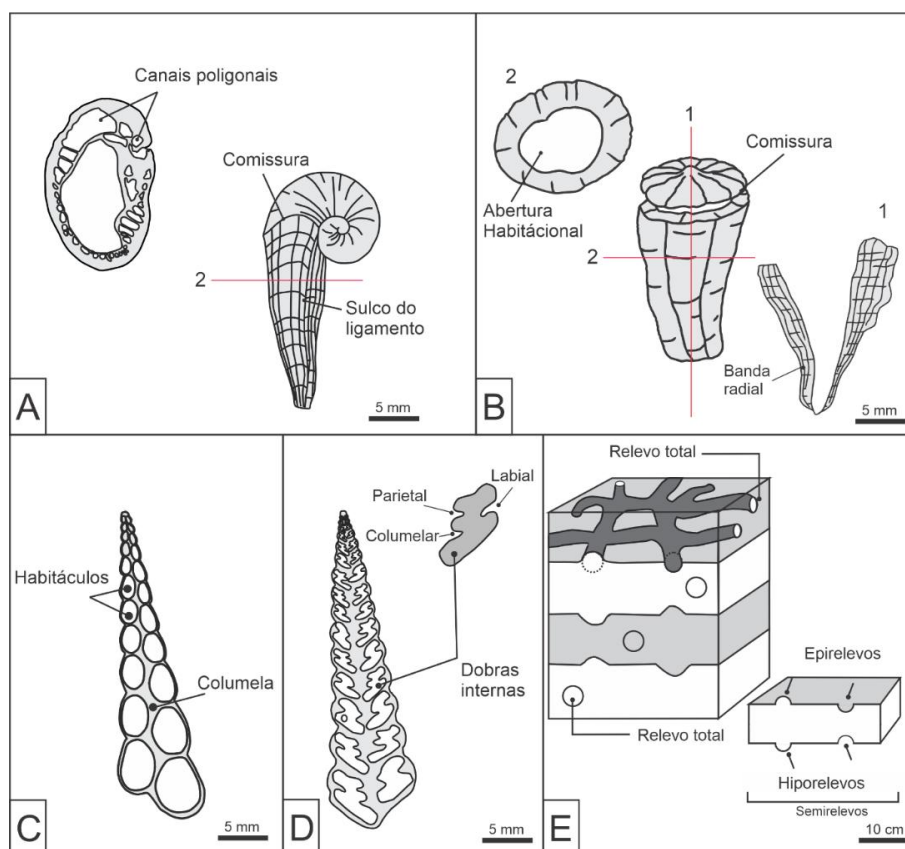
Por sua vez os icnofósseis foram classificados quanto a parâmetros estratônômicos, comportamentais e taxonômicos (Bertling, 2007; Knaust, 2012). As características morfológicas distintivas como arquitetura das galerias dos organismos, o tipo de substrato, as estruturas, o tipo de relevo, largura e diâmetro e o comportamento das construções das galerias foram descritos e interpretados para a identificação dos icnofósseis, conforme estabelecidos por Bertling et al. (2006) e Seilacher (2007).

2.3 AEROLEVANTAMENTO E PROCESSAMENTO COM VANT

Esta proposta metodológica está estruturada em três fases: (1) Planejamento do voo, (2) imageamento e (3) processamento dos modelos tridimensionais. As técnicas e processamentos das imagens foram realizadas de acordo com a proposta Pan et al. (2019) através da utilização do aplicativo *Agisoft Metashpe (User Manual Professional Edition, 2024)*. Na primeira fase, os LIGs selecionados foram alvos de avaliação individual, levando em consideração os critérios que possam afetar a execução do voo, como por exemplo a altura dos edifícios, presença de fiações, presença de animais voadores, distância lateral de outras construções e possíveis implicações climáticas como chuva e ventos fortes no dia do imageamento.

Figura 4 – Modelos esquemáticos e características anatômicas distintivas utilizadas para o reconhecimento do conteúdo fóssilífero registrado no Calcário Lioz. A – Caprinulidae em corte transversal mostrando canais poligonais, comissura e sulco de ligamento. B –Radiolitidae destacando a abertura habitacional e bandas radiais internamente. 1 destaca o corte longitudinal. 2 destaca corte transversal. C – Características internas do habitáculo e columela em concha de *Turritelinedae*. D – Dobras internas

de *Nerinedae*. E – Modelo esquemático para representação das terminologias usadas para descrever traços fósseis com base na classificação de Seilacher 2007. Hipo e Epirelevos côncavos e convexos.



Fonte: Autora

Com base nestas análises, foi elaborado o planejamento do voo manual e automático com o VANT DJI, modelo *Mavic Air 2* com resolução de 5472x3648 megapixels, utilizando o programa *Drone Harmony* que permite a criação do polígono da área, além de configurar os parâmetros de voo e selecionar os tipos de voos que atenda melhor o interesse do local. Os voos foram adaptados conforme as necessidades de cada edificação, com uma altura específica para cada edifício e sobreposição vertical e lateral de até 80% para evitar distorções óticas nos produtos gerados (Carvalho et al., 2023). Em casos de voos manuais para o imageamento de fachadas e elementos arquiteturais, estes foram realizados de forma paralelas e/ou orbitais sem uma precisão rigorosa da sobreposição (Alencar et al., 2020; Carvalho et al., 2023; Diogo e Brekailo, 2022).

A fase de aquisição de imagens consistiu na realização do voo planejado, durante o qual foram capturadas as imagens necessárias para o mapeamento tridimensional das edificações da área de pesquisa. Durante este processo, é essencial operar

o VANT pelo modo visual de linha de visão direta (VLOS), permitindo um controle preciso e uma supervisão assegurada do equipamento durante o voo. Além disso, também foram obtidas imagens panorâmicas de 360°, essencial para criação do roteiro geoturístico virtual.

Após a aquisição de imagens, os dados foram processados no programa *Agisoft Metashpe* seguindo uma série de passos para a criação do modelo tridimensional (Carvalho et al., 2023; *User Manual Professional Edition*, 2024). No primeiro passo foi realizado o alinhamento, no qual o *software* foi configurado para reconhecer e correlacionar os pontos comuns de referências em cada imagem, seguida pela geração de uma nuvem densa de pontos (*Dense Cloud*) e da malha tridimensional. Posteriormente, aplicação das texturas ao *mesh* construído, permitindo uma visualização realista e detalhada de cada modelo, bem como a criação de um modelo de ortomosaico que permite a vista planar da área de estudo. Os produtos tridimensionais criados foram exportados para o *site* comunitário *Sketchfab*, que permite o acesso público, com o objetivo de proporcionar uma experiência imersiva e interativa aos usuários do roteiro.

2.4 CRIAÇÃO DO ROTEIRO

Para a criação do roteiro geoturístico virtual da geodiversidade urbana no Centro Histórico de Manaus foram essenciais os modelos tridimensionais e as imagens panorâmicas. O *software* para esta etapa, Kolor *Panotour*, oferece uma plataforma versátil para a criação de roteiros virtuais imersivos, desenvolvendo uma interface que interliga as imagens panorâmicas, proporcionando uma navegação intuitiva entre os diferentes pontos catalogados (*User Manual*, 2024). Além disso, permite a integração de janelas de visualização dos modelos 3D, desenhos explicativos e informações contextuais para o enriquecimento da experiência do usuário. Por fim, o projeto exportado em arquivos *Hypertext Markup Language* (HTML), foi inserido no servidor *Web* com disponibilidade para internet, possibilitando o acesso dos usuários da comunidade em geral.

CAPITULO 3

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ROCHAS ORNAMENTAIS

A Norma Brasileira de Regulamentação (NBR) 15012:2013 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) define o termo rocha ornamental como “material rochoso natural, submetido a diferentes graus de beneficiamento ou afeiçoamento (bruta, aparelhada, apicoada, flameada, esculpida ou polida), utilizado em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária”. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2018) a designação comercial de uma rocha ornamental possui dois componentes principais: a indicação do tipo da rocha e o nome atribuído a ela. A indicação tipológica reflete a compreensão dos fornecedores sobre a variedade da rocha oferecida ao mercado consumidor, enquanto que o nome atribuído à rocha ornamental se refere ao local de origem e coloração do material. No entanto, atualmente o nome da rocha ornamental não necessariamente faz referência à procedência ou cor, isto foi feito como forma de preservar sua exclusividade.

Comercialmente, as rochas ornamentais são frequentemente divididas em duas categorias principais, mármore e granito, que compõem a maior parte da produção brasileira, com mais de 90% das exportações realizadas pelo estado de Espírito Santos (Governo ES, 2024). Tradicionalmente, o termo mármore é utilizado para descrever o conjunto de rochas calcárias ou carbonáticas, enquanto granito se refere ao conjunto de rochas básicas e siliciclásticas, passíveis de serem desdobradas e beneficiadas para fins ornamentais (Vidal et al., 2005; ABIROCHAS, 2018; Bezerra, 2018). Esta classificação é amplamente reconhecida no setor de rochas ornamentais e baseada nas características geológicas e nas propriedades técnicas de cada tipo de rocha (Vargas et al., 2001; CPRM, 2019). Além dessas categorias principais, outras rochas como ardósias, quartzitos, arenitos, pedra-sabão, basaltos, entre outras, também são consideradas ornamentais, embora tenham uma expressão comercial menor de 30% de produção brasileira em comparação com mármore e granito (ABIROCHAS, 2023).

A União Internacional de Ciências Geológicas - *Heritage Stone Resources* (GHSR), listou mais de 55 rochas patrimoniais ornamentais, reconhecidas

mundialmente com características distintas e valorizadas não apenas por sua beleza estética, mas também por sua relevância histórica em diversas aplicações arquitetônicas ao redor do mundo. Exemplos de rochas patrimoniais ornamentais podem ser citadas pelo Mármore Carrara da Itália, Lavirkito da Noruega, Calcário Lioz em Portugal, dentre outras (Figura 4; Primavori, 2015; Hannibal et al., 2020; Castro et al., 2023; Pereira, 2023).

Figura 5 – Rochas ornamentais do patrimônio da IUGS – *Heritage Stone* reconhecidas até 2024.

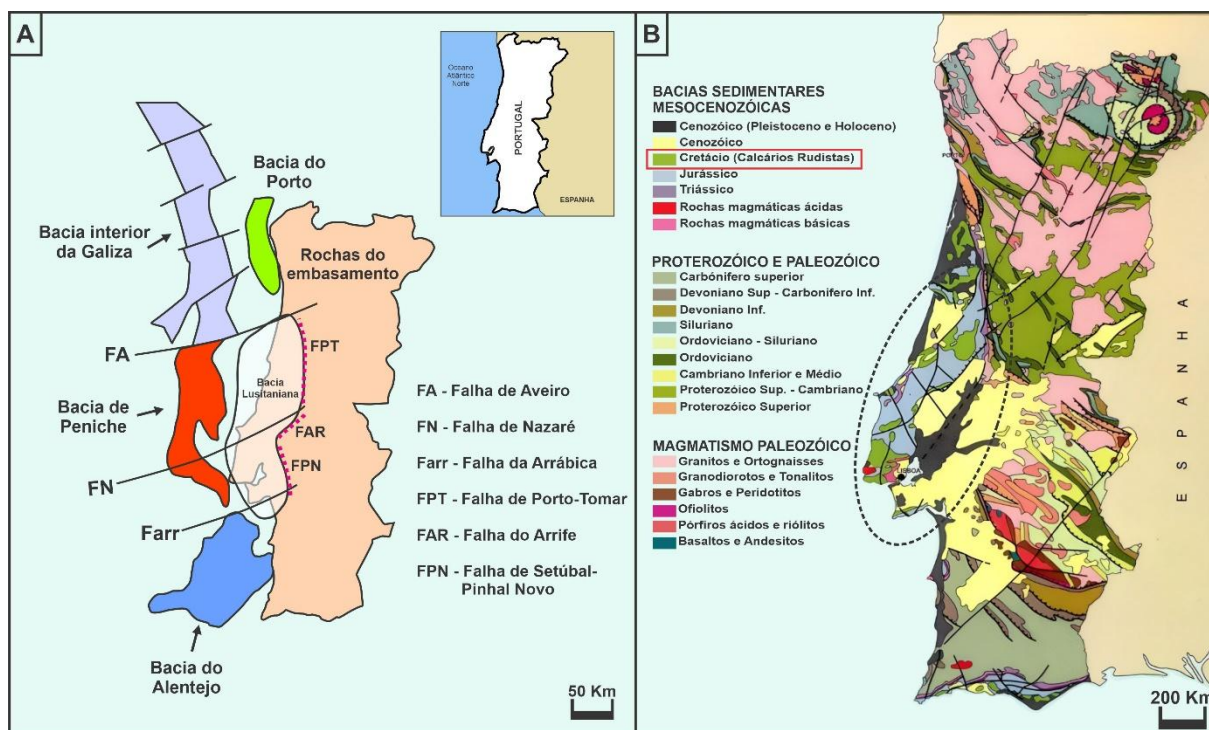


Fonte: Adaptado de Castro et al. (2023) e Ehling et al. (2024)

3.1.1 Bacia Lusitânica

A Bacia Lusitânica representa uma das múltiplas bacias marginais do Atlântico Norte e ocupa uma área de cerca de 20.000 km², tanto em *onshore* quanto *offshore* do território português (Figura 5; Rasmussen et al., 1998; Amazonastur, 2024; Reis et al., 2010). A bacia encontra-se limitada pelas bacias de Peniche a oeste, do Porto na borda norte, Alentejo na borda sul, a leste pela falha Porto-Tomar e sua origem está relacionada com a evolução de um complexo de sistema de grábens de idade Mesozoica desenvolvido na margem ocidental Ibérica e associada com a abertura do Atlântico Norte (Alves et al., 2002; Miranda et al., 2012).

Figura 6 – Mapa de localização e geológico simplificado da Bacia Lusitânica com destaque para o intervalo de idade referente aos calcários Rudistas. A – Disposição geográfica da Bacia Lusitânica e seus limites geológicos. B – Destaque da Bacia Lusitânica e disposição espacial das unidades cronoestratigráficas do território Português.

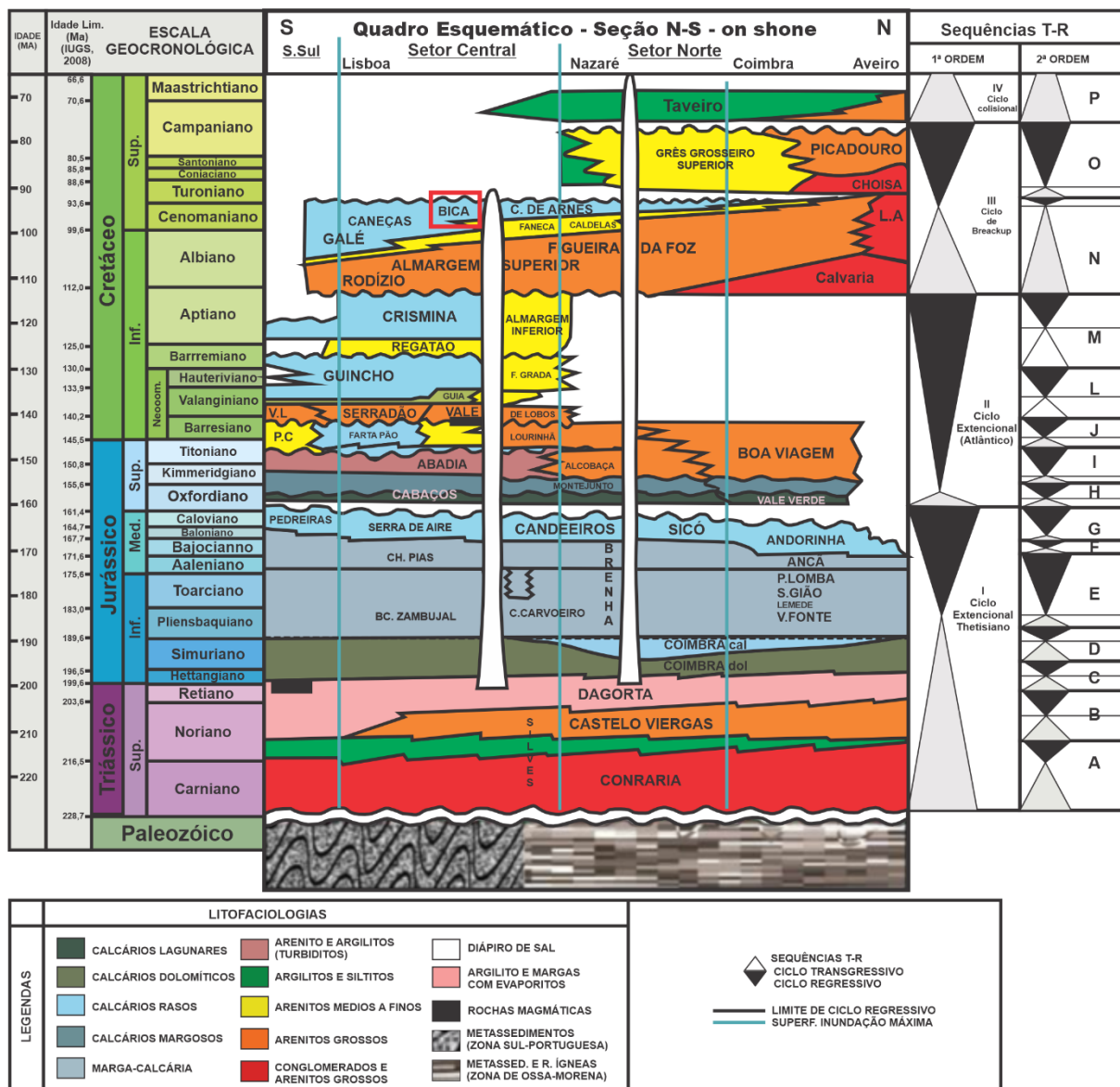


Fonte (A) Adaptado de Kullberg et al. (2013). Fonte (B) Adaptado de Teixeira et al. (2010).

O embasamento da bacia é representado por rochas metassedimentares e ígneas, organizados em dois blocos crustais do Hercíniano: o Maciço Hesperérico a leste e o *Horst* das Berlengas a oeste (Figura 6). Ademais, estruturalmente a porção *onshore* da Bacia Lusitânica é dividida no sentido norte-sul em três setores, norte, central e sul, através de duas falhas supracrustais do embasamento chamadas de Falha Nazaré que separa o Setor do Norte do Central e a Falha Estuário Tejo que separa o Setor Central do Setor Sul.

Por sua vez, o preenchimento sedimentar da bacia é superior a 5 km, com um registro que vai desde o Triássico Superior até o Cretáceo Superior e composto predominantemente por rochas bioquímicas e siliciclásticas, com contribuições de intrusões ígneas e diápiros de sal. Além disso, compreende sistemas deposicionais marinhos, costeiros, fluviais e deltaicos, bem como extensos depósitos de plataformas carbonáticas marinhas rasas associadas a abertura do Mar Thetis (Figura 6; Dinis et al., 2008; Reis et al., 2010; Matos et al., 2011; Miranda et al., 2012; Kullberg et al., 2013).

Figura 7 – Carta estratigráfica da Bacia Lusitânica com a identificação das unidades sedimentares e faciologia organizadas em sequências transgressivas-regressivas de 1ª ordem. Observe o destaque para a Formação Bica (retângulo com bordas vermelha) fonte do Calcário Lioz.



Fonte: Adaptado de Reis et al. (2010).

A estratigrafia da Bacia Lusitânica está organizada em 3 megassequências transgressivas-regressivas de 1ª ordem separadas através de discordâncias regionais, a saber: Triássico Superior – Jurássico Médio, Jurássico Superior – Cretáceo Inferior, e Cretáceo Inferior – Cretáceo Superior. Essas megassequências são divididas em 15 sequências transgressivas-regressivas de 2ª ordem, identificadas pelas letras de A a P (Reis et al., 2010).

A megassequência Triássico Superior – Jurássico Médio está associada ao 1º ciclo extensional Thetisiano da bacia. Suas unidades sedimentares estão depositadas diretamente sobre o embasamento e apresenta limite superior marcado por uma discordância erosiva de idade Caloviana, seguida por um hiato deposicional com duração de cerca de 3 Ma indicando forte controle tectônico (Azerêdo, 1988; Azerêdo et al., 2003). Essa megassequência é composta por sete sequências de 2ª ordem (A a G) e caracterizada por unidades com ambiência ligadas a leques aluviais, evaporitos e plataformas carbonáticas, destacadas por espessas camadas margosas (Rasmussen et al., 1998; Matos et al., 2010). Em direção ao topo da megassequência é constatado um progressivo raseamento dos ambientes sedimentares, com tendência para a implantação de sistemas mais proximais.

A megassequência Jurássico Superior – Cretáceo Inferior encontra-se depositada sobre a discordância Caloviana, apresenta o limite superior demarcado por uma discordância erosiva e seus depósitos estão associados ao 2º ciclo extensional Atlântico da bacia. A retomada da sedimentação relacionada a essa megassequência traduz claramente uma reativação da bacia após o hiato do Caloviano (Diniz et al., 2008; Reis et al., 2010; Pereira et al., 2023). Assim, essa megassequência reúne cinco sequências de 2ª ordem (H a M) marcadas por uma transição de depósitos siliciclásticos de ambiência flúvio-deltaicos por carbonáticos com a formação de barreiras recifais em direção as unidades do topo (Alves et al., 2003; Reis et al., 2010).

Por sua vez, a megassequência Cretáceo Inferior – Cretáceo Superior está ligada a compartimentação da bacia (3º ciclo) e deslocamento do depocentro para os seguimentos norte e central. Compreende unidades sedimentares depositadas diretamente sobre uma discordância erosiva e limitados no topo por uma discordância subaérea relacionada ao soerguimento da bacia e consequente formação de uma paleosuperfície de carstificação das unidades do topo. Essa megassequência engloba as sequências de 2ª ordem (N a O) que destacam a transição de depósitos siliciclásticos de ambiência continental com forte aporte de sedimentos siliciclásticos grossos do Cretáceo Inferior para depósitos de fácies costeiras e carbonáticas (Pais et al., 2006; Reis et al., 2010). Por sua vez, a sequência de 2ª ordem P está relacionada ao último ciclo colisional da bacia (4º ciclo) e caracterizado por movimentos tectônicos do substrato que promoveram o soerguimento dos setores sul e central gerando duas

bacias continentais, as futuras bacias cenozoicas do Mondego e do Tejo (Pais et al., 2006; Rey et al., 2006; Pais et al., 2012).

3.1.2 A Formação Bica

A Formação Bica, unidade sedimentar fonte do Calcário Lioz, perfaz cerca de 50 m de espessura do topo da megassequência Cretáceo Inferior – Cretáceo Superior e suas exposições ocorrem preferencialmente no setor central da Bacia Lusitânica. Essa unidade sedimentar sobrepõe em contato transicional calcários margosos de ambiência lagunar da Formação Caneças e estabelece contato erosivo com rochas basálticas do Complexo Vulcânico de Lisboa, enquanto que lateralmente possui contato interdigital com carbonatos marinhos rasos da Formação Costa de Arnes (Figura 6; Rey et al., 2006; Ribeiro et al., 2017; Romão e Moniz, 2020).

Os litotipos mais comuns na porção basal da unidade são representados por calcários bioclásticos margosos compactos, com cores brancas a avermelhadas, com nódulos de sílex, que tentem a se tornar mais margosos em direção ao topo da unidade, assumindo colorações amareladas, rosadas a esbranquiçadas (Manuppella et al., 2011). Ademais, destacam-se no topo da unidade calcários com bivalves rudistas como os *Caprinulas* e *Radiolites*, frequentemente silicificados, bem como outros invertebrados, tais como foraminíferos, ostracodos, tubos de serpulídeos, esponjas, algas, gastrópodes, bivalves e equinídeos e amonóides (Pais et al., 2006; 2012; Ribeiro et al., 2017). Essa associação paleofaunística aponta para atividade de organismos que contribuíram para a formação de plataformas carbonáticas nas margens do Oceano Tétis, associados a ambientes recifais ou lagunares, em mares rasos tropicais, sob temperaturas que variavam entre 20 e 36 °C, ao longo do Cretáceo Médio (Sass e Bein, 1982; Masse et al., 1996; Follmi et al., 2006).

Em Oeiras, Portugal, Jordão e Cardoso (2024) avaliando petrograficamente os carbonatos do topo da Formação Bica propuseram três principais microfácies. A primeira é representada por *mudstone* a *wackestone* calcíticos com contribuição de muscovita e nódulos carbonáticos, a segunda por *wackestone* a *packstone* com matriz calcítica e bioclastos preenchidos por quartzo macrocristalino a fibroso, e a terceira composta por *wackestone* a *packstone* calcíticos com predominância de foraminíferos. Ainda segundo os autores, nas microfácies descritas a preservação dos bioclastos por cimento silicoso macrocristalino a fibroso foi fundamental para a preservação dos

bioclastos. Assim, o posicionamento paleogeográfico dos carbonatos da Formação Bica, bem como seu conteúdo fóssilífero e a variedade de processos diagenéticos nos carbonatos refletiram no desenvolvimento de texturas que dão origem as nomenclaturas comerciais do Lioz (Hernández 2011).

3.1.3 O Calcário Lioz

Em conjunto com Mármore Estremoz, Brecha da Arrábida, Calcário Ança e Granito do Porto, o Calcário Lioz representa uma das cinco rochas do patrimônio de Portugal. Essa rocha é caracterizada geologicamente por um calcário calcítico microcristalino com exposições nas cidades de Lisboa, Sintra, Oeiras, Paço D'Arcos, Lameiras e Pêro Pinheiro, que são exploradas historicamente para obtenção de material pétreo local (Carvalho et al., 2003, Moura et al., 2023; Ehling et al., 2024). Esta rocha possui um conteúdo fóssilífero de invertebrados marinhos de bivalves, gastrópodes e icnofósseis de 120 milhões de anos que imprime um aspecto textural decorativo à rocha, bem como possui resistência para edificação de estruturas, que refletem em sua ampla utilização como material de construção e para o seu uso preferido na ornamentação de igrejas e monumentos oficiais, tornando-a a Pedra Real em Portugal ao longo dos séculos XVII e XVIII (Lopes, 2017; Silva, 2017; 2019).

Segundo Mozer et al. (2022), o Calcário Lioz é explorado desde o império romano devido suas grandes jazidas em Portugal. Sua importância como pedra real portuguesa foi reconhecida durante o reinado Dom João V, sendo amplamente utilizada em diversas construções na “capital do império”. Atualmente, Lisboa reúne a maior concentração de Lioz em edificações em razão de um desastre natural que ocorreu em 1.755 envolvendo um terremoto, seguidos de um tsunami e incêndio generalizado. Nesse sentido, devido disponibilidade natural de jazidas de Lioz e a reconhecida utilização para construções, foi empregada em larga escala nos projetos de reconstrução da capital de Portugal (Lopes, 2017).

O Calcário Lioz não apenas desfrutou de uma importância econômica para o império português, mas também transcendeu fronteiras, adquirindo um valor cultural profundo, especialmente nos antigos territórios ultramar. Durante a era da expansão marítima no século XVI, esta rocha foi amplamente empregada em suas antigas colônias, como Brasil, Cabo Verde, Angola, Moçambique, Índia, China, Timor Leste, dentre outras (Tabela 1; Lopes, 2016a; 2016b; Silva e Pereira, 2022). No contexto do Brasil,

vale ressaltar que, devido ao “Pacto Colonial” firmado imposto por Portugal entre os séculos XVI ao XIX, o comércio direto com outras nações era proibido, se restringindo apenas às transações com Portugal (Mozer et al., 2022). Essa política resultou no transporte de materiais pétreos, como o Calcário Lioz, para o Brasil como lastros de navios. No entanto, é importante ressaltar que a demanda desta rocha não se limitava apenas às necessidades comerciais, assim muitas encomendas eram realizadas por particulares e ordem religiosas, impulsionando ainda mais o uso e apreciação do Calcário Lioz nas construções coloniais brasileiras (Lunardi et al., 2016; Del Lama e Costa, 2022).

Tabela 1 – Locais e modos de ocorrências do Calcário Lioz nas antigas colônias portuguesas e outros países. CV – Cabo Verde; CN – China; IN – Índia.

Localidade	Forma de Ocorrência	Referências
Santiago - CV	Pedras de cantaria para monumentos de defesa e proteção.	Borges (2020); Semedo (2012)
Angola	Edificações religiosas.	---
Ilha de Moçambique	Edifícios e calçamentos.	Song e Chen (2022)
Macau - CN	Calçamentos.	Zandonai e Amaro (2018)
Goa - IN	Calçamentos.	Fan e Chen (2022)
Timor Leste	Calçamentos.	---
Guiné Bissal	Calçamentos.	---
São Tomé e Príncipe	Calçamentos.	---

No Brasil, cidades como Belém, Pernambuco, Salvador, Rio de Janeiro, Maranhão, Manaus, São Paulo, Espírito Santo, Paraná, Rio Grande do Norte, Ceará, dentre outras, ganharam singularidade com a utilização do Calcário Lioz onde foram inseridos nas pavimentações de calçadas, em construções e decorações de monumentos dessas cidades (Tabela 2; Miranda, 2013; Lunardi et al., 2016; Polck et al., 2020a; Cassaro, 2021; Mucivuna et al., 2021; Oliveira e Machado, 2021; Oliveira, 2024; Nascimento e Silva, 2021; Sanjad et al., 2021). O Lioz português nas edificações construídas é versátil e abrange desde pequenas contribuições como soleiras de portas, até imponentes colunas em frontispícios.

Tabela 2 – Capitais de estados brasileiros e modos de ocorrências do Calcário Lioz.

Localidade	Forma de Ocorrência	Referências
Belém - PA	Soleiras, Portais de entrada, Fachadas, Base de Relógios, Pia Batismal e Lápide de Túmulos.	Sanjad et al. (2021)
Currais Novos - RN	Monumentos e Corrimão.	Nascimento e Silva (2021)
Fortaleza - CE	Colunas.	Moura e Matos (2021)
Ilha do Mel - PR	Objetos Decorativos	Liccardo e Guimarães (2021)
Manaus - AM	Soleiras, Portais de Entrada, Pisos, Paredes, Calçamentos, Escadarias, Colunas, Objetos Decorativos, Meio-Fio, Pias de água benta, altares, sacrários e Monumentos.	Oliveira et al. (2024); Lima et al. (2021b)
Rio de Janeiro - RJ	Portais de Entrada, Pisos, Paredes, Colunas, Objetos Decorativos, E Monumentos.	Mozer et al. (2022); Medeiros e Polck (2017)
São Luis - MA	Portais de Entrada, Fachadas, Pisos, Paredes, Escadarias, Colunas, Objetos Decorativos e Muros	Miranda (2013)
Salvador - BA	Pisos, Paredes, Objetos Decorativos, Fachadas e Muros.	Oliveira e Machado (2021)
São Paulo - SP	Pisos, Móveis Sacros, Lápides De Túmulos.	Del Lama e Costa (2022)
Vila Velha - ES	Portais De Entrada e Colunas.	Cassaro (2021)

Em Salvador, por exemplo, o Lioz desempenhou um papel decorativo notável, revestindo o piso da capela-mor do convento de São Francisco, criando um efeito alcatifado (Figura 7 A; Oliveira e Machado, 2021). Já em Belém, essa rocha foi utilizada no embasamento do frontispício da Catedral de Sé, além de ornamentar o arco do portal de entrada (Figura 7 B; Sanjad et al., 2021). Por sua vez, em São Luís, pavimentos de escadarias em Lioz adornam as vielas históricas, enquanto em Manaus, o Calcário Lioz foi empregado nos calçamentos que circundam os edifícios históricos, agregando um toque de charme e história às ruas da cidade (Figura 7 C e D; Lima et al., 2021b; Nascimento et al., 2014).

3.2 MACROFÓSSEIS DA FORMAÇÃO BICA

Durante o Cretáceo (145 – 66 milhões de anos), intervalo geológico de destaque desta pesquisa, grande parte do território português estava submerso sob um mar raso proporcionando condições favoráveis para a proliferação de invertebrados marinhos, com destaque para os bivalves e gastrópodes do Filo *Mollusca* (Callapez, 2008;

Carvalho, 2010; Carvalho et al., 2010; Horikx et al., 2014; Figueiredo et al., 2016). Por sua vez, estudos paleontológicos na Formação Bica indicam que os principais macrofósseis encontrados são representados por gastrópodes, bivalves, equinídeos, cefalópodes, além de tubos de serpulídeos e esponjas (Pais et al., 2006; Skelton, 2013; Jordão e Pimentel, 2021). A seguir serão destacadas as principais características de bivalves e gastrópodes registrados.

Figura 8 – Ocorrências de Calcário Lioz em edificações brasileiras. A – Pavimento “alcatifado” combinado com Lioz na capela-mor do convento de São Francisco, Salvador. B – Fachada principal na qual se observa o uso do Lioz no embasamento, na base do relógio de ambas as torres, no frontão e nos três vãos centrais na Catedral de Sé em Belém. C – Viela Catarina Mina com destaque para a escadaria ornamentada com lajotas de Calcário Lioz. D – Calçadas externas e paralelepípedos de Calcário Lioz no Teatro Amazonas. Setas brancas indicando as ocorrências de Calcário Lioz.



Fonte (A) Oliveira e Machado 2021; (B) Sanjad et al., 2021 (C); Nascimento et al., 2014; (D) Lima et al., 2021b

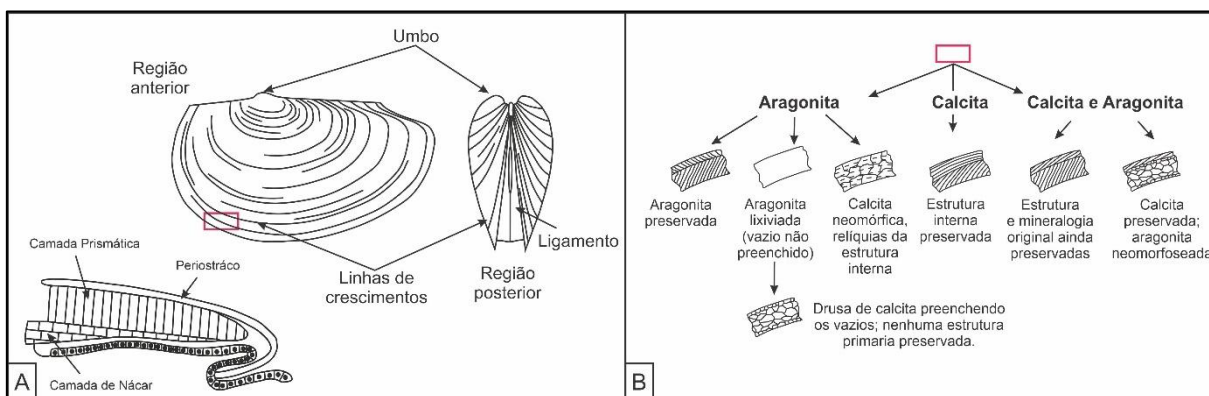
3.2.1 Bivalvia

O registro fóssil desta classe é conhecido desde o Cambriano Inferior até o Recente e, apesar de terem atingido seu auge no Mesozoico e Cenozoico, por apresentarem um amplo registro temporal não são considerados bons indicadores estratigráficos (Morton e Machado, 2019). Esses organismos têm um hábito de vida

predominantemente bentônico, ocupando substratos não consolidados e duros, sendo abundantes em ambientes marinhos, de águas salobras, rasas ou abissais. Além disso, muitas espécies marinhas que vivem em águas turbulentas da zona de praias têm conchas espessas, enquanto espécies que vivem em águas mais calmas e profundas possuem conchas mais delgadas (Carvalho e Babinski, 1985; Leme, 1995).

Estes moluscos são caracterizados pela simetria bilateral, cujo corpo inteiro é geralmente envolvido por uma concha composta por duas valvas articuladas pela região dorsal (Figura 8 A). Apresentam uma região cefálica extremamente reduzida, sem presença de cabeça, tentáculos, olhos e rádula (Canesi et al., 2012; Pimentel et al., 2020; Vereycken e Aldridge, 2023). A anatomia corporal dos bivalves inclui o manto e músculos paliais, brânquias, conjunto pé/massa visceral e os músculos adutores. Ademais, a estrutura interna da concha é representada por três regiões, a camada de Nácar, a camada prismática e o periostráco, com composição carbonática, em seus polimorfos menos estáveis (aragonita) e mais estáveis (calcita pobre em Mg < calcita rica em Mg).

Figura 9 – Esquemas morfológicos da classe Bivavia. A – Padrões morfológicos externos e internos da concha de bivalves. Modificado de Scholle Ulmer-Scholle (2003). B – Possíveis padrões de preservação diagenética de acordo com a mineralogia original da concha.



Fonte: Modificado de Tucker (1981).

Em camadas compostas por polimorfos menos estáveis, a aragonita é completamente dissolvida e posteriormente substituída por cimento calcítico. Além disso, a aragonita também pode ser recristalizada pela calcita e preservar pequenas relíquias da estrutura original. Já para as conchas dos bivalves originalmente compostos por calcita é comum a preservação das suas estruturas originais foliáceas e prismáticas

(Figura 8 B; Leme, 1995; Scholle Ulmer-Scholle, 2003; Jacob et al., 2008; Lopes et al., 2010; Tucker e Brito, 2017).

Dentro da classe Bivalvia, existem seis subclasses catalogadas: (1) Palaeotaxodonta, (2) Cryptodonta, (3) Pteriomorphia, (4) Palaeoheterodonta, (5) Heterodonta e (6) Anomalodesmata. Entre essas subclasses, os rudistas (Heterodonta) foram responsáveis por construções recifais durante o Cretáceo (Leme, 1995; Terra et al., 2010).

- Rudistas

Os rudistas são um grupo extinto de bivalves da subclasse Heterodonta que dominaram as águas tropicais rasa, se tornando os mais importantes construtores de recifes durante o Mesozoico (Hernández, 2011). Esses organismos sésseis pertencentes a Superfamília Hippuritacea, dominaram plataformas carbonáticas marinhas rasas de baixa latitude e foram usados em estudos para reconstruções paleoambientais, especialmente no Cretáceo (Masse et al., 2009; Schmitt et al., 2022).

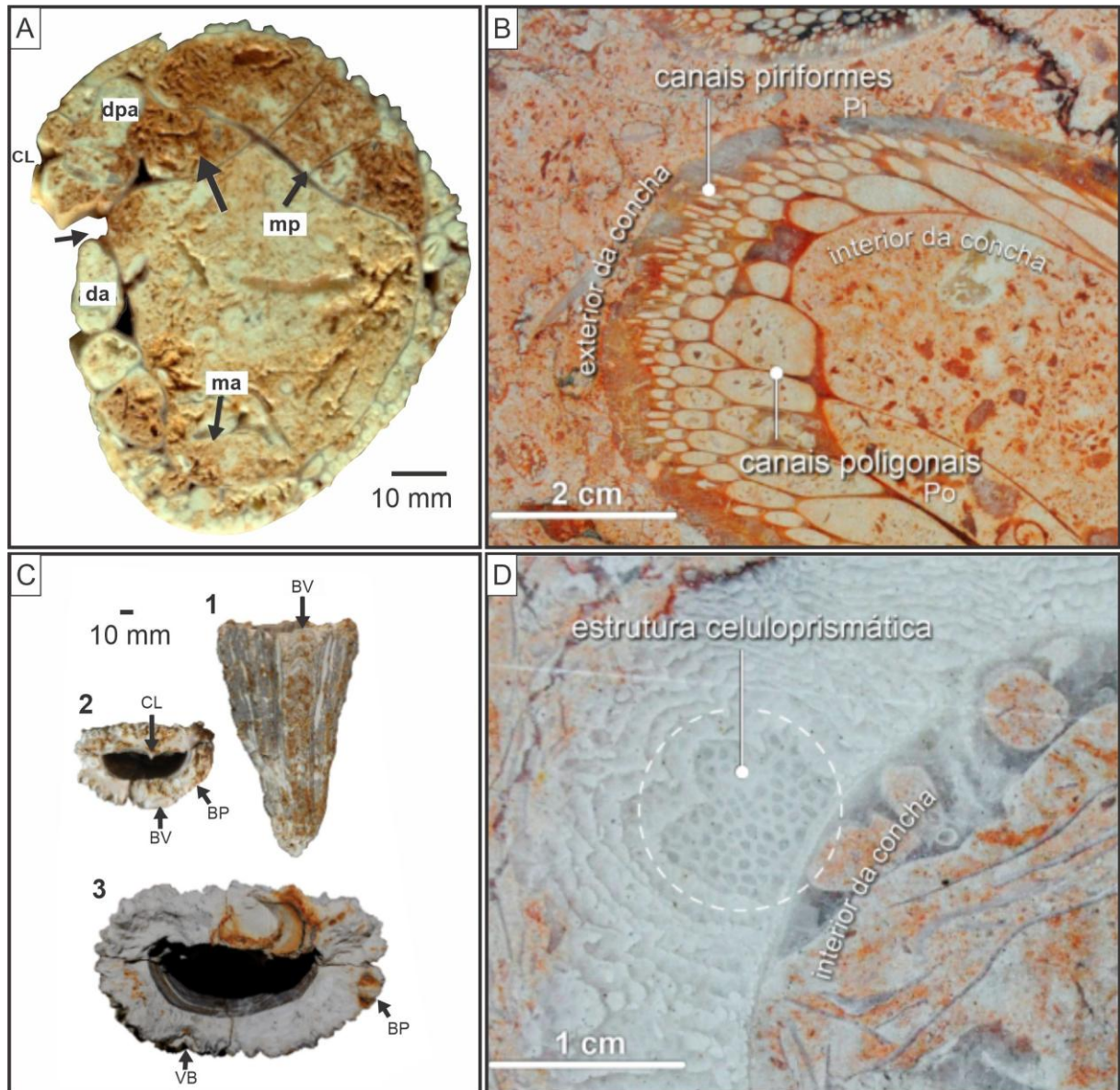
Os rudistas estão organizados em dois morfotipos: recumbentes ou agarrados. Entre eles, se destacam as famílias *Caprinulidae* e *Radiolitidae* por serem importantes organismos bioconstrutores no Cretáceo (Figura 9). Os gêneros mais comumente encontrados nas plataformas carbonáticas do Lioz são o *Caprinulas* e os *Radiolites*, caracterizados por conchas com valva inferior estreita e alongada e uma valva superior enrolada (Skelton e Gili 1991; Philip et al., 2024).

As conchas dos *Caprinulas* têm formatos cônicos alongados com um grau de enrolamento semelhante a “chifres de carneiros”. Sua estruturação interna possui mióforos, bandas radiais e cavidades de canais polígonos e piriformes (Figura 9 A e B; Silva e Pereira, 2023). Em contraste, os *Radiolites* são capazes de construir conjuntos de conchas densamente erguidas, com dois tipos de valvas, uma cônica fixada ao substrato e outra valva opercular aplainada ou levemente arqueada. Eles possuem uma concha espessa e maciça, com uma estrutura celuloprismática fina nem sempre evidente (Figura 9 C e D; Ozer e Ahmad, 2016; Silva e Pereira, 2023).

As conchas dos rudistas seguem um *design* básico semelhante, com uma camada externa composta de calcita prismática fibrosa e pelo menos uma, ou às vezes duas, camadas internas de aragonita. Durante o processo de fossilização, a aragonita

geralmente é substituída por calcita diagenética. Por outro lado, a camada externa de calcita é mais resistente ao processo diagenético preservando partes de suas estruturas originais (Al-Aasm e Veizer 1986; Schmit et al., 2022).

Figura 10 – Bivalves rudistas de Caprinulas e Radiolites. A – Corte transversal de Caprinula com detalhe da morfologia interna da concha. (CL) Crista de ligamento; (dpa) dente posterior e alvéolo; (da) dente anterior e alvéolo; (ma) mióforo anterior; (mp) mióforo posterior. Detalhe da morfologia interna da concha de um Caprinula com canais piriformes e poligonais em pavimento de Calcário Lioz. Traços morfológicos internos e externos de bivalve Radiolites. (1-3) vistas superior e lateral da válvula direita, mostrando o posicionamento da crista ligamentar (CL), das bandas radiais ventral (BV) e posterior (BP). Detalhe da concha de Radiolites mostrando a estrutura celuloprismática em um pavimento de Calcário Lioz.

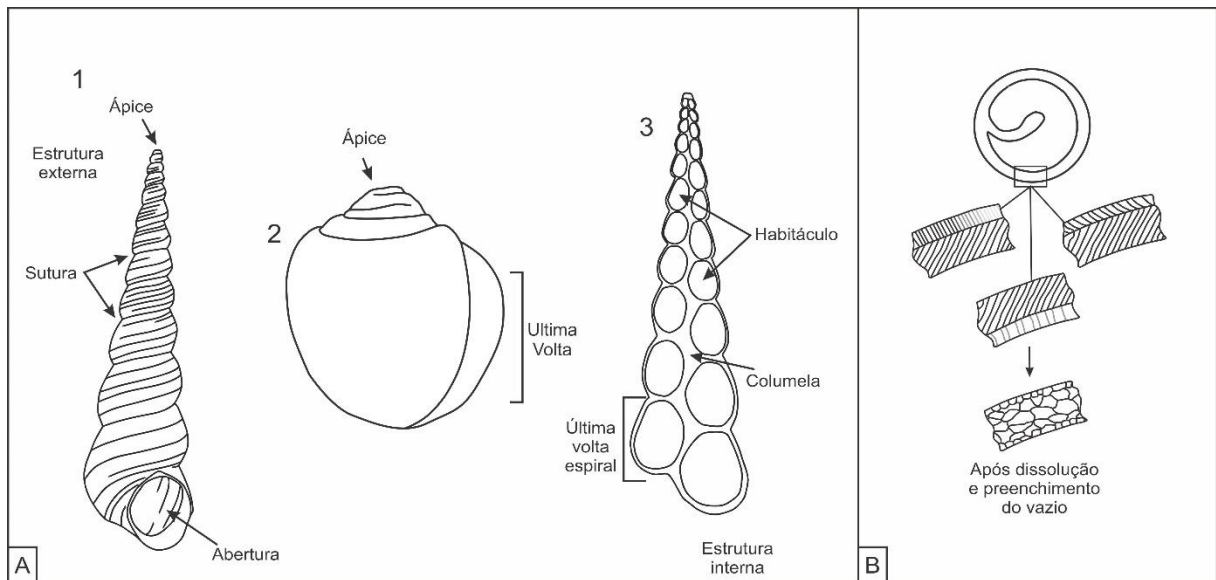


Fonte (A) Ozer e Ahmand (2016); (B) Silva e Pereira (2023); (C) Zimmerman et al. (2023); (D) Silva e Pereira (2023).

3.2.2 Gastropodas

Os fósseis da classe Gastropodas apresentam registros desde o período Cambriano e são os mais diversos do Filo Mollusca, com representantes em ambientes desde águas continentais, salobras e marinhas (Absalão et al., 2003; Stoger et al., 2013). As conchas desses organismos podem ter formatos cônicos simples plano espiral ou ter o corpo vertical elevado até o ápice. As conchas em espiral são compostas pela abertura, suturas, voltas e dobras que se enrolam em torno de um membro de suporte central, a columela, que aumenta a resistência estrutural da concha e fornece um ponto de fixação para as partes moles através do musculo columelar (Brown, 2001). Por sua vez, o corpo vertical pode variar de conchas planas (cônicas), moderadamente infladas (subglobosas) e quase circulares (globosas) (Figura 10; Cuezze, 2009; Geiger, 2006; Dennis et al., 2021).

Figura 11 – Principais características anatômicas da concha de gastrópodes. A – Padrões morfológicos externos e internos da concha de gastrópodes em espiral (1), globosa (2) e (3) espiral interna com destaque para os elementos das dobras columelares. Estruturas típicas mais proeminentes da parede aragonítica dos gastrópodes.



Fonte: (A) Scholle Ulmer-Scholle (2003); Ayoub-Hannaa e Fursich (2011); (B) Scholle Ulmer-Scholle (2003).

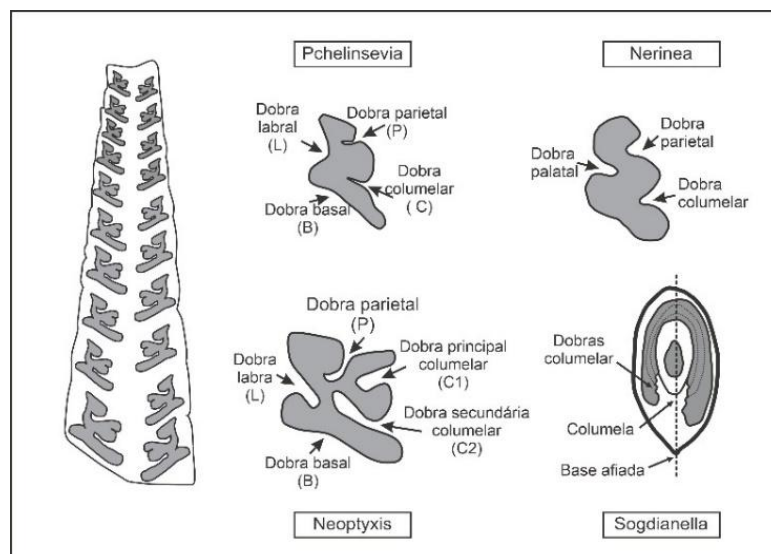
Internamente, as conchas dos gastrópodes possuem uma camada externa fina de material orgânico e uma camada espessa de carbonato, geralmente composta apenas de aragonita, que perde toda microestrutura interna durante a diagênese. No entanto, algumas famílias apresentam conchas com camadas separadas de calcita e aragonita. Quando presente, a camada de calcita é normalmente mais espessa do

que a camada de aragonita (Scholle Ulmer-Scholle, 2003; Paula e Silveira, 2009; Alharbi e El-Taher, 2017).

As dobras dos gastrópodes são classificadas com base na sua posição dentro da concha: columelares ao longo da columela, parietais na parede parietal, palatinas no lado oposto à abertura e basais próximas a base da concha. Essas dobras variam em números de voltas, formas e disposição, sendo características importantes para a identificação e classificação de diferentes gêneros e espécies (Kollmann, 2014).

Dentre os gastrópodes, os gêneros mais comumente encontrados nas plataformas carbonáticas do Lioz são os *Tylostoma Turritelas*, *Nerineas*, *Neoptyxis*, *Sogdianella* e *Pchelinsevia* (Sharpe, 1849; Calzada, 1992; Hessel e Barbosa, 2005; Ayoub-Hannaa, 2011; Calzada e Corbacho, 2014; Raisossadat e Noori, 2016). As conchas desses organismos possuem aspectos semelhante quanto ao formato cônico alongado, com exceção do gênero *Tylostoma* com concha subglobosa. O gênero *Sogdianella* é caracterizado por um formato elíptico em corte transversal com uma base afiada, e uma columela que forma um ângulo com o eixo e, apresenta na extremidade inferior três dobras columelares. Os demais gêneros (*Nerineas*, *Neoptyxis* e *Pchelinsevia*) compartilham formato cônico alongado, se diferenciando pelas dobras internas. *Neoptyxis* possui cinco dobras, *Pchelinsevia* apresenta quatro e *Nerineas* apenas três dobras (Figura 11).

Figura 12 – Características morfológicas das dobras columelares dos gêneros *Neoptyxis* (cinco dobras), *Pchelinsevia* (quatro dobras), *Nerinea* (três dobras), *Sogdianella* (Dobra alongada em torno do eixo com três dobras secundárias na borda inferior).



Fonte: Ayoub-Hannaa e Fursich (2011). Fonte: Killimann (2014).

3.2.3 Icnofósseis

Icnofóssil é uma estrutura recorrente da atividade de um organismo individual (ou organismos homotípicos) que modificam o substrato sedimentar. Além de registrar atividades biológicas, são úteis para reconstruir condições paleoambientais, fornecendo pistas sobre processos sedimentares no passado. Além disso, o estudo das trilhas, tocas e perfuração pode fornecer bases científicas valiosas de forma multidisciplinar e contribuir para a compreensão da ecologia e do comportamento animal (Bertling et al., 2006; Hembree, 2018; Toom et al., 2019).

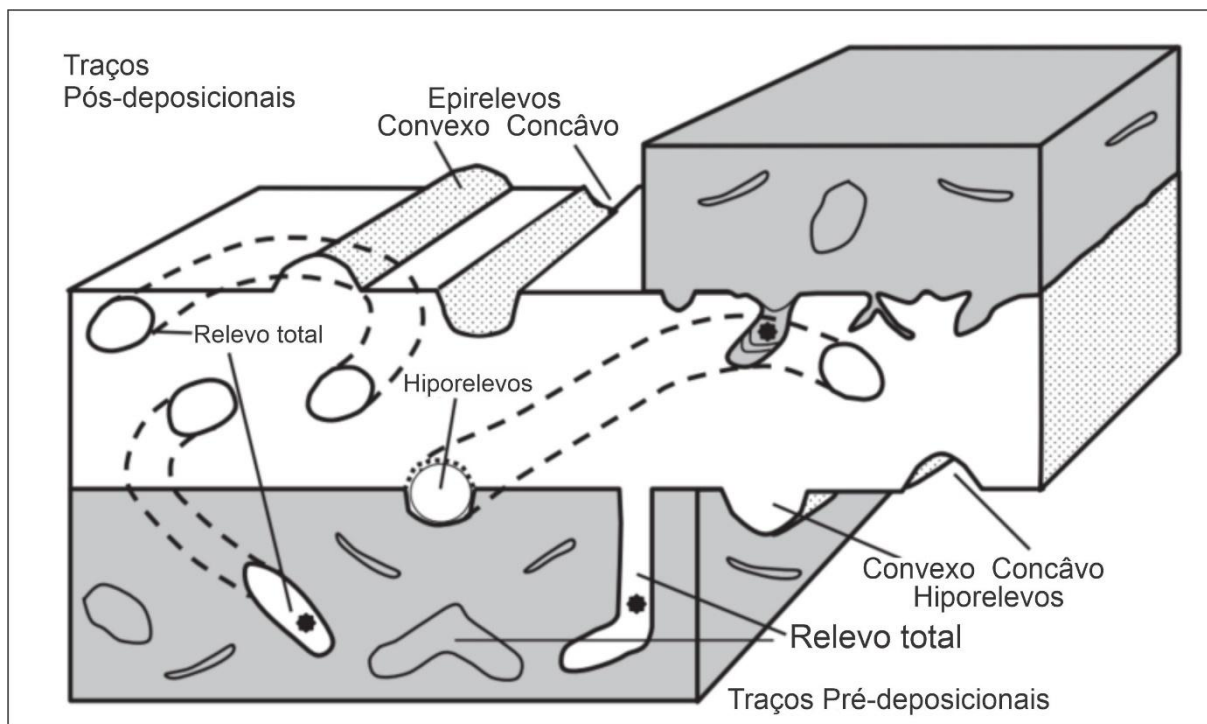
Os icnofósseis compreendem uma variedade de estruturas que incluem bioturbações, bioerosão, coprólitos, ovos e nidificações. As bioturbações podem ser produzidas por organismos tanto continentais quanto marinhos na forma de rastros, escavações e tuneis, tanto verticais quanto horizontais nos sedimentos. Essas estruturas podem ser interpretadas como resultado de atividades de alimentação, reptação, habitação e/ou descanso, muitas vezes resultando na perturbação ou destruição das estruturas sedimentares pré-existentes (Carvalho, 2010; Bertling et al., 2006; Guevara et al., 2024).

Os traços fósseis podem ser produzidos antes, durante ou após a deposição do substrato, o que significa que podem ser tanto pré-deposicionais quanto pós-deposicionais. Os traços pré-deposicionais podem ser preservados como estruturas de relevo total (endorelevos) ou como hiporelevos côncavo ou convexo no limite entre as camadas. Já os traços pós-deposicionais podem ser preservados em relevo total dentro das camadas ou na lama subjacente como hiporrelevos ou epirelevos (Figura 12; Savrda, 2007; Carvalho, 2010).

Os icnofósseis são identificados com base em parâmetros estratonômicos, comportamentais e taxonômicos. Critérios como a arquitetura das galerias, o tipo de substrato, as estruturas, o tipo de relevo, largura e diâmetro das galerias, são fundamentais para sua identificação (Bertling et al., 2022; Bertling et al., 2006; Bertling, 2007; Seilacher 2007; Knaust, 2012). Na Bacia Lusitânica, os icnofósseis registrados na Formação Bica correspondem predominantemente a traços atribuídos a *Thalassinoides* e raras ocorrências de *Rhizocorallium*. Aparentemente, os organismos produtores de *thalassinoides* podem ter substituído quase que completamente os produtores de

rhizocorallium em seus habitats (Carvalho et al., 2010; Duarte et al., 2014; Carvalho, 2016).

Figura 13 – Representação esquemática da relação entre traços pós e pré-deposicionais e modos de preservação toponômicos.

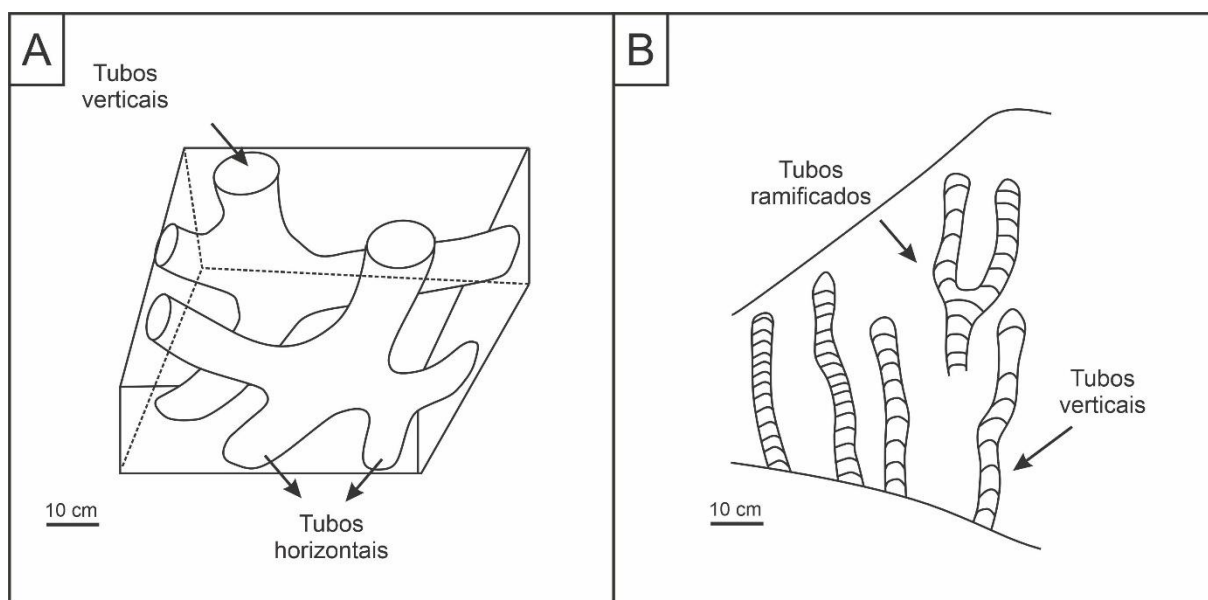


Fonte: Savrda (2007).

O icnogênero *Thalassinoides* é caracterizado por um sistema de tocas ramificadas que constitui um labirinto horizontal e verticais lisos, apresentando ramificações em forma de T e Y (Figura 13). O diâmetro das tocas pode variar de alguns milímetros a vários centímetros. Essas estruturas são encontradas em uma ampla variedade de substratos, desde macios até firmes, sendo comumente associadas às icnofácies Cruziana e Glossifungites em carbonatos marinhos rasos (Lii, 2001; Ekdale e Bromley, 2003; Knaust, 2024). Por sua vez, o icnogênero *Rhizocorallium* é caracterizado por galerias em forma de “U”, horizontais ou oblíquos em relação a estratificação. Dentro do icnogênero *Rhizocorallium*, duas icnoespécies são diferenciadas: *Rhizocorallium jenense* e *Rhizocorallium commune*. A *Rhizocorallium jenense* se caracteriza por ser uma toca de solo firme, de tamanho pequeno, inclinada e fortemente arranhada. Já a *Rhizocorallium commune* consiste em tocas extensas, horizontais, com tubos marginais ocasionalmente arranhados e um tuneis ativamente preenchido entre os tubos. Esses organismos se alimentavam tanto da matéria orgânica presente no sedimento

quanto por filtração de partículas suspensas na água (Fursich, 1974; Cereceda e Poire, 2014; Knaust, 2013).

Figura 14 – Padrões estruturais de icnogêneros de Thalassinoide e Rhicorallium. A – Tubos ramificados com padrões verticais e horizontais de Thalassinoide. Fonte Carvalho et al. (2007). B – Tubos paralelos verticalizados de Rhizocorallium, com destaque para a formação de tubos conectados em forma de “U”.



Fonte: Fursich (1974).

3.3 AEROLEVANTAMENTO COM VEICULO AÉREO NÃO TRIPULADO - VANT

3.3.1 Definição de VANTs

O termo VANT é uma abreviação usada para designar Veículos Aéreos Não Tripulados. São projetos genéricos de aeronaves destinadas a operar a distância, sem a necessidade de um piloto a bordo. O uso deste termo no Brasil também é associado a identificação de Drones, que significa “zangão” na tradução direta para a língua portuguesa (Klemas, 2015; Stöcker et al., 2017; DECEA, 2019). Segundo o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA, 2019), a sigla VANT é utilizada para se referir a todo e qualquer equipamento que acesse o espaço aéreo sem que haja a presença de um ser humano a bordo, enquanto o termo “Drone” é utilizado de forma mais informal.

Embora seja comum o uso da sigla VANT, não há uma padronização para sua definição. A expressão original vem do inglês, Unmanned Aerial Vehicles (UAV), mas termos como Remotely Piloted Vehicle (RPV), Remotely Operated Aircraft (ROA), Remote Controlled Helicopter (RC-Helicopter), Unmanned Vehicle Systems (UVS) e

Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), também são usados. Essas “maquinas voadoras” começaram a ser utilizadas em 1990 para fins militares e atualmente essa tecnologia evoluiu e expandiu para áreas civis, como mapeamentos geológicos, monitoramento ambiental, inspeção de infraestruturas, entre outras. (Eisenbeiss, 2004; Newcome, 2004; Nex e Remondino, 2014; Silva et al., 2018).

3.3.2 Regulamentação no Brasil

No Brasil, existem três órgãos responsáveis pela regulamentação de Drones: Agencia Nacional de Telecomunicações (ANATEL), responsável pela homologação de Drones (RPA); Agencia Nacional de Aviação Civil (ANAC), responsável pelo registro das aeronaves e; o Departamento de Controle de Espaço Aéreo (DECEA), que regula o acesso ao espaço aéreo brasileiro para RPAs através da legislação ICA 100-40 (ANAC, 2021; DECEA, 2019; ANATEL, 2023). O Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017 complementa as normas operacionais estabelecidas pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) (ANAC, 2021).

De acordo com a legislação ICA 100-40 (DECEA), as operações de voos de Drones são classificadas em cinco formas: BRLOS, BVLOS, RLOS, VLOS e EVLOS, conforme Tabela 3 (DECEA, 2019). Diante das normas estabelecidas pelos órgãos de regulamentação, a ANAC utiliza o termo Drones e classifica em duas categorias: (a) aeromodelismo, que correspondem a aeronaves não tripuladas, pilotadas remotamente, usadas para recreação ou competições. Nesse caso, aeromodelos com até 250g não precisam de cadastros na (ANAC); (b) Drones (RPA) que correspondem a aeronaves remotamente pilotadas, com finalidades corporativas, comerciais ou experimentais. Essa categoria (RPA) é dividida em três classes seguindo o critério de peso máximo de decolagem, a saber: Classe 3, até 25 kg; Classe 2, entre 25 e 150 kg e; Classe 1, maior que 150 kg (ANAC, 2021).

Além dessas classes, a ANAC atribui regras em comum para as três classes, como por exemplo: ter 18 anos, possuir seguro com cobertura de danos a terceiros, fazer avaliação de risco operacional, operar em áreas distantes de terceiros ou no mínimo, a 30 metros de distância horizontal, além de operar apenas um RPA por vez (DECEA, 2019; ANAC, 2021).

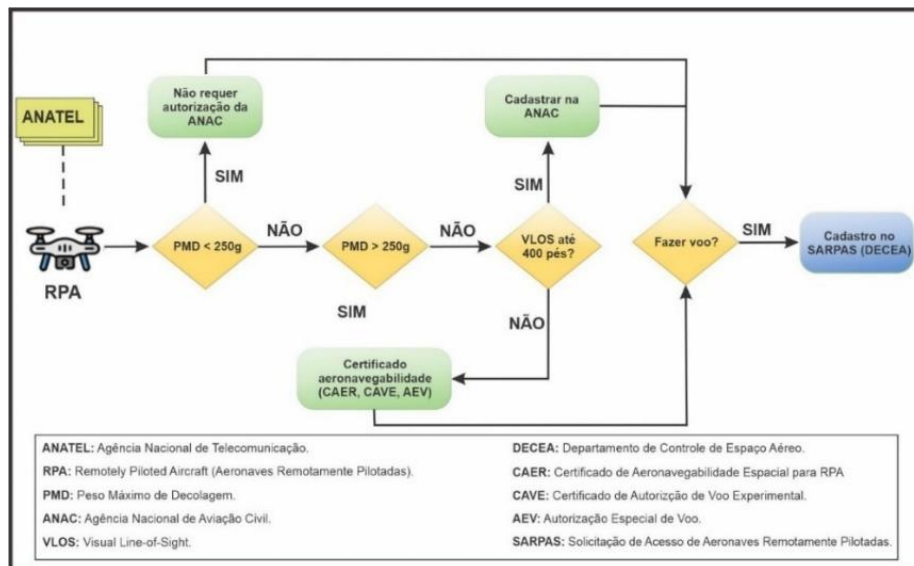
Tabela 3 – Regras de acesso ao espaço aéreo segundo a legislação ICA 100-40. Fonte: DECEA (2019).

Operação de Voos	Especificações
Operação além da linha de visada rádio (BRLOS)	Refere-se a qualquer outra situação em que o alcance de pilotagem não seja direto entre a estação de pilotagem remota e a aeronave não tripulada.
Operação além da linha de visada visual (BVLOS)	Operação em que o Piloto Remoto não consiga manter a Aeronave Remotamente Pilotada dentro do seu alcance visual.
Operação em linha de visada rádio (RLOS)	Enlace direto da estação de pilotagem remota e a aeronave.
Operação em linha de visada visual (VLOS)	Contato visual do piloto e aeronave (sem auxílio de lentes ou outros equipamentos, exceto as lentes corretivas).
Operação em linha de visada visual estendida (EVLOS)	Nenhum contato visual direto do piloto com a Aeronave Não Tripulada, necessitando do auxílio de observadores para conduzir o voo com responsabilidade.

3.3.3 Voos de Drones (RPA)

De acordo com o DECEA (2019), para a realização de um voo na categoria Drone (RPA) é necessário seguir alguns passos para que a operação ocorra de forma regularizada (Figura 14). Inicialmente, Veículos Aéreos Não Tripulados usados para fins comerciais ou profissionais necessitam estar homologados junto a ANATEL, para garantir que o equipamento opere dentro das normas brasileiras sem que haja interferência em outros serviços do tráfego aéreo (ANATEL, 2023). A seguir, a utilização de aeronaves não tripuladas só acontecerá por meio da solicitação de voo junto ao SARPAS (Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotas Pilotadas), controlado pelo DECEA. O objetivo dessa solicitação é evitar colisões, visto que esse órgão é responsável pelo controle de todas as atividades que acontecem no espaço aéreo brasileiro (DECEA, 2019).

Figura 15 – Fluxo de processo de certificação de voos de Drones RPA segundo os órgãos regulamentadores (ANATEL, ANAC e DECEA).



Fonte: Adaptado de ANAC (2021).

3.3.4 VANT nas Geociências

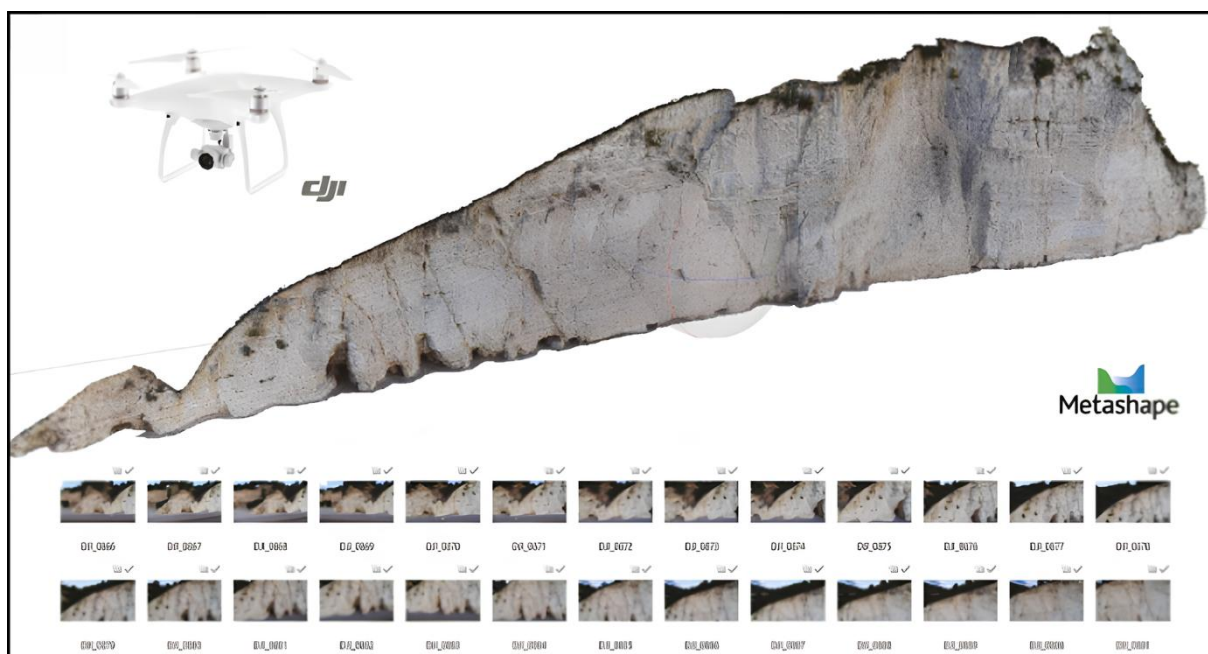
O interesse global pelos VANTs tem sido estimulado por uma série de avanços tecnológicos, incluindo melhorias na computação, desenvolvimento de *softwares* inovadores, uso de materiais mais leves, sensores mais sofisticados, além da redução de custos para aquisição dos equipamentos (Jorge e Inamasu, 2014; Manajitprasert et al., 2019; Renner et al., 2020). Esses avanços tem se mostrado eficazes em áreas de aplicações de técnicas de investigação geomáticas, como no monitoramento de ativos de infraestruturas, monitoramento do tráfego, na agricultura, na silvicultura, em mapeamentos topográficos, no auxílio a desastre ambientais, dentre outros (Furtado et al. 2008; Fernández et al., 2014; Seo et al., 2018; Silva et al., 2018; Tsouros et al., 2019).

Dentre as técnicas geomáticas, a fotogrametria é uma técnica que tem sido utilizada frequentemente para o registro de feições geológicas através da luz visível refletida pelos objetos e captada por uma câmera métrica, permitindo a construção de modelos tridimensionais, desde que estes estejam visíveis em pelo menos duas imagens capturadas (Tommaselli, 2003; Cayla, 2014). Por ser uma técnica de fácil aplicação e baixo custo, quando combinada com o uso de VANTs permite não somente a aquisição de imagens aéreas de áreas de risco, como também auxilia na interpretação de estruturas geológicas (Vasuki et al., 2014). Por exemplo, Luz e Antunes

(2015) realizaram um aerolevantamento VANT no Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues na Bahia, para aquisição de dados cartográficos e geológicos, a fim de identificar e caracterizar as feições carsticas da área de estudo, como sumidouros e grutas. Os autores constataram que a utilização da tecnologia VANT geram produtos com uma alta resolução espacial e que a utilização dessas aeronaves possibilita um rápido mapeamento na área de interesse.

Além disso, Coelho et al. (2019) realizou um mapeamento estrutural de campo juntamente com um aerolevantamento com o uso de VANT, para verificar a viabilidade dos dados coletados e compará-los com os dados de campo. O autor constatou que os resultados do aerolevantamento são muito próximos aos dados de campo, o que comprova a eficácia do uso de VANT para essa finalidade. Ademais, o uso dessas aeronaves não tripuladas possibilita a aquisição de dados em áreas perigosas e de difícil acesso, como encostas íngremes, afloramentos verticais ou deslizamento de terra, garantindo a segurança dos cientistas nestes locais (Figura 15; Furtado et al. 2008; Ohminato et al., 2011; Ji e Luo, 2019; Jablonska et al., 2021).

Figura 16 – Modelagem tridimensional de áreas de riscos com corpos de brechas localizados na Itália processados com o software Metashape.



Fonte: Jablonska et al. (2021).

A utilização de VANTs representa uma fronteira exploratória com tendência de se tornar cada vez mais comum nas operações de investigações das geociências em razão de seu custo baixo e sensores modernos. Esses equipamentos podem fornecer

um nível semelhante de detalhes e menos tempo gastos comparados com as técnicas tradicionais, facilitando a interpretação das áreas estudadas (Tziavou et al. 2018; Giordan et al. 2020).

3.3.5 Aplicação de VANT na Modelagem 3D de Edifícios Históricos

As edificações históricas são uma parte importante do patrimônio cultural, porém sua aparência evolue com o passar dos anos, por isso sua documentação e registro 3D são essenciais para a preservação (Templin e Popielarczk, 2020). Reconhecendo a importância e precisão dos modelos 3D, a UNESCO incluiu, em 1985, reconstruções tridimensionais na lista do Patrimônio Mundial, como uma ferramenta para a conservação e preservação de complexos de edifícios (Xu et al., 2014).

A utilização de VANTS surgiu como uma ferramenta essencial aplicada ao patrimônio cultural, uma vez que seus dados de alta resolução espacial geram produtos tridimensionais confiáveis em tempo ágil (Themistocleous et al., 2016). Desta forma, esses modelos 3D ganharam destaque para a preservação, documentação, reconstrução e gerenciamento de patrimônios históricos (Yastikli, 2007; Remondino et al., 2012; Xu et al., 2014; Discamps et al., 2016).

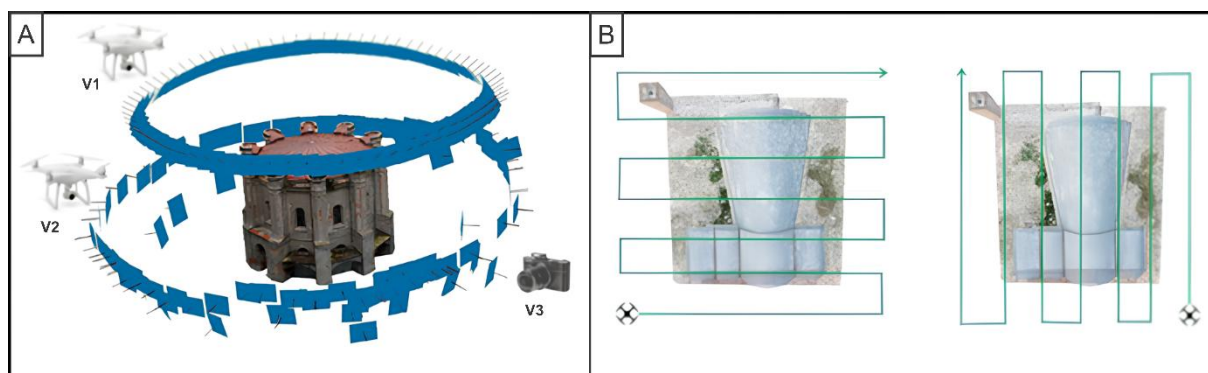
Segundo Barsanti et al. (2014), as reconstruções tridimensionais detalhadas de edificações patrimoniais são necessárias para análises específicas e posteriores interpretações, em alguns casos, para possíveis reconstruções físicas de danos causados por intempéries e outros fatores patológicos. Geralmente, para geração de produtos 3D são usadas técnicas baseadas em alcance, como *scanners a laser terrestre* (TLS), fotogrametria incluindo *Structure from Motion* (SfM) e/ou *Building Information Modeling* (BIM), as quais têm demonstrado resultados satisfatórios na documentação e conservação de edificações históricas (Remondino et al., 2012; Pepe et al., 2022).

Para Templin e Popielarczr (2020), a escolha do momento certo para realizar os voos de aquisição de imagens é a etapa mais importante para um bom produto tridimensional. Os autores recomendam dias mais nublados, sem a interferência de muitas sombras ou ventos fortes. Além disso, para a modelagem 3D de edifícios, quando possível, é recomendado dois ou três voos orbitais independentes, em torno do edifício em diferentes alturas e ângulos de visão (Figura 16 A). Outro tipo de planejamento de aquisição de imagem muito utilizado são voos paralelos, usados em casos de objetos em larga escala (Figura 16 B; Cogima et al., 2018).

Além de voos orbitais e paralelos, existem outras técnicas de aquisição de imagens dependendo do objetivo e das dimensões a serem alcançadas. No caso de modelagem de fachada de edifícios, Dezen-kempter et al. (2019) indicam a realização de voos semi-orbitais, recomendando a obtenção de imagens com uma maior variação angular da captura, com câmera perpendicular e oblíqua a estrutura de interesse.

Para geração de modelagem tridimensionais alguns tipos de voos podem ser planejados, porém todos devem obedecer a sobreposição de imagem. Embora não haja um consenso da sobreposição ideal para cada captura de imagem, é recomendado que o objeto a ser modelado deva ser visível com sobreposição de pelo menos 50% em cada imagem. Porém, para uma modelagem mais segura e confiável é recomendado que seja alcançado 80% de sobreposição lateral e vertical nas fotografias aéreas (Dezen-kempter et al., 2015; Themistocleous et al., 2016; Pepe et al., 2022).

Figura 17 – Tipos de voos com Veículo Aéreo Não Tripulado. A – Exemplo de voos orbitais em torno da torre de água na Fortaleza de Modlin (Polônia) para aquisição de imagens para reconstrução 3D. Quadrados azuis informam as posições de imagens capturadas para o processamento de imagens. V1 – Voo automático. V2 – Voo manual, V3 – Fotos tiradas de câmera profissional. B – Voos paralelos nos sentidos longitudinal e transversal da Igreja de São Francisco de Assis em Belo Horizonte. Setas verdes identificando o percurso de sobrevoo do VANT.



Fonte (A) Templin e Popielarczk (2020); (B) Cogima et al. (2018).

3.4 ROTEIROS GEOTURISTICO

Os roteiros geoturísticos consistem em itinerários que abrangem locais de interesse geocientífico, turístico e cultural, incluindo o geopatrimônio. Esses roteiros, tanto virtuais quanto presenciais, visam divulgar e popularizar temas relativos a geociências (Pereira e Alves, 2020). Na elaboração de roteiros que exploram o patrimônio cultural pétreo são consideradas tanto as características naturais das formações rochosas utilizadas na construção quanto seu contexto histórico-cultural. Eles integram

informações geocientíficas relacionadas à geodiversidade e ao geopatrimônio urbano, com aspectos culturais e turísticos de fácil compreensão para o público como forma de valorizar e preservar tanto o patrimônio histórico quanto geológico (Mucivuna et al., 2021; Pereira e Alves, 2020).

Os roteiros geoturísticos são ferramentas essenciais para valorizar e promover as potencialidades de um determinado território, incluindo naturais, científicas, culturais, entre outras. Esses roteiros seguem tanto um tema específico quanto um geral, quando destacam atrativos culturais, científicos e educacionais de uma determinada região (Siqueira e Ribeiro, 2023). Além disso, seguem princípios básicos de Lugares de Interesse Geológicos – LIGs ou simplesmente sobre potenciais geoturísticos (Filho et al., 2021). Os produtos, experiências e atividades geoturísticas são realizadas principalmente em áreas naturais protegidas, como exemplos os itinerários dos Geoparques Caçapava, Seridó, Quarta Colônia, dentre outros (Costa et al., 2022; Guadagnin et al., 2022; Kiefer e Figueiró, 2023). No entanto, também existem roteiros em centros urbanos que representam uma modalidade de turismo e concentrado na exploração dos atrativos geológicos das cidades (Dóniz-Páez et al., 2020).

Roteiros geoturísticos relacionados ao patrimônio cultural pétreo urbano, são elaborados em locais como edificações, monumentos e cemitérios. Por exemplo, no Brasil, Queiroz et al. (2019) desenvolveram um roteiro geoturístico no centro de Santos, em São Paulo, que destaca edifícios históricos protegidos, nos quais foram empregados elementos pétreos em sua construção e/ou ornamentação. Os autores catalogaram oito edificações, identificando os materiais pétreos utilizados e contextualizaram sua relevância turística, histórica e social. Da mesma forma, Silva et al. (2024) criaram um itinerário geoturístico eclesiástico com foco nas rochas fossilíferas utilizadas na construção de igrejas na cidade do Rio de Janeiro. Já na Espanha, o projeto TFgeoturismo reuni diversos itinerários tanto em áreas naturais vulcânicas como em centros urbanos (Dóniz-Páez et al., 2020).

3.4.1 Roteiros Virtuais

Os roteiros virtuais constituem estratégias de divulgação científica, educativa e turística, que combinam diferentes formas de representação digital de objetos com conteúdos relacionados e permitem que outros usuários façam visitas virtuais a locais de interesse. Esse meio de imersão virtual pode ser visto como um importante avanço

tecnológico e está se tornando cada vez mais usual como forma de praticar o turismo e um dos resultados desse desenvolvimento é o que conhecemos como turismo virtual.

Um dos pontos positivos dessas experiências é a fácil acessibilidade principalmente por meio de *smartphones*, *tablets* ou computadores (Filho et al., 2021; Guadagnin et al., 2022). Segundo Tárzia e Ribeiro (2022), roteiros virtuais se caracterizam pela navegação de paisagens reais no formato de realidade virtual e imagens panorâmicas 360° com características de imersão. Nesse sentido, representa uma tecnologia imersiva que coloca os usuários “dentro da imagem” e permite aprimorar a consciência situacional, assim como fornece níveis diferenciados de funcionalidade para visualização por meio da captura e análise de dados. Os autores ainda afirmam que as técnicas para desenvolver passeios virtuais derivam da própria realidade criada pelo computador para gerar uma experiência no mundo virtual.

Ademais, os roteiros virtuais necessitam da utilização de *softwares* que possuam fácil imersão e que cumpram os requisitos almejados para demonstrarem a temática escolhida, seja de cunho científico ou cultural (Perotti et al., 2020). A seleção do *software* está associada aos tipos de objetos a serem gerados e explorados. Por exemplo, para criar rotas ou itinerário uma das formas mais comuns é a utilização de plataformas gratuitas como *Google Maps* e *Google Earth*, uma vez que as imagens e dados necessários já foram adquiridos, processados e disponibilizados de forma gratuita, tornando o acesso e a visualização simples sem custos adicionais para o usuário. Além disso, essas ferramentas oferecem recursos adicionais e complementares, como o *Street View*, que permitem uma visualização imersiva dos locais de interesse com uma melhor experiência do usuário e a precisão das rotas traçadas (Filho et al., 2021).

Por outro lado, para roteiros ou passeios virtuais que fazem uso de imagens panorâmicas é necessário utilizar *softwares* que permitam a modelagem, como o *AFrame*, um *framework* de código aberto baseado em *Java Script* utilizado na produção do roteiro virtual do patrimônio arquitetônico da Capela da Fazenda Veneza (Dias e Cuperschmid, 2019). Além disso, outras opções incluem o *Panotour* que oferece uma interface de fácil acesso para programação do passeio virtual com inserção de imagens panorâmicas, inclusão de modelos tridimensionais, vídeos, croquí

esquemáticos, além da interação com o *Google Street View* e exportação do arquivo em uma variedade de formatos (Cavalieri e Groetelaars, 2018).

Exemplos positivos são representados por Perotti et al. (2020), que propuseram roteiros virtuais utilizando exemplos de saídas de campo para a valorização do geopatrimônio do Geoparque Global da UNESCO Sesia-Val Grande (Itália), Gambino et al. (2019) com o desenvolvimento do aplicativo TOURinSTONE dedicado à exploração de áreas com registro de rochas ornamentais nos Alpes Ocidentais Italianos, bem como Martinez-Graña et al. (2018) que desenvolveram itinerários virtuais dos sítios geológicos/geomorfológicos mais significativos de um conjunto de mais de 100 áreas naturais das províncias de Salamanca, Ávila e Cáceres (Espanha).

Da mesma forma, Costa et al. (2022) criaram rotas virtuais geomorfológicas no Geoparque Aspirante Seridó com ferramentas gratuitas dos *softwares Google Earth e My Maps*. Em São Paulo, o Núcleo de Apoio à Pesquisa em Patrimônio Geológico e Geoturismo (Geo-Hereditas) vem produzindo recursos para a divulgação em geociências, como por exemplo o *Webmap*, que auxilia na interpretação de trilhas ambientas do litoral do estado. Além disso, dispõem de um site <https://geohereditas.igc.usp.br/passeios-virtuais/> onde hospedam passeis virtuais sobre o Parque Estadual da Serra do Mar, do Jaraguá, sobre o Travertino Romano, além de trilhas e passeis urbanos no Centro Velho de São Paulo. Esses passeios não só enriquecem o geoturismo local como também são voltados para a valorização, pesquisa e divulgação da geodiversidade (Mazoca et al., 2017).

CAPITULO 4 – Artigo publicado na revista Geonorte V.15, N.48, p.55-81. Doi: 10.21170/geonorte.2024.V.15.N.48.55.81

Márcia Carvalho de Oliveira¹, Roberto Cesar de Mendonça Barborsa¹, Leonilda Arantes Azevedo² Isabela Apoema Gomes de Souza¹

¹ Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Manaus, Brasil.

² Catedral Metropolitana de Manaus, Manaus, Brasil.

4. ROTEIRO GEOTURÍSTICO VIRTUAL PARA DIFUSÃO DA GEODIVERSIDADE DA CATEDRAL METROPOLITANA DE MANAUS (AM)

4.1 RESUMO

A geodiversidade do meio urbano em centros comerciais ou templos religiosos passa muitas vezes despercebida no cotidiano corrido das grandes cidades. Esses elementos, quando observados separadamente, despertam apenas surpresas e curiosidades, mas quando abordados em conjunto, podem agregar valores que vão além do apelo turístico ao geopatrimônio. Como marco evolutivo da cidade de Manaus, a Catedral Metropolitana reúne elementos da geodiversidade desconhecidos por grande parte da comunidade. Os principais elementos são representados por blocos de Arenito Manaus, carbonatos portugueses fossilíferos e obras funcionais inseridas principalmente no Ciclo da Borracha. Estes elementos da geodiversidade foram analisados, catalogados com base em seu potencial didático, diversidade geológica, acessibilidade e segurança com o objetivo de gerar um produto turístico e educacional. Assim, este artigo apresenta um georroteiro virtual baseado nos elementos da geologia urbana observados na Catedral Metropolitana de Manaus, visando à difusão de conhecimentos culturais, históricos e geológicos que enfatizem as práticas de geoconservação. Este roteiro utilizou a ferramenta *Google Earth* para criação e difusão de um passeio virtual guiado por 13 estações navegáveis, baseado em informações fossilíferas e nos materiais pétreos que caracterizam diferentes elementos da geodiversidade presente no centro histórico da cidade de Manaus. A inventariação realizada identificou três principais elementos da geodiversidade na catedral metropolitana: Arenito Manaus, carbonatos portugueses com fósseis de moluscos e obras funcionais como Relógio Municipal, chafariz e busto do Marechal Floriano Peixoto. Com isso, o produto

final desta pesquisa pode auxiliar visitas ao local, agregar valores geológicos com cunho educativo/turístico e propagar conhecimentos fundamentais sobre a geodiversidade no meio urbano.

Palavras-chave: Georroteiro Virtual; Geologia Urbana; Arenito Manaus; Calcário Lioz; Fósseis.

4.2 ABSTRACT

The urban geodiversity presents in our live, shopping centers or religious temples often goes unnoticed in everyday life. These elements, when looked at separately, only arouse surprises and curiosities, but when analyzed together, they can add values that go beyond the tourist appeal to geoheritage. As a landmark of the Manaus city, the Metropolitan Cathedral brought together unknown geodiversity elements to a large part of the community. The mains geodiversity elements are represented by Arenito Manaus blocks, fossiliferous Portuguese Limestones and functional works mainly inserted during the Brazilian Rubber Cycle. These geodiversity elements were analysed and target of cataloguing based on its didactic and geodiversity potenciales, as well as security and acessibylity to creation of a turistic and educational products. Thus, this work presents a virtual georoute based on the urban geology elements, aiming at the dissemination of cultural, historical and geological knowledge that emphasize geoconservation practices. This itinerary uses the Google Earth for a virtual tour of 13 navigable stations, among fossils and a variety of stony material that characterize different elements of geodiversity of the Manaus historic center. The inventory carried out identified three main elements of geodiversity in the metropolitan cathedral: Arenito Manaus, Fossiliferous Portuguese Carbonates of the Phylum Mollusca and functional works such as municipal clock, fountain and bust of Marshal Floriano Peixoto. With this, the final product of this research can help field trips, add geological values with an educational/tourist nature and to spread fundamental knowledge about the geodiversity in the urban environment.

Keywords: Virtual Georoute; Urban Geology, Manaus Sandstone; Lioz Limestone; Fossils.

4.3 INTRODUÇÃO

Por muito tempo era comum acreditar que o turismo geológico se restringia apenas a visitação e contemplação de exposições rochosas na natureza, no entanto esquecemos de associar que toda sociedade moderna evoluiu com a utilização de materiais fornecidos pelo meio natural. Este fato faz com que não percebamos a geologia presente nos detalhes do cotidiano urbano como, por exemplo, nos mármore presentes nas mesas dos shoppings, no piso de edifícios, nas paredes e altares das igrejas, ou até mesmo nas ruas e calçadas. Todos estes elementos da geologia no meio urbano caracterizam objetos de estudo da Geologia Urbana e uma das ferramentas para compreendê-la acontece por meio do geoturismo (Del Lama, 2019; Moradipour et al., 2020; Kubalíková et al., 2021). O geoturismo pode ser explorado através de experiências interpretativas e respostas para que os usuários possam compreender os elementos da geologia urbana descobrindo fatos geológicos e evolutivos que vão além de uma mera apreciação estética (Queiroz et al., 2019).

A cidade de Manaus possui um grande potencial turístico internacional em razão da preservação de sua biodiversidade. Porém o geoturismo local, ainda carece de foco em elementos geológicos urbanos inseridos em edificações históricas, a exemplo da Catedral Metropolitana de Manaus composta por arenito Manaus e rochas carbonáticas fossilíferas (Aubretton, 2012). Assim, os elementos geológicos inseridos na arquitetura da CMM representam uma oportunidade única de ampliar e qualificar a oferta turística da cidade, além de explorar e disseminar informações históricas, educacionais e geológicas para a sociedade local e turistas.

A CMM é a denominação atual para a Igreja de Nossa Senhora da Conceição e representa um dos principais pontos turísticos da cidade (Corrêa, 2007; Duarte, 2009). Sua construção iniciada em 1695 por missionários carmelitas na Fortaleza de São José da Barra do Rio Negro, passou por diversas fases. Inicialmente edificada com barro e palha, depois com madeira e finalmente de alvenaria na atual localização, registrando íntima relação com a história e os principais ciclos econômicos da própria capital (Corrêa, 2011; Santos e Medeiros, 2017).

Com o avanço das tecnologias de realidade virtual ampliada aplicadas à promoção da geodiversidade, várias ferramentas foram desenvolvidas e disponibilizadas (p.e. Cayla e Martin, 2018; Tormey, 2019; Hincapie et al., 2022). Estas ferramentas

tecnológicas produziram roteiros de visitação guiada únicos que possibilitam aumentar a imersão da comunidade e turistas e, conseqüentemente, o fomento de novas aplicações do geoturismo, inclusive roteiros de visitação guiada visando promoção e preservação dos geopatrimônios e patrimônios históricos (Costa, 2021; Costa et al., 2022).

Assim, este artigo apresenta um roteiro geoturístico virtual da CMM com 13 estações desenvolvido na plataforma *Google Earth* – Projetos, de forma a colaborar com a educação e preservação de patrimônios pétreos na cidade de Manaus, além de estimular o geoturismo com ênfase no patrimônio histórico-geológico. Os principais objetivos desta pesquisa foram: (1) inventariar os elementos da geologia na CMM, (2) identificar o conteúdo fossilífero em rochas carbonáticas, (3) criar um georroteiro virtual, e (4) propagar a geoinformação, incentivar a valorização do patrimônio histórico-geológico e de práticas turísticas com maior acessibilidade.

4.4 MATERIAIS E MÉTODOS

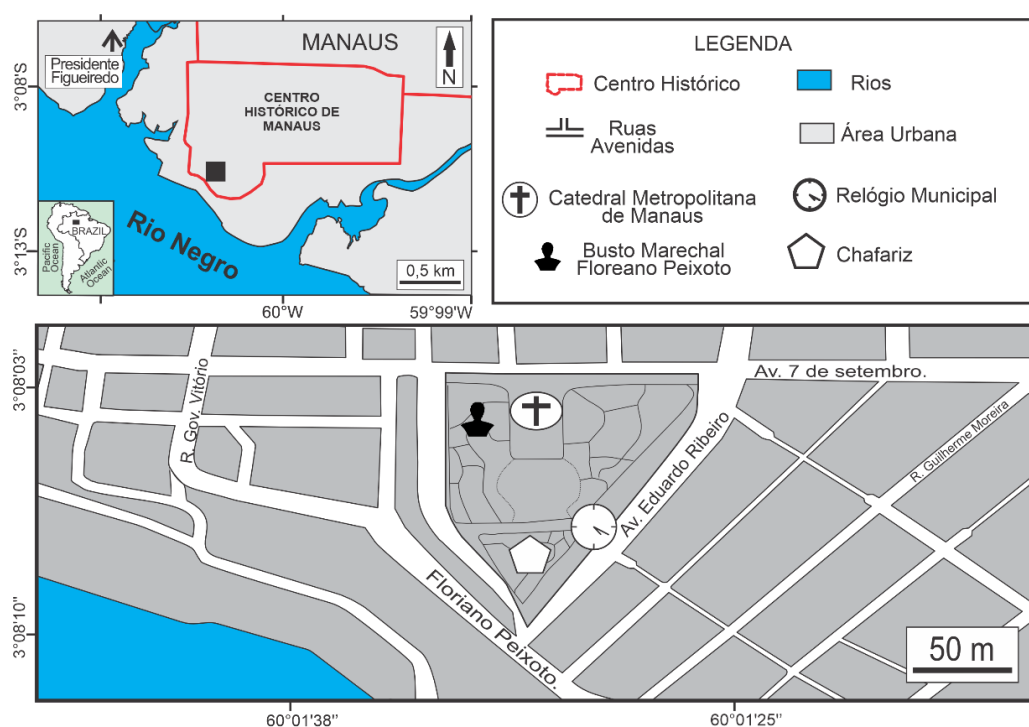
A pesquisa contou com métodos qualitativo-exploratórios e não destrutivo propostos por Gray (2013) e Brilha (2016) para catalogar os elementos da geodiversidade urbana. Assim, foi realizada inicialmente uma ampla revisão histórica-geológica da CMM, seguido do mapeamento e georreferenciamento dos principais elementos da geodiversidade local. O material pétreo foi descrito e classificado de acordo com as propostas de Dunham (1962) e Folk (1974). Fósseis e impressões fósseis nas rochas carbonáticas foram comparados com os trabalhos de Teusch et al. (2002), Ekdale e Bromley (2003), Cestari (2005), Allmon (2011), Yanin e Baraboshkin (2013), Kollmann (2014), Özer e Ahmad (2016), Medeiros e Polk (2017) e Polk et al. (2020).

Para a criação do roteiro geoturístico virtual, os principais elementos da geodiversidade ranqueados foram organizados em 13 estações navegáveis na plataforma *Google Earth*. As estações navegáveis serviram de base para a edição de um roteiro virtual guiado e interativo com recursos que incluem: a renderização 3D da superfície da Terra, fotografias e textos explicativos, links, modelos 3D, esquemas morfológicos detalhados das ocorrências fósseis, além de imagens locais via *Google Street View* (Lima, 2012; Martínez-Graña et al., 2018). As informações e o acesso ao roteiro virtual foram disponibilizados em uma página disponível na *Web* para massificar a divulgação dos resultados da pesquisa. Ademais, o *layout* e as ferramentas metodológicas

aplicados para confecção do roteiro são similares às propostas apresentadas por Martin et al. (2014); Pica et al. (2018); Costa et al. (2022).

A Catedral Metropolitana de Manaus está situada no Centro Histórico da cidade, no perímetro delimitado entre as avenidas Sete de Setembro, Eduardo Ribeiro e Rua 15 de Novembro, na região topograficamente mais elevada da 'Praça da Matriz' (Figura 17). Por ser um marco histórico inicial da cidade de Manaus, possui uma intrínseca ligação com a evolução social e guarda a petrificação da geologia estudada.

Figura 18 – Mapa de localização da Catedral Metropolitana de Manaus, situada na Praça XV de Novembro, Centro Histórico da capital.



Fonte: Autora

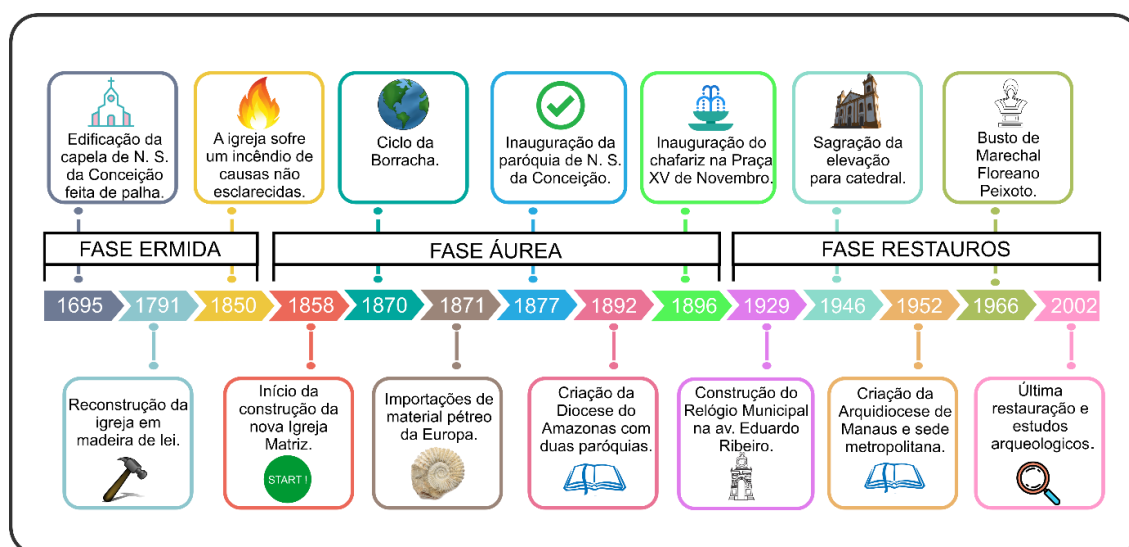
4.5 REFERÊNCIAL TEÓRICO

4.5.1 Da Taipa ao Templo de Pedra

A capital amazonense possui uma variedade de construções centenárias que guardam a história evolutiva da sociedade manauara (Lima et al., 2021b). Caminhar pelo Centro Histórico da cidade de Manaus, mesmo para quem não é religioso, é impossível não notar a imponência da arquitetura da CMM. Além de ser um símbolo católico da cidade, é prestigiada por ser um dos mais antigos ícones, referência de vários estudos de um passado marcado por ações políticas de ocupação, expansão da economia e do território amazônico (Mesquita, 2006; Correa, 2007; Duarte, 2009).

A conhecida Igreja da Matriz tem sua localização em uma pequena colina com vista para o rio Negro que propicia avistar os barcos e navios que ancoram no porto da cidade (Figura 18). Considerada a primeira igreja edificada, a CMM recebeu a atenção dos seus administradores políticos e sua estruturação foi marcada por fases econômicas e administrativas (Aubetron, 2012). Neste sentido, é possível estabelecer links diretos entre os eventos políticos e econômicos da cidade de Manaus e os elementos arquiteturais e da geodiversidade encontrados na CMM. A contextualização histórico-geológica realizada nessa pesquisa permitiu dividir estes eventos em 3 fases: Ermida, Áurea e Restauo.

Figura 19 – Linha do tempo das fases evolutivas interpretadas com os principais eventos de construção da Catedral Metropolitana de Manaus.



Fonte: Autora

4.5.1.1 Fase Ermida (1695 – 1850)

Durante a era dos descobrimentos e expansão marítima promovida pela Coroa Portuguesa a religião era uma das estratégias para o domínio de territórios transatlânticos. Assim, as navegações eram a porta de entrada para a manutenção de influências político-sociais da Coroa e a igreja católica era o principal meio de garantia de estabilidade através da catequização dos povos originais (Ramos, 2021).

A construção da capela de N. S. da Conceição também foi resultado deste processo e sua Fase Ermida inicia pela edificação de um local simples de palha, argila e materiais brutos disponibilizados na região em 1695 por carmelitas em um terreno doado pela Coroa Portuguesa (Aubetron, 2012). A capela original possuía formato de

oca, visto que a mão de obra concedida era de indígenas da região, logo, as características arquitetônicas iniciais marcavam traços simples e rústicos típicos do povoado. Embora rudimentar, esta simples ermida em conjunto com a edificação do Forte da Barra do Rio Negro, marcaram o início do povoado e sua estrutura frágil frente a natureza, permaneceu ativa por quase cem anos servindo as várias etnias indígenas do povoado denominado “Lugar da Barra” (Corrêa, 2007).

Com o desenvolvimento populacional e político da região causado pela transferência da capital da Capitania do Rio Negro para o Lugar da Barra em 1791, medidas de reurbanização foram adotadas pelo governador Lobo D’Almada a fim de tornar a vila digna de capital. Com isso, o humilde templo necessitava alcançar melhorias para atender seus fiéis e a busca por essa reurbanização ocasionou na demolição de sua estrutura e (re)construção em madeira de lei em 1791, digna de uma capital do Brasil Colônia. No entanto em 1850 um incêndio de causas não esclarecidas reduziu a cinzas a edificação em madeira de lei da matriz de N. S. da Conceição e marca o final da Fase Ermida (Mesquita, 2006; 2011).

4.5.1.2 Fase Áurea (1858 – 1896)

Passados oito anos sem a representação do símbolo religioso da Província do Amazonas, em 1858 a Praça da Olaria, situada em um morro em frente ao porto de Manaus, recebeu a pedra fundamental que marcava o início de uma construção moderna em alvenaria e um período áureo para a cidade (Corrêa, 2007). Desta forma, foi iniciada a construção do novo templo que duraria até a sua inauguração em 1877, marcada por contribuições sociais, políticas e populacionais como, por exemplo, a abertura dos portos para nações estrangeiras, imigração para mão de obra qualificada e o início do ciclo de monopólio brasileiro da borracha (Duarte, 2009).

O último evento, em especial, foi essencial para que os padrões arquitetônicos neoclássicos utilizados na igreja representem, nos dias atuais, a riqueza na cidade de Manaus no período imperial. Na Fase Áurea, a Coroa Portuguesa fazia da pequena Manaós sua Paris dos Trópicos e garantia sua contribuição através de edificações que atualmente são valorizadas pelo aspecto histórico. Neste sentido, a matriz de N.S. da Conceição foi restruturada com a influência da arquitetura portuguesa e sua edificação construída a princípio, com materiais extraídos da região, como por exemplo, madeira, areia e Arenito Manaus, também passou a importar materiais pétreos da Europa, como

o Calcário Lioz, Mármore Carrara e Negro, que nos dias atuais estão expostos como vitrines históricas do período áureo da cidade (Mesquita, 2011; Aubetron, 2012).

Com a (re)construção em 1877 da nova igreja e a Emancipação do Estado do Amazonas, a até então vinculada a Diocese de Belém do Grão-Pará foi desmembrada em 1892 com a criação da Diocese do Amazonas, que na época possuía apenas duas paróquias: N. S. da Conceição e dos Remédios (Duarte, 2009). Ademais, neste período ocorreram várias intervenções visando a reestruturação e embelezamento da Praça XV de Novembro, nova denominação da Praça Olaria. Assim, em 1896 foi instalado o mais ornamentado chafariz da cidade, produzido totalmente em ferro fundido (Corrêa, 2007).

A Fase Áurea do Templo foi encerrada no ano de 1910 concomitantemente ao início do declínio do ciclo de monopólio da borracha brasileira e assim, de toda a riqueza trazida por este mercado. Segundo D'agostini et al., (2013), o declínio da produção de borracha brasileira e o desenvolvimento de tecnologias nos mercados produtores asiáticos em colônias britânicas e dos Países Baixos foram os responsáveis pelo encerramento do principal ciclo econômico do século XIX na região norte do Brasil.

4.5.1.3 Fase Restauros (1916 – ATUAL)

Durante o século XX a matriz N. S. da Conceição passou por algumas intervenções devido ao longo período de 86 anos de reconstrução. As reformas realizadas buscavam o embelezamento da igreja, com intervenções internas e externas que variavam, desde reparos de pinturas até asfaltamento do entorno. Assim, a primeira intervenção é representada pela construção do Relógio Municipal em 1929 na Av. Eduardo Ribeiro, no entorno da praça, com o propósito de criar um medidor de horas para cidade. Ademais, foi nesta fase de restauros, que em 1946 foi realizada a sagração de matriz para catedral simbolizando a identidade histórica e católica de Manaus (Duarte, 2009).

A partir dessas restaurações, a CMM embelezou seus jardins com monumentos históricos na Praça XV de Novembro e entorno, como por exemplo a inserção do busto em homenagem ao Marechal Florentino Peixoto presidente da República entre 1891-1894, produzido em bronze (Duarte, 2009). Dentre as grandes intervenções realizadas na CMM, a restauração mais significativa e atual ocorreu no início do século XXI

marcada pela restauração da pintura externa e pelo início de estudos arqueológicos que evidenciaram a estrutura de 1858 presente nas colunas e paredes do atual templo.

Além disso, a antiga sacristia oeste foi alvo de escavações que resultaram em achados históricos da nomeação do mestre de obras da igreja e grande exposição de material pétreo regional. Com isso a sacristia foi reorganizada para servir de museu das exposições pétreas e religiosas da catedral e nos dias atuais recebe turistas e religiosos do mundo inteiro (Corrêa, 2007; Barros e Albuquerque, 2010).

4.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.6.1 Inventário da Geodiversidade Urbana

Os principais elementos da geodiversidade mapeados no entorno da Praça XV de Novembro e na CMM são representados por três grupos: o arenito Manaus, calcário português fossilífero e obras funcionais da CMM. Esses elementos foram inseridos ao estilo arquitetônico durante as três fases evolutivas da CMM em conjunto, como no caso dos arenitos e calcários, ou de forma isolada, como nas obras funcionais, e contam com características geológica e históricas com potenciais para serem explorados devido ao seu valor educativo e turístico (Tabela 1 e Figura 3). Para facilitar a identificação de cada elemento da geodiversidade, eles foram individualizados conforme sua profusão, disposição e singularidade, descritos a seguir.

Tabela 4 – Classificação dos principais elementos da geodiversidade mapeados na Praça XV de Novembro e na Catedral Metropolitana de Manaus organizados com base nos critérios adotados por Gray (2013) e Brilha (2016). Potencial de Valor Educacional (VE) e Turístico (VT): 1. Didático; 2. Acessibilidade; 3. Cenário; 4. Interpretativo; 5. Diversidade Geológica; 6. Segurança. Valores da Geodiversidade: 1. Intrínseco; 2. Cultural; 3. Estético; 4. Econômico; 5. Funcional; 6. Científico; 7. Educativo.

Elementos	Potencial VE e VT Brilha (2016)						Valores da Geodiversidade Gray (2013)						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7
Arenito Manaus	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Calcário Português Fossilífero	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Obras Funcionais	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X

Figura 20 – Praça XV de Novembro, situado no Centro Histórico de Manaus, com principais elementos da geodiversidade mapeados: o arenito Manaus, calcário português fossilífero e obras funcionais, como o busto de bronze, a fonte de ferro fundido e o Relógio Municipal.



Fonte: Autora

4.5.1.4 4.6.1.1 Arenito Manaus

O Arenito Manaus é a denominação regional para arenitos, siltitos e argilitos sili-cificados (Folk, 1974) de coloração rosada a avermelhada tradicionalmente utilizados na construção de parede e muros, como rochas de pavimentos em ruas e praças, agregados de fundações e, quando associados a outras rochas, compondo pisos em mosaico de praças e espaços internos.

A ampla utilização deste material pétreo na cidade de Manaus, tanto em construções antigas quanto contemporâneas, é ligada a abundância de exposições locais, o que faz com que esse material pétreo seja considerado o principal elemento da geodiversidade regional inserido no tecido urbano da cidade de Manaus (Lima et al. 2021b). Em afloramentos, esse arenito de idade Cretácea foi interpretado como horizontes de paleossolos desenvolvidos em depósitos fluviais da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas (Cunha et al., 2007), o que reflete na abundância de feições pedogenéticas e tectônicas constatadas nas construções da cidade, especialmente no Centro Histórico, como por exemplo, rizólitos, rizohalos e espelhos de falha (Silva I, 2019; Oliveira, 2022).

Na CMM e região de entorno, o arenito Manaus foi inserido nas fases Áurea e Restauros como blocos nas paredes do museu interno e do Relógio Municipal, na forma de ladrilhos nos pavimentos de passeios externos destinados a passagens de veículos e, de forma subordinada, na forma de blocos irregulares em material de restauro em paredes, muros e colunas (Figura 20). Colunas de alicerce da CMM, em especial, exibem blocos irregulares de arenito Manaus utilizados na construção do novo templo em 1858. Ademais, devido as revitalizações ocorridas na CMM e entorno durante a terceira fase evolutiva e a importância regional da utilização deste material pétreo para cidade, é muito comum que outros ambientes da Praça XV de Novembro tenham imitações dessa rocha, como por exemplo os palcos dos coretos.

4.5.1.5 4.6.1.2 Calcários Portugueses Fossilíferos

A utilização do calcário português como elemento estrutural e decorativo em centros urbanos data do século XII e pode ser facilmente percebido nas cidades do sul de Portugal e suas colônias. O uso deste material pétreo é ligado às suas ótimas características de resistência mecânica e ao seu diversificado conteúdo fossilífero que garantem um elevado valor estético e decorativo, quando polidos (Lunardi et al., 2016; Silva Z, 2019).

Figura 21 – Modos de ocorrência do arenito Manaus na Praça XV de Novembro e na Catedral Metropolitana de Manaus. A – Arenito Manaus exposto nas paredes do altar da atual sacristia. B – Arenito Manaus nos passeios externos ao entorno da Catedral dedicado a passagens de veículos. C – Detalhe de blocos irregulares de arenito Manaus na pavimentação externa. D – Fragmentos de arenito Manaus (setas) utilizados como material de restauro em colunas internas da Catedral.



Fonte: Autora

No conjunto arquitetônico da Praça XV de Novembro o calcário português foi inserido na Fase Áurea da CMM, importado de Lisboa entre os anos de 1870 e 1875, e representa o elemento da geodiversidade mais abundante. Este material pétreo está presente nos mais variados constituintes da edificação, como por exemplo, no meio-fio e calçamentos aos redores, revestimento de espelhos e degraus de escadarias de acesso ao templo, soleiras, guarnições de portas, peitoril de janelas e fachadas, além de comporem o revestimento de pisos internos da CMM e de objetos religiosos (Figura 21).

A avaliação nos carbonatos portugueses permitiu classificá-los como *mudstone*, *wackestone*, *packstones* e *boundstones* calcíticos (Dunham, 1962), com colorações que variam de amarelada, bege claro, rosada a avermelhada, atribuídas a sua matriz microcristalina. Por sua vez, grãos carbonáticos correspondem a fragmentos e bioclastos de invertebrados marinhos de moluscos que variam de 5 a 8 cm. As principais estruturas observadas macroscopicamente incluem fraturas e planos de dissolução, assim como cimento de calcita preenchendo fraturas e cavidades internas dos bioclastos.

Figura 22 – Formas de ocorrência dos calcários portugueses na porção externa da Catedral Metropolitana de Manaus. A – Escadaria frontal com degraus e espelhos em calcário Lioz. B – Acesso principal e calçada em Lioz. C – Fachadas, calçamento e meio-fio revestidos com Lioz. D – Detalhe do Lioz na calçada e ornamentação do portal.



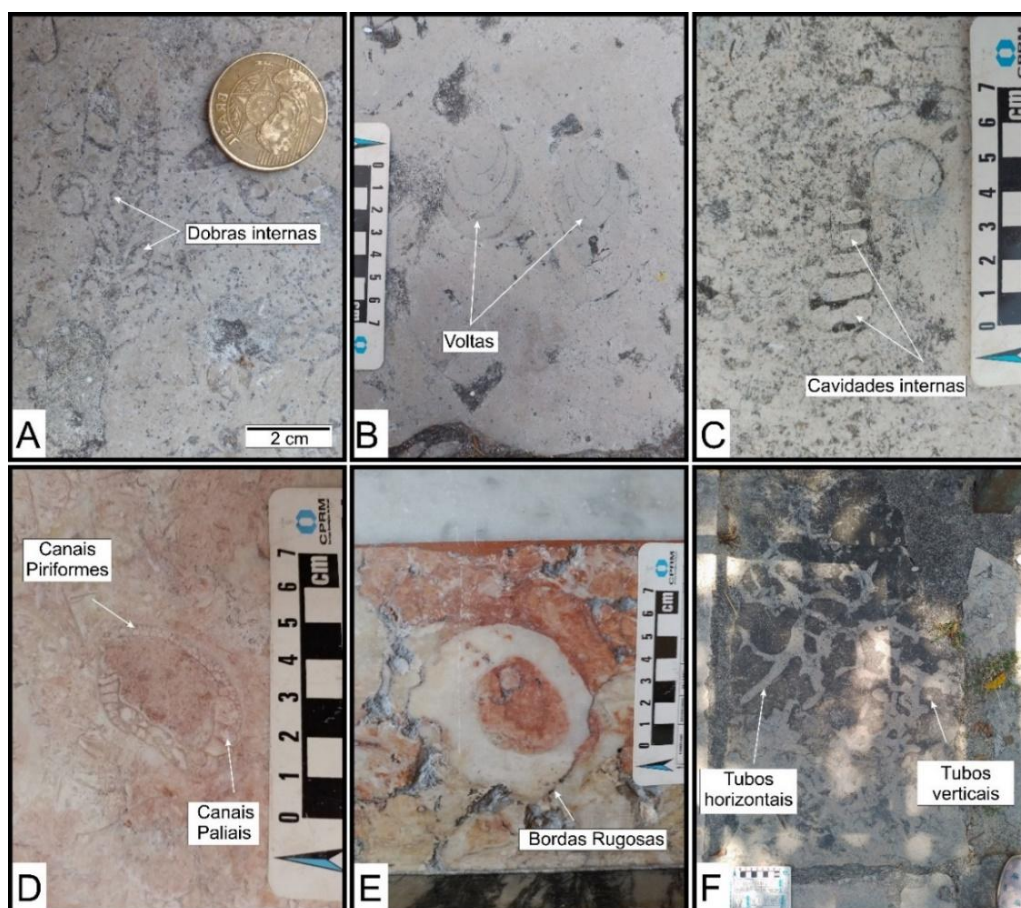
Fonte: Autora

De acordo com as estruturas e o conteúdo fóssil previamente identificado, os carbonatos portugueses foram classificados comercialmente em quatro variedades: lioz de primeira, lioz rosado, encarnação e amarelo negrais de acordo com a proposta de Carvalho et al. (2013).

O conteúdo fóssil nos carbonatos portugueses correspondem a exemplares do Filo *Mollusca*, da classe *Gastropoda* com o gênero *Nerinea*, *Tylostoma* e *Turritelae* da classe *Bivalvia* com os gêneros *Caprinula* e *Radiolite* (Cestari, 2005; Allmon, 2011; Ayoub-Hannaa e Fürsich, 2011; Kolliman, 2014; Polck et al., 2020b). Além disso, ocorrem icnofósseis do gênero *Thalassinoides* (Yanin e Baraboshkin, 2013) (Figura 22). Com base na catalogação realizada, foi possível identificar que as conchas dos *Nerineas* apresentam formatos cônicos alongados, com comprimento entre 4 e 6 cm e aproximadamente 2 cm de largura. Em cortes longitudinais exibem numerosas pregas internas que diminuem em direção ao ápice (Figura 22 A). Esses gastrópodes eram

arrastadores de conchas e provavelmente alimentadores de depósitos com um modo de vida semi-infaunal (Kollimann, 2014).

Figura 23 – Ocorrências fossilíferas em carbonatos portugueses utilizados como elementos decorativos e funcionais na Praça XV de novembro. A – Pavimento de Calcário Lioz com fóssil de *Nerinea* em corte longitudinal. B – Calcário Lioz com fóssil de *Tylostoma*. C – Calcário Lioz com fóssil de *Turritella* em corte longitudinal com espaço interno preenchido com matriz micrítica. D – Calcário Lioz rosado do Altar de S. Teresinha do Menino Jesus com fóssil de *Caprinulidae* em corte transversal. E – Calcário Lioz encarnação do Altar de S. Teresinha do Menino Jesus com fóssil de *Radiolites* em corte transversal. F – Galerias do icnogênero *Thalassinoide* no Calcário Lioz do calçamento externo.



Fonte: Autora

As conchas dos *Tylostomas* de aproximadamente 5 cm de comprimento e 3 cm de largura, exibem formatos espessos ovoide, pouco ornamentadas, com espiras moderadamente elevadas (Figura 22 B). Suas conchas apresentam cinco voltas corporais levemente convexas com aspecto liso, a última correspondente a mais da metade da altura da concha de forma holostomadas, também observados em estudos de Ayoub-hannaa e Fürsich (2011). O gênero *Tylostoma* atingiu seu auge durante o Cretáceo e foram extintos no fim desse período.

Já as conchas do gênero *Turritela* apresentam comprimento entre 2 e 4 cm e largura máxima de 1 cm, com formato turriculado, espira aguda, holostomada que diminuem em direção ao ápice (Figura 22 C). Em cortes longitudinais exibem formatos cônicos alongados, com fácil observação da columela e cavidades internas preenchidas por matriz microcristalina que aumentam em direção a última volta, semelhantes aos estudos de Allmon (2011). O gênero *Turritela* reúne organismos filtradores e semi-infaunal que ocorrem desde o Cretáceo até o recente (Teusch et al., 2002; Allmon, 2011). Ademais, conchas destes gastrópodes ocorrem com frequência em *mudstones* e *wackestones* classificados comercialmente como lioz e amarelo negrais.

Com base no mapeamento realizado, foi possível identificar que o gênero *Caprínula* geralmente exibe cortes longitudinais com valvas robustas e assimétricas semicirculares, com dimensão máxima de 6 cm de comprimento e 3 cm de largura e preservadas em material micrítico (Figura 22 D). Também são encontrados exemplares em cortes longitudinais que destacam a forma de um chifre de carneiro, de onde deriva sua identificação, também observado em pesquisas por Polck et al. (2020b). A característica principal das valvas são os padrões de canais paliais semicirculares localizados próximos da parede interna e canais piriformes poligonais estreitos concentrados em direção a parede externa, com dimensões entre 0,5 mm e 2 cm, ambos preenchidos por cimento calcítico. Exemplares deste bivalve são comuns em *boundstones* classificados comercialmente como lioz. Ademais, os *Caprínulas* foram organismos filtradores, com comportamento sésil que viviam em mares rasos e de baixa latitude jurássicos e extintos no Cretáceo (Özer e Ahmad, 2016; Medeiros e Polck, 2017).

As valvas dos *Radiolites* apresentam formato cônico tubular alongado, ornamentado por pregas horizontais levemente onduladas com comprimento e largura máxima de 5 e 9 cm em cortes longitudinais, enquanto que em corte transversal exibem formas semiesféricas com bordas onduladas e rugosas com comprimento e largura máxima de 4 e 9 cm (Figura 22 E), semelhantes aos bioclastos analisados por Cestari (2005). Ocorrem frequentemente substituídos por cimento calcítico em *boundstones* classificados comercialmente como lioz e encarnação. Assim como os *Caprínulas*, os *Radiolites* eram animais sésseis e filtradores extintos no Cretáceo (Polck et al., 2020b).

Por sua vez, traços fósseis organizados em sistemas de tocas entrelaçadas dispostos em cilindros horizontais e verticais com diâmetro máximo de 1,5 e 3 cm, respectivamente, com ramificações em forma de “Y” e preenchidos com matriz micrítica microcristalina foram interpretados como ligados ao icnogênero *Thalassinoide* (Figura 6 F), semelhantes aos estudos de Yanin e Baraboshkin (2013). Esses traços fósseis são comuns em *mudstones* e *wackestones* comercialmente chamados de lioz e amarelo negrais e são atribuídos a vestígios de moradia de crustáceos (Ekdale e Bromley, 2003; Carvalho et al., 2013).

Em especial, um dos locais que mais chamam atenção pela utilização de calcários portugueses na forma de revestimento, ou combinado com outras rochas, é a ornamentação interna da CMM (Figura 23). O Calcário Lioz rosado é facilmente identificado nas duas pias batismais na entrada do templo (Figura 23 A), por sua vez no jazigo dos bispos, dentre eles Dom José Lourenço da Costa Aguiar, o 1º Bispo do Amazonas, e nos altares laterais ocorrem combinados com o Mármore Carrara e o negro, assim como o granito vermelho Verona (Figuras 23 B e C). O Calcário Lioz também é observado como revestimento do piso da CMM combinados com Mármore Negro em mosaicos na forma de mandala e em xadrez, respectivamente no átrio do templo, no museu e nos corredores laterais do altar principal (Figuras 23 A e D).

A associação faunística identificada nos carbonatos e o contexto histórico-geológico da inserção desses elementos da geodiversidade no conjunto arquitetônico da Praça XV de novembro, executado especialmente na Fase Áurea da história evolutiva da CMM, apontam para a importação transatlântica dessas rochas de revestimento a partir de pedreiras em Portugal durante o Ciclo da Borracha e associados a carbonatos cretáceos da Bacia Lusitânica. Rochas carbonáticas utilizadas para pavimentação de pisos e como elementos estruturais com a mesma origem lusitânica foram encontradas em centros urbanos brasileiros com a mesma associação faunística (Liccardo e Grassi, 2014; Lopes, 2015; Del Lama, 2019; Silva I, 2019; Polk et al., 2020).

Figura 24 – Carbonatos portugueses e outras rochas ornamentais utilizadas como rocha de revestimento na CMM. A – Mosaico em forma de mandala composto por lioz de primeira e Mármore Negro, e pias batismais laterais com lioz rosado no átrio da entrada. B – Jazigo à direita da entrada principal, revestido com lioz rosado. C – Altar de N. S. das Graças revestido com Mármore Negro e Carrara, lioz

rosado e encarnação. D – Piso da ala lateral da igreja com ladrilhos quadrados de Mármore Negro e lioz de primeira.



Fonte: Autora

4.5.1.6 4.6.1.3 Obras Funcionais

As obras funcionais que guardam valores da geodiversidade na Praça XV de novembro e arredores são representadas pelo chafariz de ferro fundido, relógio municipal, busto de bronze de Floriano Peixoto, além do Museu da CMM. Estas intervenções foram introduzidas na praça nas fases Áurea e de Restauro com o objetivo de atualizar, embelezar o conjunto arquitetônico e apresentam intuito funcional, histórico e educativo, respectivamente (Figuras 24 e 25).

Figura 25 – Obras funcionais com valores da geodiversidade da Praça XV de novembro. A – Chafariz da Praça XV de Novembro feito em ferro fundido. B – Detalhe da ornamentação interna da fonte principal do chafariz. C – Detalhe da ornamentação superior do chafariz com doze anjos sustentando a estátua de Vênus ao topo do monumento. D – Relógio Municipal de Manaus com estrutura construída em blocos de arenito Manaus. E – Detalhe da estrutura do relógio expondo blocos de arenito Manaus.

F – Busto de bronze do Marechal Floriano Peixoto. Observe as placas de rochas graníticas revestindo o pedestal.



Fonte: Autora

Figura 26 – Espaço interno do museu da Catedral Metropolitana de Manaus. A – Antiga sacristia oeste da Catedral com piso mosaico em xadrez composto por lioz de primeira e Mármore Negro com destaque para o andor de procissões. Observe ao fundo a antiga parede com fragmentos angulosos de arenito Manaus. B – Escavações da antiga sacristia, atual museu, com partes expostas do material que sustenta toda estrutura da Catedral. C – Detalhe da parede com blocos irregulares de arenito Manaus. D – Andor de procissões recoberto por finas folhas de ouro.



Fonte: Autora

- Chafariz de Ferro Fundido

Nos centros urbanos, chafarizes e fontes são obras funcionais que tinham a função histórica de, para além da distribuição de água para os cidadãos, amenizar a temperatura ambiente e embelezar um logradouro, funcionam como verdadeiros pontos centrais de socialização (Mendes, 2009; Magalhães, 2014). Assim, são considerados monumentos de utilidade pública edificados normalmente nas proximidades de igrejas e mercados que apresentam forte conotação simbólica nas representações do poder público e religioso locais (Pereira et al., 2007; Nunes Neto, 2014;).

O chafariz está localizado à leste da Praça XV de Novembro, foi inaugurado em 1896, tombado em 15 de agosto de 2008 como parte do Patrimônio Histórico e Cultural de Manaus e representa uma das mais ornamentadas fontes da Manaus antiga. De acordo com as inscrições gravadas em suas peças de ferro fundido, esta obra foi

fabricada pela firma Escocesa *Sun Foundry de Glasgow* (Duarte, 2009). A ornamentação exterior original do chafariz inclui uma piscina com base hexagonal de alvenaria, com vértices marcados por seis estátuas de meninos na companhia de cisnes, três sentados com espadas e três em pé portando cântaros (Figura 24 A). Completam a ornamentação da bacia hexagonal um conjunto de fontes guardadas por esculturas de crianças.

Por sua vez, a ornamentação interior é marcada pela fonte principal sustentada por uma base quadrangular com vértices destacados com esculturas de ferro de crianças carregando bacias na cabeça (Figura 24 B). Na base inferior do chafariz destacam-se doze anjos que sustentam a base superior com a estátua de Vênus equilibrando um vaso na cabeça e acompanhada por crianças entoando trombetas (Figura 24 C).

- Relógio Municipal

A determinação precisa do tempo é vital para cálculos astronômicos, geodésicos e náuticos e, quando inseridos no tecido social, corresponde ao fator mais característico na articulação do espaço urbano. Antes de ser um fator científico, o tempo é essencialmente utilizado na esfera social, pois cadencia o ritmo da sociedade urbana (Santos, 2002; Luz, 2016). Assim, a instalação de mostradores públicos de horas concretiza o estabelecimento de relações temporais com ações cotidianas, como por exemplo o horário de saídas e chegadas do transporte, de compromissos e reuniões de negócios.

Como resposta aos anseios de grande parte da elite manauara as novas experiências e ao estilo de vida moderna difundidos pelo Ciclo da Borracha na cidade, foi inaugurado em 1929 na avenida Eduardo Ribeiro, nas proximidades da Praça XV de Novembro, o Relógio Municipal com peças importadas da Suíça pela firma local Pelosi e Roberti (Figura 24 D). Essa construção possui um formato de torre, com base quadrangular sustentada em arenito Manaus e recoberto por camadas de tintas que exibem o mesmo padrão de imitação da rocha (Figura 24 E).

Na porção superior base quadrangular, os vértices são destacados por luminárias esféricas. Acima da base quadrangular está disposto o relógio ainda ativo com mostradores que permitem a visualização das horas nos dois sentidos da Avenida

Eduardo Ribeiro (Duarte, 2009). Ao redor dos mostradores ganha destaque a frase filosófica referente as horas que traduzida dita: “Todas ferem, a última mata”. No topo do monumento é constatado um sino de ferro que antigamente era acionado ao passar das horas cheias. Ademais, atualmente, o espaço interno da torre de arenito Manaus é ocupado por uma loja comercial.

- Busto do Marechal Floriano Peixoto

A utilização de estátuas e bustos nos centros urbanos data dos primórdios da sociedade e apresentam funções de representação das memórias, da cultura, além de marcos e eventos importantes de épocas passadas. Assim, nos ajudam a rememorar referências históricas, bem como na compreensão da origem e evolução das sociedades (Rossi, 2001; Choay, 2006).

O Marechal Floriano Peixoto foi o segundo presidente da república (1891 – 1894) e um dos principais responsável por consolidar o território após a Guerra do Paraguai (Leal, 2014). O seu busto forjado em bronze foi uma homenagem do superintendente municipal Manuel Rodrigues em 1894 e foi inicialmente colocado como destaque na praça homônima no bairro Cachoeirinha, zona sul da cidade de Manaus. No entanto, em 1942 o logradouro foi doado pelo governo do estado para a construção do Hospital Militar o que resultou na retirada do busto, que ficou sob tutela desconhecida. Em 1966, o busto reaparece na história manauara e foi incorporado no conjunto arquitetônico da Praça XV de novembro, a oeste da CMM. Atualmente, o busto do Marechal Floriano Peixoto está disposto de frente para a rua XV de novembro, sob uma base retangular revestida de rochas graníticas e não exibe qualquer informação sobre sua homenagem (Figura 24 F) (Duarte, 2009).

- Museu da Catedral Metropolitana de Manaus

Desde edificações com funções de segurança de objetos artísticos na Idade Média, passando por locais para a guarda de objetos preciosos destinados aos deuses na Grécia, atualmente o papel principal dos museus é apresentar, informar e preservar a herança cultural da sociedade (Souza, 2009; Almeida e Martínez, 2014). Neste contexto, os museus são locais de aprendizagem ativa que objetivam a divulgação e popularização do conhecimento, de formas que podem variar de lúdica, interativa e contextualizada (Chelini e Lopes, 2008; Lima et al., 2021b).

Em 2002 a área da CMM foi alvo de pesquisas arqueológicas que resultaram na descoberta de peças de cerâmica, garrafas de vidro e da argamassa de muros e colunas com fragmentos rochosos de arenito Manaus (Corrêa, 2007; Fernandes e Santos, 2021). O museu da CMM é um dos produtos da investigação arqueológica na qual foram adicionados ornamentos sacros de relevantes nomes da igreja católica, assim como raros objetos religiosos como a imagem de Nossa Senhora da Conceição trazidas por carmelitas, considerado o objeto mais antigo da cidade de Manaus. Após a última revitalização da CMM em 2002 promovido pelo Programa Monumenta, financiado pelo governo federal, foi removido partes do reboco da antiga sacristia que hoje corresponde ao museu (Figura 25 A).

O elemento que mais chama atenção é representado pela parede lateral do museu e as escavações preservadas que evidenciam o material rochoso que compõem a base da Igreja (Figura 25 B). A parede lateral apresenta dimensões de 8 m de altura e 15 m de largura, exibem fragmentos angulosos de arenito Manaus em meio a porções de cimentos e evidenciam a capela construída após o incêndio de 1850 (Figura 25 C). Além disso, também ganha destaque o andor usado em procissões religiosas recoberto por pequenas e finas folhas de ouro (Figura 25 D).

4.5.2 4.6.2 O Roteiro Virtual da Catedral Metropolitana de Manaus

A inventariação dos elementos da geodiversidade realizada nesta pesquisa permitiu a identificação e georreferenciamento de 30 pontos com potencial para serem explorados turisticamente, dos quais 25 representam ocorrências fossilíferas nos carbonatos portugueses.

Essas localidades foram condensadas em 13 estações navegáveis (EN) principais do roteiro virtual aqui proposto, de acordo com seus aspectos de destaque (Tabela 5 e Figura 26). De forma complementar, o roteiro também conta com 6 estações que fazem a apresentação da proposta e uma introdução sobre o contexto histórico da CMM.

Tabela 5 – Rota das estações navegáveis selecionadas para o roteiro virtual da Catedral Metropolitana de Manaus e seus aspectos de destaque.

Estações Navegáveis	Locais	Aspectos de Destaque
Estação 1	Relógio Municipal	Arquitetônico, Estético e Turístico
Estação 2	Chafariz	
Estação 3	Busto	Educativo e Cultural
Estação 4	Arenito Manaus nos passeis externos da CMM	
Estação 5	Fóssil de <i>Turritella</i>	Educativo, Cultural, Científico, arquitetônico e Estético
Estação 6	Fóssil de <i>Caprinula</i>	
Estação 7	Fóssil de <i>Radiolite</i>	
Estação 8	Ícnofóssil de <i>Thalassinoide</i>	
Estação 9	Átrio da CMM	Educativo, Cultural, Científico, arquitetônico e Estético
Estação 10	Jazigo	
Estação 11	Altar de N. S. das Graças	
Estação 12	Altar de S. Teresinha do Menino Jesus	
Estação 13	Museu da CMM	

Figura 27 Croqui esquemático com destaque para os principais elementos da geodiversidade mapeados e indicados nas 13 estações navegáveis.

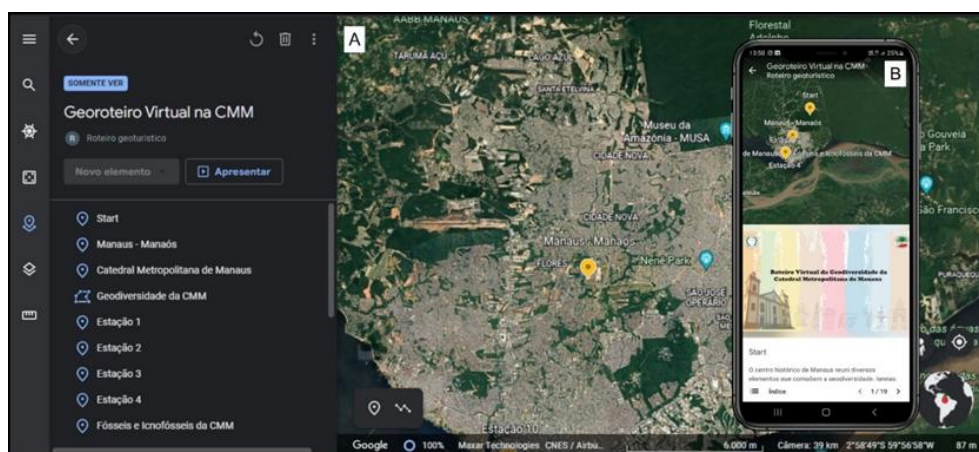


Fonte: Autora

As 13 ENs principais estão dispostas na Av. Eduardo Ribeiro, na Praça XV de Novembro, no entorno e espaço interno da CMM e foram sequenciadas da porção externa da Praça XV de novembro em direção a CMM, de forma que a georota finalize

no destaque principal da geodiversidade. A tela inicial do roteiro virtual do *Google Earth* exibe um panorama da disposição das ENs localizadas na coluna à esquerda do navegador web, com possibilidade para seleção e detalhamento visual (Figura 27). Assim, ao clicar em uma EN é aberta uma camada de visualização com fotos, slides de apoio, imagens do *Google Street View*, textos e links, além de um redirecionamento para área de destino no mapa de cada estação. Caso o usuário decida acompanhar o roteiro sugerido, basta clicar no botão “Apresentação” para que a plataforma inicie a navegação sequencial pelas ENs.

Figura 28 – Layout de abertura do roteiro virtual da geodiversidade da Catedral Metropolitana de Manaus na plataforma Google Earth– Projetos. A – Visão geral do roteiro na plataforma Google Earth acessada via web por computador com destaque para as estações navegáveis na coluna à esquerda. B – Modo de apresentação do roteiro acessada via smartphone.



Fonte: Autora

As ENs 1, 2 e 3 do roteiro virtual, correspondem ao relógio municipal, chafariz e busto do Marechal Floriano Peixoto, respectivamente, apresentando os padrões estético, arquitetônico com apelo turísticos construídos com materiais geológicos de arenito, ferro fundido e bronze. Na CMM as evidências mais significativas da utilização do arenito Manaus estão nos passeios externos do entorno, dedicado a passagem de veículos e representados na EN 4, que apresentam os destaques educacionais, culturais, científicos, arquitetônicos e estéticos. Assim, o arenito com sua coloração avermelhada exibe nítido contrastes com os carbonatos portugueses utilizados nas calçadas.

As ENs 5 a 8 apresentam um caráter educacional, cultural, científico, arquitetônico e estético, visto que evidenciam o rico conteúdo fossilífero de invertebrados marinhos contido nos calcários portugueses. A EN 5 destaca um exemplar de

gastrópodes *Turritela* em cortes longitudinais localizados nas calçadas frontais do templo, próximo a escadaria esquerda de acesso. Nesta estação é possível observar características da concha, como por exemplo o habitáculo, a columela e suturas levemente aplainadas.

A EN 6 está localizada na escadaria frontal à direita da porta principal de acesso da CMM e destaca as valvas de *Caprinula* em cortes transversais e longitudinais, com canais poligonais e piriformes preenchidos pela matriz da rocha hospedeira. Por sua vez, a EN7 está situada à esquerda da escada frontal de acesso a CMM e enfatizam cortes transversais e longitudinais das valvas de Radiolites, com estruturas como pregas transversais e bandas radiais.

Já a EN 8 destaca icnofósseis de *Thalassinoide* com galerias tubulares horizontalizadas e verticalizadas, com geometrias semicirculares situadas na calçada a norte da CMM. Vale ressaltar que os fósseis encontrados na CMM estão dispostos em todo calçamento externo e em partes específicas interna da igreja.

As seções ENs 9 a 13 seguintes no roteiro virtual, exploram a geodiversidade na parte interna da CMM e apresentam temáticas educacional, cultural, científico, arquitetônica e estética. A EN 9 destaca o revestimento de Calcário Lioz fossilífero e Mármore Negro negro do piso no átrio e as alas laterais, que apresentam formas de mosaicos em xadrez e em mandala. À direita da entrada da CMM, a EN 10 enfatiza rochas de revestimento em calcário português e Mármore Carrara no jazigo de restos mortais de bispos e nomes importantes que passaram pela CMM. Ademais, também podem ser constatados nos carbonatos desta estação fósseis de bivalves *Radiolites* e *Caprinulas*.

As ENs 11 e 12 são representadas respectivamente pelos altares de N. S. das Graças e Santa Teresinha do Menino Jesus, com destaque para o revestimento de rochas que incluem o Calcário Lioz, Mármore Carrara e Negro, além do granito vermelho Verona. Excepcionalmente no altar de Santa Teresinha do Menino Jesus, os calcários portugueses no sacrário e na base do altar exibem exemplares didáticos de fósseis de bivalves *Caprinula* e *Radiolite*.

Por último, a EN 13 corresponde ao museu localizado na antiga sacristia oeste da CMM que exploram os resultados de pesquisas geológicas realizadas na CMM e

artigos religiosos. Ademais, cada estação navegável possui caráter geológico conforme (Tabela 6), com base nas ocorrências por localidade interno e externo da CMM.

Tabela 6 – Rota das estações navegáveis selecionadas para o roteiro virtual da Catedral Metropolitana de Manaus com características geológicas de cada estação.

Estações Navegáveis	Locais	Características Geológicas
Estação 1	Relógio Municipal	Arenito Manaus
Estação 2	Chafariz	Ferro Fundindo
Estação 3	Busto	Bronze
Estação 4	Arenito Manaus nos passeios externos da CMM	
Estação 5	Fóssil de <i>Turritela</i>	Arenito Manaus Conteúdo Fossilífero
Estação 6	Fóssil de <i>Caprinula</i>	
Estação 7	Fóssil de <i>Radiolite</i>	
Estação 8	Iconofóssil de <i>Thalassinoide</i>	
Estação 9	Átrio da CMM	Arenito Manaus Calcário Lioz Conteúdo Fossilífero
Estação 10	Jazigo	
Estação 11	Altar de N. S. das Graças	
Estação 12	Altar de S. Teresinha do Menino Jesus	
Estação 13	Museu da CMM	

De forma complementar e para massificar a publicidade do roteiro virtual criado, as informações geradas foram disponibilizadas em um *website* desenvolvido com as informações gerais sobre o projeto, mapa interativo da CMM com textos didáticos sobre as estações mais representativas, portfólio com fotografias dos elementos da geodiversidade presente na CMM, além do acesso ao roteiro virtual no *Google Earth* (Figura 28). O *website* está disponível no endereço <<http://georroteirovirtualcmm.icomp.ufam.edu.br>> e, pode ser acessado pela maioria dos navegadores.

Figura 29 – Página inicial do Web Site com informações gerais da pesquisa e acesso ao roteiro virtual.



Fonte: Autora

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

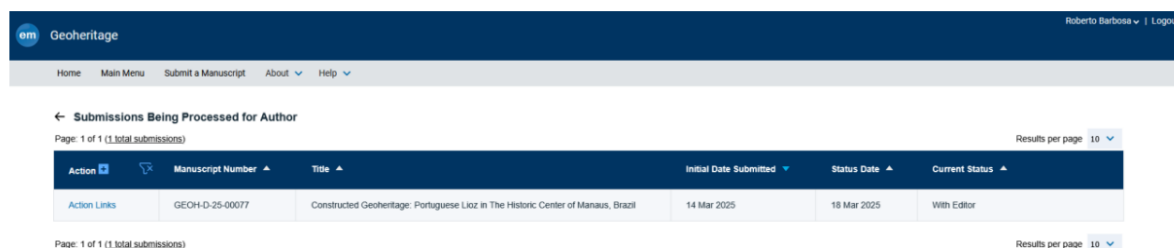
Esta pesquisa abordou os aspectos da geodiversidade urbana em um dos principais símbolos históricos da cidade de Manaus. A inventariação realizada permitiu reconhecer os 3 principais elementos da geodiversidade inseridas na forma de rochas de revestimento no conjunto arquitetônico da Catedral Metropolitana de Manaus, representadas por rochas siliciclásticas chamadas de arenito Manaus exploradas em muitos locais, por carbonatos portugueses com conteúdo fóssilífero de invertebrados marinhos, além de obras funcionais como o relógio municipal, a fonte de ferro Fundido, o busto do Marechal Floriano Peixoto e o museu da CMM.

A partir da inventariação dos elementos da geodiversidade foi desenvolvido um Roteiro Virtual na plataforma Google Earth com os 13 principais destaque da CMM que visa ampliar o portfólio turístico da cidade de Manaus, bem como otimizar o processo de ensino e aprendizagem dos conceitos da geodiversidade. Além disso, a georroteira proposta também pode ser aproveitada pela comunidade em geral, uma vez que a visita ao roteiro virtual pode servir como apoio para excursões presenciais.

Vale ressaltar que este produto pode ser adaptado para novas geotecnologias, visando a implementação de conteúdos informativos adicionais nas ENs, como por exemplo *QRCode*, realidade aumentada e ou painéis interativos, valorizando ainda mais o produto gerado. Diante do exposto, este roteiro virtual agrega valores geológicos de cunho educativo/turístico que fomentam conceitos da geodiversidade presente na geologia urbana e assim, propaga temáticas de geoconservação patrimonial para comunidade.

CAPITULO 5 – Artigo submetido na revista Geoheritage Qualis A2

Comprovante de Submissão a Revista Geoheritage



The screenshot shows the Geoheritage journal submission system interface. At the top, there is a navigation bar with links for Home, Main Menu, Submit a Manuscript, About, and Help. The user is logged in as Roberto Barbosa. The main content area displays 'Submissions Being Processed for Author' with a table of submissions. The table has columns for Action, Manuscript Number, Title, Initial Date Submitted, Status Date, and Current Status. One submission is listed with Manuscript Number GECH-D-25-00077, Title 'Constructed Geoheritage: Portuguese Lioz in The Historic Center of Manaus, Brazil', Initial Date Submitted 14 Mar 2025, Status Date 18 Mar 2025, and Current Status With Editor.

Action	Manuscript Number	Title	Initial Date Submitted	Status Date	Current Status
Action Links	GECH-D-25-00077	Constructed Geoheritage: Portuguese Lioz in The Historic Center of Manaus, Brazil	14 Mar 2025	18 Mar 2025	With Editor

5. BUILT HERITAGE: PORTUGUESE LIOZ IN THE HISTORIC CENTER OF MANAUS, BRAZIL.

AUTHORS INFORMATION: Márcia Carvalho de Oliveira¹, Roberto Cesar de Mendonça Barborsa¹, Vivian Larissa Gonçalves Cavalcante¹, Albert Reis Furtado¹, Melrian Fernandes Vasconcelos²

¹ Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas. Av. Gen. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3,000. Coroado. Manaus, Brazil. Zip Cep: 69,077-000.

² Universidade Federal do Amazonas. Av. Gen. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3,000. Coroado. Manaus, Brazil. Zip Cep: 69,077-000.

marcia.oliveira@ufam.edu.br - <https://orcid.org/0000-0003-1699-8963>

rcbarbosa@ufam.edu.br - <https://orcid.org/0000-0002-6869-4235>*

vivian.lgcavalcante@gmail.com - <https://orcid.org/0009-0009-9934-560X>

reisalbertf@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0001-9584-8765>

melrianvasconcelos@gmail.com - <https://orcid.org/0009-0004-7882-6037>

*Corresponding author.

5.1 ABSTRACT:

The use of specific building stones in constructions reflects the historical, social and cultural aspects of a specific region. A remarkable example is Lioz Limestone, which is widely used in Portuguese colonial buildings and recognized as a heritage stone by the International Union of Geological Sciences. Found in the main historic buildings of Manaus (Brazil), this limestone reflects the legacy of the 18th century Rubber period,

which was strongly influenced by Portuguese architecture, and adds social and cultural value to the city. Thus, there is a need to propose initiatives for Lioz Limestone records and geoconservation in the historic buildings of Manaus, which can generate opportunities for geotourism and geoeeducational practices. This paper presents a mapping, qualitative inventory of geodiversity and a virtual record of the fossil assemblage in Lioz Limestone found in the main historical buildings of Manaus (Brazil). The use of Lioz Limestones was grouped into structural, functional and decorative categories, complemented by the identification of the fossil assemblage, represented by bivalves (*Caprinula*, *Radiolites*, and *Distefanella*), gastropods (*Nerinea*, *Neoptyxis*, *Plesioptygmatis*, *Turritela*, and *Tylostoma*) and ichnofossils (*Thalassinoid*). An online virtual geotourism itinerary was created of the uses of Lioz Limestone, supported by panoramic images and 3D models of six historical buildings, aiming to promote interdisciplinary integration and strengthen geoconservation practices of the stone heritage in the Historic Center of Manaus.

KEYWORDS: Heritage Stones, Urban Geodiversity, Virtual Tour, 3D Model.

STATEMENTS AND DECLARATIONS

Competing Interests: The authors declare that they have no competing interests.

Data transparency: Not applicable.

Code availability (software application or custom code): Not applicable.

AUTHOR CONTRIBUTION

All the authors contributed to the conception and design of the study. Inventorying, flight surveys, sample descriptions, writing, and analyses were performed by Márcia Carvalho, Roberto Cesar de Mendonça Barbosa, Vivian Larissa Gonçalves Cavalcante, Albert Reis Furtado, and Melrian Fernandes Vasconcelos. The first draft of the manuscript was written by Márcia Carvalho de Oliveira, and all the authors commented on earlier versions of the manuscript. All the authors read and approved the final manuscript.

ACKNOWLEDGMENTS: The authors would like to thank PhD. Solange Costa, PhD. Humberto Lima and Diego Venâncio for their help in acquiring the images, the Support Center for Research in Geological Heritage and Geotourism (GeoHereditas/IGc/USP) for hosting the virtual tour and Federal University of Amazonas for the infrastructure.

FUNDING: This study was funded by the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) through the Consolidation Project for Courses with Grades 3 and 4 and by the Amazonas State Research Support Foundation (FAPEAM).

5.2 INTRODUCTION

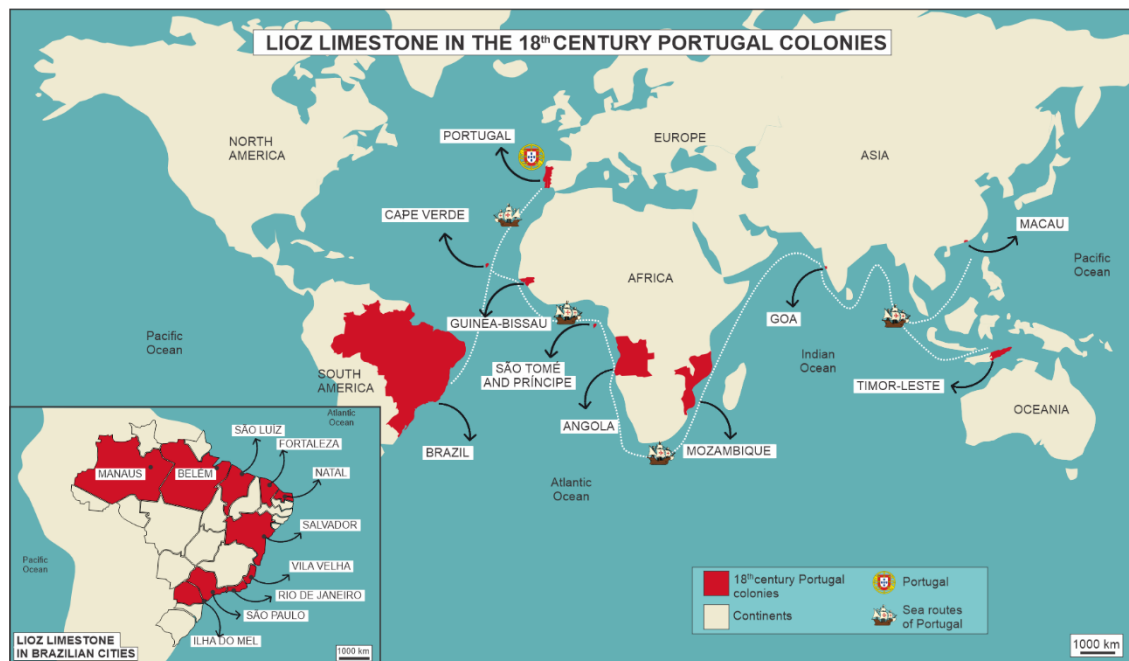
The building stones used throughout history transcended their primary structural properties and played a fundamental role in the construction of the cultural identities of various regions (Philipp et al. 2009; Edensor 2013; Freire-Lista 2021; Pereira 2023). In 2024, the Heritage Stone recognized 55 ornamental heritage stones used in architecture worldwide. These stones are valued not only for their aesthetic beauty but also for their historical and cultural significance (Castro et al. 2023; Ehling et al. 2024; Ozkul et al. 2024). Some examples of ornamental heritage stones include Carrara Marble from Italy, Lavirkite from Norway, and Lioz Limestone from Portugal, which share characteristics such as durability, aesthetic beauty, and high historical and cultural value in the places where they are being used.

In particular, Lioz Limestone is widely used in pavements and buildings throughout Lisbon, as well as in its overseas colonies. Notable examples include the use in the Luanda Cathedral (Angola), masonry from buildings in Cape Verde and pavements that adorn the streets of Mozambique, Macau (China) and Goa (India) (Fig. 29; Primavera 2015; Oliveira 2017; Zandonai and Amaro 2018; Silva C 2019; Borges 2020; Hannibal et al. 2020; Fan and Chen 2022; Silva and Pereira 2022; Castro et al. 2023; Pereira 2023; Ehling et al. 2024).

The export of Lioz Limestone as a building stone to ex-colonies demonstrated a Portuguese commercial influence in the 18th century and contributed to the preservation of the architectural style of the period (Silva C 2019). Lioz Limestone is a commercial name given to a cretaceous carbonate from the Lusitanian Basin, which historically quarried around the cities of Sintra, Lisbon and Mafra in Portugal. Owing to its calcitic composition and easy manufacturing, it has geotechnical properties that are ideal for use as a construction material (Carvalho et al. 2000; Manuppella et al. 2011; Silva C

2019; Rodrigues 2022; Jordão and Cardoso 2024). In addition, a unique color and rudist fossil assemblage create a distinctive aesthetic when polished, increasing the value for ornamental and decorative elements (Polck et al. 2020; Nascimento and Silva 2021).

Figura 30 – 18th century Portuguese colonies with Lioz Limestone as a building stone, with an emphasis on Brazilian cities.



Fonte: Autora

In Brazil, the largest 18th century Portugal colony, Lioz Limestone is widely used in historic buildings. For example, it is found in the front façade of the Nossa Senhora da Conceição Church (Belém), as decorative elements in the Terceira Ordem do Carmo Church (São Paulo), in floors and pavements (Rio de Janeiro) and staircases of historic buildings in Manaus (Del Lama 2019; Lima et al. 2021b; Del Lama and Costa 2022). This illustrates how Lioz Limestone selection and use not only shaped physical structures but also profoundly influenced the cultural and visual identities of Brazilian cities (Berthault 2004; Mendes 2006; Prochaska 2023).

Although researchers are already doing extensive mapping and creating urban geodiversity itineraries focusing on the Lioz Limestone fossil assemblage as part of cultural and heritage geoconservation efforts (Queiroz et al. 2019; Baucon et al. 2020; Polck et al. 2020; Gomes and Ponciano 2021; Lima et al. 2021b; Pacheco and Cação 2021; Mozer et al. 2022; Silva and Pereira 2022; Oliveira et al. 2024; Silva et al. 2024), the city of Manaus still lacks an integrated mapping of these occurrences. Therefore,

this paper presents a qualitative inventory of Lioz Limestone in the Historic Center of Manaus (HCM), highlighting a fossil assemblage and a virtual geotourism itinerary based on panoramic images and 3D modeling of historic buildings. This initiative aims to record Brazilian patronal stone heritage, as well as urban geological portfolio dissemination, which may benefit heritage education and geoconservation practices in the city of Manaus, strengthening its historical connection.

5.3 METHODS

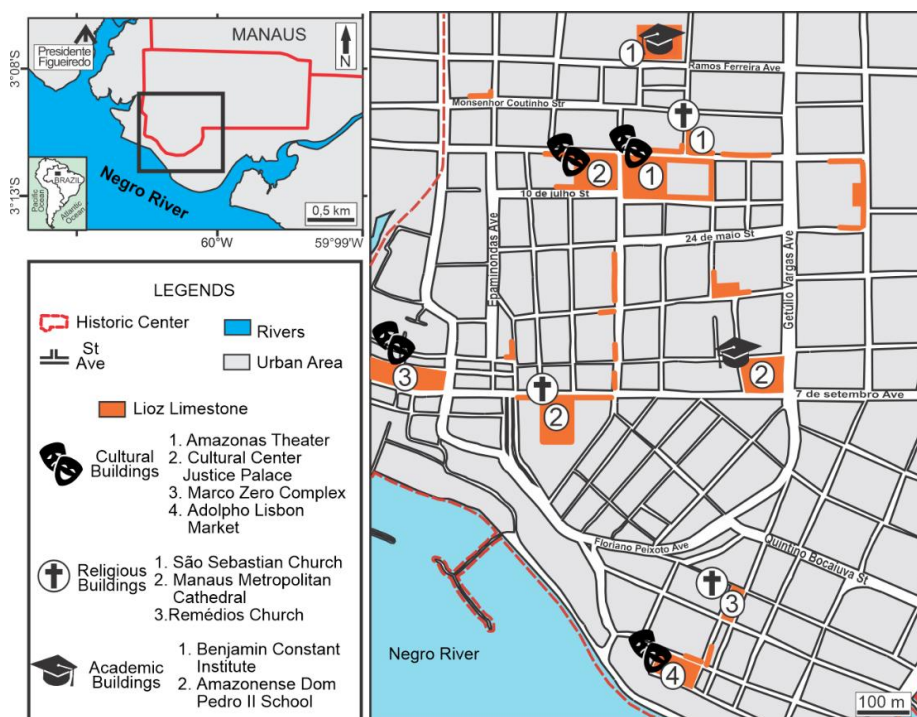
A cataloging of geodiversity was carried out with a focus on the use, historical importance and tourist potential of the Lioz Limestone used in the HCM buildings. Therefore, a technical terminology of imperial architecture was used for the precise identification in the historic buildings (Colin 2010). Sites such as the Amazonas Theater, São Sebastião Church, Metropolitan Cathedral of Manaus, Remédios Church, Palácio da Justiça Cultural Center (or Palace of Justice), Adolpho Lisboa Market, Marco Zero Complex, Benjamin Constant Institute, Amazonense Dom Pedro II School and sidewalks on streets and avenues were previously selected for this research (Fig. 30).

For 3D modeling of the historic buildings, aerial photographs were taken using a DJI Mavic Air 2 drone. Parallel and orbital planned flights with 80% overlap in the vertical and horizontal axes were performed, complemented by manual flights conducted on architectural detailed images. Two buildings with the best historical, cultural, geological and tourist values were selected for 3D modeling via photogrammetry techniques with Agisoft Metashape software (Carrivick et al., 2016; Magalhães et al. 2018; Carvalho et al. 2023). In addition, a virtual itinerary was carried out using the Kolor Panoutor Pro 2.5 software, which allowed panoramic images grouping and the insertion of 3D models, videos, and interpreted maps.

This research also focused on the macroscopic petrographic characterization of the Lioz Limestone, comprising direct observations of color, texture, pathologies and fossil assemblages. These features were compared with those of Carvalho et al. (2013) and Silva Z (2019) to identify and name commercial varieties of Lioz Limestone. For the identification of the fossil assemblage, a comparative evaluation was carried out from Sharpe (1849); Calzada (1992); Hessel and Barbosa (2005); Ayoub-Hannaa e Fürsich (2011); Calzada and Corbacho (2014) and Raisossadat and Noori (2016) for gastropods; Al-Aasm and Veizer (1986); Skelton and Gili (1991); Ozer and Ahmad

(2016); Schmitt et al. (2022); Silva and Pereira (2023) and Philip et al. (2024) for bivalves; and Lii (2001), Ekdale and Bromley (2003) and Knaust (2024) for ichnofossils.

Figura 31 – Lioz Limestone in the buildings and sidewalks of the Historic Center of Manaus. The historic buildings were organized according to their cultural, religious and academic functions.



Fonte: Autora

5.6 PORTUGUESE ROYAL STONES IN THE HISTORICAL CENTER OF MANAUS

Lioz Limestone is the commercial name for reef carbonates of the Bica Formation, which forms the first-order transgressive-regressive megasequence of the Lower to Upper Cretaceous Lusitanian Basin (Portugal) (Reis et al. 2010; Ribeiro et al. 2017). This stone is a calcitic microcrystalline carbonate with rudist fossils, from beige to reddish color, linked to a shallow carbonate platform of the western paleocean Thetis (Masse e Fenerci-Messe 2008; Sha et al. 2020; Pacheco e Cachão 2021). Moreover, the fossil assemblages include bivalves, gastropods and ichnofossils, which indicate rich biological activity during the Cretaceous in this region (Carvalho et al. 2003, Manuppella et al. 2011; Moura et al. 2023; Ehling et al. 2024).

Lioz Limestone was highly important for civil reconstruction after the catastrophic tsunami, and a widespread fire occurred in 1.775. It became known as "Portuguese Royal Stone" owing to its great availability and technical properties suitable for composing structures and ornaments (Ribeiro et al. 2018; Silva Z 2019). During the colonization process of Portugal, Lioz Limestone was widely used in colony territories and

is often transported as ballast by ships to countries such as Brazil, which highlights the influence of Portugal on architecture and engineering in several parts of the world (Martins 2013; Silva 2007; Del Lama and Costa 2022; Mozer et al. 2022; Castro et al. 2023; Ehling et al. 2024).

In Brazil, historical evidence highlights the use of Lioz Limestone in coastal capital city constructions and streets due to easy port access, such as in Salvador, Rio de Janeiro, São Luís, Recife and Belém (Salvino 2018). However, widespread use in Manaus occurred during the Rubber period (1.879–1.912), playing a fundamental role in the structuring and embellishment of the capital of the State of Amazonas (Corrêa 2007; Dias 2023; Duarte 2009; Lima et al. 2021b). Thus, the Amazonas Theater, the Palace of Justice and the Metropolitan Cathedral of Manaus were built following an eclectic style that combines different architectural models, such as columns, halls, courtyards and facades or arcades (Falcón and Páscoa 2017; Enab 2018). Most of the religious, academic, and tourist buildings of this historic period have incorporated eclectic architecture in their facades using Portuguese Limestone as structural pieces, functional ornaments or decorative details. The most common commercial varieties in the HCM are Chainette (the cross-cut beige variety), characterized by stylolites and/or chemical dissolution planes; Encarnadão (the red variety), pinkish to reddish; Amarelo Negrais (the yellow variety, from the Negrais region), with yellowish tones; and the first class Lioz, generally beige to ivory color, containing rudist fossils (Lima et al. 2021b; Oliveira et al. 2024).

5.7 THE LIOZ LIMESTONE ARCHITECTURAL USES

The Lioz Limestone was mapped in buildings, streets and avenues of the HCM and organized into three categories according to their use: structural, functional and decorative (Tab. 7).

5.7.1 Lioz Structures

The structural elements of a building are the key components that support both vertical and horizontal loads, ensuring the stability and strength of the structure and enabling it to fulfill its intended purpose. The main types of structural elements include columns, foundations, beams, slabs, arches and others (Giongo 2005; Pinheiro 2007; Virbule et al. 2019). Lioz Limestone is found in HCM as columns and door arches in the City Museum, Metropolitan Cathedral of Manaus and Amazonense Dom Pedro II School (Tab. 7).

Tabela 7 – Lioz Limestone in the buildings of the Historic Center of Manaus and its architectural uses.

1. Amazonas Theater, 2. São Sebastião Church, 3. Metropolitan Cathedral of Manaus (Nossa Senhora da Conceição), 4. Remédios Church, 5. Palace of Justice, 6. Adolpho Lisboa Market, 7. City Museum, 8. Benjamin Constant Institute, and 9. Amazonense Dom Pedro II School.

Structural		Functional		Decorative	
Use	Building	Use	Building	Use	Building
Columns	7 and 9	Floors	3 and 6	Holy fonts	3
		Pavements and curbs	1 to 9	Altars	3
		Window sills	7	Mausoleum	3
Door Arches	3 and 9	Door sills	1, 2, 3, 5, 6 and 7	Tabernacle	3
				Ladder	1, 3 to 9
				Capital	7 and 9
				Pediment	7 and 9

Fonte: Autor

Columns

Columns of Chainette variety occur on the facades of two historic buildings, the City Museum, also known as the Liberdade Palace, and the Amazonense Dom Pedro II School (Fig. 31). The City Museum facade has a portico composed of two segmented columns in the Tuscan style with the central part thicker than the ends, formed by three solid blocks with smooth shafts (Figs. 31a and 31b). On the other hand, the Amazonense Dom Pedro II School facade has four columns of Chainette variety, composed of six solid blocks joined together in a way that gradually narrows upward. Furthermore, the smooth shafts in the Tuscan style maintain the same patterns observed in the previous building (Figs. 31c and 31d).

Door Arches

Lioz Limestone door arches were found at two sites, the Metropolitan Cathedral of Manaus and the Amazonense Dom Pedro II School (Fig. 31). The arches that frame the three entrances to the Amazonense Dom Pedro II School have softer shapes with straight friezes in the upper part, composed of seven Chainette variety blocks joined along the pillar (Figs. 31c and 31d). The arches of the three front doors in the Metropolitan Cathedral of Manaus are carved in first class Lioz in a Roman style, displaying a neoclassical pattern with an emphasis on linear moldings and simple friezes. In addition, small reliefs and carvings on the moldings follow geometric and floral patterns

that enrich the composition. Each arch is a work of engineering that combines structural stability with refined artistic expression, resulting in a facade that enhances the architectural value of the building (Figs. 31e and 31f).

Figura 32 – Examples of columns and arches of the Chainette variety in the City Museum, the Dom Pedro II Amazonian College and the Metropolitan Cathedral of Manaus. a. Front facade of the City Museum with column shafts of the Chainette variety in the front gate. b. Details of the blocks (arrow) that make up the columns of the Chainette variety of the City Museum. c. Amazonense Dom Pedro II School with columns and arches of the Chainette variety. d. Detail of the central column with a smooth shaft in the Tuscan style and Chainette blocks that support the entrance arch. e. Facade of the Metropolitan Cathedral of Manaus with three front arches carved in Lioz Limestone. f. The Roman-style arch is carved in first class Lioz Limestone in the Metropolitan Cathedral of Manaus, highlighting the ornaments (arrows).



Fonte: Autora

5.7.2 Lioz Functional Elements

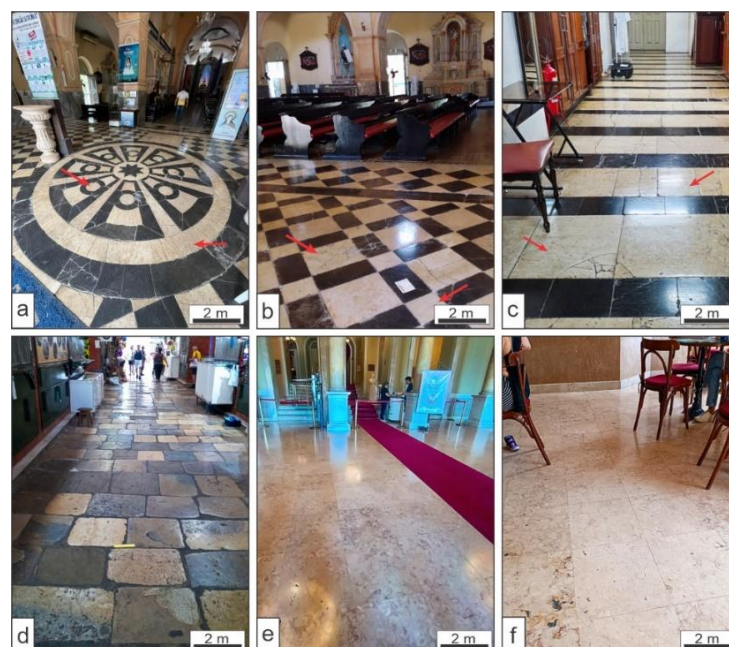
Functional elements are essential to the efficiency and utility of a building. To achieve high functional quality, a building must incorporate several key aspects: good accessibility, ample space, an efficient and intuitive layout and physical conditions that promote a safe, healthy and pleasant environment for users. Components such as walls, windows, and terraces play important roles in creating the necessary comfort within the built environment (Van der Voordt and Van Wegen 2013; Mathew et al. 2015). The Lioz Limestone functional elements are floors, sidewalks, curbs, windows,

and door sills. The functionality represents the most frequent use of this material in the HCM due to its durability and resistance, in addition to providing aspects of beauty to the historic buildings (Tab. 7).

Floors

Lioz Limestone floors occur in several historic buildings, including the Metropolitan Cathedral of Manaus, the Adolpho Lisboa Market and the Amazonas Theater (Fig. 32). The floor at the entrance to the cathedral is composed of first class Lioz and Amarelo Negrais tiles, which are organized in a mandala geometric pattern (Fig. 32a). At the side wings, the checkerboard mosaic floor is the first class Lioz, Chainette, Amarelo Negrais varieties and black marble (Fig. 32b). Inside the sacristy, the floor is laid with rectangular blocks, mainly the first class Lioz and Amarelo Negrais tiles (Fig. 32c). In contrast, the Adolpho Lisboa Market floors are mainly composed of Amarelo Negrais variety tiles (Fig. 32d), and the front hall and side wings of the Amazonas Theatre floors are entirely composed of the first class Lioz variety with ruddist fossils (Figs. 32e and 32f).

Figura 33 – Lioz Limestone floors of the Metropolitan Cathedral of Manaus, Adolpho Lisboa Market and Amazonas Theatre. a. The wind rose mosaic floor is a black marble and Chainette variety (see arrow). b. The lateral floor of the Metropolitan Cathedral is composed of black marble and Lioz Limestone, mostly of the Chainette variety (see arrow). c. Details of the cathedral's sacristy floor, which includes black marble and Chainette variety (see arrow). d. The Amarelo Negrais from Adolpho Lisboa Market floors e. The floor of the Amazonas Theater is composed entirely of the first class Lioz. f. Details of the lateral floor of the Amazonas Theater showing polished first class Lioz Limestone.



Sidewalks and Curbs

The Lioz Limestone pavements surround the main buildings and have been partially preserved in several avenues, streets and squares of the HCM, such as Eduardo Ribeiro and Sete de Setembro Avenues, 10 de Julho and 24 de Maio Streets and Dom Pedro II Square. The Lioz Limestones also compose the exterior pavements of the Amazonas Theater and the Palace of Justice (Fig. 33). Although many avenues and streets maintain historic Lioz Limestone pavements, several others have been revitalized or replaced by modern construction materials. The Lioz Limestone blocks generally have square or rectangular shapes to match the curbs. Many varieties of Lioz Limestone are used for sidewalks and curbs, such as Chainette, Encarnadão, and first class Lioz varieties, but the most notable is Amarelo Negrais, which has some of the best examples of gastropod fossils.

Figura 34 – Lioz Limestone pavements around buildings, avenues and streets at the Historic Center of Manaus. a. Amazonas Theater's Amarelo Negrais variety sidewalks and curbs. b. Amarelo Negrais sidewalks around the Palace of Justice at Eduardo Ribeiro Avenue. c. Part of Eduardo Ribeiro Avenue paved with Amarelo Negrais variety. d. Sidewalks and curbs of 10 de Julho Street with the Amarelo Negrais variety. e. The 24 de Maio Street sidewalks composed of the Amarelo Negrais variety. f. Sete de Setembro Avenue, around the Amazonense Dom Pedro II School, paved with Amarelo Negrais variety.



Fonte: Autora

Window and Door Sills

Lioz Limestone door sills (also known as thresholds) serve a similar purpose to window sills but are used at the bottom of door frames. It occurs in many notable places, such as the Amazonas Theater, the Palace of Justice, the Metropolitan Cathedral of Manaus and the City Museum, which are composed of Chainette and Amarelo Negrais varieties and typically exhibit rectangular forms carved in a single block. In some cases, thinning is observed in the central part of the door sill due to intense use (Figs. 34a to 34d). On the other hand, the window sills are restricted to the City Museum and incorporated into entire window and door frames, which are composed of a Chainette variety with small rudist fossils (Figs. 34e and 34f).

Figura 35 – The Amazon Theater, Palace of Justice, Metropolitan Cathedral of Manaus and City Museum have door sills composed of Chainette variety. a. Front entrance of the Amazonas Theater with Chainette sills (arrow). b. Chainette door sill (arrow) from the Palace of Justice floor. c. The Chainette variety sills on the front doors of the Metropolitan Cathedral of Manaus. d. Abrased Chainette sill at the City Museum. e. Front facade of the City Museum with frames, door sills, and window sills (arrows) composed of Chainette varieties. f. City Museum's lateral window with a Chainette variety sill.



Fonte: Autora

5.7.3 Lioz Decorative Elements

Lioz Limestone decorative elements correspond to sacred objects, such as altars, holy water fonts and tomb ornaments, as well as coverings for stairs, ornaments for

capital columns and pediments. These elements are mostly concentrated in the Metropolitan Cathedral of Manaus, except for the chapter, which is mapped only to the Amazonense Dom Pedro II School and the City Museum (Tab. 7; Figs. 35 to 37).

Sacred Objects

The Metropolitan Cathedral of Manaus has the greatest diversity of applications and uses of Lioz Limestone as ornaments. The first class Lioz and Encarnadão varieties comprises the mausoleum dedicated to the bishops of the Church. Furthermore, the Chainette variety can be found on the holy water fountains at the entrance of the church, and the Encarnadão variety with rudist fossils compounds the altars and the tabernacle, which are objects of extreme importance to Catholicism and the most notable applications of Lioz Limestone in the HCM (Figs. 35a to 35d).

Figura 36 – Sacred objects of the Metropolitan Cathedral of Manaus composed of first class Lioz Limestone, Chainette, Amarelo Negrais and Encarnadão varieties. a. Mausoleum with walls made of first-class limestone and Amarelo Negrais varieties (arrows). b. Holy water font at the atrium composed of Chainette variety. c. The altar with walls ornamented with the Encarnadão variety (arrows). d. The Encarnadão tabernacle.

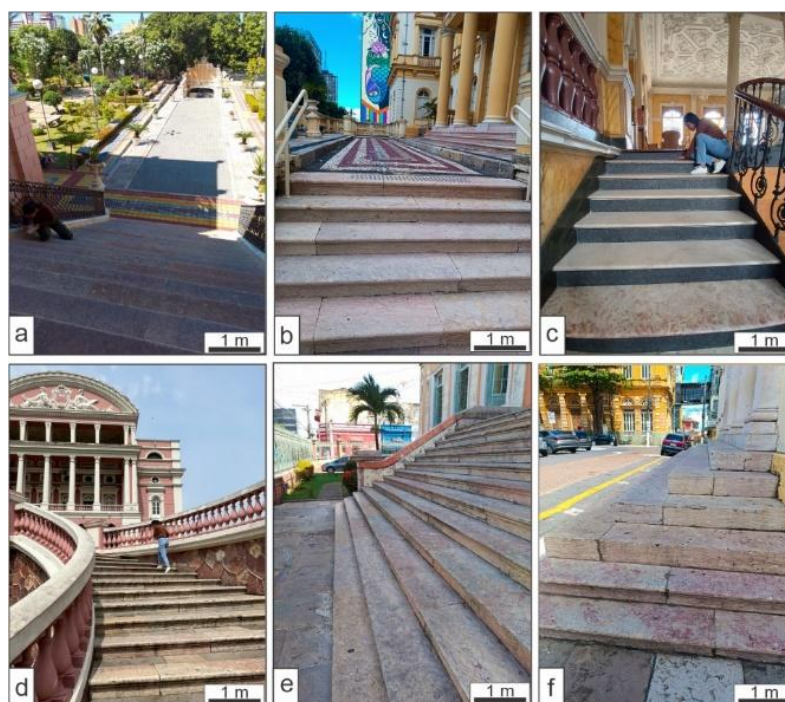


Fonte: Autora

Stairs

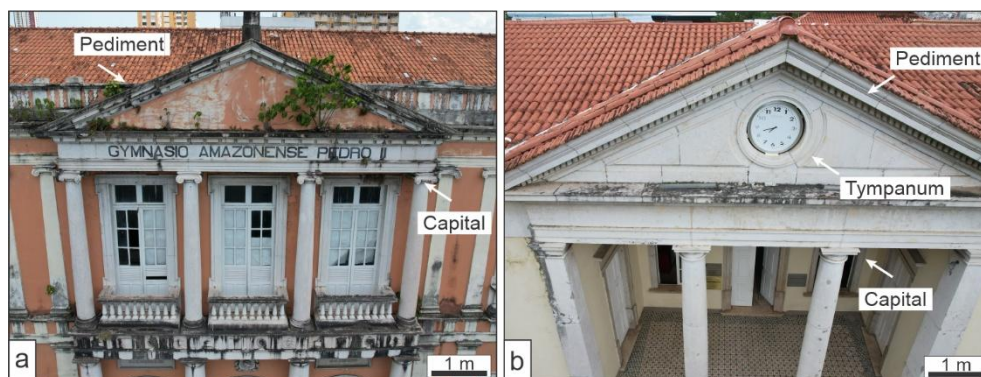
Stairs are among the most common elements where Lioz Limestones are used in the HCM. Except for the São Sebastião Church, the other buildings have stairs ornamented with one or more varieties of Lioz Limestones. However, there is a preference for the use of first class and Encarnadão varieties, which are the best examples of rudist fossils (Fig. 36). Lioz stairs are usually made with two polished rectangular pieces. The first forms the steps with rounded edges to ensure a safe finish, and the second forms the steps riser, giving the staircase an aesthetic sense of depth. In some cases, the steps are carved from a single rectangular block with straight edges and a smooth riser.

Figura 37 – Staircases in the Historic Center of Manaus ornamented with Amarelo Negrais, first class Lioz, Chainette and Encarnadão varieties. a. Stairs of the Benjamin Constant Institute are composed of all limestone varieties. b. Palace of Justice staircase with rounded floors and recessed risers of first class Lioz and Encarnadão varieties. c. Detail of the Palace of Justice staircase with first class Lioz floor and iron risers. d. Details of the front staircase of the Amazonas Theater with floors and risers mainly ornamented with the first class Lioz. e. The staircases of the Amazonense Dom Pedro II School ornamented mainly the first class Lioz, Encarnadão and Chainette varieties. f. Details of the City Museum stairs ornamented with the Encarnadão variety.



Fonte: Autora

Figura 38 – Capitals and pediment of the Amazonense Dom Pedro II School and City Museum. a. The front façade of the Amazonense Dom Pedro II School with simple Chainette pediment and capitals in the Ionic style (arrow) and details of the capital spiral volutes. b. Façade of the City Museum, which is composed of a Chainette variety pediment, tympanum and simple capitals in the Tuscan style.



Fonte: Autora

At the Benjamin Constant Institute, the steps are composed of pieces of first class Lioz, Encarnadão and Amarelo Negrais varieties (Fig. 36a). On the other hand, in the outer courtyard of the Palace of Justice, both the steps and the risers are first class Lioz, Chainette, and sometimes Encarnadão varieties (Fig. 36b). In the inner courtyard, the front staircase is composed only of fossil-bearing Encarnadão steps, and the risers are made of iron plates, as is the banister (Fig. 36c). In the Amazonas Theater, the steps are mainly of the first class Lioz, and sometimes of the Encarnadão variety (Fig. 36d). At the Amazonense Dom Pedro II School, the stairs are ornamented with both the Encarnadão and Amarelos Negrais varieties, with rectangular pieces similar to those found at the Amazonas Theater, Remédios Church, and Adolpho Lisboa Market (Fig. 36e). Finally, at the City Museum, the central stairs are a single carved block with straight edges of the first-class Lioz and Encarnadão varieties on the sides (Fig. 36f).

Capitals and Pediments

The capital (also known as chapter or finial) is the upper part of the column, located between the shaft and the entablature, with different shapes and styles, ranging from simpler models to more elaborate ones (Ching 2011; Cam 2018; Taxel 2018). Pediments are triangular-shaped architectural elements located at the top of a building's facade, resulting in symmetry and a grandiose appearance. In the Amazonense Dom Pedro II School, the chapter on the facade is of Chainettes variety in the Ionian style and have delicate volutes accompanied by discrete fillets, creating a fluid transition. On the other hand, the pediment is composed of a Chainette variety and has

simple and fine details (Fig. 37a). In the City Museum, the capitals are also a Chainette variety and a simpler design in the Tuscan style, with smooth rounded abacus, rectangular fillets, and straight lines. The City Museum Chainette pediments are slightly ornamented, with small inner edge friezes and a clock on the tympanum (Fig. 37b).

5.8 FOSSIL ASSEMBLAGES

Lioz Limestone is known for being rich in marine invertebrate fossil components and is widely used at historical sites and buildings in Brazil, many of which are cataloged by the National Institute of Historical and Artistic Heritage (IPHAN). Thus, urban geodiversity assessment, which focuses on fossil identification, is traditionally carried out via nondestructive methods, such as observations, descriptions and comparisons. Nine fossils of the Mollusca phylum were identified and cataloged in Lioz Limestones, distributed in the Gastropoda class (genera *Nerinea*, *Turritella*, *Tylostoma*, *Plesioptygmatis* and *Neptyxis*), in the Bivalvia class (genera *Caprinula*, *Radiolite* and *Distefanella*), besides the ichnofossil occurrence (ichnogenus *Thallasinoide*) (Tab. 8).

5.8.1 Bivalvia

Fossils of the class Bivalvia are characterized by shells composed of two articulated valves (Fernandez et al. 2012; Venkatesan and Mohamed 2015). The morphology varies according to lifestyle, ranging from free-swimming to benthonic organisms. Among the latter, the rudists *Caprinula*, *Radiolites*, and *Distefanella* are the most common in the first class Lioz and Encarnadão varieties (Ghiselli et al. 2021; Sharma et al. 2023). In the first class and Encarnadão, bivalve shells, such as *Caprinula* and *Radiolites*, have a calcitic composition, but their preservation may vary. In *Caprinula*, the shell is preserved by neomorphized calcite, which maintains its original shape without significant mass loss (Ozer and Ahmad 2016). This process reorganizes the calcite crystals, replacing the original microstructure for a larger one (Cercione et al. 1991). In addition, the empty spaces in the shell are filled by micrite, preserving the internal morphology patterns (Wright et al. 2018).

In contrast, in *Radiolites*, the original shell is dissolved during diagenesis and later filled with calcitic cement, thus preserving the morphological patterns (Posenato et al. 2018). This process is the result of interstitial fluid circulation, which may change the environment chemistry and promote dissolution of the original carbonate shell, facilitating subsequent cement filling (Gaillard et al. 1987). In addition, the empty spaces

are filled by micrite, ensuring long-term and resistant preservation. On the other hand, the original shell in *Distefanella* is partially preserved during diagenesis (Sandberg and Hudson 1990; Wright et al. 2018). The empty spaces created by partial component dissolution or natural voids are filled by micrite, resulting in a visual contrast between the darker (micrite) and lighter (cement) areas (El-Shahat and West 1983).

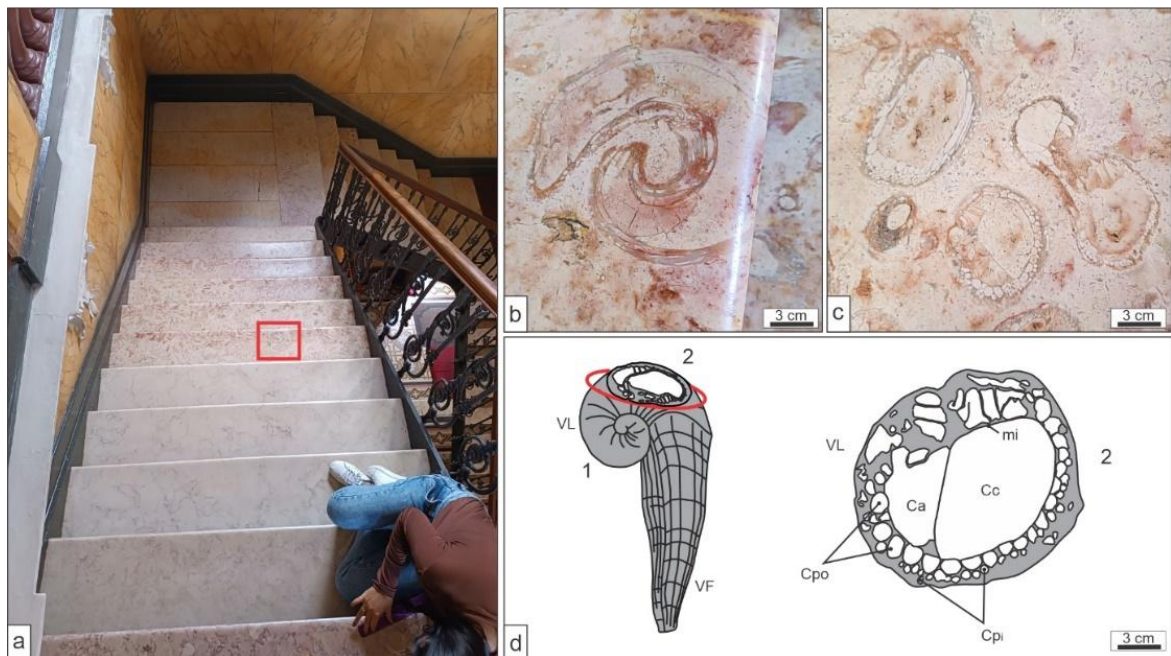
Tabela 8 – Taxonomic hierarchy of the fossils cataloged in the Lioz Limestone of the buildings in the Historic Center of Manaus. (1) Amazonas Theater, (2) São Sebastião Church, (3) Metropolitan Cathedral of Manaus, (4) Remédios Church, (5) Palace of Justice, (6) Adolpho Lisboa Market, (7) City Museum, (8) Benjamin Constant Institute, and (9) Amazonense Dom Pedro II School.

Class	Ordem	Family	Gender	Lioz varieties and local occurrence	Locations
Bivalvia	Hippuritoida	Caprinulidae	Caprinula	1 st class Lioz and Encarnadão in staircases	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9
		Radiolitedae	Radiolites	1 st class Lioz and Encarnadão in staircases and window sills	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9
			Distefanella	Amarelo Negais on sidewalks	1
Gastropods	Heterostropha	Nerineidae	Nerinea	Amarelo Negais in sidewalks	1, 3, 5, 8 and 9
			Neoptyxis	Amarelo Negais in Sidewalks	1, 4, 5 and 8
			Plesioptygmatis	Amarelo Negais in Sidewalks	1
	Caenogastropoda	Turritelineidae	Turritela	Amarelo Negais in Sidewalks	1 and 3
	Littorinimorpha	Tylostomatidae	Tylostoma	Amarelo Negais in Sidewalks	1 and 3
Classification	Ichnofacies	Ichnofamily	Ichnogender	Lioz varieties and local occurrence	Locations
Bioturbations	Cruzi-ana/Glossifungites	Thalassinoididae	Thalassinoid	Amarelo Negais in Sidewalks	1, 3, 5, 6, 8 and 9

Caprinula are known for their elongated and curved shells, which resemble small "horns", which are composed of two asymmetrical valves, one attached to the substrate and the other free. This unique structure likely provided resistance to tidal and

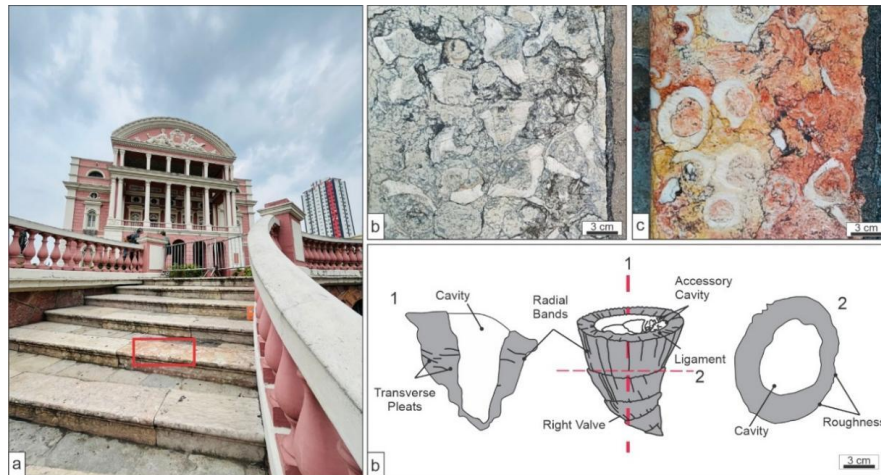
wave currents in shallow marine environments (Scott and Weaver 2010; Skelton 2018). In addition to their distinctive shape, these organisms present a complex internal structure that includes chambers, myophores and pallial canals (Fig. 38). The Radiolites also have two asymmetrical valves, but the morphology is the result of a construction that produces a variety of shapes, from conical to elongated cylindrical. A distinctive feature is a well-developed right valve, often larger and more robust, and a smaller left valve that functions as an opercular lid (Gil et al. 2002; El-Hedeny and El-Sabbagh 2005) (Fig. 39). The right valve of Radiolites usually shows an ornamentation of stripes called radial bands toward the apex of the shell. The left valve, which is smaller and opercular, acts as a protective lid, closing and protecting the organism.

Figura 39 – Caprinula in Lioz Limestone from the Historic Center of Manaus. a. Palace of Justice inner staircases with Caprinula. b. Longitudinal section of Caprinula in the first class Lioz inner staircases of the Palace of Justice. c. Cross and oblique section showing the internal morphology of Caprinula in the first class Lioz staircases of the Palace of Justice. d. Morphology schematic model of the Caprinula valves. (1) External morphology, highlighting the free (VL) and fixed (VF) valves. (2) Cross section of the free valve showing the internal structure (Cpo) polygonal canals. (Cpi) pyriform canals. (mi) myophyte. (Cc) body cavity. (Ca) accessory cavity.



Fonte: Autora

Figura 40 – The Radiolites in the staircases of the Amazonas Theater. a. Front staircases of the Amazonas Theater with Radiolites. b. Longitudinal sections of Radiolites in the first class Lioz staircases. c. Cross-section of Radiolites in the Encarnadão variety. d. Internal and external schematic model of the Radiolites in cross (1) and longitudinal sections (2).



Fonte: Autora

The shells of *Distefanella*, on the other hand, have thin ribs or striations that give the appearance of a star-shaped border in cross-section. Internally, it is also characterized by a longitudinal septum that separates the dorsal cavity from the ventral cavity (Cestari 2005; Cestari et al. 2018; Fig. 40). Rudist bivalves ascended from the Late Jurassic to the Cretaceous (161 – 66 million years ago) and dominated shallow tropical reef-forming environments. Radiolites and *Distefanella* ascended in the Albian, whereas *Caprinulas* ascended in the Cenomanian (Terra et al. 2010; Zakhera 2010; Hernández 2011; Mitchell 2024).

Figura 41 – *Distefanella* in the Lioz Limestone pavements of the Amazonas Theater. a. Frontal pavements with *Distefanella*. b. *Distefanella* in the first class Lioz frontal pavements. c. Morphologic diagram highlighting the internal shell patterns.



Fonte: Autora

5.8.2 Gastropods

The gastropod class generally has elongated and spiral shells with conical shapes and internal structures formed by various fold arrangements that allow for more precise identification (Fig. 41). In addition, internal folds reveal environmental information, ecological adaptations and behaviors (Signor and Kat 1984; Kollman 2014). Fossils of the genera *Nerinea*, *Neoptyxis*, *Plesioptygmatis*, *Turritela* and *Tylostoma* are common in the Amarelo Negrais variety. The preserved shells are the result of original aragonite shell recrystallization into calcite, a more stable carbonate mineral (Sandberg and Hudson 1990; Yanes et al. 2008). The empty spaces are filled with micrite, which precipitates from saturated solutions of calcium carbonate. This filling not only stabilizes the fossilized structures but also enhances the visibility of the morphological features of the organisms, allowing for detailed preservation of their internal and external features (Ginsberg et al. 1971; Waite and Strasser 2011).

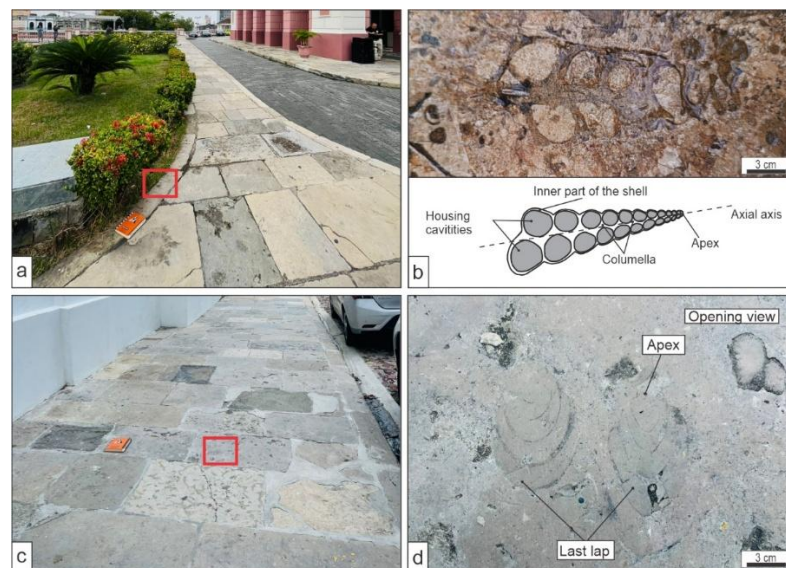
Figura 42 – *Nerinea*, *Neoptyxis* and *Plesioptygmatis* at the Amazonas Theater and the Metropolitan Cathedral of Manaus. a. Amarelo Negrais sidewalks of Eduardo Ribeiro Avenue with gastropods. b. *Plesioptygmatis* in the Amarelo Negrais sidewalks of the Metropolitan Cathedral of Manaus. c. *Nerinea* shell longitudinal section and details of the internal folds in the Amarelo Negrais pavement of the Amazonas Theater. d. *Neoptyxis* internal folds details in a longitudinal section recorded on the Amarelo Negrais variety of the Amazonas Theater. e. *Plesioptygmatis* internal morphologic details in a longitudinal section from the Amarelo Negrais pavement of the Metropolitan Cathedral of Manaus.



Fonte: Autora

Nerinea has conical and elongated shells with internal folds with three turns: labial, parietal and columellar (Woodring 1952; Calzada and Corbacho 2014; Kollman 2014). In turn, Neoptyxis presents an arrangement of two columellar folds, primary and secondary (Calzada 1992; Gameil and El-Ssorogy 2015). On the other hand, the internal folds of Plesioptygmatis have a similar pattern to that of Neoptyxis, differing from a columellar parietal fold, resulting in a unique system of four internal turns (Fig. 41; Wieczorek 1979; Kouyoumontzakis 1985). The Turritella is characterized by semicircular geometry living cavities and long conical shells similar to a highly spiraled tower-shaped structure (Figs. 42a and 42b; Allmon 2011; Shin et al. 2020). In addition, Tylostoma presents shells with a globular or ovate shape and a wide opening. The turns gradually widen, with the last one being larger than the rest of the shell (Figs. 42c and 42d; Sharpe 1849; Callapez and Soares 1991).

Figura 43 – Turritella and Tylostoma in the Historic Center of Manaus. a. The first class Lioz sidewalks in the front wing of the Amazonas Theater. b. Amarelo Negrais lateral pavements of the Metropolitan Cathedral of Manaus. c. Longitudinal section and internal morphology of Turritella in the first class Lioz pavement of the Amazon Theater. d. Frontal view of a Tylostoma with details of the fold patterns and apex.



Fonte: Autora

Neoptyxis, Plesioptygmatis, Turritella, Tylostoma and Nerinea lived in tropical marine environments with shallow-water carbonate platforms. These conditions favor the precipitation of the calcium carbonate necessary for the formation of shells (Sohl 1987; Raisossadat and Noori 2016; Callapez 2008). Turritelas have a stratigraphic distribution from the Jurassic to the present, which also indicates a great ability to adapt

to different environments and times (Allmon 2007; Waite and Strasser 2011). The other genera were dated from the Cretaceous (145 – 66 million years ago) and provide important information on marine biodiversity and paleoenvironmental conditions at that time (Sohl 1987; Calzada 1992; Kollmann 2014).

5.8.3 Fossil Traces

The fossil traces registered in the HCM are characterized by horizontal to vertical branching gallery systems with Y and/or T connection patterns, mainly in the Amarelo Negrais variety pavements. The gallery systems are filled with micrite and have smooth walls that form both concave and convex epichinia relief (Fig. 43). This is due to the locomotion, habitation and feeding activities of marine burrowing organisms, mainly decapod crustaceans, such as shrimp (Bromley and Frey 1974; Myrow 1995; Yanin and Baraboshkin 2013; Sharafi et al. 2022).

Thalassinoid traces reveal the activity of organisms in well-oxygenated carbonate platforms with shallow water depths and favorable conditions for soft burrowing organisms (Ekdale and Bromley 2003; Jin et al. 2012). Paleoeologically, these trace fossil remains reflect complex behaviors, including feeding and settlement, and indicate adaptive strategies to nutrient availability and substrate conditions. Although dated to the Cambrian, it is also found in the Cretaceous strata of the Lusitanian Basin (Wang et al. 2019; Carvalho and Bayet-Goll 2023).

Figura 44 – Fossil traces in the Lioz Limestone of the Amazonas Theater. a. Thalassinoides traces in Amarelo Negrais inner pavement. b. Horizontal ramification galleries and convex relief of Thalassinoides in Amarelo Negrais lateral paving. c. Details of horizontal gallery ramifications with concave and total relief. d. Schematic model of Thalassinoides trace relief.



Fonte: Autora

5.9 LIOZ HISTORIC BUILDING 3D MODELING AND VIRTUAL TOUR GUIDE

Among the nine historic buildings evaluated, two stand out for educational and tourist importance to the city of Manaus: the Amazonas Theater and the Marco Zero Architectural Complex. The buildings not only contain magnificent marine invertebrates from the Cretaceous of the Lusitanian Basin, which can be explored for educational purposes but are also popular tourist attractions, increasing the opportunities for Lioz Limestone dissemination and appreciation in the built heritage.

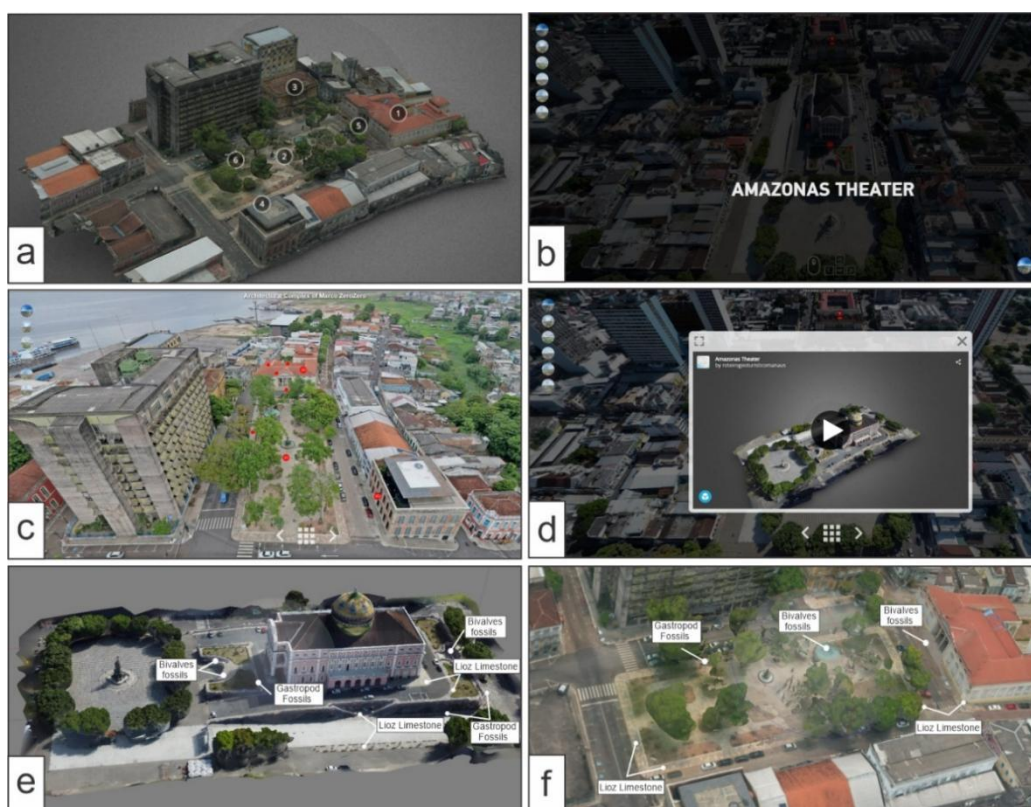
The Amazonas Theater, opened in 1896 and a symbol of Brazil's rubber monopoly period, is a cultural space in an eclectic architectural style with ornamental elements imported from Portugal, such as the Lioz Limestone used in staircases and floors (Daou 2000; 2007). The theatre annually receives approximately 280 thousand visitors and has capacity for 684 seats in the main hall. It has hosted national and international artists, in addition to major events promoted by the State Secretariat for Culture and Creative Economy, such as the Amazonas Opera Festival, one of the largest music festivals in Latin America (Rodrigues et al. 2020; Souza et al. 2019; Teatro Amazonas 2024).

On the other hand, the Marco Zero Architectural Complex, also known as the Paço da Liberdade, includes several buildings of significant cultural and historical importance, including the Rio Branco Palace, Cassina House, Dom Pedro II Square, and City Museum (Lima et al. 2021b). This complex is notable for architectural elements from the Brazilian imperial period and the use of Lioz Limestone, such as in Dom Pedro II Square paving and the front façade of the City Museum (Duarte 2009; Lima et al. 2021b). The City Museum is not only a place used to preserve the memory and history of the city but also hosts cultural activities, exhibitions and educational events for more than 15,000 annual visitors, promoting the tourism and appreciation of the Amazonas historical heritage (Iphan 2014; Ipatrimonio 2024).

Owing to the great importance of these buildings for local history, tourism and the economy, this research investigates current technologies that can provide mechanisms for recording the architectural uses of Lioz Limestone. Therefore, 3D data processing was performed separately for the Amazonas Theater and the Marco Zero Architectural Complex. After the photo alignment process and identification of common reference points, a dense point cloud was generated, resulting in improved resolution models. After that, textures from the original images were applied to the 3D mesh, which

effectively represented the 3D models of the buildings. In addition, each created model was made available online on the Sketchfab website for incorporation into the final script (Fig. 44a).

Figura 45 – 3D models of the Amazonas Theater and Marco Zero Architectural Complex used for virtual tours. a. 3D model of the Marco Zero Architectural Complex highlighting support points (1 to 6) with historical, fossil content and uses of the Lioz Limestone in built heritage. b. The main screen of the virtual tour of the Amazonas Theater. c and d. A panoramic image of the Marco Zero Architectural Complex highlighting the 3D model access points (indicated by the red circle) and an example of the Amazonas Theater 3D model. e and f. 3D models of the Amazonas Theater and Marco Zero Architectural Complex, including details of geodiversity, especially the Lioz Limestone used in built heritage and fossil content.



Fonte: Autora

The virtual tour was created by Kolor Panotour software using not only 3D models but also panoramic images of the buildings, which serve as the basis for all navigation and provide information about the architecture and history of the buildings, as well as the Lioz Limestone fossil content, with 3D model support (Figs. 44b to 44d). In addition, informative cards are provided for each building, enhancing the user experience, all of which are available to the public on the official Geohereditas — the USP website at (<https://geohereditas.igc.usp.br/virtual-tour-historic-center-manaus>), thus extending the reach and facilitating access to this virtual collection.

The product invites us to explore a detailed digital record of the architectural styles of the buildings, highlighting the use of the Lioz Limestone in built heritage. In the Amazonas Theater, for example, the Amarelo Negrais variety with amazing gastropod shells is especially used as a pavement, as well as the first class Lioz and Encarnação varieties of staircases with rudist shells (Fig. 44e). In the Marco Zero Architectural Complex, the external pavements of Dom Pedro II Square and City Museum are noteworthy because of the use of Amarelo Negrais and Chainette varieties (Fig. 44f). In addition, building façades have structural and functional elements, such as stairs, columns, window sills, and thresholds, which are richly ornamented with Lioz Limestone bivalve shell bearings. The final product includes six panoramic images, each with a 3D model, along with explanations and illustrations that highlight the general context of the site, historical and architectural features, uses of Lioz Limestone, fossil records, and links to detailed images.

The creation of virtual itineraries with 3D models highlights the use of Lioz Limestone in the historic buildings of Manaus, many of which are tourist attractions, increasing the possibility of urban geodiversity promotion. In addition, it enriches the historical-cultural understanding, allowing digital records, recognition of the architectural applications of stones from built heritage, and conservation and preservation (Styliadis 2007; Wilson et al. 2018). Positive examples of the use of 3D models to promote urban geodiversity include initiatives of historic buildings records in Salvador and Ouro Preto in Brazil, as well as in Malaysia and Rome (Gaiani et al. 2000; Amorim et al. 2005; Côrtes 2007; Wei et al. 2010; Nunes et al. 2012).

The record of a patronal rock such as the Lioz Limestone is essential for the rescue and preservation of the historical, geological and cultural elements that represent the local built heritage. The integration of patronal rock record data and virtual 3D data represents a new perspective for urban interdisciplinary learning practices related to history, geology, architecture and biology. This approach promotes a more dynamic and engaging educational experience, as demonstrated in some cultural projects (Pellas et al. 2017; Berra 2018). Furthermore, this technological strategy not only values and protects built heritage but also establishes a deeper and more interactive connection with geological heritage, thereby enriching knowledge through innovative technological experiences.

CONCLUSIONS

This research mapped the use of Lioz Limestone in the architecture of nine historical buildings in the city of Manaus. In the HCM, this patronal stone is used as structural elements in solid block columns and entrance arches, as well as functional and ornamental elements in staircases, sidewalks, curbs, doors and window trims, sacred furnitures, floors, walls, door sills, capitals and pediments. Among the buildings evaluated, the Chainette varieties are notable for structural elements; the first class Lioz and Encarnadão are primarily used for ornamental elements; and the Amarelo Negrais variety is specifically highlighted for functional paving elements.

The Lioz Limestone fossil assemblage identified includes five genera of gastropods (*Nerinea*, *Neoptyxis*, *Plesioptygmatis*, *Turritela*, and *Tylostoma*), three genera of bivalves (*Caprinula*, *Radiolites*, and *Distefanella*) and fossil traces of the ichnogenus *Thalassinoid*. The recognition of this fossil assemblage along with the historical context allowed correlation to units aged between the Upper Jurassic and Upper Cretaceous of the Lusitanian Basin, most likely associated with the Bica Formation. Furthermore, six online available 3D models were developed to show the urban geodiversity and architecture of buildings with Lioz Limestone that hold significant historical, cultural and tourist value to the city. These 3D models were incorporated into a virtual tour providing a rich and interactive experience that benefits educational purposes such as tourism, history, architecture, geology and biology. It also serves as a tool for promoting cultural awareness and appreciation of built heritage, encouraging the conservation of cultural assets.

This paper presents a comprehensive record of how Lioz Limestone is used as a patronal stone, highlighting its cultural, historical, and geological importance. In addition, local urban geoknowledge about the occurrence of patronal stones should be promoted, expanding the possibilities for research and initiatives that can contribute to the importance of geological heritage among the population.

CAPITULO 6

6. CONCLUSÃO

O mapeamento dos modos de ocorrência do Calcário Lioz na arquitetura de nove edificações históricas da cidade de Manaus constatou que essa rocha do patrimônio é utilizada como elementos estruturais compondo blocos maciços em colunas e arcos de entrada, bem como elementos funcionais e decorativos na forma de escadarias, calçadas, meio-fio, guarnições de portas e janelas, móveis sacros, pisos, paredes e soleiras de portas. Nas edificações avaliadas destacam-se as variedades chainette para os elementos estruturais, o lioz de primeira e o encarnadão para os elementos decorativos, e o amarelo negrais especificamente para os elementos funcionais de calçamentos.

O registro fóssil catalogado nos carbonatos inclui cinco gêneros de gastrópodes (*Nerinea*, *Neoptyxis*, *Plesioptygmatis*, *Turritela*, *Tylostoma*) e três gêneros de bivalves (*Caprinula*, *Radiolites* e *Distefanella*), além de traços fósseis do icnogênero *Thallassinoide*. O reconhecimento dessa assembleia fóssilífera, em conjunto com o contexto histórico de utilização do material pétreo, possibilitou sua correlação com unidades com idade entre o Jurássico Superior e Cretáceo Superior da Bacia Lusitânica, provavelmente associadas à Formação Bica.

Além disso, o roteiro virtual foi disponibilizado no site do Geohereditas através do link (<https://geohereditas.igc.usp.br/virtual-tour-historic-center-manaus>), este produto proporciona uma forma lúdica de aprendizado para fins educacionais, em aula de turismo, história, arquitetura, geologia e biologia, como para atividades de promoção cultural. Ademais foram desenvolvidos e disponibilizado gratuitamente de forma online no site do Sketchfab (<https://sketchfab.com/roteirogeoturisticoMANAUS>) oito modelos tridimensionais que destacam a geodiversidade urbana e a arquitetura em Calcário Lioz da cidade de Manaus.

Essa dissertação apresenta um registro abrangente dos modos de utilização do Calcário Lioz como rocha do patrimônio, destacando sua relevância cultural, histórica e geológica. Além disso, promove geoconhecimento local sobre a ocorrência de pedras patronais, ampliando as possibilidades de pesquisas e iniciativas que possam contribuir para a preservação, conscientização e valorização da geologia urbana entre a população.

CAPITULO 7

7. REFERÊNCIAS

Abirochas (2018.) Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Designação Comercial das Rochas Ornamentais. ABIROCHAS. Acessado em 07 de março de 2024. Disponível em: <<https://abirochas.com.br/dados-setoriais/sobre-as-rochas-e-seus-produtos/>>.

Abirochas (2023). Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Balanço do setor brasileiro de rochas ornamentais e de revestimento em 2023. ABIROCHAS (1), 1-44.

Absalão, R. S., Caetano, C. H. S., Pimenta, A. D. (2003). Novas ocorrências de gastrópodes e bivalves marinhos no Brasil (Mollusca). Revista Brasileira de Zoologia, 20, 323-328. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-81752003000200024>

Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 2.1. (2024) Copyright Agisoft LLC. Disponível em: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_1_en.pdf. Acessado em 25 de fevereiro de 2024

Al-Aasm, I. S., Veizer, J. (1986). Diagenetic stabilization of aragonite and low-Mg calcite; I, Trace elements in rudists. Journal of Sedimentary Research, 56(1), 138-152.

Alencar, A. E. B., Attademo, F. L. N., Normande, I. C., Luna, F. (2020). Uso de aeronaves não tripuladas (Drones) Para pesquisa e monitoramento de Peixe-Boi-marinho e seu habitat. (1), 1-45.

Alharbi, W. R., El-Taher, A. (2017). Environmental geochemistry and mineralogy of molluscan shells as related to their ecology. Arabian Journal of Geosciences, 10, 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3273-9>

Allmon, W. D. (2007). Cretaceous marine nutrients, greenhouse carbonates, and the abundance of turritelline gastropods. The Journal of Geology, 115(5), 509-523. DOI: <https://doi.org/10.1086/519775>.

Allmon, W. D. (2011). Natural history of turritelline gastropods (Cerithiidea: Turritellidae): a status report. Malacologia, 54(1-2), 159-202. DOI:10.4002/040.054.0107

Almeida, P. D., Martínez, A. M. (2014). As pesquisas sobre aprendizagem em museus: uma análise sob a ótica dos estudos da subjetividade na perspectiva histórico-cultural. Ciência e Educação (Bauru), 20, 721-737. DOI: [dx.doi.org/10.1590/1516-73132014000300013](https://doi.org/10.1590/1516-73132014000300013)

Alves, T. M., Gawthorpe, R. L., Hunt, D. W., Monteiro, J. H. (2002). Jurassic tectono-sedimentary evolution of the Northern Lusitanian Basin (offshore Portugal). Marine and Petroleum Geology, 19(6), 727-754. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(02\)00036-3](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(02)00036-3)

Alves, T. M., Manuppella, G., Gawthorpe, R. L., Hunt, D. W., Monteiro, J. H. (2003). The depositional evolution of diapir-and fault-bounded rift basins: examples from the

Lusitanian Basin of West Iberia. *Sedimentary Geology*, 162(3-4), 273-303. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(03\)00155-6](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(03)00155-6)

Amazonastur. (2024) Indicadores de Turismo. Movimentação e Caracterização dos Turistas do Amazonas. Disponível em <https://www.amazonastur.am.gov.br/manaus-e-a-terceira-capital-do-brasil-na-preferencia-de-turistas-estrangeiros-em-2024-aponta-embratur/> acessado 31 de janeiro de 2024.

Amorim, A. L., Chudak, D., HDS, L. G. (2005). Patrimônio Histórico Digital: Documentação Do Pelourinho, Salvador–Bahia, Brazil, Com Tecnologia 3d Laser Scanning. *Si-gradi, Visualización En Arquitectura Y Patrimonio* 1- 6.

ANAC. (2021). Agência Nacional de Aviação Civil. Drones. <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones>> acessado em 10 de março de 2023.

ANATEL (2023). Agência Nacional de Telecomunicações. Homologar produtos de telecomunicações – ANATEL. <<https://www.gov.br/pt-br/servicos/homologar-produtos-de-telecomunicacoes-anatel>> acessado em 10 de março de 2023.

Aubreton, T. (2012). Caminhando por Manaus: 5 roteiros históricos da cidade. 1. ed. Manaus: INPA.

Ayoub-Hannaa, W., Fürsich, F. T. (2011). Revision of Cenomanian-Turonian (Upper Cretaceous) gastropods from Egypt. *Zitteliana*, 115-152.

Azerêdo, A. C. (1988). Calcareous debris-flow as evidence for a distally steepened carbonate ramp in West-Central Portugal. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 74, 56-67.

Azerêdo, A. C., Duarte, L.V., Henriques, M.H, Manuppela, G. (2003) – Da dinâmica Continental no Triásico aos Mares do Jurássico Inferior e Médio. *Cadernos de Geologia de Portugal, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa*. 43

Barros, F. S. B., Albuquerque, C. C. (2010). A eficácia dos Programas “Manaus Belle Époque” e “Monumenta” para a preservação do patrimônio histórico edificado na cidade de Manaus. *Revista Eletrônica Aboré*, 4, 1–12.

Barsanti, S. G., Remondino, F., Fenández-Palacios, B. J. Visintini, D. (2014). Critical factors and guidelines for 3D surveying and modelling in Cultural Heritage. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 3(1), 141-158. DOI: 10.1260/2047-4970.3.1.141

Baucon, A., Piazza. M., Cabella, R., Bonci, MC., Capponi, L., de Carvalho, C. N., Brigguglio, A., (2020). Buildings that ‘speak’: Ichnological geoheritage in 1930s buildings in Piazza della Vittoria (Genova, Italy). *Geoheritage*, (12), 1-22. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00496-x>

Berra, F. (2018). Geological maps and 3D digital visualization of geological objects: Tools for improving students' education in Earth Sciences. *RENDICONTI ONLINE DELLA SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA*, 45(special issue), 89-94. DOI: <https://dx.doi.org/10.3301/ROL.2018.34>

Berthault, G., (2004). Sedimentological Interpretation of the Tonto Group Stratigraphy (Grand Canyon Colorado River). *Lithology and Mineral Resources*, 39(5), 480-484. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:LIMI.0000040737.85572.4c>

Bertling, M. (2007). What's in a name? Nomenclature, systematics, ichnotaxonomy. In *Trace Fossils Concepts, Problems, Prospects*. Elsevier. 81-91. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-044452949-7/50131-5>

Bertling, M., Braddy, S. J., Bromley, R. G., Demathieu, G. R., Genise, J., Mikuláš, R., Nielsen, S. Nielsen, K. Rindsberg, M. S. Uchman A. (2006). Names for trace fossils: a uniform approach. *Lethaia*, 39(3), 265-286. DOI: 10.1080/00241160600787890

Bertling, M., Buatois, L. A., Knaust, D., Laing, B., Mángano, M. G., Meyer, N., Wisshak, M. (2022). Names for trace fossils 2.0: theory and practice in ichnotaxonomy. *Lethaia*, 55(3), 1-19. DOI: <https://doi.org/10.18261/let.55.3.3>

Bezerra, F. D. (2018). Rochas ornamentais. *Caderno Setorial ETENE*. 3(60), 1-23.

Borges, C. (2020). Os centros históricos de Cabo Verde e sua caracterização habitacional-da época colonial. *Temporalidades*, 12(3), 896-918.

Braga, S, L. C., Santos, E. A. (2022). As linguagens artístico-culturais no centro histórico de Manaus: Repensando propostas turísticas no entorno do Teatro Amazonas durante a pandemia de COVID-19. *Revista Turismo Desenvolvimento (RT&D)/Journal of Tourism & Development*, (39). 1-155. DOI: 10.34624/rtd.v39i0.25241

Brilha, J. (2016). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, 8(2), 119-134. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>

Bromley, R. G., Frey, R. W. (1974). Redescription of the trace fossil *Gyrolithes* and taxonomic evaluation of *Thalassinoides*, *Ophiomorpha* and *Spongiomorpha*. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 23(3-4), 311-335.

Brown, K. M., (2001). *Mollusca: Gastropoda*. Department of Biological Sciences. Louisiana State University. Baton Rouge, Louisiana (10),1-33

Callapez, P. (2008). Palaeogeographic evolution and marine faunas of the Mid-Cretaceous western portuguese carbonate platform. *Thalassas: an International Journal of Marine Sciences*, 24(1), 29-52.

Callapez, P. M., Soares, A. F. (1991). O género *Tylostoma* Sharpe, 1849 (Mollusca, Gastropoda) no Cenomaniano de Portugal. *Memórias e Notícias*, 111, 169-182.

Calzada, S. (1992). Nuevos datos sobre *Neoptyxis galatea* (Coquand) (gasterópodo del Cretácico español). *Spanish Journal of Palaeontology*, 7(1), 87-91.

Calzada, S., Corbacho, J. (2014). Sobre dos *Nerineas* de Angola. *Battaleria*, 20, 16-20.

Cam, D. E. W. (2018). The Column: A Start-Up Looking for a Future. In *Family Firms in Latin America*. Routledge. 79-86.

Canesi, L., Ciacci, C., Fabbri, R., Marcomini, A., Pojana, G., Gallo, G. (2012). Bivalve molluscs as a unique target group for nanoparticle toxicity. *Marine environmental research*, 76, 16-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2011.06.005>

Canet. M, C., (2018), *Guía de campo del Geoparque de la Comarca Minera* (1st edition). Instituto de Geofísica–Secretaría de Desarrollo Institucional, UNAM, 14-26 p. DOI: 10.32775/Bk.GuideCM.geosites.147_221.2018

Careddu, N., Grillo, S. I. L. V. A. N. A. (2015). Rosa Beta granite (Sardinian Pink Granite): a heritage stone of international significance from Italy. *Geological Society, London, Special Publications*, 407(1), 155-172. DOI: doi.org/10.1144/sp407.1

Carrivick, J. L., Smith, M. W., Quincey, D. J. (2016). *Structure from Motion in the Geosciences*. John Wiley & Sons. 1-80

Carvalho, B. G., Babinski, M. E. C. O. (1985) *Paleontologia dos Invertebrados, Guia de aulas práticas*. São Paulo: Instituto Brasileiro do Livro Científico. 1-181.

Carvalho, C. N. (2016). The massive death of lobsters smothered within their *Thalassinoides* burrows: the example of the lower Barremian from Lusitanian Basin (Portugal). *Comunicação Geológicas*, 1-103.

Carvalho, C. N. D., Viegas, P. A., Cachão, M. (2007). *Thalassinoides* and its producer: populations of *Mecochirus* buried within their burrow systems, Boca do Chapim Formation (Lower Cretaceous), Portugal. *Palaaios*, 22(1), 104-109. DOI: <https://doi.org/10.2110/palo.2006.p06-011r>

Carvalho, C. N., Rodrigues, N. P., Viegas, P. A., Baucon, A., Santos, V. F. (2010). Patterns of occurrence and distribution of crustacean ichnofossils in the Lower Jurassic–Upper Cretaceous of Atlantic occidental margin basins, Portugal. *Acta Geologica Polonica*, 60(1), 19-28.

Carvalho, C., Bayet-Goll, A. (2023). *Thalassinoides horizontalis* Myrow, 1995 from the Middle-Upper Ordovician shallow marine siliciclastics of Iran (Lashkerak Formation). *Comptes Rendus Palevol*, 22(27), 569-583. DOI: <https://doi.org/10.5852/cr-palevol2023v22a27>

Carvalho, E. L. A., da Cruz Teixeira, N., de Almeida, G. A. G., de Carvalho, D. M. (2023). Detecção de Manifestações Patológicas em Pavimento Asfáltico por meio de Drone. *Uniciências*, 27(1), 71-76. DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2023v27n1p71-76>

Carvalho, I. S., (2010). *Paleontologia conceitos e métodos*. Rio de Janeiro. Interciência. 1(3), 1-636.

Carvalho, J. M. F., Carvalho, C. I., Lisboa, J. V., Casal Moura, A.; Leite, M. M. (2013). Portuguese ornamental stones. *Geonovas*, 26, 15–22.

Carvalho, J. M. F., Manuppella, G., Moura, A. C. (2003). Portuguese ornamental limestones. In *International Symposium on Industrial Minerals and Building Stones*, Turkey. 1 – 8.

Carvalho, J., Manuppella, G., Moura, A. C. (2000). Calcários ornamentais portugueses. *Boletim de Minas*, 37(4), 223-232.

Cassar, J., Torpiano, A., Zammit, T., Micallef, A. (2017). Proposal for the nomination of lower globigerina limestone of the Maltese Islands as a “Global Heritage Stone Resource”. *Episodes Journal of International Geoscience*, 40(3), 221-231. DOI: doi.org/10.18814/epiiugs/2017/v40i3/017025

Cassaro, L. (2021). Geodiversidade do Patrimônio Construído no Estado do Espírito Santo. *Patrimônio em Pedra*. IGc-USP, São Paulo, 258.

Castro, N. F., Del Lama, E. A., de Oliveira Frascá, M. H. B., Costa, A. G. (2023). Pedras do patrimônio da IUGS: histórico e requisitos. *Geologia USP. Série Científica*, 23(2), 41-52. Doi: doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v23-204680

Cavaleri, T. V., Groetelaars, N. J. (2018). O Tour Virtual como Ferramenta na Sensibilização ao Patrimônio Edificado. *Mestres e Conselheiros* (10), 1-18.

Cayla, N., Hobléa, F. Reynard, E. (2014). New digital technologies applied to the management of geoheritage. *Geoheritage*, 6, 89-90. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0118-8>

Cayla, N., Martin, S. (2018). Digital geovisualisation technologies applied to geoheritage management. In *Geoheritage*. Elsevier. 289-303. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00016-2>

Cereceda, A., Poire, D. G. (2014). *Rhizocorallium commune uliarensis* en la Formación Alta Vista (Cretácico superior de Cuenca Austral): variaciones morfológicas. XIV Reunión Argentina de Sedimentología, Puerto Madryn. 1-2.

Cestari, R. (2005). New data on the relationship between shape and palaeoenvironment in Late Cretaceous Rudists from Central Italy: Radiolites and Distefanella (Radiolitidae). *Bollettino-Società Paleontologica Italiana*, 3(44), 185-192.

Cestari, R., Pons, J. M., Vicens, E., Di Michele, P. (2018). Distefanella Parona, 1901 a radiolitid rudist from Late Cretaceous platform margin in central-eastern Mediterranean Tethys. *Cretaceous Research*, 90, 265-282. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2018.04.025>

Chelini, M., Lopes, S.G.B.C. (2008). Exposições em museus de ciências: reflexões e critérios para análise. *Anais do Museu Paulista*, (2)16, 205-238. DOI: doi.org/10.1590/S0101-47142008000200007

Ching, F. D. (2011). A visual dictionary of architecture. John Wiley & Sons. (2), 1-336.

Choay, F.A (2006). A alegoria do patrimônio. 6. ed. São Paulo: Estação Liberdade/Unesp,

Cirulis, A., De Paolis, L. T., Tutberidze, M. (2015). Virtualization of digitalized cultural heritage and use case scenario modeling for sustainability promotion of national

identity. *Procedia Computer Science*, 77, 199-206. DOI: doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.384

Coelho, P. A., Bruch, A. F., Cirolini, A., Carneiro, M., Bom, T. F., Faria, M. P. G. (2019). Avaliação do uso de aerolevantamentos com VANT e processos fotogramétricos para a determinação indireta de parâmetros geológicos estruturais. *Brazilian Journal of Development*, 5(8), 13028-13063. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n8-121>

Cogima, C. K., de Paiva, P. V., Dezen-Kempter, E., De Carvalho, M. A. G. (2018). Digital scanning and BIM modeling for modern architecture preservation: the Oscar Niemeyer's Church of Saint Francis of Assisi. In *Congresso Internacional da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital* (22). 457-462.

Colares, I. S., Pimenta, L. F. B. (2022). Ciclos econômicos e os reflexos no espaço urbano do Município de Novo Aripuanã-Amazonas. *Geografia (Londrina)*, 31(2), 107-127. DOI: doi.org/10.5433/2447-1747.2022v31n2p107

Colin, S., (2010). Técnicas construtivas do período colonial. Instituto Histórico-IMPHIC, 6.

Cooper, B. J. (2015). The 'Global Heritage Stone Resource' designation: past, present and future. *Geological Society, London, Special Publications*, 407(1), 11-20. DOI: doi.org/10.1144/SP407.5

Corrêa, M. V. (2007). Da capela carmelita à catedral metropolitana de Manaus (AM): uma arqueologia da arquitetura. *Revista Fragmentos de Cultura-Revista Interdisciplinar de Ciências Humanas*, 17(3), 591-607. DOI: <https://doi.org/10.18224/frag.v17i3.346>

Corrêa, M. V. M. (2011). A cápsula do tempo: arqueologia da arquitetura da Catedral Metropolitana de Manaus. 1. ed. São Paulo: Biblioteca 24 horas,

Côrtes, M. A. (2007). Restituição Fotogramétrica Digital Das Fachadas Do Pelourinho, Salvador-Bahia, Brasil/Digital Photogram. 1-5.

Costa, R. B. (2021). Virtual sacristy: the interaction with the heritage. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, (3)16, 163-177. DOI: 10.11606/gtp.v16i3Y.171306

Costa, S. S. S., Nascimento, M. A. L., Silva, M. L. N. (2022). Roteiro virtual pelos Geossítios do Geoparque Aspirante Seridó: ferramentas cartográficas livres do Google para Geoeducação. *TerraeDidatica*, (18), 1-9. DOI: 10.20396/td.v18i00.8667435

CPRM. Serviço Geológico do Brasil — Rochas Ornamentais (2019). Guia de Procedimentos técnicos da DGM. Diretoria de Geologia e Recursos Minerais / Departamento de Geologia. 1-23.

Cravero, F., Ponce, M. B., Gozálvez, M. R., Marfil, S. A. (2015). Piedra Mar del Plata': an Argentine orthoquartzite worthy of being considered as a 'Global Heritage Stone Resource. *Geological Society, London, Special Publications*, 407(1), 263-268. DOI: doi.org/10.1144/SP407.9

Cruz, A. G. (2019). Dois séculos de extrativismo e especialização primário-exportadora na Amazônia: uma análise comparada entre os ciclos da borracha e do minério de ferro. *Cadernos CEPEC*, 8(1) 43-66

Cuezzo, M. G. (2009). Mollusca gastropoda. Macroinvertebrados bentônicos sudamericanos. *Sistemática y biología*, (19), 595-629.

Cunha, P.R.C., Melo, J. H. M., Silva, O. B. (2007). Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, 2(15), 227–251.

D'agostini, S., Bacilieri, S., Vitiello, N., Hojo, H., Bilynskyj, M.C.V., Batista Filho, A., Rebouças, M.M. (2013). Ciclo Econômico Da Borracha – Seringueira Hevea Brasiliensis (Hbk) M. Arg. *Páginas do Instituto de Biologia*, 1(9), 6-14.

Daou, A. M. (2000). Instrumentos e sinais da civilização: origem, formação e consagração da elite amazonense. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, 6, 867-888. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-59702000000500006>

Daou, A. M. L. (2007). Nature and civilization: the decorative panels of the Teatro Amazonas foyer. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, 14, 51-71. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-59702007000500003>

DECEA. (2019). Qual a diferença entre drones, VANTs e RPAS. Disponível em: <https://ajuda.decea.mil.br/base-de-conhecimento/qual-a-diferenca-entre-drone-vant-e-rpas/>. Acessado em 10 de março de 2023.

Del Lama, E. A., (2019). Potential for urban geotourism: churches and cemeteries. *Geoheritage*, 11(3), 717-728. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-018-0325-9>

Del Lama, E. A., Costa AG, (2022). Global Heritage Stones in Brazil. *Geoheritage*, 14, 25. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00661-4>

Dennis, M. M., Molnár, K., Kriska, G., Lőw, P. (2021). Mollusca: Gastropoda. *Invertebrate histology*, 87-132. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119507697.ch4>

Dezen-Kempter, E., de Paiva, P. V. V., Cogima, C. K., Carvalho, M. A. G. (2019). Protocolo de aquisição de imagens de VANTs para modelagem 3d de fachadas de edifícios históricos. *Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação Na Construção*, 2, 1-6. DOI: <https://doi.org/10.46421/sbtic.v2i00.188>

Dezen-Kempter, E., Soibelman, L., Chen, M., Müller Filho, A. V. (2015). Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, 10(2), 113-124. DOI: <https://doi.org/10.11606/gtp.v10i2.102710>

Dias, E. M. (2023). A ilusão do Fausto: Manaus (1890-1920). *Valer Editora*. 3, 1-192.

Dias, M. S., Cuperschmid, A. R. M. (2019). Tour Virtual em WebVR para divulgação do Patrimônio Arquitetônico: Capela da Fazenda Veneza. *Encontro Brasileiro de Modelagem da Informação da Construção e Patrimônio Cultural*, IAU-USP, 208-215.

Dinis, J. L., Rey, J., Cunha, P. P., Callapez, P., Dos Reis, R. P. (2008). Stratigraphy and allogenic controls of the western Portugal Cretaceous: an updated synthesis. *Cretaceous Research*, 29(5-6), 772-780. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2008.05.027>

Diogo, F. A., Brekailo, F. (2022). Incorporação de Aeronaves Remotamente Pilotadas (Drones) para o Acompanhamento de Serviços Rodoviários. *Revista Técnico-Científica*. 1-16.

Discamps, E., Muth, X., Gravina, B., Lacrampe-Cuyaubère, F., Chadelle, J. P., Faivre, J. P., e Maureille, B. (2016). Photogrammetry as a tool for integrating archival data in archaeological fieldwork: Examples from the Middle Palaeolithic sites of Combe-Grenal, Le Moustier, and Regourdou. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 8, 268-276. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.06.004>

Dóniz-Páez, J., Hernández, P. A., Pérez, N. M., Hernández, W., Márquez, A. (2020). TFgeotourism: A project to quantify, highlight, and promote the volcanic geoheritage and geotourism in Tenerife (Canary Islands, Spain). In *Updates in Volcanology-Transdisciplinary Nature of Volcano Science*. IntechOpen. 1-406 DOI: 10.5772/intechopen.93723

Duarte, D. (2009). *Manaus: entre o passado e o presente*. 1. ed. Manaus: Media Ponto Com.

Duarte, L. V., Silva, R. L., Azerêdo, A. C., Paredes, R., Rita, P. (2014). A Formação de Coimbra na região de S. Pedro de Moel (Oeste de Portugal). *Caracterização litológica, definição litostratigráfica e interpretação sequencial*. *Comunicações Geológicas*, 101, 421-425.

Dumont, T., Sauvegarde du Patrimoine Industriel d'Autrefois. (2020). Échaillon Stone from France: a global heritage stone resource proposal. *Geological Society, London, Special Publications*, 486(1), 115-128. DOI: 10.1144/SP486-2019-92

Dunham, R.J. (1962). Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. In: Ham, W.E., Ed., *Classification of Carbonate Rocks*, AAPG, Tulsa, 108-121.

Edensor, T. (2013). Vital urban materiality and its multiple absences: The building stone of central Manchester. *cultural geographies*, 20(4), 447-465. DOI: <https://doi.org/10.1177/147447401243882>

Ehling, A., Kaur, G., Wyse, J. P., Cassar, J., Lama, E., Heddal, T. (2024). The First 55 IUGS Heritage Stones. *Copyright*. 1-31.

Eisenbeiss, H. (2004). A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. *International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(5/W1), 1-7.

Ekdale, A. A., Bromley, R. G. (2003). Paleoethologic interpretation of complex *Thalassinoides* in shallow-marine limestones, Lower Ordovician, southern Sweden. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 192(1-4), 221-227. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(02\)00686-7](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(02)00686-7)

Ekpar, F. E. (2019). A framework for interactive virtual tours. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 3(6), 1-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.24018/ejece.2019.3.6.153>

El-Hedeny, M. M., El-Sabbagh, A. M. (2005). *Eoradiolites liratus* (Bivalvia, Radiolitidae) from the Upper Cenomanian Galala Formation at Saint Paul, Eastern Desert (Egypt). *Cretaceous Research*, 26(4), 551-566. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2005.02.005>

Fabbi, S., Cestari, R., Marino, M., Pichezzi, R., Chiocchini, M. (2020). Upper Cretaceous stratigraphy and rudist-bearing facies of the Simbruini Mts. (Central Apennines, Italy). New field data and a review. *Journal of Mediterranean Earth Sciences*, 12, 87-103. DOI: 10.3304/jmes.2020.16748

Fan, J., Chen, Y. (2022). Study of Portuguese Architecture in Goa, India. *Indonesian Journal of Art and Design Studies*, 1(2), 28-34. DOI: <https://doi.org/10.55927/ijads.v1i2.1423>

Fernandes, F. O., Santos, T. D. L. P. (2021). Por uma Arqueologia Histórica da cidade de Manaus. *Revista Memória em Rede*, 25(13), 223-239.

Fernandez, M. A., Santos, S. B., Miyahira, I. C., Gonçalves, I. C. B., Ximenes, R. F., Thiengo, S. C. (2012). *Gastrópodes límnicos invasores: morfologia comparada. Moluscos límnicos invasores no Brasil: biologia, prevenção e controle* (MCD Mansur, CP Santos, D. Pereira, ICP Paz, MLL Zurita, MTR Rodriguez, MV Nehrke & PEA Bergonci). Redes Editora, Porto Alegre, 412p.

Fernández, P. M., Martínez, D. D. O., García, E. P., Lorenzo, F. B. (2014). Vehículos aéreos no tripulados (VANT) en Cuba, aplicados a la geomática: estado actual, perspectivas y desarrollo. 1-9.

Figueiredo, S., Strantzali, I., Rosina, P., Gomes, M. (2016). New Data about the Paleo Environment of the Papo-Seco Formation (Lower Cretaceous) of Southern Portugal. *Journal of environmental science engineering*, 5. <https://doi.org/10.17265/2162-5298/2016.09.004>.

Filho, R. E., Santos, B. H. D., Castro, P. D. T. A. (2021). Proposta de roteiro geoturístico urbano no centro histórico de Ouro Preto (MG). DOI: 10.5752/p.2318-2962.2021v31n65p586

Folk, R. L. (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill: Publishing Company.

Follmi, K. B., Godet, A., Bodin, S., Linder, P. (2006). Interactions between environmental change and shallow water carbonate buildup along the northern Tethyan margin and their impact on the Early Cretaceous carbon isotope record. *Paleoceanography*, 21(4), 16. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006PA001313>

Freire-Lista, D. M. (2021). The forerunners on heritage stones investigation: Historical synthesis and evolution. *Heritage*, 4(3), 1228-1268. DOI: <https://doi.org/10.3390/heritage4030068>

Fürsich, F. T. (1974). *Ichnogenus rhizocorallium*. *Paläontologische Zeitschrift*, 48(1), 16-28.

Furtado, V. H., Gimene, R., Camargo Júnior, J., Almeida Júnior, J. (2008). Aspectos de segurança na integração de veículos aéreos não tripulados (VANT) no espaço aéreo brasileiro. In *Anais do VII Simposio de Transporte aereo-Sitraer* 7. 506-517.

Gaiani, M., Balzani, M., Uccelli, F. (2000, September). Reshaping the Coliseum in Rome: an integrated data capture and modeling method at heritage sites. In *Computer Graphics Forum*. Oxford, UK and Boston, USA: Blackwell Publishers Ltd. Vol. 19. 3, 369-378. DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-8659.00429>

Gambino, F., Borghi, A., d'Atri, A., Gallo, L. M., Ghiraldi, L., Giardino, M., Macadam, J. (2019). TOURinSTONES: a free mobile application for promoting geological heritage in the city of Torino (NW Italy). *Geoheritage*, 11, 3-17. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0277-5>

Gameil, M., El-Sorogy, A. S. (2015). Gastropods from the Campanian–Maastrichtian Aruma Formation, Central Saudi Arabia. *Journal of African Earth Sciences*, 103, 128-139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.11.015>

Garg, S., Kaur, P., Pandit, M., Fareeduddin, Kaur, G., Kamboj, A., Thakur, S. N. (2019). Makrana marble: a popular heritage stone resource from NW India. *Geoheritage*, 11, 909-925. DOI: doi.org/10.1007/s12371-018-00343-0

Geiger, D. L. (2006). *Marine gastropoda. The Mollusks: a guide to their study, collection, and preservation*. Boca Ratón, FL: Universal Publishers, 295-312.

Ghiselli, F., Iannello, M., Piccinini, G., Milani, L. (2021). Bivalve molluscs as model systems for studying mitochondrial biology. *Integrative and Comparative Biology*, 61(5), 1699-1714. DOI: <https://doi.org/10.1093/icb/icab057>

Gil, J., Pons, J. M., Segura, M. (2002). Redescrición de *Bournonia gardonica* (Toucas, 1907) (Radiolitidae, Bivalvia) y análisis de las facies en que aparece (Coniaciense, Sistema Central, España). *Spanish Journal of Palaeontology*, 17(2), 245-256. DOI: <https://doi.org/10.7203/sjp.17.2>.

Giongo, J. S. (2005). *Concreto armado: projeto estrutural de edifícios*. São Paulo, Brazil: EESC/SET. 1-176.

Giordan, D., Adams, M. S., Aicardi, I., Alicandro, M., Allasia, P., Baldo, M., Troilo, F. (2020). The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for engineering geology applications. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79, 3437-3481. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01766-2>

Gisbert, A. G. (2019). La arqueología virtual como herramienta didáctica y motivadora. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 13, 119-147. DOI: doi.org/10.51302/tce.2019.287

Gomes, B. P. L., Ponciano L. C. M., Mansu, r K. L., (2021). Roteiro Geoturístico pelo Centro Histórico da Cidade do Rio de Janeiro: Geopoética pelas curvas das águas cariocas. *Terr@ Plural*, (15), 1-23. DOI: [DOI: 10.5212/TerraPlural.v.15.2114539.010](https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.15.2114539.010)

Governo ES. (2024). Espírito Santo se consolida como maior exportador de rochas ornamentais do Brasil. Disponível em < <https://encurtador.com.br/z4tgS>.> Acessado em 26 de junho de 2024.

Gray, M. (2004). *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. 1. ed. London: John Wiley e Sons Ltd.

Guadagnin, F., Matté, V., Kumaira, S., Gregory, T. R. (2022). Passeios virtuais como estratégia de divulgação e valorização do patrimônio natural do território do geoparque Caçapava aspirante UNESCO. Organizadores, 75.

Guevara, L. E. C., Cruz-Ceballos, L. F., Avendaño-Sánchez, G. M. (2024). Biogenic production and their sedimentary record: a review. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (55), 7-20. DOI: <https://doi.org/10.15446/rbct.n55.110363>

Guimarães, M. R. C., Maia, K. C. R., Oliveira, S. D. S., Tricário, L. T. (2020). Interpretação do patrimônio cultural por meio da roteirização turística da Avenida 7 de Setembro, Manaus, AM. *Interações (Campo Grande)*, 21, 479-497. DOI: doi.org/10.20435/inter.v21i3.2364

Hannibal, J. T., Kramar, S., e Cooper, B. J. (2020). Worldwide examples of global heritage stones: an introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, 486(1), 1-6. DOI: doi.org/10.1144/SP486-2020-84

Heldal, T., Meyer, G. B., Dahl, R. (2015). Global stone heritage: larvikite, Norway. *Geological Society, London, Special Publications*, 407(1), 21-34. DOI: doi.org/10.1144/SP407.14

Hembree, D. (2018). The role of continental trace fossils in Cenozoic Paleoenvironmental and Paleoecological reconstructions. *Methods in paleoecology: Reconstructing Cenozoic terrestrial environments and ecological communities*, 185-214. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-94265-0_10

Hernández, J. O. (2011). Rudists. *Geology Today*, 27(2), 74-77.

Hessel, M. H., Barbosa, J. A. (2005). Moluscos neocretácicos da região de pedro velho–canguaretama (rn), bacia potiguar. *Estudos Geológicos*, 15, 128.

Hincapie, M., Cifuentes, L. M., Valencia-Arias, A., Quiroz-Fabra, J. (2022). Geoheritage and immersive technologies: bibliometric analysis and literature review. *Episodes*, (15), 1-15. DOI: doi.org/10.18814/epiiugs/2022/022016

Horikx, M., Heimhofer, U., Dinis, J., Huck, S. (2014). Integrated stratigraphy of shallow marine Albian strata from the southern Lusitanian Basin of Portugal. *Newsletters on Stratigraphy*, 47(1), 85-106. DOI: [10.1127/0078-0421/2014/0041](https://doi.org/10.1127/0078-0421/2014/0041)

Innocencio, C. R., Salzani, L. O., Pereira, T. D. S. S., Barbosa, M. T. G. (2021). A termografia e o uso de veículo aéreo não tripulado como instrumentos de auxílio no diagnóstico de manifestações patológicas em patrimônio cultural edificado. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, 16(3). DOI: <https://doi.org/10.11606/gtp.v16i3.174232>.

Ipatrimonio. (2024). Manaus – Paço Municipal. Disponível em < <https://www.ipatrimonio.org/manaus-paco-municipal> > Acessado em 08 de novembro de 2024.

Iphan. (2014). Patrimônio Arqueológico – AM. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/527> acessado em 08 de novembro de 2024.

Jablonska, D., Pitts, A., Di Celma, C., Volatili, T., Alsop, G. I., Tondi, E. (2021). 3D outcrop modelling of large discordant breccia bodies in basinal carbonates of the Apulian margin, Italy. *Marine and Petroleum Geology*, 123, 104732. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104732>

Jacob, D. E., Soldati, A. L., Wirth, R., Huth, J., Wehrmeister, U., Hofmeister, W. (2008). Nanostructure, composition and mechanisms of bivalve shell growth. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(22), 5401-5415. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.08.019>

Ji, H., Luo, X. (2019). 3D scene reconstruction of landslide topography based on data fusion between laser point cloud and UAV image. *Environmental earth sciences*, 78(17), 534. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8516-5>

Jin, J., Harper, D. A., Rasmussen, J. A., Sheehan, P. M. (2012). Late Ordovician massive-bedded *Thalassinoides* ichnofacies along the palaeoequator of Laurentia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 367, 73-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.05.023>

Jordão, P., Cardoso, J. L. (2024). Estudo petroarqueológico de proveniência de materiais siliciosos de Leceia, Barotas e Monte do Castelo (Oeiras, Portugal). *Estudos Arqueológicos de Oeiras*, 34, 181-232.

Jordão, P., Pimentel, N. (2021). Conteúdo paleontológico e identificação da proveniência de sílex de materiais arqueológicos calcolíticos do “Castro” do Zambujal (Torres Vedras, Portugal). *Comunicações Geológicas*, 108, 97-102. DOI: <https://doi.org/10.34637/84q9-vz83>

Jorge, L. D. C., Inamasu, R. Y. (2014). Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. 8, 109-134.

Kantaros, A., Ganetsos, T., Petrescu, F. I. T. (2023). Three-Dimensional Printing and 3D Scanning: Emerging Technologies Exhibiting High Potential in the Field of Cultural Heritage. *Applied Sciences*, 13(8), 1-25. doi.org/10.3390/app13084777

Kato, H. (2013). Global Heritage Stone Resource. *Boletim da Sociedade Geológica da Malásia*, 59, 27-32. <https://doi.org/10.7186/BGSM59201305>.

Kaur, G. (2022). Heritage stone subcommission: an IUGS subcommission of the International Commission on Geoheritage. *Journal of the Geological Society of India*, 98(5), 587-590. DOI: doi.org/10.1007/s12594-022-2030-1

Kaur, G., de Oliveira Frascá, M. H. B., Pereira, D. (2021). Natural Stones: architectonic heritage and its global relevance. *Episodes Journal of International Geoscience*, 44(1), 1-2. DOI: doi.org/10.18814/epiiugs/2020/0200s15

- Kiefer, A. P., Figueiró, A. S. (2023). Roteiro Geoturístico dos Morros Testemunhos—Quarta Colônia Geoparque Mundial Unesco—RS-BR. *Physis Terrae-Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente*, 5(2-3), 19-33. DOI: <https://doi.org/10.21814/physisterrae.5556>
- Klemas, V. V. (2015). Coastal and environmental remote sensing from unmanned aerial vehicles: An overview. *Journal of coastal research*, 31(5), 1260-1267. DOI: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-15-00005.1>
- Knaust, D. (2012). Trace-fossil systematics. *Developments in sedimentology*, 64, 79-101. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53813-0.00003-4>
- Knaust, D. (2013). The ichnogenus *Rhizocorallium*: classification, trace makers, palaeoenvironments and evolution. *Earth-Science Reviews*, 126, 1-47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.04.007>
- Knaust, D. (2024). The trace fossil *Thalassinoides paradoxicus* Kennedy, 1967 revisited from its type locality (Albian-Cenomanian chalk, SE England). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 634, 111913. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2023.111913>
- Knaust, D. (2024). The trace fossil *Thalassinoides paradoxicus* Kennedy, 1967 revisited from its type locality (Albian-Cenomanian chalk, SE England). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 634, 111913. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2023.111913>
- Kollmann, H. A. (2014). The extinct *Nerineoidea* and *Acteonelloidea* (Heterobranchia, Gastropoda): a palaeobiological approach. *Geodiversitas*, 36(3), 349-383. DOI: <https://doi.org/10.5252/g2014n3a2>
- Kolor Panotour pro User Manual (2024). Disponível em <https://encurtador.com.br/qzIM3>. Acessado em 24 de fevereiro de 2024.
- Kouyoumontzakis, G. (1985). Paléobiogéographie et Paléoécologie des *Nerineidae* (Gastropoda) du Crétacé supérieur de Provence. Bassin du Beausset (Var-France, SE). *Geologie Mediterraneenne*, 12(1), 13-27.
- Kramar, S., Bedjanič, M., Mirtič, B., Mladenović, A., Rožič, B., Skaberne, D., Cooper, B. (2015). Podpeč limestone: a heritage stone from Slovenia. *Geological Society, London, Special Publications*, 407(1), 219-231. DOI: doi.org/10.1144/SP407.2
- Kubalíková, L., Drápela, E., Kirchner, K., Bajer, A., Balková, M., Kuda, F. (2021). Urban geotourism development and geoconservation: Is it possible to find a balance? *Environmental Science e Policy*, (121), 1–10, DOI: doi.org/10.1016/j.envsci.2021.03.016
- Kullberg, J. C., Rocha, R. B., Soares, A. F., Rey, J., Terrinha, P., Azerêdo, A. C., Nogueira, C. R. (2013). A Bacia Lusitaniana: estratigrafia, paleogeografia e tectónica. *Geologia de Portugal*, 2, 195-347.

Leal, E. C. (2014). Floriano Peixoto e seus consagradores: um estudo sobre cultura cívica republicana (1891-1894). *Revista Estudo Políticos*, 1(5), 229-247. DOI: doi.org/10.22409/rep.v5i9.38831

Leme, J. (1995). Sistemática e biogeografia. *Tópicos em malacologia médica*, 12-49.

Liccardo, A.; Grassi, C. (2014). Geodiversidade no cemitério municipal de Curitiba como elemento cultural em análises de patrimônio. *Geonomos*, 1(22), 1, 48–57. DOI: [10.18285/geonomos.v22i1.293](https://doi.org/10.18285/geonomos.v22i1.293)

Liccardo, A; Guimarães, G. B. (2021). Geodiversidade e identidade cultural – Rochas do patrimônio histórico construído do Paraná. In *Patrimônio em Pedra – São Paulo: Instituto de Geociências da USP, CAPES, CNPq, FAPESP*.

Lii, W. (2001). Thalassinoides-Phycodes compound burrow systems in Paleocene deep-water limestone, Southern Alps of Italy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 170(1-2), 149-156. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(01\)00234-6](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00234-6)

Lima, J.T.M., Borges, E.A., Sousa, L.N., Vilar, R.S., Akonde, S.B., SCHMITT, R.S. (2021a). A Disseminação Científica do Projeto Gondwana no Espaço Expositivo do Museu da Geodiversidade – UFRJ. *Anuário do Instituto de Geociências*, (44), 1-10. DOI: [1982-3908_2021_44_37737](https://doi.org/10.18285/geonomos.v24i2.840)

Lima, R. H. C., Barbosa, R. C. M., Silva, L. L. C. (2021b). O Patrimônio Pétreo Cretáceo do Centro Histórico de Manaus. In: DEL LAMA, E. A. (org). *Patrimônio em Pedra*. São Paulo: Instituto de Geociências da USP, CAPES, CNPq, FAPESP. 77-97.

Lima, R. N. S. (2012). Google earth aplicado a pesquisa e ensino da geomorfologia. *Revista de Ensino de Geografia*, 5(3), 17-30.

Lopes, L, M., Rocha, A., Gonçalves, F., Andrade, J., Machado, J. (2010). Microstructural characterization of inner shell layers in the freshwater bivalve *Anodonta cygnea*. *Journal of Shellfish Research*, 29(4), 969-973. DOI: <https://doi.org/10.2983/035.029.0431>

Lopes, L., Martins, R. (2015). *Pedra património mundial: Mármore de Estremoz, Portugal*. Sociedade Geológica, Londres, Publicações Especiais, 407 (1), 57-74. DOI: doi.org/10.1144/SP407.10

Lopes, L. (2016a). As pedras portuguesas dos edifícios e monumentos brasileiros. *Geonomos*, 2(24), 45-56. DOI: [10.18285/geonomos.v24i2.840](https://doi.org/10.18285/geonomos.v24i2.840)

Lopes, L. (2016b). Portuguese Ornamental Stones-Identity and Cultural Heritage around the World. In *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 10465.

Lopes L (2017) Lioz: The stone that made Lisbon reborn – a global heritage stone resource proposal. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 19, EGU2017–11228–3. DOI: [hdl.handle.net/10174/22640](https://doi.org/10.1144/SP407.10)

Lott, T. H. G., Poultney, M. J., Cooper, B. J. (2013). Portland stone: a nomination for “global heritage stone resource” from the United Kingdom. *Episodes Journal of International Geoscience*, 36(3), 221-226. DOI: 10.18814/epiugs/2013/v36i3/004

Lunardi, B., Gallois, C. J., Mansur, K., Ribeiro, R., Haas, Y. (2016). Conservação preventiva de monumentos pétreos: o caso dos capitéis da nova igreja dos jesuítas do morro do castelo, Rio de Janeiro. *Geonomos*, 2(24), 209-216. DOI: doi.org/10.18285/geonomos.v24i2.885

Luz, C. C., Antunes, A. F. B. (2015). Validação da tecnologia VANT na atualização de bases de dados cartográficos geológicos—Estudo de caso: Sistema cárstico do rio João Rodrigues. *Revista Brasileira de Cartografia* N, 67.

Luz, S. A. (2016). Um Retrato do tempo: a presença da Hora no cenário carioca do início do século XX. In: MAUAD, A. M. *Fotograficamente Rio, a cidade e seus temas*. Niterói: PPGHistória/LABHOI/UFF/FAPERJ, 38-67.

Magabi, Y. A., Guimarães, M. R. C., da Silva Queroga, L. (2021). Eduardo Ribeiro Avenue: Rescuing the past as a guide for the tourism in the city of Manaus-AM. *Applied Tourism*, 6(3), 27-40. DOI: 10.14210/at.v6n3.p27-40

Magalhães, A. J. F., Berredo, A. L., Gaspar, M. (2018). De volta ao passado: a aplicação da fotogrametria para registro arqueológico 3D. *Revista de Arqueologia*, 31(1), 185-207. DOI: <https://doi.org/10.24885/sab.v31i1.519>

Magalhães, C. (2014). A arte de modelar a paisagem: os ornatos de arquitetura para jardins no ecletismo do paisagismo brasileiro. *Revista Espaço Acadêmico*, 156(13), 74-93.

Manajitprasert, S., Tripathi, N. K., Arunplod, S. (2019). Three-dimensional (3D) modeling of cultural heritage site using UAV imagery: A case study of the pagodas in Wat Maha That, Thailand. *Applied sciences*, 9(18), 3640. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9183640>

Manuppella, G., Ferreira, A. B., Dinis, J., Callapez, P., Pais, J., Rebêlo, L., Cabral, J., Moniz, C., Baptista, R., Henriques, P., Falé, P., Lourenço, C., Sampaio, J. D., Midões, C., Zbyszewski, G., Ribeiro, M. A. (2011) – Carta Geológica de Portugal na escala 1/50000. Notícia explicativa da folha 34-B (Loures). Lisboa: Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

Marker, B. R. (2015). Procedures and criteria for the definition of Global Heritage Stone Resources. *Geological Society, London, Special Publications*, 407(1), 5-10. DOI: doi.org/10.1144/SP407.3

Marques, J. P. R., Ribeiro, B. F. S., Nascimento, M. H. R. (2020). InGuia: An incentive to the tourism development in Manaus with a Digital Platform supports. *ITEGAM-JETIA*, 6(26), 18-25. DOI: doi.org/10.5935/jetia.v6i26.684

Martin, S., Reynard, E., Ondicol, R. P., Ghiraldi, L. 2014. (2014). Multi-scale web mapping for geoheritage visualization and promotion. *Geoheritage*, 2(6), 141-148. DOI: doi.org/10.1007/s12371-014-0102-3

Martinez-Graña, A. M., Goy, J. L., Cimarra, C.A. (2013). A virtual tour of geological heritage: Valourising geodiversity using Google Earth and QR code. *Computers e Geosciences*, (61), 83-93. DOI: doi.org/10.1016/j.cageo.2013.07.020

Martínez-Graña, A. M., Goy, J. L., González-Delgado, J. Á., Cruz, R., Sanz, J., Cimarra, C., De Bustamante, I. (2018). 3D virtual itinerary in the geological heritage from natural areas in Salamanca-Ávila-Cáceres, Spain. *Sustainability*, 11(1), 144. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11010144>

Maschner, H. D., Schou, C. D., Holmes, J. (2013). Virtualization and the democratization of science: 3D technologies revolutionize museum research and access. In 2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage) (2) 265-271. DOI: doi.org/10.5935/jetia.v6i26.684

Masse, J. P., Fenerci-Masse, M. (2008). Time contrasting palaeobiogeographies among Hauterivian–lower Aptian rudist bivalves from the Mediterranean Tethys, their climatic control and palaeoecological implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 269(1-2), 54-65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.07.024>

Masse, J. P., Philip, J., Camoin, G. (1996). The Cretaceous Tethys. *The Tethys Ocean*, 215-236. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1558-0_7

Masse, J. P., Tüysüz, O., Fenerci-Masse, M., Özer, S., Sari, B. (2009). Stratigraphic organisation, spatial distribution, palaeoenvironmental reconstruction, and demise of Lower Cretaceous (Barremian-lower Aptian) carbonate platforms of the Western Pontides (Black Sea region, Turkey). *Cretaceous Research*, 30(5), 1170-1180. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2009.05.004>

Mathew, P., Jose, D., Rajan, D., Jitha, K. R. (2015). Functional Planning of An Administrative Building. *International Journal of Engineering Research e Technology (IJERT)*. (3)4, 848-851.

Matos, V. G. A. E., Mendonça Filho, J. G., Dos Reis, R. P. B. P., Spigolon, A. L. D., Pimentel, N. L. (2011). Estudos de palinofácies e fácies orgânica de uma sequência sedimentar do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 19(1-2), 163-182.

Matos, V., Miranda, J. P., Pina, B., Calhã, A. M., Reis, R., Pimentel, N. (2010). Sistemas de falhas em afloramentos do Triásico Superior na região de Coimbra. *e-Terra*, (13).

Mazoca, C. E. M., Garcia, M. D. G. M., Del Lama, E. A. (2017). Produção de recursos digitais para divulgação de geociências: experiências do GeoHereditas, IGc/USP. *Anais*, 50-54.

Medeiros, M. A. M., Polck, M. A. R. (2017). Geoturismo Paleontológico no centro histórico do Rio de Janeiro. *Geosciences= Geociências*, 36(1), 118-137. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i1.12300>

Melo, R., Garcia, F., Van Rheenen, D., Sobry, C. (2021). Brasil: The impact of small-scale sport tourism events. The case of the 21k Guarujá 2016. *Sports Economics, Management and Policy book series* (18), 75-91. DOI: doi.org/10.1007/978-3-030-62919-9_5

Mendes, A. A., (2006). Pão de Açúcar: uma ou várias motivações. XI Simpósio Nacional e I Simpósio Internacional de Letras e Linguística-Linguagem e Cultura: Intersecções, 370-377.

Mendes, E. B. (2009). Reavivar Chafarizes: uma experiência de Intervenção Urbana. *O Percevejo Online*, 1(1), 1-10. DOI: doi.org/10.9789/2176-7017.2009.v1i1.%25p

Mesquita, O. M. (2006). Manaus: História e Arquitetura – 1852 – 1910. 3. ed. Manaus: Valer.

Mesquita, O. M. (2011). Armazém Quinze. *Somanlu: Revista de Estudos Amazônicos*, 2(11), 41-57. DOI: doi.org/10.29327/233099.11.2-2

Miranda, J. P., Figueiredo, F. P. O., Pimentel, N. L. (2012). Aquisição e modelagem de dados gravimétricos sobre o diápiro salino de Matacões (Torres Vedras, Bacia Lusitânica, Portugal). *Boletim de Geociências-Petrobras*, 19(1 e 2), 69-101.

Miranda, M. (2013). Do mar ao ultramar: a transmigração do lioz português para São Luís do Maranhão. *Revista de História da Arte e da Cultura*, (19), 101-115.

Mitchell, S. F. (2024). The Cretaceous carbonate platforms of the Americas and their rudist bivalves. *Geological Society, London, Special Publications*, 544(1), SP544-2023.

Monteiro, T. L. V., de Freitas, N. C., dos Santos Chagas, R. A., Cambra, M. F. E. S., Tupinambá, M., Santos, R. C., de Almeida, J. C. H. (2021). Geologic Highway Map of Rio de Janeiro State: a product to stimulate geotourism and broadcast Rio de Janeiro's geodiversity. *Journal of the Geological Survey of Brazil*, 4(1), 69-80. <https://doi.org/10.29396/jgsb.2021.v4.SI1.9>

Moradipour, F., Moghimi, E., Beglou, M. J., Yamani, M. (2020). Assessment of urban geomorphological heritage for urban geotourism development in Khorramabad City, Iran. *Geoheritage*, v. 40(12), 1-10. DOI: doi.org/10.1007/s12371-020-00466-3

Morton, B. Machado, F. M. (2019). Predatory marine bivalves: a review. *Advances in marine biology*, 84, 1-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2019.10.001>

Moura, C., Rodrigues, R., Filipe, C., Moreira, N. (2023). Belo, simbólico, durável e nacional: Critérios para a escolha das rochas ornamentais utilizadas na construção da Basílica de Nossa Senhora do Rosário de Fátima. 343 – 383.

Moura, P., Mattos. (2021). I. C., Um Breve Panorama Sobre Uso E Principais Ocorrências Das Pedras Cearenses. In: DEL LAMA, E. A. (org). *Patrimônio em Pedra*. São Paulo: Instituto de Geociências da USP, CAPES, CNPq, FAPESP. 129.

Mozer, A. G. S., Castro, N. F., Mansur, K. L., Ribeiro, R. C. C., (2022) Mapping Lioz Limestone in Monumentsat Rio de Janeiro, Brazil. *Geoheritage* 14, 50. <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00682-z>

Mucivuna, V. C., Queiroz, D. S., Garcia, M. G. M., Del Lama, E. A. (2021). Patrimônio construído do litoral paulista. In: DEL LAMA, E. A. (org). *Patrimônio em Pedra*. São Paulo: Instituto de Geociências da USP, CAPES, CNPq, FAPESP. 18.

Myrow, P. M. (1995). Thalassinoides and the enigma of Early Paleozoic open-framework burrow systems. *Palaos*, 58-74.

Nascimento, M. A. L., da Silva, M. L. N. (2021). Patrimônio pétreo no estado do Rio Grande do Norte: da colônia ao uso contemporâneo. In: DEL LAMA, E. A. (org). *Patrimônio em Pedra*. São Paulo: Instituto de Geociências da USP, CAPES, CNPq, FAPESP. 144.

Nascimento, M. A. I., Pãozinho, F. C., Rabelo, T. O. (2014). Um Olhar Sobre A Geodiversidade no Centro Histórico de São Luís (Ma). In: DEL LAMA, E. A. (org). *Patrimônio em Pedra*. São Paulo: Instituto de Geociências da USP, CAPES, CNPq, FAPESP. 118.

Newcome, L. R. (2004). Unmanned aviation: a brief history of unmanned aerial vehicles. *Aiaa*. 1-173. DOI: <https://doi.org/10.2514/4.868894>

Nex, F., Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied geomatics*, 6, 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>

Nunes Neto, F. A. (2014). Entre fontes, chafarizes e o dique: a introdução do sistema de abastecimento de água em salvador. *Revista FSA*, 4(11), 134-157. DOI: [dx.doi.org/10.12819/2014.11.4.8](https://doi.org/10.12819/2014.11.4.8)

Nunes, C. D. S., Schneid, G., Vasconcelos, T., Silveira, A., Borda, A. (2012). O estudo de igrejas barrocas de ouro preto através de tecnologias avançadas de representação e visualização. In *Iv Congreso Internacional De Expresión Gráfica En Ingeniería, Arquitectura y carreras afines*, La Plata. *Gráfica del diseño: Tradición e innovaciones*. Cordoba: Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (pp. 285-290).

Ohminato, T., Kaneko, T., Koyama, T., Watanabe, A., Takeo, M., e Iguchi, M. (2011). Upward migration of the explosion sources at Sakurajima volcano, Japan, revealed by a seismic network in the close vicinity of the summit crater. In *AGU Fall Meeting Abstracts* 07-41.

Oliveira, A. B. D., (2017). A Decolonizing Impulse: Artists in the Colonial and Post-Colonial Archive, Or the Boxes of Departing Settlers between Maputo, Luanda and Lisbon. In M. D. C. Piçarra, T. Castro (Eds.), *(Re)Imagining African Independence: Film, Visual Arts and the Fall of the Portuguese Empire* 185-20.

Oliveira, M. C. (2022). Roteiro Virtual Da Geodiversidade Da Catedral Metropolitana de Manaus. Trabalho Final de Graduação – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 1-77

Oliveira, M. C., Barbosa, R., Azevedo, L. A., Apoema, I. G. S. (2024). Roteiro Geoturístico Virtual Para Difusão Da Geodiversidade Da Catedral Metropolitana De Manaus (Am). Revista Geonorte, 15(48). <https://doi.org/10.21170/geonorte.2024.V.15.N.48.55.81>

Oliveira, M. M., e de Almeida Machado, E. J. (2021). Rochas ornamentais na arquitetura antiga da Cidade do Salvador (BA). Patrimônio em Pedra, 189.

Özer, S., Ahmad, F. (2016). Caprinula and Sauvagesia rudist faunas (Bivalvia) from the Cenomanian of NW Jordan. Stratigraphy and taxonomy. Cretaceous Research, (58), 141-159. DOI: doi.org/10.1016/j.cretres.2015.05.002.

Ozkul, M., Gül, A., Koralay, T., Özen, H., Semiz, B., Duman, B. (2024). Denizli Travertine: A Global Heritage Stone Resource Nominee from Western Türkiye. Geoheritage, 16(3), 67. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-024-00970-w>

Pacheco, M., Cachão, M., (2021). Urban geology of Lisbon: the importance of the National Palace of Ajuda (Lisbon, Portugal). Geoheritage, 13(3), 84. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-021-00605-4>

Pais, J., Moniz, C., Cabral, J., Cardoso, J.L., Legoinha, P., Machado, S., Morais, M.A., Lourenço, C., Ribeiro, M.L., Henriques, P., Falé, P. (2006) – Notícia explicativa da Folha 34 – D, Lisboa. Carta Geológica de Portugal, Departamento de Geologia, INETI, Lisboa. 1-24

Pais, J., Pais, J., Cunha, P. P., Pereira, D., Legoinha, P., Dias, R., González-Delgado, J. A. (2012). The Paleogene and Neogene of western Iberia (Portugal): a Cenozoic record in the European Atlantic domain. Springer Berlin Heidelberg. 1-138.

Pan, Y., Dong, Y., Wang, D., Chen, A., Ye, Z. (2019). Three-dimensional reconstruction of structural surface model of heritage bridges using UAV-based photogrammetric point clouds. Remote Sensing, 11(10), 2-20. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs11101204>

Patrón, A. L. (2023). The Ruins of a Steel Mill: Planetary Urbanization in the Brazilian Amazon. Journal of Urban History, (0)1-22. DOI: [10.1177/00961442231209298](https://doi.org/10.1177/00961442231209298)

Paula, S. M., Silveira, M. (2009). Studies on molluscan shells: contributions from microscopic and analytical methods. Micron, 40(7), 669-690. DOI: doi.org/10.1016/j.micron.2009.05.006

Peinado, S., Hernández-Lamas, P., Bernabéu-Larena, J., Cabau-Anchuelo, B., Martín-Caro, J. A. (2021). Public works heritage 3D model digitisation, optimisation and dissemination with free and open-source software and platforms and low-cost tools. Sustainability, 13(23), 1-18. DOI: doi.org/10.3390/su132313020

Pepe, M., Alfio, V. S., Costantino, D. (2022). UAV platforms and the SfM-MVS approach in the 3D surveys and modelling: A review in the cultural heritage field. Applied Sciences, 12(24), 12886. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122412886>

Pereira D, Tourneur F, Bernáldez L, Blázquez AG (2015) Petit granit: a Belgian limestone used in heritage, construction and sculpture. *Episodes* 38(2):85–90. DOI: doi.org/10.18814/epiiugs/2015b/v38i2/003

Pereira, C. A., Liccardo, A., Silva; F. G. D. (2007). *A arte da cantaria*. Belo Horizonte: C/Arte,

Pereira, D. (2019). *Natural Stone and World Heritage: Salamanca (Spain)*. Imprensa CRC (1), 106p. 10.1201/9781351013352

Pereira, D. (2023). The value of Natural stones to Gain in the Cultural and Geological Diversity of our global Heritage. *Heritage*, 6(6), 4542-4556. DOI: <https://doi.org/10.3390/heritage6060241>

Pereira, D., Van den Eynde, V. C. (2019). Heritage stones and geoheritage. *Geoheritage*, 11, 1-2. DOI: doi.org/10.1007/s12371-019-00350-9

Pereira, L. S., Cunha, L. (2021). Geopatrimônio e Geoturismo Urbanos: Caso do Centro Histórico de João Pessoa, Paraíba. *Diálogos Temáticos E (Trans) territoriais*, 1(2), 83-115.

Pereira, L. S., Medeiros, T. G. (2022). Um olhar sobre a geodiversidade ex situ no entorno da praça João Pessoa, João Pessoa, Paraíba, Nordeste do Brasil. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, (23), 20-34. DOI: [dx.doi.org/10.17127/got/2022.23.002](https://doi.org/10.17127/got/2022.23.002)

Pereira, L., Alves, A. (2020). Geotouristic Coastal Itinerary in the South Coast of Paraíba (Northeast of Brazil). *Geoconservation Research*, 3(1), 58-76. DOI: 10.30486/GCR.2020.1902831.1021

Perotti, L., Bollati, I. M., Viani, C., Zanoletti, E., Caironi, V., Pelfini, M., Giardino, M. (2020). Fieldtrips and virtual tours as geotourism resources: Examples from the Sesia Val Grande UNESCO Global Geopark (NW Italy). *Resources*, 9(6), 63. DOI: <https://doi.org/10.3390/resources9060063>

Peruzzini, M., Cavallaro, S., Grandi, F., Martinelli, E., De Canio, F. (2023). Exploring how to use virtual tours to create an interactive customer remote experience. *Journal of Industrial Information Integration*, 35, 1-13. DOI: doi.org/10.1016/j.jii.2023.100509

Philip, J., Negra, M. H., Bachari, M. (2024). Upper Cenomanian caprinulid-radiolitid rudists (Bivalvia) from the Gattar Member of Jebel el Kebar (central Tunisia): Stratigraphical implications and palaeobiogeographical relationships with coeval rudist-assemblages from carbonate platforms of the southern Tethyan margin. *Cretaceous Research*, 153, 105713. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2023.105713>

Philipp, R. P., Vargas, J. A., Di Benedetti, V. (2009). A memória geológica do centro antigo de Porto Alegre: o registro da evolução urbana nos prédios históricos e no urbanismo da cidade. *Pesquisas em Geociências*, 36(1), 59-77.

Pica, A., Reynard, E., Grangier, L., Kaiser, C., Ghiraldi, L., Perotti, L., Del Monte, M. (2018). GeoGuides, urban geotourism offer powered by mobile application technology. *Geoheritage*, 2(10), 311-326. DOI: doi.org/10.1007/s12371-017-0237-0

Pimentel, R. J., Callapez, P. M., Legoinha, P. (2020). Um Éon de história dos Bivalvia: ideias sobre a sua origem, filogenia e importância paleontológica e educativa. *Agrupamento de Escolas de Guia*, P-3105 075 Guia, Pombal, Portugal. 1-20

Pinheiro, L. M. (2007). *Fundamentos do concreto e projeto de edifícios*. São Carlos: Universidade de São Paulo, 1-380.

Polck, M. A. D. R., de Medeiros, M. A. M., de Araújo-Júnior, H. I. (2020a). Geodiversity in urban cultural spaces of Rio de Janeiro city: Revealing the geoscientific knowledge with emphasis on the fossil content. *Geoheritage*, 12(2), 47. DOI: doi.org/10.1007/s12371-020-00470-7

Polck, M. A. R., Paes Siqueira, L. M., Magnólia Barreto, A. (2020b). Um Roteiro Geoturístico Urbano na Cidade do Recife (PE), com Base em Rochas Fossilíferas. *Anuario do Instituto de Geociencias*, 43(3). DOI: https://doi.org/10.11137/2020_3_425_435

Pratt, B. R., Young, G. A., Dobrzanski, E. P. (2016). Canada's National Building Stone: Tyndall Stone from Manitoba. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (1), 1

Primavori, P. (2015). Carrara marble: A nomination for 'global heritage stone resource from Italy. *Geological Society, London, Special Publications*, 407(1), 137-154. DOI: doi.org/10.1144/SP407.21

Prochaska, W., (2023). The use of geochemical methods to pinpoint the origin of ancient white marbles. *Mineralogy and Petrology*, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00710-023-00833-2>

Queiroz, D. S., Del Lama, E. A., Garcia, M. G. (2019). Proposta de roteiro geoturístico pelos prédios históricos do centro de Santos (SP). *Terra e Didática*, (15), 5-11. DOI: doi.org/10.20396/td.v15i0.8654686

Raisossadat, S. N., Noori, H. (2016). Lower Cretaceous gastropods from the Qayen area, Eastern Iran. *Geobios*, 49(4), 293-301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2016.06.001>

Ramos, L. P. (2021). Justificativas da Igreja Católica para o Escravagismo: No Brasil Colônia. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 9(7), 604-623. DOI: doi.org/10.51891/rease.v7i9.2257

Rasmussen, E. S., Lomholt, S., Andersen, C., Vejrbæk, O. V. (1998). Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal. *Tectonophysics*, 300(1-4), 199-225. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00241-8](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00241-8)

Raupp, F. M., Beuren, I. M. (2006). *Metodologia da pesquisa aplicável às ciências. Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática*. São Paulo: Atlas, (3), 76-97.

Reis, R. P. B. P., Pimentel, N. L., Garcia, A. J. V. (2010). A Bacia Lusitânica (Portugal): Análise estratigráfica e evolução geodinâmica. *Bol. Geosci. Petrobras*, 19, 23-51.

Remondino, F. (2011). Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. *Remote sensing*, 3(6), 1104-1138. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs3061104>

Remondino, F., Del Pizzo, S., Kersten, T. P., Troisi, S. (2012). Low-cost and open-source solutions for automated image orientation—A critical overview. In *Progress in Cultural Heritage Preservation: 4th International Conference, EuroMed. Proceedings 4*, 40-54. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-34234-9_5

Renner, L. C., Silva, T. S. D., Mendes Junior, C. W., Wiebbelling, R. F., Breda, G. A. (2020). Desenvolvimento e montagem de VANT de asa fixa de baixo custo para suprir a demanda de ensino e pesquisa nas áreas de Geociências. *Terrae Didatica*, Rio de Janeiro. (16), 12. DOI: <http://hdl.handle.net/10183/216210>

Rey, J., Dinis, J., Callapez, P., Cunha, P. (2006) – Da rotura continental à margem passiva. Composição e evolução do Cretácico de Portugal. *Cadernos de Geologia de Portugal*, INETI. 1-75

Ribeiro, L. F. T., Melo, M. T. C., Miguéns, F. (2017). Estudo do descritor hidrogeologia para a construção dos túneis Monsanto - Santa Apolónia e Chelas - Beato, no âmbito do Plano Geral de Drenagem de Lisboa. 1-53

Ribeiro, R. C. D. C., Braga, M., Moura, L. C. R. D., (2018). Caracterização tecnológica do Lioz da fachada do Real Gabinete Português de Leitura do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC. (24), 1-56.

Rodrigues, A. R., Martins, C. A. D. M. G., Silva, J. R. (2020). La Gioconda: o café do Teatro Amazonas (Edição 495). *Papers do NAEA*, 1(3).

Rodrigues, J. D., (2022) The Portuguese Lioz stone: an overview on the deterioration problems and conservation perspectives. *Geoheritage* (14), 23. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00657-0>

Romão, J., Moniz, C. (2020). Lisboa-um legado geológico a preservar. *Rossio. Estudos de Lisboa*, (9), 122-135.

Rose, W. I., Vye, E. C., Stein, C. A., Malone, D. H., Craddock, J. P., Stein, S. A. (2017). Jacobsville sandstone: a candidate for nomination for “global heritage stone resource” from Michigan, USA. *Episodes Journal of International Geoscience*, 40(3), 213-219. DOI: doi.org/10.18814/epiiugs/2017/v40i3/017024

Rossi, (2001). A. A arquitetura da cidade. São Paulo: Editora Martins Fontes.

Salvino, R. V., (2018). Entre pontes e muros: tentativas de implantação do correio marítimo entre Portugal e o Brasil na primeira metade do século XVIII. *Varia História*, 34, 15-49. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-87752018000100002>

Sanjad, T. A. B. C., Silva, P. A. V. S., Nascimento, R. S., Derenji, J. S., Costa, M. L. (2021). As rochas no patrimônio cultural edificado da cidade que é porta de entrada na Amazônia, Belém (PA). *Patrimônio em Pedra*, 1, 98-117.

Santos, D. S., Mansur, K. L., Seoane, J. C., Mucivuna, V. C., Reynard, E. (2020). Methodological proposal for the inventory and assessment of geomorphosites: an integrated approach focused on territorial management and geoconservation. *Environmental Management*, 66, 476-497. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01324-2>

Santos, M. (2002). O tempo nas cidades. *Ciência e Cultura*, 2(54), 21-22.

Santos, T. D. L. P., Medeiros, S. L. (2017). Do invisível engarrafado: história, memória, cultura material e as Águas de Melgaço na Manaus da borracha. *Métis: história e cultura*, 31(16), 227-244.

Sass, E., Bein, A. (1982). The Cretaceous carbonate platform in Israel. *Cretaceous Research*, 3(1-2), 135-144. DOI: [https://doi.org/10.1016/0195-6671\(82\)90014-3](https://doi.org/10.1016/0195-6671(82)90014-3)

Savrda, C. E. (2007). Taphonomy of trace fossils. In *Trace fossils*. Elsevier. 92-109

Schmitt, K. E., Huck, S., Krummacker, M., De Winter, N. J., Godet, A., Claeys, P., Heimhofer, U. (2022). Radiolitic rudists: an underestimated archive for Cretaceous climate reconstruction. *Lethaia*, 55(4), 1-21. DOI: <https://doi.org/10.18261/let.55.4.4>

Scholle, P. A., Ulmer-Scholle, D. S. (2003). A color guide to the petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis, AAPG Memoir 77(77), 1-470.

Scott, R. W., Weaver, M. (2010). Ontogeny and Functional Morphology of a Lower Cretaceous Carpinid Rudist (*Bivalvia*, *Hippuritoida*). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 19(5), 527-542. DOI: 10.3906/yer-0905-1

Seilacher, A. (2007). Trace fossil analysis. Berlin: Springer. (226), 1-238

Semedo, J. M. (2012). A Ilha de Santiago (Cabo Verde). *Palaver*, 1, 153-168. DOI 10.1285/i22804250v1p153

Seo, J., Duque, L., Wacker, J. P. (2018). Field application of UAS-based bridge inspection. *Transportation Research Record*, 2672(12), 72-81. DOI: <https://doi.org/10.1177/036119811878082>

Sha, J., Cestari, R., Fabbi, S. (2020). Paleobiogeographic distribution of rudist bivalves (*Hippuritida*) in the Oxfordian–early Aptian (Late Jurassic–Early Cretaceous). *Cretaceous Research*, 108, 104289. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2019.104289>

Sharafi, M., Rodriguez-Tovar, F. J., Janočko, J., Bayet-Goll, A., Mohammadi, M., Khanehbad, M. (2022). Environmental significance of trace fossil assemblages in a tide–wave-dominated shallow-marine carbonate system (Lower Cretaceous), northern Neo-Tethys margin, Kopet-Dagh Basin, Iran. *International Journal of Earth Sciences*, 1-24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00531-021-02101-0>

Sharma, N., Mondal, S., Ganguly, S., Giri, A. (2023). Substrate-and life habit-induced morphological convergence and divergence in Recent marine bivalve communities.

Biological Journal of the Linnean Society, 140(1), 120-129. DOI: <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blad031>

Sharpe, D. (1849). On Tylostoma, a proposed genus of gasteropodous mollusks. Quarterly Journal of the Geological Society, 5(1-2), 376-380.

Shin, C. P., Allmon, W. D., Anderson, B. M., Kelly, B. T., Hiscock, K., Shin, P. K. (2020). Distribution and abundance of turritelline gastropods (Cerithioidea: Turritellidae) in Hong Kong and the English Channel: implications for a characteristic fossil assemblage. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 100(8), 1261-1270. DOI:10.1017/S0025315420001204

Siedel, H., Rust, M., Goth, K., Krüger, A., Heidenfelder, W. (2019). Rochlitz porphyry tuff ("Rochlitzer Porphyrtuff"): a candidate for "global heritage stone resource" designation from Germany. Episodes Journal of International Geoscience, 42(2), 81-91. DOI: doi.org/10.18814/epiiugs/2019/019007

Signor III, P. W., Kat, P. W. (1984). Functional significance of columellar folds in turritelliform gastropods. Journal of Paleontology, 210-216. DOI:

Silva, C. M., (2019). Urban geodiversity and decorative arts: The curious case of the "Rudist Tiles" of Lisbon (Portugal). Geoheritage, 11(1), 151-163. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0253-0>

Silva, C. M., Pereira, S. (2022). Walking on geodiversity: The artistic stone-paved sidewalks of Lisbon (Portugal) and their heritage value. Geoheritage, 14(3), 98. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00733-5>

Silva, C. M., Pereira, S. (2023) Breve guia de Paleontologia urbana, Rev. Ciência Elem., 11(04), 43. DOI: doi.org/10.24927/rce2023.043

Silva, G. B., Neiva, R. M. S., Fonseca Filho, R. E., do Nascimento, M. A. L. (2021). Potencialidades do geoturismo para a criação de uma nova segmentação turística no Brasil. Revista Turismo Em Análise, 32(1), 1-18. DOI: [x.doi.org/10.11606/issn.1984-4867.v32i1p1-18](https://doi.org/10.11606/issn.1984-4867.v32i1p1-18)

Silva, I. V. (2019). As Rochas Ornamentais Externas do Teatro Amazonas: Um Roteiro Geoturístico Na Belle Époque Manauara. Trabalho Final de Graduação – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus,

Silva, J. R. C., de Araújo, C. S., Rebouças, D. J. P. (2018). O uso de aeronave remotamente pilotada nas aulas práticas de estudo do relevo e de impactos ambientais. Educitec-Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico, 4(08),9019.

Silva, R. E. C., Polck, M. A. R., de Araújo-Júnior, H. I. (2024). Geodiversity in Ecclesiastical Construction: a Geotourism Itinerary in the City of Rio de Janeiro. Geoheritage, 16(1), 9.

Silva, Z. (2017). The Portuguese Lioz, a Monumental Limestone. In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 9019).

Silva, Z. C. (2019). Lioz—a royal stone in Portugal and a monumental stone in Colonial Brazil. *Geoheritage*, 11(1), 165-175. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0267-7>

Silva, Z. C. (2007). “O Lioz Português, De Lastro de Navio a Arte na Bahia”. Edições Afrontamento, Porto, Portugal. 156.

Siqueira, B., Ribeiro, T. (2023). Roteiro geoturístico para geoconservação do Parque Ecológico Monsenhor Emílio José Salim, Campinas (SP): educação ambiental na escola. *Terrae Didactica*, 19, 1-16. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v19i00.8674675>

Skelton, P. W. (2013). Rudist classification for the revised Bivalvia volumes of the ‘Treatise on Invertebrate Paleontology’. *Caribbean Journal of Earth Science*, 45(9), 1-33.

Skelton, P. W. (2018). Part N, Volume 1, Chapter 26A: Introduction to the Hippuritida (rudists): Shell structure, anatomy, and evolution. *Treatise Online*, 2(1), 104, 1-37.

Skelton, P. W., Gili, E. (1991). Palaeoecological classification of rudist morphotypes. In *First International Conference on Rudists, Proceedings*, Serbian Geological Society, Belgrade. 71-86.

Sohl, N. F. (1987). Cretaceous gastropods: contrasts between Tethys and the temperate provinces. *Journal of Paleontology*, 61(6), 1085-1111.

Song, J., Chen, Y. (2022). Research on the current situation of Portuguese architecture in Mozambique Island. *Indonesian Journal of Art and Design Studies*, 1(2), 35-40. DOI: <https://doi.org/10.55927/ijads.v1i2.1424>

Souza, D. M. V. (2009). Museu de ciência, divulgação científica e informação: reflexões acerca de ideologia e memória. *Perspectivas Em Ciência da Informação*, 2(14), 155-168.

Souza, S. C., Costa, A. R. R., Santos, C. M. V. D., Moreira, S. E. (2019). Valoração de Ativos Culturais: o Caso do Teatro Amazonas. *Pensar Contábil*, 21(74).

Stöcker, C., Bennett, R., Nex, F., Gerke, M., Zevenbergen, J. (2017). Review of the current state of UAV regulations. *Remote sensing*, 9(5), 459. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs9050459>

Stoger, I., Sigwart, J., Kano, Y., Knebelsberger, T., Marshall, B., Schwabe, E., Schrödl, M. (2013). O debate contínuo sobre a filogenia dos moluscos profundos: evidências para serialia (moluscos, monoplacóforos + poliplacóforos). *BioMed Research International*, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/407072>.

Styliadis, A. D. (2007). Digital documentation of historical buildings with 3-d modeling functionality. *Automation in Construction*, 16(4), 498-510.

Tárcia, L., Ribeiro, B. (2022). Potencialidades e desafios no desenvolvimento de passeios virtuais interativos em espaços de ciência. *Modos de Dizer as Ciências*, 155.

Taxel, I. (2018). Late Antique Ionic column capitals in the countryside of central Palestine between provincial trends and classical traditions. *Studies in Late Antiquity*, 2(1), 84-125.

Teatro Amazonas. (2024). Espaços Culturais Teatros Teatro Amazonas. Disponível em < <https://cultura.am.gov.br/espacos-culturais/teatros/teatro-amazonas/> > Acessado em 08 de novembro de 2024.

Teixeira, B., Pimentel, N. L., dos Reis, R. P. B. P. (2010). Modelagem 1D e 2D da evolução térmica da matéria orgânica nos sectores norte e central da Bacia Lusitânica, Portugal. 2(9), 187-206.

Templin, T., Popielarczyk, D. (2020). The use of low-cost unmanned aerial vehicles in the process of building models for cultural tourism, 3D web and augmented/mixed reality applications. *Sensors*, 20(19), 5457. DOI: doi.org/10.3390/s20195457

Terra, G. J. S., Bahniuk, J., Franco, M. P. (2010). Ocorrência de rudistas em amostras de testemunho do Albiano inferior da Bacia de Campos. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 18(2).

Teusch, K. P., Jones, D. S., Allmon, W. D. (2002). Morphological variation in turritellid gastropods from the Pleistocene to recent of Chile: association with upwelling intensity. *Palaios*, 4(17), 366-377. DOI: [doi.org/10.1669/0883-1351\(2002\)017<0366:MVITGF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1669/0883-1351(2002)017<0366:MVITGF>2.0.CO;2)

Themistocleous, K., Agapiou, A., Hadjimitsis, D. (2016). 3D documentation and BIM modeling of cultural heritage structures using UAVS: the case of the Foinikaria church. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 45-49. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W2-45-2016>

Tommaselli, A. M. G. (2003). Um estudo sobre as técnicas de varredura a laser e fotogrametria para levantamentos 3D a curta distância. *GEODÉSIA Online-Revista da Comissão Brasileira de Geodésia*, 4(1415-1111).

Toom, U., Vinn, O., Hints, O. (2019). Ordovician and Silurian ichnofossils from carbonate facies in Estonia: a collection-based review. *Palaeoworld*, 28(1-2), 123-144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2018.07.001>

Tormey, D. (2019). New approaches to communication and education through geoheritage. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 4(7), 192-198. DOI: doi.org/10.1016/j.ijgeop.2020.01.001

Tsouros, D. C., Bibi, S., Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11), 349. DOI: <https://doi.org/10.3390/info10110349>

Tucker, M. E., 1981, *Sedimentary Petrology: An Introduction*: New York, John Wiley & Sons (Halsted Press), 1- 252.

Tucker, M. E., Dias-Brito, D. (2017). Petrologia sedimentar carbonática: iniciação com base no registro geológico do Brasil. UNESP-IGCE-UNESPetro, Rio Claro, Obra, 3, 208.

Tziavou, O., Pytharouli, S., Souter, J. (2018). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based mapping in engineering geological surveys: Considerations for optimum results. *Engineering Geology*, 232, 12-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.11.004>

Van Der Voordt, T. J., Van Wegen, H. B. (2013). Arquitetura sob o olhar do usuário: programa de necessidades, projeto e avaliação de edificações. São Paulo. Oficina de textos. 1, 1-237.

Vargas, T., Motoki, A., Neves, J. L. P. (2001). Rochas ornamentais do Brasil, seu modo de ocorrência geológica, variedade tipológica, exploração comercial e utilidades como materiais nobres de construção. *Revista de Geociências*, 2(2), 119-132.

Vasuki, Y., Holden, E. J., Kovesi, P., Micklethwaite, S. (2014). Semi-automatic mapping of geological Structures using UAV-based photogrammetric data: An image analysis approach. *Computers e Geosciences*, 69, 22-32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.04.012>

Venkatesan, V., Mohamed, K. S. (2015). Bivalve classification and taxonomy. Molluscan Fisheries Division, Central Marine Fisheries Research Institute, Kochi-682-018

Vereycken, J. E., Aldridge, D. C. (2023). Bivalve molluscs as biosensors of water quality: state of the art and future directions. *Hydrobiologia*, 850(2), 231-256. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05057-7>

Vidal, F. W. H., Sales, F. A. C. B., Souza, J. F. D., Mattos, I. C. (2005). Rochas e minerais industriais do Estado do Ceará. Fortaleza: CETEM/UECE/DNPM/FUNCAP/SENAI. 174. DOI: <https://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/495>

Virbule, I., Serdjuks, D., Buka-Vaivade, K. (2019). Behaviour's analysis of load-carrying members for timber framework building. In *ENVIRONMENT. Technologies. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (1), 330-335. DOI: <https://doi.org/10.17770/etr2019vol1.4068>

Waite, R., Strasser, A. (2011). A comparison of recent and fossil large, high-spined gastropods and their environments: the Nopparat Thara tidal flat in Krabi, South Thailand, versus the Swiss Kimmeridgian carbonate platform. *Facies*, 57, 223-248. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10347-010-0236-y>

Wang, M., Li, K., Yang, W., Dai, M., Bai, W., Qi, Y. (2019). The trace fossil *Thalassinoides bacae* in the Cambrian Zhangxia formation (Miaolingian series) of North China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 534, 109333. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109333>

Wei, O. C., Chin, C. S., Majid, Z., & Setan, H. (2010). 3D documentation and preservation of historical monument using terrestrial laser scanning. *Geoinformation Science Journal*, 10(1), 73-90.

- Wieczorek, J. (1979). Upper Jurassic nerineacean gastropods from the Holy Cross Mts (Poland). *Acta Palaeontologica Polonica*, 24(3).
- Wikström, A., Pereira, D. (2015). The Kolmården serpentine marble in Sweden: a stone found both in castles and people's homes. Geological Society, London, Special Publications, 407(1), 49-56. DOI: <https://doi.org/10.1144/sp407.22>
- Wilson, L., Rawlinson, A., Frost, A., Hopher, J. (2018). 3D digital documentation for disaster management in historic buildings: Applications following fire damage at the Mackintosh building, The Glasgow School of Art. *Journal of Cultural Heritage*, 31, 24-32.
- Woodring, W. P. (1952). A Nerinea from southwestern Oriente Province, Cuba. *Journal of Paleontology*, 60-62.
- Wyse, J. P. N., Caulfield, L., Feely, M., Joyce Jr, A., Parkes, M. A. (2020). Connemara Marble, Co. Galway, Ireland: a Global Heritage Stone Resource proposal. Geological Society, London, Special Publications, 486(1), 251-268. DOI: doi.org/10.1144/SP486.6
- Xu, Z., Wu, L., Shen, Y., Li, F., Wang, Q., Wang, R. (2014). Tridimensional reconstruction applied to cultural heritage with the use of camera-equipped UAV and terrestrial laser scanner. *Remote sensing*, 6(11), 10413-10434. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs61110413>
- Yanin, B. T., Baraboshkin, E. Y. (2013). Thalassinoides burrows (decapoda dwelling structures) in lower cretaceous sections of southwestern and central Crimea. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 21, 280-290. DOI: <https://doi.org/10.1134/S086959381303009X>
- Yastikli, N. (2007). Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning. *Journal of Cultural heritage*, 8(4), 423-427. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.06.003>
- Zakhera, M. S. (2010). Distribution and abundance of rudist bivalves in the Cretaceous platform sequences in Egypt: time and space. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 19(6), 745-755.
- Zandonai, S. S., Amaro, V. (2018). The Portuguese Calçada in Macau: paving residual colonialism with a new cultural history of place. *Current Anthropology*, 59(4), 378-396. DOI: 10.1086/698957
- Zimmerman, A. N., Johnson, C. C., Phillips, G. E., Ehret, D. J. (2023). Taxonomy and paleobiogeography of rudist bivalves from Upper Cretaceous strata, Gulf Coastal Plain and Puerto Rico, USA. *Journal of Paleontology*, 97(2), 318-340. DOI: <https://doi.org/10.1017/jpa.2022.104>