

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Alexandre Baliú Brautigam

**Geomorfologia e Geoconservação
em estrutura de impacto meteorítico:
uma proposta de Geostroparque para o
Astroblema da Serra da Cangalha/TO**

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção
do grau de Doutor em Geografia e Meio-Ambiente
pelo Departamento de Geografia e Meio-Ambiente da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Motta de Freitas

Rio de Janeiro,
fevereiro de 2023



Alexandre Baliú Brautigam

**Geomorfologia e Geoconservação
em estrutura de impacto meteorítico:
uma proposta de Geoparque para o
Astroblema da Serra da Cangalha/TO**

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção
do grau de Doutor em Geografia e Meio-Ambiente
pelo Departamento de Geografia e Meio-Ambiente da PUC-Rio.
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

Prof. Dr. Marcelo Motta de Freitas

Orientador
Departamento de Geografia e Meio-Ambiente (PUC-Rio)

Prof. Dr. Alvaro Penteado Crósta

Instituto de Geociências (UNICAMP)

Profa. Dra. Kátia Leite Mansur

Departamento de Geologia (UFRJ)

Prof. Dr. Sérgio Cadena de Vasconcelos

Departamento de Geografia e Meio-Ambiente (PUC-Rio)

Prof. Dr. Rodrigo Paixão

Departamento de Geografia e Meio-Ambiente (PUC-Rio)

Rio de Janeiro, 15 de fevereiro de 2023

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial, do trabalho é proibida sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Alexandre Baliú Brautigam

Alexandre Baliú Brautigam graduou-se em Licenciatura em Física pela PUC-Rio em 2003. Concluiu Mestrado em Música pela UFRJ em 2007. Professor Adjunto da Graduação de Física da PUC-Rio de 2007 a 2018, tendo também lecionado Mídia e Arte Sonora na Graduação de Artes Cênicas da Faculdade Celso Lisboa; e as disciplinas de Física, Astronomia e Música em escolas e projetos de educação como Colégio Andrews, Nós do Morro e Escola Parque. É fotógrafo profissional e atua como compositor háptico-vibracional para o projeto norte-americano de música para surdos *Music: Not Impossible*.

Ficha Catalográfica

Brautigam, Alexandre Baliú

Geomorfologia e geoconservação em estrutura de impacto meteorítico : uma proposta de geostroparque para o astroblema da Serra da Cangalha/TO / Alexandre Baliú Brautigam ; orientador: Marcelo Motta de Freitas. – 2023.

268 f. : il. color. ; 30 cm

Tese (doutorado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia e Meio Ambiente, 2023.

Inclui bibliografia

1. Geografia e Meio Ambiente – Teses. 2. Astroblema. 3. Cratera de impacto. 4. Estrutura de impacto. 5. Geomorfologia. 6. Compartimentos de relevo I. Freitas, Marcelo Motta de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Geografia e Meio Ambiente. III. Título.

CDD:910

Para meus pais, tios Vera e Harald,
minha esposa Mariana,
meu tio Paulo e meu irmão Ricardo.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao meu orientador, professor Marcelo Motta de Freitas (PUC-Rio), pela generosidade, estímulo, parceria e sobretudo por todo o geoconhecimento transmitido antes e durante a realização deste trabalho; pela abertura acadêmica em aceitar o desafio de um trabalho de pesquisa interdisciplinar em uma área de estudo distante e ainda pouco estudada; pela ajuda em momentos difíceis e desafiadores.

Ao CNPq e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não teria sido realizado.

Ao professor Alvaro Penteadó Crósta (UNICAMP), por todo o incentivo e generosidade acadêmica; pelo pioneirismo e perseverança na temática astroblêmica no Brasil.

À professora Kátia Leite Mansur (UFRJ) e ao professor Marcos Antonio Leite do Nascimento (UFRN) pela dedicação acadêmica à temática da Geodiversidade e afins; pela combatividade e pela proatividade em prol dos Geoparques no Brasil, notadamente o Geoparque Costões e Lagunas (RJ) e o Geoparque do Seridó (RN).

À professora Ana Brasil (PUC-Rio), por me apresentar o pensamento e obra de Alexander von Humboldt e por preciosas discussões em sala sobre o conceito de paisagem pelo viés geográfico.

Ao professor Bernardo Strassburg (PUC-Rio), por me apresentar ao universo interdisciplinar da Sustentabilidade.

Ao grupo de pesquisa MorfoTektos; em especial ao professor Julio Cesar Horta de Almeida (UERJ), que muito contribuiu para meu desenvolvimento na Geologia nos anos anteriores e para os professores Rodrigo Paixão (PUC-Rio) e Marcelo Eduardo Dantas, os quais também me auxiliaram academicamente na área da Geomorfologia.

Ao educador e amigo Pedro Flexa Ribeiro (colégio Andrews), por trazer a obra e o pensamento de Edgar Morin e seu 'pensamento complexo', tão necessários como elo metodológico-filosófico para esta tese.

Aos meus amigos, professor Rômulo Barroso (UFBA), professor Rodrigo Paixão (PUC-Rio) e Raphaela Almeida por todo apoio e ajuda durante esta pesquisa.

À minha esposa Mariana Moreira Brautigam, por seu amor, companheirismo, paciência, troca. Por me acolher e me ajudar com as angústias normais resultantes de um trabalho desta magnitude por todos estes anos; por me incentivar e ser meu porto seguro sem a qual este trabalho não seria possível, atravessado pela maior mudança e desafio de nossas vidas.

Aos meus amigos e mestres de vida Rodolfo Caesar (UFRJ), Daniel Belquer, Marcos Coimbra e Fred Israel pelas constantes discussões e provocações artísticas-sonoras-filosóficas que perpassam esta tese e minha vida.

Aos meus novos amigos brasileiros-alemães Glenda, Rafael e Dagmar, que muito nos ajudaram a obter a paz necessária para a escrita final desta tese.

Aos meus pais, pelo amor, educação, atenção, carinho e incentivo de todas as horas; pela ajuda incondicional sempre.

Aos meus tios Vera Brautigam e Harald Broe, pelo amor, carinho, todo suporte e preocupação constantes; por aconselhar e acolher sem medir esforços.

Ao meu irmão Ricardo pelo incentivo e suporte sempre, vitais sobretudo em minha nova etapa de vida.

Às minhas irmãs Carolina e Adriana, por todo o apoio e compreensão.

Ao meu tio Paulo e à minha prima Bia, pela ajuda fundamental e pelo olhar sempre preocupado e solícito; pelas trocas, conselhos, conversas e suporte.

À tia Sylvia e primos José Henrique, Bernardo e Amanda pelo apoio sobremaneira nesta minha nova fase da vida.

Aos meus colegas da PUC-Rio.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

A todos os professores e funcionários do Departamento pelos ensinamentos e pela ajuda.

A todos os demais amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

Resumo

BRAUTIGAM, Alexandre Baliú; FREITAS, Marcelo Motta de (orientador). **Geomorfologia e Geoconservação em estrutura de impacto meteorítico: uma proposta de Geoparque para o Astroblema da Serra da Cangalha/TO**. Rio de Janeiro, 2023. 261p. Tese de Doutorado - Departamento de Geografia e Meio Ambiente, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho apresenta minuciosa pesquisa sobre atributos geomorfológicos, de geodiversidade e da geoconservação do Astroblema da Serra da Cangalha/TO, uma cratera de impacto a hipervelocidade em avançado estado de erosão. A delimitação da área de estudo se deu com base na configuração geomorfológica e geológica local, abrangendo a área interna da cratera e as principais bacias de drenagem que dela nascem. O primeiro objetivo do trabalho foi analisar a transformação desta paisagem para o estágio em que se observa atualmente e verificar em que medida um evento extraordinário tal qual um impacto meteorítico a hipervelocidade condiciona a forma do relevo e a rede de drenagem local mesmo ainda milhões de anos depois. Discute-se como a exumação de camadas estratigráficas ocorrida durante o impacto direcionou o modelamento da estrutura erodida ao longo do tempo geológico e apresentam-se as principais bacias hidrográficas da área de estudo, além de uma análise fenomenológica da experiência de vivenciar o encontro *in loco* com este astroblema de proporções quilométricas. Dada a raridade e demais valores de geodiversidade deste tipo de feição, este trabalho tem como segundo objetivo investigar as ações pretéritas e presentes no sentido da preservação ambiental deste patrimônio geomorfológico-geológico e astronômico em confluência com a possibilidade de um desenvolvimento sustentável da região. Os métodos utilizados constaram de uma visita de campo, análises SIG e descrições fenomenológicas. É apresentada, por fim, a partir das experiências do Ries UNESCO Global Geopark (um geoparque alemão criado a partir do maior astroblema da Europa, a Nördlinger Ries Krater) e do Parque Estadual do Desengano/RJ (primeira Unidade de Conservação da América do Sul a receber o selo 'Dark Sky Park' da International Dark Sky Association) - uma proposta de um Geoparque para a região do Astroblema da Serra da Cangalha, de acordo com as premissas de sustentabilidade e geoturismo da rede mundial UNESCO Global Geopark e em prol de uma preservação e uso astroturístico de sua baixa poluição luminosa, com a possibilidade de atividades diurnas (geologia, geomorfologia, meteorítica) e noturnas (observação do céu) observando sempre os limites para um turismo sustentável com uma preocupação continuada de respeito ao meio ambiente e à população local.

Palavras-chave

astroblema, cratera de impacto, estrutura de impacto, geomorfologia, geodiversidade

Abstract

BRAUTIGAM, Alexandre Baliú; FREITAS, Marcelo Motta de (orientador). **Geomorphology and Geoconservation in impact structure: a proposal of Geostropark for the Serra da Cangalha/TO Astrobleme**. Rio de Janeiro, 2023. 261p. Tese de Doutorado - Departamento de Geografia e Meio Ambiente, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This paper presents a thorough research on geomorphological attributes, geodiversity and geoconservation of the Serra da Cangalha/TO Astrobleme, a hypervelocity impact crater in an advanced state of erosion. The delimitation of the study area was based on the local geomorphological and geological configuration, covering the inner area of the crater and the main drainage basins that originate from it. The first objective of the work was to analyze the transformation of this landscape to the stage where it is observed today and to verify to what extent an extraordinary event such as a meteorite impact at hypervelocity conditions the shape of the relief and the local drainage network even millions of years later. We discuss how the exhumation of stratigraphic layers that occurred during the impact directed the modeling of the eroded structure throughout geological time, and we present the main watersheds of the study area, in addition to a phenomenological analysis of the experience of living the encounter in loco with this astrobleme of kilometer proportions. Given the rarity and other geodiversity values of this type of feature, the second objective of this work is to investigate the past and present actions towards the environmental preservation of this geomorphological-geological and astronomical heritage in confluence with the possibility of a sustainable development of the region. The methods used consisted of a field visit, GIS analysis and phenomenological descriptions. Finally, based on the experiences of the Ries UNESCO Global Geopark (a German geopark created from the largest astrobleme in Europe, the Nördlinger Ries Krater) and the Desengano State Park/RJ (the first South American Conservation Unit to receive the label 'Dark Sky Park' from the International Dark Sky Association) a proposal for an Astrogeopark for the region of the Serra da Cangalha Astrobleme is presented, in accordance with the premises of sustainability and geotourism of the world network UNESCO Global Geopark and in favor of a preservation and astro-tourism use of its low light pollution, with the possibility of daytime activities (geology, geomorphology, meteoritics) and nighttime activities (sky observation) always observing the limits for a sustainable tourism with a continued concern for the respect of the environment and the local population.

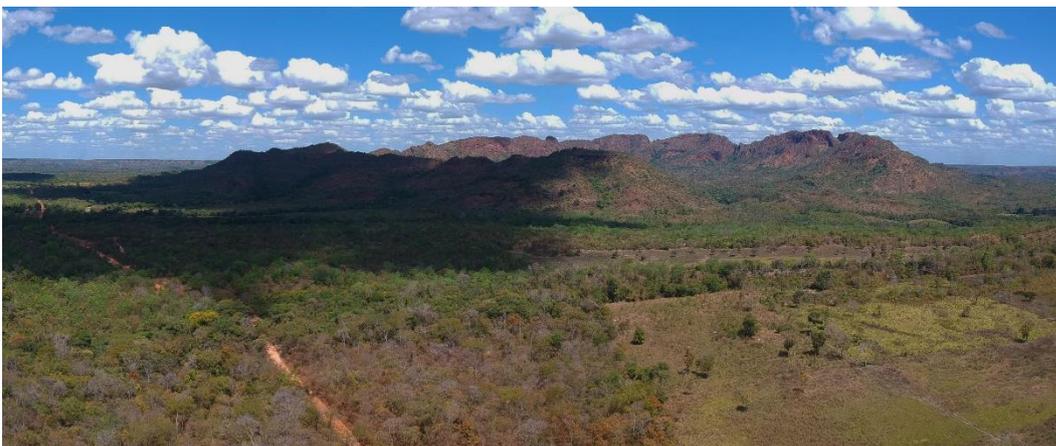
Keywords

astrobleme, impact crater, impact structure, geomorphology, geodiversity.

Sumário

1 - Enquadramento Geral	14
1.1 - Introdução	14
1.2 - Justificativa e Motivação	15
1.3 - Objetivos	32
2 - Conceitos Astronomicos e Meteoríticos	34
2.1 - Terminologias Astronômicas: de meteoros a meteoroides.....	34
2.2 - A Meteoritica: Breve Histórico	42
2.3 - Crateras de Impacto Meteoríticas: detalhamento do processo de formação em três etapas	51
2.4 - Crateras de Impacto Meteoriticas: meios de comprovação.....	57
3 - O Astroblema da Serra da Cangalha e breve descrição geológica	67
3.1 - Localização do Astroblema, da Área de Estudo e Vias de Acesso	67
3.2 - Litologia básica do Astroblema da Serra da Cangalha	71
3.2.1 - Breve Histórico Deposicional da Bacia do Parnaíba	71
3.2.2 - Introdução a Diversidade Geológica do Astroblema da Serra da Cangalha	73
4 - Paisagem e Geomorfologia da Serra da Cangalha.....	78
4.1 - Breve discussão sobre o conceito de paisagem	78
4.2 - Geomorfologia do Astroblema da Serra da Cangalha.....	86
4.2.1 - Primeira matéria-prima para análise geomorfológica: a escolha fenomenológica.....	87
4.2.2 - Segunda matéria-prima para análise geomorfológica: o ambiente SIG	88
4.3 - Análise geomorfológica na escala da paisagem	90
4.3.1 - Descrição fenomenológica	90
4.3.2 - Análise de gabinete: ambiente SIG	98

5 - A Geodiversidade e a Geoconservação da Serra da Cangalha	120
5.1 - Geodiversidade e a Importância da Geoconservação: valores aplicados ao Astroblema da Serra da Cangalha	120
5.2 - A Geoconservação e Legislação Ambiental no Brasil e no Tocantins	131
5.2.1 - A Legislação Ambiental Federal e a Geoconservação	131
5.2.2 - A Legislação Ambiental no Tocantins e a Geoconservação	138
5.3 - Serra da Cangalha: Geoconservação através da Legislação Ambiental Brasileira	144
5.3.1 - Tentativas Governamentais em passado recente	144
5.3.2 - Geoconservação: a situação atual da área do Astroblema da Serra da Cangalha	147
5.3.3 - O Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins: cenas dos próximos capítulos	152
6 - O Geoparque Astroblema da Serra da Cangalha: uma proposta de geoconservação e desenvolvimento sustentável	170
6.1 - O conceito de <i>Geopark</i> UNESCO	170
6.2 - UNESCO Global Geopark: uma análise deste modelo de preservação ambiental e desenvolvimento sustentável	172
6.3 - Exemplos de geoparques em astroblemas: no Brasil e no mundo	176
6.3.1 - Os astroblemas nacionais e sua geoconservação	176
6.3.2 - Os astroblemas internacionais e o selo da UNESCO: alguns exemplos	182
6.4 - Desenvolvimento Sustentável, Poluição Luminosa e os Astroparques	210
6.5 - O Geoparque Astroblema da Serra da Cangalha: -- discussão	222
7 - Considerações Finais	244
Referências Bibliográficas	246
Apêndice	262



... ainda mais alto.

As montanhas enfeitiçavam Humboldt. Não eram apenas as exigências físicas ou a promessa de um novo conhecimento. Havia também algo transcendental. Toda vez que se postava em um cume ou alto espinhaço, se sentia tão comovido pelo cenário que sua imaginação o transportava ainda mais alto. Essa imaginação, dizia ele, alivia as “profundas feridas” que a “razão” pura por vezes criava.

Andrea Wulf, “A Invenção da Natureza: A vida e as descobertas de Alexander von Humboldt”

1 Enquadramento geral

1.1 Introdução

Este trabalho aponta seu olhar para uma construção paisagística que advém de um tipo de evento raro e, ao mesmo tempo, poderoso que deixa sua cicatriz na superfície da Terra: investiga-se um feição geológica-geomorfológica em particular - o astroblema¹. Nosso olhar se direciona para a cratera de impacto meteorítico que, erodida, vai dando lugar ao astroblema e tem papel fundamental na construção e evolução geomorfológica da área atingida. De que maneira um evento tão potente, singular e raro transforma a paisagem que é dominada, a partir de então, por uma imensa cratera meteorítica e posteriormente, por um astroblema? Há algum padrão geomorfológico particular para este tipo de feição? Como a geomorfologia brasileira descreve a forma que advém de tal tipo de evento catastrófico? Como se comporta a drenagem de uma área astroblêmica, milhões de anos após o impacto? Ela ainda carrega esta influência? De que forma esta feição se relaciona com a população que o habita e qual é a sua importância para a Ciência e para pesquisadores que não moram ali?

Em busca da resposta para estas e outras perguntas, trabalhamos aqui com a Geomorfologia, além de abordar também campos do conhecimento geográfico-geológico atuais e importantes como a Geoconservação, a Geodiversidade e o Geoturismo, devidamente atravessadas por elementos da Astronomia (incluindo

¹ O geólogo brasileiro especialista em crateras de impacto meteorítico Alvaro Crósta explica o significado do termo ‘astroblema’: “Excetuando-se as crateras terrestres mais jovens, as demais se encontram geralmente em diferentes estágios de erosão. O geólogo norte-americano Robert Dietz, um dos pioneiros no estudo das crateras terrestres, cunhou o termo *astroblema* para designar as crateras erodidas, que constituem a maioria das crateras terrestres. O termo provém das palavras em latim “estrela” (*astro*) e “cicatriz” (*blema*) (Dietz 1961). Portanto, no caso da maioria das crateras terrestres, incluindo-se as brasileiras, o uso do termo astroblema é apropriado. O termo mais genérico “estrutura de impacto” é utilizado frequentemente para designar tanto as crateras terrestres mais preservadas, como também aquelas que já tiveram sua morfologia modificada pelos processos erosivos.” (CRÓSTA, 2012: pg. 674)

também o Astroturismo) e da Geologia. Busco inter-relacionar estas áreas do conhecimento para, através de um *pensamento complexo*², dissecar aquela que indica ser a mais bem preservada³ das erodidas crateras meteoríticas de grande porte do Brasil (ALMEIDA-FILHO, MOREIRA, BEISL, 2005): o Astroblema da Serra da Cangalha, hoje situado no município agrícola de Campos Lindos, que borda a divisa entre os Estados do Tocantins e do Maranhão.

Este tese possui um forte caráter interdisciplinar e um estudo plural. Seu conteúdo entrelaçante nos direcionou para uma opção estrutural na organização deste texto, de modo que as diversas metodologias utilizadas ao longo deste estudo plural fossem apresentadas em seu lugar devido dentro do texto. Por conta disso, este documento não conta com um capítulo exclusivamente dedicado à metodologia. Apesar disto, todas as metodologias utilizadas estão devidamente pormenorizadas de forma a otimizar a melhor compreensão deste trabalho acadêmico.

1.2 Justificativa e Motivação

O estudo dos impactos meteoríticos é, ainda hoje, um campo novo nas Geociências. Mesmo as crateras lunares, conhecidas desde as observações com instrumento ótico feitas por Galileu Galilei, eram atribuídas não a impactos meteoríticos e sim a vulcanismo até o início do século XX. (CRÓSTA, 2012) De lá para cá muito mudou. Hoje, a grande maioria dos avanços nesta área se dividem entre: (1) o estudo, na área da Astronomia Planetária, das crateras extraterrestres nos maiores corpos rochosos do nosso Sistema Solar; (2) o estudo geológico das crateras terrestres geradas por impacto meteorítico a hipervelocidade (parte mais sensível destas três para o presente estudo) e (3) o estudo em laboratório dos

² O pensamento complexo é uma forma de olhar o mundo, um conceito filosófico que dialoga com a Educação proposto pelo filósofo francês Edgar Morin e que será mais detalhado ao longo desta tese.

³ Cabe ressaltar que esta comparação é feita com outros astroblemas situados em solo brasileiro e que todos possuem milhões de anos de erosão sobre suas morfologias originais. Ou seja, a maior parte da litologia de metamorfismo de choque que se encontrava na superfície da cratera de impacto logo após a sua formação (a morfologia original que hoje dá lugar ao Astroblema da Serra da Cangalha) já não se encontra mais ali por conta desta erosão. Pode-se dizer portanto que há mais uma preservação morfológica do que propriamente uma preservação litológica no Astroblema da Serra da Cangalha.

fenômenos físicos que geram uma cratera de impacto meteorítico, tais quais as ondas de choque, apenas geradas em impactos a hipervelocidade.

Um evento de impacto meteorítico de grandes proporções (aqueles cujo corpo impactante atravessa a atmosfera do planeta sem praticamente perder velocidade) ocorre com baixa frequência na Terra⁴. Aliado a este fator, há o fato de que a dinâmica da superfície terrestre rapidamente esconde as evidências de um impacto pretérito, utilizando-se uma escala temporal geológica. Diferentemente de corpos celestes como a Lua, praticamente ausentes de atmosfera e também de um tectonismo ativo nos dias de hoje, a Terra consome a forma crateriforme das estruturas de impacto através dos processos erosivos e tectônicos atuantes ao longo do tempo geológico.

O *Earth Impact Database* é um banco de dados atualizado e disponível na web, gerenciado pelo *The Planetary and Space Science Centre* (PASSC) e baseado no Canadá pela Universidade de New Brunswick que dentre outros serviços, oferece uma listagem das crateras de impacto já confirmadas cientificamente em todo o nosso planeta. Este site nos entrega uma ordem de grandeza satisfatória da quantidade de crateras de impacto meteorítico descobertas e estudadas na Terra até a presente data. Hoje - 03 de fevereiro de 2021 - existem no site 190 crateras de impacto cadastradas. Destas, apresenta crateras tão pequenas quanto a de Carancas, no Peru, com 0.0135km de diâmetro - ou seja, pouco menos de 7m de raio com apenas 13 anos de idade assim como outras colossais tal qual a cratera de Vredefort, situada na África do Sul com um diâmetro aproximado de 160km e formada há mais de 2 bilhões de anos atrás no Paleoproterozoico. Ainda segundo o *Earth Impact Database*, destas 190 crateras espalhadas pelos continentes do Globo, 7 delas se encontram no Brasil. Através de uma rápida comparação visual, percebemos que há uma quantidade significativamente maior de crateras de impacto meteorítico catalogadas na América do Norte, por exemplo, se

⁴ Como diz Crósta: “Os meteoritos que formam crateras são aqueles que se chocam contra a Terra com velocidade e energia suficientes para provocar a escavação da superfície. Eles são geralmente de maiores dimensões, pesando no mínimo 1.000 ton e com diâmetros mínimos de cerca de 10 m. Sua massa e velocidade permitem que penetrem na atmosfera da Terra sem sofrer desaceleração considerável e sem se partir em vários fragmentos. Estima-se que um meteorito com essas dimensões mínimas possa atingir a Terra pelo menos uma vez a cada século.” (CRÓSTA, 2012: pg 674) A partir de modelos matemáticos apresentados por Grieve e Shoemaker, Crósta continua: “(...) a cada milhão de anos aproximadamente, de uma a cinco crateras de impacto com diâmetro ≥ 20 km são formadas na Terra pela colisão de corpos celestes com dimensões entre 1 e 2 km.” (CRÓSTA, 2012: pg 676).

compararmos com a quantidade das crateras catalogadas no nosso país. Segundo Alvaro Crósta, “o motivo é o relativo desconhecimento desse tipo de estrutura geológica, bem como o baixo grau de conhecimento geológico do território e a ausência de levantamentos geológicos específicos para identificação de estruturas de impacto.” (CRÓSTA, 2012: pg. 674)



A



B

Figura 1.1 - Imagens cedidas pelo site *Earth Impact Database* (In: *bibliografia digital*), acessado em fevereiro de 2021. A imagem superior A mostra a distribuição das crateras de impacto/astroblemas cadastrados no site que se situam na América do Sul. A imagem inferior B mostra o mesmo para a América do Norte. Cada pin branco equivale a uma cratera de impacto/astroblema - aqui sem qualquer distinção de tamanho, idade, tipo, etc - e sua respectiva localização no mapa dos continentes.

Pela pouca ocorrência de termos como “astroblema” ou “crateras de impacto” em encontros nacionais de campos de pesquisa na área, observa-se a necessidade de mais estudos sobre o tema. Em 2004, no Primeiro Simpósio de Patrimônio Geológico em Araxá há um trabalho que se debruça sobre o tema: *Evidências da origem por Impacto do Astroblema de Vargeão, SC* de Alvaro P. Crósta, César Kazzuo-Vieira, Alfonso Schrank e Asit Choudhuri. Já nos últimos quatro SINAGEOs (Simpósio Nacional de Geomorfologia), por exemplo, não há registro nenhum da palavra ‘astroblema’ em seus anais⁵, assim como no V Simpósio Brasileiro de Patrimônio Geológico (2019). Há poucas ocorrências nos anais dos últimos Congressos Brasileiros de Geologia⁶.

A constatação de que este campo de pesquisa tem ainda muito lastro por aqui se reflete também na falta de material didático impresso no Brasil sobre o tema. Não encontrei nenhum livro em português editado no Brasil que tratasse exclusivamente desta temática (de formato acadêmico ou popular), tanto na área da Astronomia quanto nas de Geologia, Geografia, Física (no caso tratando das Ondas de Choque de impactos meteoríticos) ou Turismo (já que os impactos geram feições geomorfológicas singulares as quais poderiam atrair a atenção para um Geoastroturismo ainda pouco explorado aqui no Brasil – tema desenvolvido no Capítulo final desta tese).

Em termos de Geografia, mais notadamente no campo das transformações da paisagem e da Geomorfologia, encontrou-se apenas três artigos científicos brasileiros que congregam os termos “astroblema” e ‘geomorfologia’ em seus escopos⁷. Cabe ressaltar que na 2ª edição do Manual Técnico de Geomorfologia do

⁵ Foram consultados os registros do IX SINAGEO (2012), X SINAGEO (2014), XI SINAGEO (2016) e XII SINAGEO (2018). Em nenhum deles consta qualquer trabalho que mencione a palavra “astroblema”.

⁶ Em congressos de Geologia há registros neste sentido, embora esporços. Nos anais do 48o SBG (2016) não há trabalhos relacionados à astroblemas. Já no 49o CBG (2018), há dois registros para trabalhos que pesquisam esta temática. São eles: “*Uso de imagens SRTM e Palsar na caracterização de uma estrutura circular (intrusão ou astroblema?) na Bacia do rio Citaré, Norte do Pará*”, de Lima, Magalhães, Noura e Miranda e “*Cratera de Aimorés seria resultado de metamorfismo de impacto?*” de MELO et al. Observamos aqui que ambos os trabalhos investigam mais duas novas possibilidades de crateras de impacto meteorítico em território nacional (para além das já conhecidas e catalogadas no *Earth Impact Database*), convergindo para o que apontamos no texto acima: há espaço para novas descobertas no território nacional.

⁷ São eles: “*A Influência de uma estrutura de impacto na morfodinâmica da borda meridional do planalto paulistano: o caso da cratera de Colônia, em São Paulo-SP*” de Deborah de Oliveira e André Henrique dos Santos; “*Análise Geomorfológica das crateras de impacto de Vargeão e Vista Alegre*” de Amanda Almeida Rocha e “*A morfologia superficial da estrutura circular de São Miguel de Tapuío (Piauí-BR) e casos similares no território brasileiro*” de Castelo Branco et al. Cabe

IBGE, ao descrever a única “Forma Relacionada a estruturas circulares”, chamada “Borda de Estrutura Circular”, vincula-se esta forma também a “estruturas de impacto ou astroblemas”. (IBGE, 2009: pg 77)

No campo da Geodiversidade, apesar de o termo “astroblema” já constar em algumas tipologias nacionais - como ocorre na lista da SIGEP (SILVA, 2008: pg 155) - me estranha uma feição tão singular às vezes ainda não ter a sua forma catalogada como tal⁸. A pesquisadora e geóloga Joana Sanchez possui algumas importantes publicações conjugando estas duas palavras-chaves, desde a sua monografia (SANCHEZ, 2006) em que produz o mapeamento do núcleo do Astroblema de Araguainha levantando também aspectos geoturísticos da região, assim como outros artigos em que analisa também potenciais geoturísticos mas de outra estrutura crateriforme, o Cerro de Jaraú (SANCHEZ & GARCIA, 2012) e por fim uma proposta para um método de análise quantitativa de Geodiversidade específica para astroblemas (SÁNCHEZ & BRILHA, 2017). Porém, dada a raridade e importância deste tipo de feição para uma melhor compreensão dos grandes processos naturais que dinamizam, renovam e modificam a crosta terrestre, observa-se a necessidade de mais trabalhos neste sentido, conjugando a Geodiversidade, suas ramificações rizomáticas e os astroblemas.

Portanto acredito que com mais trabalhos abordando o tema e o termo “astroblema” pelo viés das Ciências da Terra como um todo⁹, naturalmente o mesmo passe a constar no vocabulário normal inclusive também dos geógrafos: não só o termo “astroblema”, como desdobramentos de pesquisas possíveis a partir de um entendimento teórico geográfico-geomorfológico relativo ao que circunde uma cratera de impacto meteorítico ou, mais especificamente, um astroblema.

ressaltar que este último trabalho faz parte de um esforço de ainda comprovação desta estrutura como um astroblema.

⁸ Por exemplo, no documento “Geodiversidade do Estado do Tocantins”, (CPRM, 2019) observamos que no mapa de padrões de relevo, a área do Astroblema da Serra da Cangalha consta como um domo. Este mapa “serviu de subsídio para a elaboração do mapa Geodiversidade do Estado do Tocantins”. (CPRM, 2019: pg 51) Assim, no principal mapa de Geodiversidade do Estado produzido até então não existe o termo ‘astroblema’ - pois no mapa de padrões de relevo do Tocantins assim como na análise geomorfológica do Estado não se observa o termo em questão. Causa espécie o fato de que neste mesmo documento há um espaço para citar-se o astroblema (usando-se este termo e não apenas “cratera de impacto”, inclusive com uma breve descrição e uma imagem de satélite evidenciando sua estrutura circular (CPRM, 2019: pg 66).

⁹ Tal qual observamos no livro “Geodiversidade do Brasil”, também editado pela CPRM, no qual observa-se citações sobre o “Domo de Araguainha, o maior astroblema brasileiro” (SILVA, 2008: pg 156), sobre a tipologia “astroblema” constando na lista da SIGEP (SILVA, 2008: pg 155) e sobre os astroblemas como testemunhos de um agente extraterrestre que molda o relevo da Terra (SILVA, 2008: pg 151).

Para aprofundar o entendimento do estado da arte no que diz respeito ao estudo acadêmico de estruturas de impacto meteorítico no Brasil e encerrar esta etapa de Justificativa desta tese de Doutorado, esta pesquisa apresenta também, a seguir, um trabalho de revisão bibliométrica em artigos relacionados aos astroblemas brasileiros. Esta revisão bibliométrica apresenta, neste primeiro Capítulo, um primeiro resultado desta tese.

Revisão Bibliométrica sobre astroblemas/estruturas de impacto no Brasil

Metodologia

Para o recolhimento dos dados, foi acessado (em maio/2021) o site Portal CAPES e nele, pela busca de base de dados, a base SCOPUS. Já redirecionados para a plataforma SCOPUS, foi feita a pesquisa a partir da opção de busca "*Article title, Abstract and Keyword*". Essa opção busca as palavras pretendidas não só no título do artigo mas também no resumo e nas palavras-chave, assim tendo mais lastro para esta pesquisa inicial. No campo de busca, digitamos, sem as aspas, "*astroblem**". O asterisco indica uma busca mais ampla: neste caso, o software procura nos títulos, resumos e palavras-chave por qualquer palavra que comece com *astroblem*. Por exemplo: *astrobleme, astroblemes, astroblema*, etc. Dessa forma, teremos então um resultado para esta busca de forma mais abrangente: o método busca não excluir trabalhos que possam ser contundentes na área. Assim, teremos na busca Scopus a seguinte expressão: "TITLE-ABS-KEY ("*astroblem**") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))). Como resposta, obtém-se 205 trabalhos.

Partindo deste montante de artigos, refina-se a busca para nacionalidade, selecionando "*Brazil*" no campo lateral de filtro da plataforma Scopus. No campo de busca, a procura autodefine-se como se segue: TITLE-ABS-KEY ("*astroblem**") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "*Brazil*")). Assim estamos procurando artigos que contenham pesquisadores afiliados ao Brasil e que, no seu título, resumo e/ou palavras-chave encontre-se a palavra "*astroblem**".

Desta busca, obtém-se o montante de cinco artigos: "*Aerial crystallization of hematite in impact bombs from the Araguainha astrobleme, Mato Grosso, central Brazil*", de J. Hippert e C. Lana publicado na *Meteoritics and Planetary Science*

em novembro de 1998; “*Geological, geophysical, and imaging data of São Miguel do Tapuio (SMT) Astrobleme, Brazil*”, de R. Mariano, G. Castelo Branco, D. L. de Castro e L.S. Cunha; “*Impact shock features of the Vargeão Dome, Brazil*”, de C.M. Poulos, W.D. MacDonald e J. Francolin; “*The Jarau structure, southern Brazil: An astrobleme?*”, de S.B.A. Rolim, A. R. Jelinek, M.L.V. Lelarge e N.A. Lisboa MPS – todas estes três últimos artigos publicados também na *Meteoritics and Planetary Science* mas na edição de agosto de 2004 e, por fim, “*The Serra da Cangalha astrobleme as revealed by ASTER and SRTM orbital data*”, de R. Almeida-Filho, F.R.S. Moreira e C.H. Beisl publicado na *International Journal of Remote Sensing* em março de 2005.

Desta pequena quantidade total, quatro foram publicados na mesma revista sendo que três destes, na mesma edição. No ano seguinte surge o único artigo desta busca que tem como objeto de estudo o astroblema da Serra da Cangalha. Nele observa-se um trabalho de geoprocessamento gerando uma figura 3D do astroblema e uma figura de relevo sombreado nivelado por uma escala de cores. Não há maiores interpretações geográficas destas figuras no artigo: seu resultado final são os mapas em si. (ALMEIDA-FILHO; MOREIRA; BEISL, 2005)

Por conta da baixa quantidade total de artigos acadêmicos encontrados com esta primeira filtragem, realiza-se então nova procura (ainda em maio/2021) adicionando duas outras expressões que são também utilizadas para descrever astroblemas atualmente: “*impact crater**” e “*impact structure**” (os asteriscos nestes novos campos permitem a busca por estas expressões estando elas tanto no singular quanto no plural). Assim, pretende-se descobrir se estas expressões encontram-se mais valorizadas no meio acadêmico brasileiro nos últimos anos.

Esta nova busca ficou como se segue: TITLE-ABS-KEY (“*astroblem**”) OR TITLE-ABS-KEY (“*impact crater**”) OR TITLE-ABS-KEY (“*impact structure**”) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , “ar”)) AND (LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , “Brazil”). Dessa forma, encontraram-se 95 artigos dentro dos parâmetros indexados à busca. A diferença de quantidade é substancial, demonstrando o desuso do termo “astroblema” para esta feição em estudos que contém os astroblemas brasileiros em seu escopo e sendo este um primeiro resultado desta revisão bibliométrica. Estes 95 artigos catalogados a partir da segunda busca são a base para a análise bibliométrica que se segue entre artigos publicados de astroblemas no Brasil até maio/2021.

A análise bibliométrica é, segundo CAFE & BRASCHER (2008), "um conjunto de leis e princípios aplicados a métodos estatísticos e matemáticos que visam o mapeamento da produtividade científica de periódicos, autores e representação da informação." Seguimos no caminho de procurar mapear quais as relações acadêmicas mais contundentes (em termos de impacto em nível internacional) entre autores e países no âmbito da pesquisa cadastrada na base SCOPUS sobre astroblemas brasileiros.

Para a produção dos mapas bibliométricos¹⁰, recorre-se ao software *VOSviewer* (v. 1.6.16). Trabalha-se tanto mapas de palavras-chave em co-ocorrência quanto mapas que relacionam co-autorias, citações. Desta forma, busca-se entender quais são os termos que norteiam estas pesquisas e como a comunidade científica tem se organizado para pesquisar astroblemas brasileiros.

Para que se chegue aos mapas, escolhas tem que ser feitas ainda dentro do software. Utiliza-se, como input no software, o arquivo exportado via SCOPUS do tipo .csv contendo todas as informações de citação disponíveis, informações bibliográficas, informações de resumo e palavras-chave. A tela que gerou este arquivo apresenta-se na figura 1.2. As informações escolhidas para download obedecem um critério de relevância x peso final do arquivo, buscando otimizar o processo de processamento sem a perda de dados importantes.

¹⁰ O termo mapa utilizado na Revisão Bibliométrica e que replicamos aqui está mais associado ao conceito de mapas mentais/fluxogramas e assim, distante do conceito de mapa na Geografia. As figuras apresentadas a seguir e chamadas de mapas não possuem escala, grade de coordenadas ou norte. Escolheu-se entretanto manter-se a nomenclatura utilizada nos trabalhos associados ao tema de Revisão Bibliométrica: as figuras a seguir serão portanto chamadas de mapas.

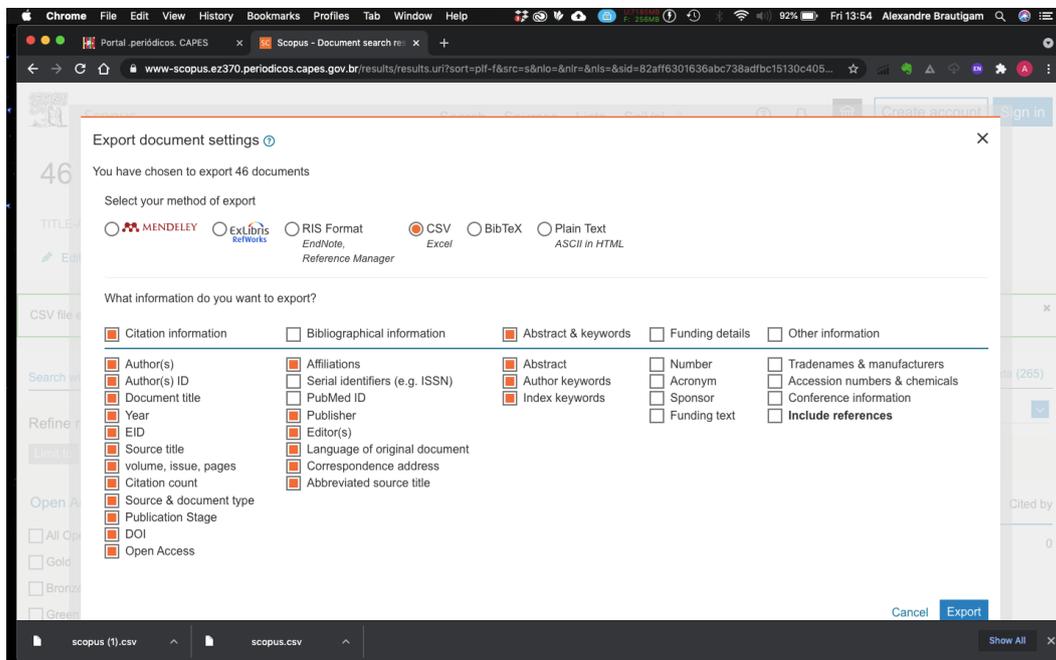


Figura 1.2 – *Print Screen* da tela de download dos dados da pesquisa feita na base Scopus em maio/2021 para a Revisão Bibliométrica de artigos com afiliação brasileira sobre astroblemas até a data da consulta.

Para os mapas de palavras-chave, escolhe-se trabalhar com todas as palavras-chave disponíveis nos artigos filtrados que possuam ao menos duas ocorrências em dois artigos distintos. Desta forma, o *VOSviewer* reduziu de 363 para 83 itens (analisando e plotando no mapa 83 palavras-chave). Caso contrário, a poluição visual não compensaria o acréscimo de palavras-chave mais redundantes. Após uma revisão manual dos itens pré-selecionados como descrito acima, os mapas foram gerados. São os mapas aqui chamados de Mapa 01 e Mapa 02.

Para os mapas que relacionam citações por autor, escolhe-se filtrar os itens de modo que apareçam-se autores com no mínimo 2 citações. Este filtro reduziu a quantidade de itens, de 152 para 38 autores. Plota-se o resultado. São os mapas aqui chamados de Mapa 03 e Mapa 04.

Para os mapas de co-autoria com os itens categorizados por países como unidade de análise, escolhemos a contagem do tipo *full counting* (não desejamos atribuir uma peso maior para artigos com menos colaboradores) e escolhemos também trabalhar com todos os possíveis, o que nos retornou um total de 16 itens para cada um destes mapas. Resultou-se no mapa aqui chamado de Mapa 05.

Resultados e Discussões

O Mapa 01 (Figura 1.3) apresenta cada palavra-chave como um item. Cada item possui representação gráfica circular e um *label* (que é a própria palavra-chave). As linhas representam as relações entre os itens. O software ainda divide as palavras-chave que mais se relacionam entre si em clusters, que ficam representados graficamente pelas cores.

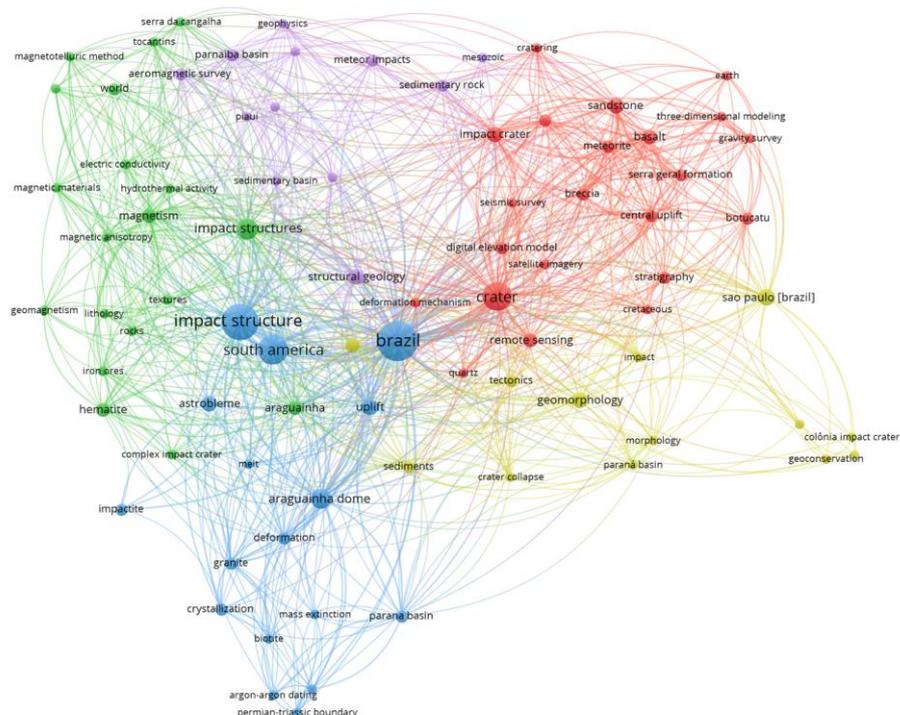


Figura 1.3 - Mapa 01. “Co-ocorrência de palavras-chave para artigos Scopus sobre astroblemas brasileiros.” Autoria própria, utilizando-se o software *VOSviewer* e dados da base Scopus.

Observando os itens em separado, as palavras-chave que mais se destacam são “*brazil*”, “*impact structure*”, “*crater*” e “*south america*”. Suas co-ocorrências são de, respectivamente 33x, 27x, 17x e 18x. O tamanho do círculo de cada item está regulado pela quantidade de co-ocorrências de cada um deles. Interessante pontuar que a palavra-chave “*astrobleme*” se encontra em um nível intermediário de co-ocorrência, com apenas 5x. Seu peso é ainda mais minimizado quando observamos o atributo *Strenght*, atribuído automaticamente pelo *VOSviewer* a cada item: enquanto o item “*astrobleme*” possui *Strenght* = 18, o item “*impact structure*” possui *Strenght* = 164 e o item “*crater*”, *Strenght* = 134. Outra palavra em nível intermediário é *geomorphology*, que se encontra no cluster amarelo em que observam-se os itens “São Paulo” e o pequeno item “*geoconservation*”, indicando que as pesquisas feitas neste Estado dialogam com estes temas de forma mais incisiva.

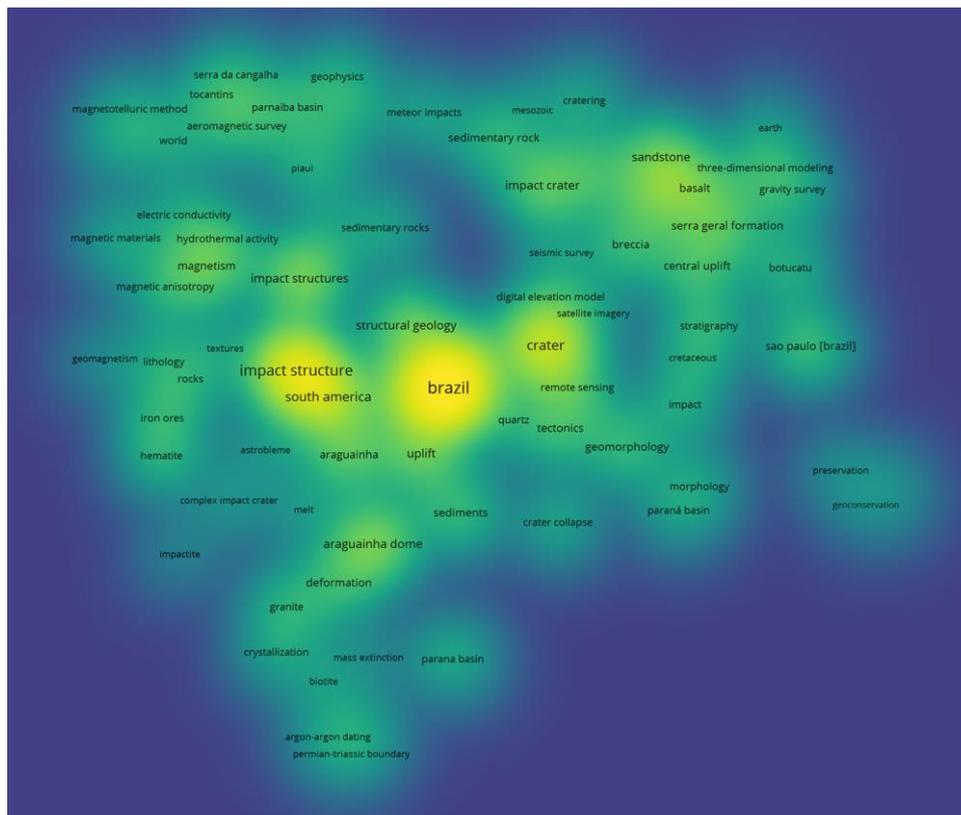


Figura 1.4 - Mapa 02. “Co-ocorrência em densidade de palavras-chave para artigos Scopus sobre astroblemas brasileiros.” Autoria própria, utilizando-se o software *VOSviewer* e dados da base Scopus.

Acima, observa-se, na Figura 1.4, o Mapa 02. Este é um mapa de densidade de palavras-chave, uma variante do Mapa 01, em que neste escolhe-se que o mesmo esteja regulado pelo atributo ‘*Strenght*’. Neste mapa, a densidade é dada pela escala de cores, em que as cores mais escuras tendendo ao lilás/roxo são as de menor *Strenght* e as cores mais claras tendendo para o amarelo são as de maior *Strenght*.

Podemos observar como a região do item “*astroleme*” está apagada em relação aos itens “*impact structure*” e “*crater*”. Assim, há um entendimento visual claro de diferença de intensidade de ‘*Strenght*’ entre estes itens, o que mais uma vez demonstra o pouco uso do termo “*astrolema*” dentre as publicações em formato de artigo em revistas científicas quando trata-se de astroblemas brasileiros.

Adentra-se então no universo das citações com os dois mapas seguintes.

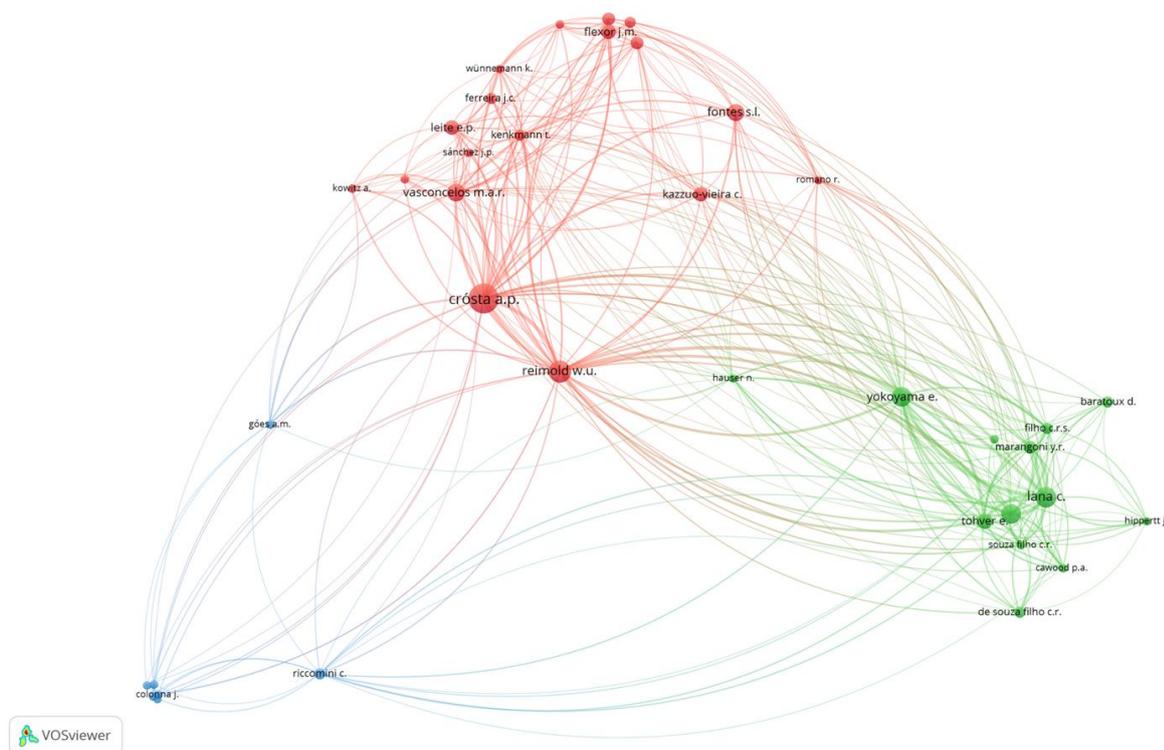


Figura 1.5 - Mapa 03. “Bibliometria referente a citações de autores, balizado pela quantidade de citações”. Clusters em cores diferentes indicam cada qual uma rede de colaboração em desenvolvimento de pesquisa. Fonte: Autoria própria, utilizando-se o software *VOSviewer* e dados da base Scopus.

O Mapa 03 (Figura 1.5) apresenta representação gráfica na qual cada item da figura corresponde a um autor citado. Como cada autor é citado por outro, essas relações permitem ao algoritmo do *VOSviewer* estabelecer as relações necessárias para a construção de clusters evidenciados por diferentes cores. No cluster dominante (vermelho)¹¹ temos Crósta em destaque, junto com Reimold e

¹¹ Este *cluster* congrega também os principais autores estudados nesta tese, quando aborda-se o detalhamento geológico e a comprovação do impacto meteorítico a hipervelocidade do Astroblema da Serra da Cangalha. Crósta, Vasconcelos, Reimold, Kenkmann e Wünnemann assinam muitos

Vasconcelos. Um outro cluster secundário se apresenta (verde), com Yokoyama e Lana. Um terceiro cluster, mais tímido, completa o mapa (azul). Para o cluster dominante, Crósta apresenta 168 citações e Reimold, 154. Vasconcelos aparece com 64 citações. Yokoyama, do cluster secundário, recebeu 156 citações, merecendo também destaque e Lana, 192. Embora Lana tenha recebido mais citações do que seus colegas, foi classificado com fator *Strenght* = 241, enquanto que Crósta recebeu *Strenght* = 245 e Reimold, *Strenght* = 290. Com a separação de três clusters bem demarcados, podemos perceber três redes principais de desenvolvimento de pesquisa em astroblemas brasileiros. Apesar de estas redes (clusters) estarem bem afastadas umas das outras no gráfico (e isso é um indicativo que o software nos passa de que elas são mesmo um tanto afastadas academicamente), todos seus principais autores citam-se entre si, como podemos ver nas linhas que unem os itens destes.

O Mapa 04 (Figura 1.6, abaixo) apresenta a bibliometria referente a citações de autores, balizado pela quantidade de citações em amostragem temporal. Neste caso, um autor que tenha sido citado ao longo de todos os anos, aparecerá no espectro verde (intermediário) da escala de cores. Caso ele tenha sido mais citado nos primeiros anos destes artigos ele estará representado pela escala de cor mais a esquerda (azul) e caso ele tenha começado a ter sido citado na fase mais recente destes trabalhos, sua cor estará deslocada para a direita (amarelo). Esta escala de cores é mais interessante para autores que possuem mais citações. Percebe-se que Crósta, Reimold e Tohver possuem uma quantidade significativa de citações ao mesmo tempo em que possuem, neste mapa, a cor verde clara indicando uma distribuição significativa de citações ao longo do tempo. São autores com relevância não só quantitativa quanto também relevância continuada no tempo. Lana e Kazzuo-Vieira aparecem com maior relevância em anos mais pretéritos, enquanto Kenkmann, Leite e Colona aparecem com maior frequência em citações em etapa posterior, para além de 2014, segundo análise dos dados deste mapa.

dos artigos utilizados neste trabalho. O trabalho executado pelo algoritmo desta análise bibliométrica unindo-os em um cluster se mostra eficaz.

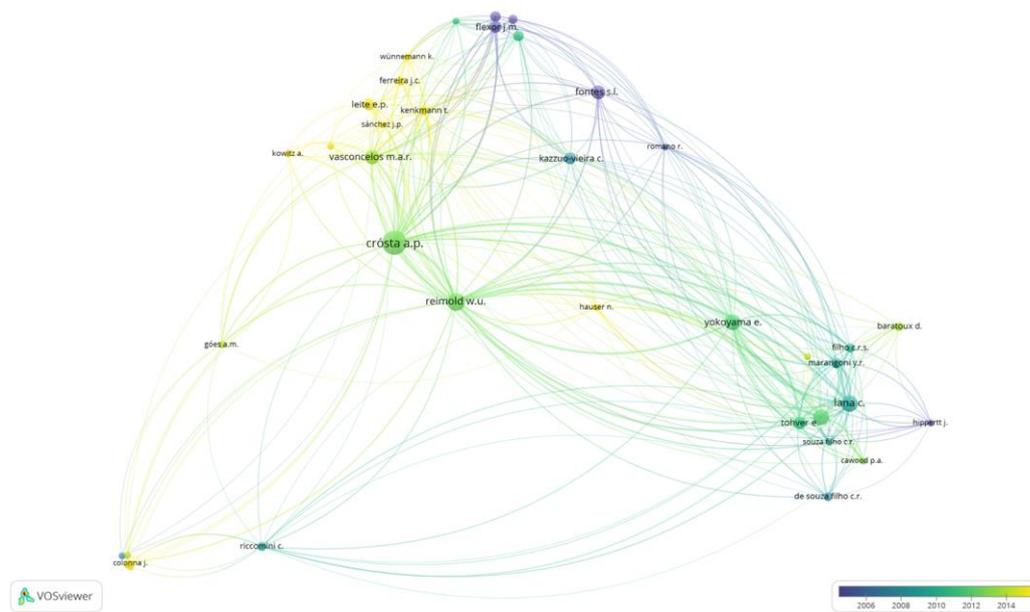


Figura 1.6 - Mapa 04. “Bibliometria referente a citações de autores, balizado pela quantidade de citações em amostragem temporal”. As cores representam uma graduação relativa a média dos anos de todas as publicações em que o autor foi citado. Fonte: Autoria própria, utilizando-se o software *VOSviewer* e dados da base Scopus.

Para finalizar esta Revisão Bibliométrica de artigos que dialogam com astroblemas brasileiros, apresenta-se o último mapa, o Mapa 05 (Figura 1.7). Este refere-se à coautoria dos artigos selecionados, tendo como parâmetro-base o país de onde é natural cada um dos autores. Observa-se nele a presença central dos autores brasileiros, relacionando-se com outros autores de nacionalidades tão díspares (especialmente falando) como Austrália, Alemanha, Reino Unido, África do Sul, Nigéria, Estados Unidos e Colômbia. Todos estes estudando astroblemas brasileiros. Mesmo que sejam ligações de pouca força, há um espalhamento global interessante abarcando pesquisadores naturais de todas as grandes massas terrestres do planeta. Todos os países mapeados possuem ligação direta com o Brasil.

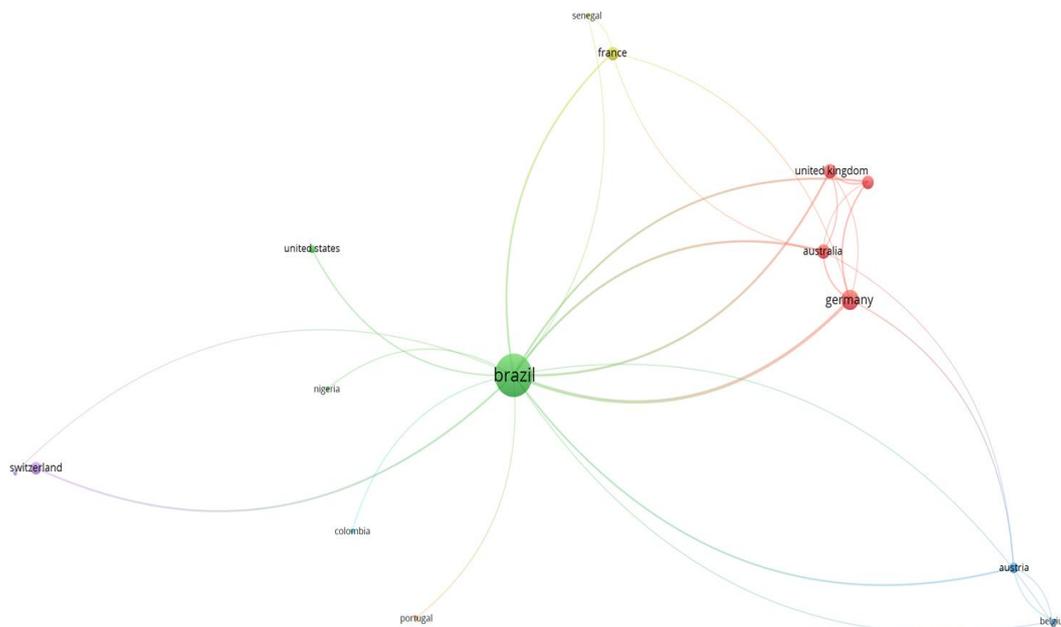


Figura 1.7 - Mapa 05. “Bibliometria referente à coautoria, tendo como parâmetro analisado a nacionalidade de cada autor dos artigos analisados”. As cores representam clusters que contém pesquisadores os quais, através de um parâmetro de coautoria, foram avaliados como pertencentes a uma rede integrada de pesquisa. Fonte: Autoria própria, utilizando-se o software *VOSviewer* e dados da base Scopus.

O Brasil está presente em 61 documentos. Alemanha, em 14; Austrália e Reino Unido, em 7; África do Sul e França (esta última, pertencente a um cluster separado), 6. Suíça e Áustria (ambas, em separado dos demais), 5 e 4 respectivamente. Estados Unidos aparece com apenas 2 ligações e os demais, com apenas uma. Percebe-se uma cooperação mais ajustada entre os pesquisadores brasileiros e os que compõem o cluster vermelho¹² de nações deste Mapa 05, sobremaneira – o mesmo no qual encontram-se os pesquisadores alemães – país estrangeiro que mais contribuiu em documentos dentro desta Revisão Bibliométrica. A Alemanha possui o maior astroblema da Europa – o Astroblema de Ries, na Baviera (ou Ries Crater, como é conhecido) – cuja caracterização como tal se deu já no início dos anos 70 (falaremos mais sobre ele no Capítulo final desta tese). Aqui, finalizamos esta Revisão Bibliométrica e portanto também a Justificativa desta tese. Dados nossos motivos para o estudo desse tipo de feição,

¹² O software indica um cluster mais forte que os demais, este vermelho, agregando autores da Alemanha, Austrália, África do Sul, Reino Unido e Suíça.

adentramos na apresentação da motivação para esta pesquisa e para a escolha do objeto de estudo em si observando a seguinte relação: pesquisadores alemães listados nesta Revisão Bibliométrica contribuíram, na década passada, para a caracterização do astroblema brasileiro escolhido para estudo neste trabalho. Abaixo, apresenta-se o mesmo.

Motivação

Dentre os astroblemas brasileiros conhecidos, o da Serra da Cangalha foi o escolhido. Em um doutorado baseado na Geografia-Geomorfologia e na Geodiversidade, a forma de relevo deste astroblema é um diferencial. Quer seja por seu aspecto serrano de cumeeira irregular envolto por estruturas bem diferentes – tabulares-em-círculo, quer seja pelo seu apelo cênico que dialogará com a questão da Geodiversidade e do Geoturismo, o Astroblema da Serra da Cangalha possui características únicas que justificam a abordagem multidisciplinar que esta tese busca investigar.

Ademais, ao longo desta pesquisa verificou-se um predomínio de pesquisas que priorizaram o estudo da Geologia clássica a analisar esta feição. Há apenas uma ocorrência de um mapa hipsométrico e um mapa 3D da região da cratera feitos em 1998 para um trabalho de Georreferenciamento Remoto já citado na página 6 desta tese. (ALMEIDA-FILHO, MOREIRA, BEISL, 2005)

Não encontrou-se ao longo desta pesquisa trabalhos acadêmicos publicados que aprofundem uma discussão geomorfológica do Astroblema da Serra da Cangalha. Em termos de pesquisas nos campos da Geodiversidade, Geopatrimônio e Geoturismo também não encontrou-se artigos que analisem especificamente este astroblema. O mesmo sequer consta no Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios de Geodiversidade da CPRM¹³ ou nos três volumes dos livros digitais Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil¹⁴ editados pela mesma CPRM.¹⁵ Sobre a sua não-inserção no Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios de Geodiversidade da CPRM cabe ressaltar que o mesmo foi

¹³ Sistema acessado em fevereiro de 2021 no endereço- <https://www.cprm.gov.br/geossit/>

¹⁴ No primeiro volume consta o Astroblema de Araguainha; no segundo consta Vargeão e Colônia e no terceiro consta o astroblema de Vista Alegre.

¹⁵ Conteúdo dos livros disponível em (<http://sigep.cprm.gov.br/sitios.htm> acessado em fevereiro de 2021). Acessado em fevereiro de 2021.

descontinuado, impossibilitando o registro de novos itens como o Astroblema da Serra da Cangalha.

1.3 Objetivos

Um evento de impacto meteorítico cujo corpo impactante meça um quilômetro de diâmetro (ou mais) gera, de forma súbita e contundente, uma transformação grave na paisagem. Meu objetivo é investigar qual é a correlação entre um impacto meteorítico supersônico pretérito desta magnitude em uma bacia sedimentar (ocorrido há centenas de milhões de anos atrás) e a geomorfologia local atual da região atingida. Ou seja, em qual medida um evento tão antigo quanto intenso é ainda responsável pela forma atual do relevo da região.

Para além do entendimento do resultado de um lento processo de evolução erosiva ao longo de centenas de milhões de anos que molda um astroblema atual, pretendemos também investigar, sob os prismas da Geodiversidade, da Geoconservação e do Geoturismo e de que maneira a população local e o Poder Público se relacionam atualmente com o Astroblema da Serra da Cangalha e propor ações futuras que possam agregar valor à essa relação, buscando um desenvolvimento sustentável da região sem perder de vista também seu valor astroturístico.

Como objetivos específicos para atingir-se o objetivo geral descrito acima, buscase:

- Investigar em que grau o impacto meteorítico (através da escavação das camadas sedimentares do substrato geológico evolvido) determina ainda hoje a rede hidrográfica da região em que se situa o astroblema e como a erosão diferencial que atuou sobre a área do astroblema em questão foi (ou não) determinante para moldar o relevo atual da Serra da Cangalha e seu entorno;
- Através de uma descrição com bases fenomenológicas, exprimir textualmente a sensação de encontrar e vivenciar *in situ* o relevo-testemunho de um evento geológico de uma magnitude ímpar;

- Implementar uma análise qualitativa preliminar do objeto de estudo escolhido para esta tese, o Astroblema da Serra da Cangalha, buscando pontuar seus diferentes valores de Geodiversidade;

- No âmbito da conservação do patrimônio geológico, a partir das experiências pretéritas empreendidas pelo Poder Público Estadual como um esforço de tornar a área do astroblema uma área de proteção ambiental, investigar como se encontra a atual situação do Astroblema da Serra da Cangalha neste sentido;

- Propor alternativa criativa para um desenvolvimento sustentável da região do Astroblema da Serra da Cangalha em futuro próximo, baseando-se em experiências bem sucedidas pelo mundo de ações organizadas em prol da geoconservação e geoturismo de feições similares em confluência com o seu potencial astroturístico..

2 Conceitos astronômicos e meteoríticos

Investiga-se aqui bibliografia para uma compreensão mais acurada sobre os atores e comportamentos que envolvem o fenômeno do impacto meteorítico - fenômeno este que é basilar para o entendimento da feição que domina esta tese: o astroblema. Para tal, é necessária uma revisão que busca entender quem são e como aqui chegam estes visitantes cósmicos que se chocam com a superfície do planeta; em que condições; como se desenvolvem os diferentes tipos de impacto meteorítico e quais podem ser seus resultados.

2.1 Terminologias Astronômicas: de meteoros a meteoroides

Astroblemas são estruturas geomorfológicas geradas a partir de um impacto meteorítico (de enorme liberação de energia) em superfície planetária. Logo, cabe na revisão bibliográfica desta tese uma investigação mais aprofundada sobre este evento e para isto, entramos também nos domínios da Astronomia e suas ramificações. Aproveitamos este espaço para clarificar alguns termos astronômicos que são utilizados de forma equivocada no linguajar popular. Isto é especialmente importante aqui, na medida em que esta tese também dialogará em capítulos subsequentes com a Geoeducação¹⁶, a Geocomunicação¹⁷ e o Geoturismo¹⁸ nesta interface entre o fazer Ciência e a divulgação científica.

Há muito tempo o ser humano observa o céu. Calendários lunares já eram feitos por Homens de Cro-Magnon no Paleolítico Superior, em torno de 30.000 anos atrás (KARTTUNEN et al., 2016). Em um tempo sem luz artificial, a noite era

¹⁶ Geoeducação: como o próprio nome bem define, é fazer uso da Educação enquanto ensino formal para promover o conhecimento científico. (ZOUROS, 2005).

¹⁷ Já a Geocomunicação promove também o conhecimento geocientífico mas de maneira informal, fora das salas de aula. Como explica Meira (2016), a Geocomunicação é “uma linguagem ou conjunto de ações práticas ligadas a interpretação ambiental que permita partilhar, tornar público, tornar comum o conhecimento geológico”. (MEIRA, 2016: pg. 1169)

¹⁸ Geoturismo: segundo Nascimento, Ruchkys & Mantesso-Neto (2008), pode ser um meio de preservar a geodiversidade, fazendo com que o turista receba, a partir de um projeto bem desenvolvido de geocomunicação, o conhecimento geológico da área visitada. De posse deste conhecimento, o turista assimila os valores diversos daquela geodiversidade e tende a procurar preservá-la.

mais escura e o céu noturno, muito mais povoado de estrelas e demais objetos celestes. Estima-se que, em um céu noturno limpo (sem nuvens e sem poluição), cerca de 3000 estrelas possam ser vistas a olho nu da Terra em cada um dos nossos dois hemisférios. Destas, 1025 das estrelas mais brilhantes do Hemisfério Norte já estavam catalogadas por Ptolomeu no *Almagesto*, escrito no século II d.C.. Cerca de 250 anos antes, o grego Hiparco teria medido a posição delas. (KARTTUNEN et al., 2016: pg 31) Passaram-se ainda pouco menos de 1500 anos até que Galileu apontasse um telescópio para o céu e revolucionasse a Astronomia¹⁹ mas antes que isto acontecesse, os instrumentos usados para olhar as estrelas eram nossos olhos e nossa imaginação.

Pela observação sem instrumentos óticos desenvolvidos pelo ser humano, a grande maioria dos objetos celestes noturnos nos pareciam fixos na abóboda celeste pois seu movimento no céu ao longo de toda a noite é extremamente lento. Deve-se estar atento durante um bom tempo (dezenas de minutos no mínimo) para perceber sua rotação relativa. Mas ao contemplarmos por alguns minutos o céu noturno em um momento e local propício para a ótima observação dos astros celestes, não raro observa-se um risco luminoso rasgando o breu dos céus: um meteoro.

O meteoro, por sua beleza e efemeridade, sempre gera surpresa e maravilhamento a quem o vê. E por definição, um meteoro é exatamente isto: o fenômeno luminoso observado pelo ser humano quando um corpo celeste adentra nossa atmosfera, capturado pela gravidade do planeta Terra. (KARTTUNEN et al., 2016: pg 222) Portanto, o meteoro não é este corpo celeste, e sim apenas o fenômeno luminoso. Um meteoro, por definição, não cai na Terra; não explode, não abre crateras e não pode ser achado pois não é rocha nem gelo, não há materialidade em um fenômeno luminoso 'per se'. Ou seja, está errado dizer que um meteoro vai atingir a Terra assim como está errado dizer que um meteorito está a caminho para a destruição do mundo. Um meteorito é o material que sobra (quando sobra!) daquele corpo celeste extraterrestre que se chocou com o planeta. Ou seja, ele só

¹⁹ Galileu, em 1609, utiliza para observar o céu, um instrumento ótico recém-criado que fora destinado à observação terrestre: o telescópio. Com este telescópio rudimentar Galileu impulsionou novas e grandes descobertas astronômicas como a rugosidade geomorfológica da Lua, mostrando que nosso satélite natural não era liso como até então se acreditava; as fases de Vênus tal qual as fases da Lua - derivando daí a ideia de que Venus girava ao redor do Sol e não ao redor da Terra; as luas de Júpiter (na verdade as quatro maiores) e suas órbitas; a estranha forma de Saturno, que parecia “ter orelhas”. (CHERMAN e VIEIRA, 2012)

passa a existir depois do choque. Então se o meteoro é apenas a luz no céu e o meteorito só passa a existir depois do choque, quais são os nomes dos corpos celestes que geram os meteoros e posteriormente as crateras meteoríticas (eventualmente com meteoritos dentro ou próximos) - que severamente erodidas darão espaço ao que chamamos de astroblema?

Asteroides, Cometas e Meteoroides: definições

Nosso Sistema Solar possui corpos celestes dos mais variados tamanhos. Do maior para os menores em diâmetro médio listamos nosso Sol, os planetas gasosos (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno), os planetas rochosos (Terra, Vênus, Marte e Mercúrio), os satélites destes planetas²⁰ e os planetas anões (Plutão incluído). Em 2006 a IAU (*International Astronomical Union*) formulou a definição corrente para os conceitos que diferenciam ‘planeta’ de ‘planeta anão’:

“A ‘planet’ is a celestial body that (a) is in orbit around the Sun, (b) has sufficient mass for its self-gravity to overcome rigid body forces so that it assumes a hydrostatic equilibrium (nearly round) shape, and (c) has cleared the neighbourhood around its orbit; a “dwarf planet” is a celestial body that (a) is in orbit around the Sun, (b) has sufficient mass for its self-gravity to overcome rigid body forces so that it assumes a hydrostatic equilibrium (nearly round) shape, (c) has not cleared the neighbourhood around its orbit, and (d) is not a satellite. All other objects, except satellites, orbiting the Sun shall be referred to collectively as “Small Solar-System Bodies”. (IAU, 2006)

Hoje sabemos que, em termos de quantidade, o que mais existe são os corpos menores (*Small Solar-System Bodies* ou SSSB). Estes, por possuírem uma menor massa inercial, são os mais suscetíveis a receberem uma perturbação gravitacional (ou mesmo uma colisão direta) que tire-os de uma órbita segura lançando-os a trajetórias improváveis, fora da harmonia gravitacional de órbitas circulares em torno do Sol no mesmo plano das órbitas dos planetas. Alguns destes corpos

²⁰ Alguns satélites dos planetas gasosos são maiores do que alguns planetas rochosos e planetas anões. Ganimede (maior lua de Júpiter) tem 5262km de diâmetro; Titan (maior lua de Saturno), 5148km. Já o planeta Mercúrio possui 4879km de diâmetro. Ainda próximo ao tamanho deste, temos também Callisto (segunda maior lua de Júpiter) com 4821km de diâmetro. Plutão, o maior dos planetas-anões - e por algum tempo considerado um planeta - tem diâmetro de apenas 2376km, menor do que todas as quatro luas galileanas de Júpiter (Ganimede, Callisto, Io e Europa) e também menor do que a nossa Lua (3474km em diâmetro). (STOTT et al., 2010)

menores de trajetória errante serão então os grandes candidatos à captura pela gravidade terrestre.

Classificamos estes corpos celestes em três diferentes categorias. São elas: os cometas, os asteroides e os meteoroides. (KARTTUNEN et al., 2016) Todos estes corpos celestes podem, ao serem capturados pela atração gravitacional da Terra e adentrarem nossa atmosfera, gerar o fenômeno luminoso chamado de meteoro. Primeiro distinguiremos os cometas dos asteroides; em seguida, abordaremos as diferenças entre asteroides e os meteoroides.

Cometas são aglomerados contendo rocha, poeira, gelo e gases congelados. Possuem um diâmetro que não excede os 10km e enquanto permanecem na periferia do Sistema Solar não são visíveis. À medida em que eles se aproximam do Sol (a partir de uma distância de 2 u.a.s do mesmo²¹) o calor do Sol começa a derreter o gelo e os gases gelados, formando a característica cauda que os identifica. Normalmente esta cauda é composta de duas partes: uma advinda da poeira que se desprende do cometa por conta desse degelo e outra advinda dos gases que vinham também congelados no corpo do mesmo. Estes gases, ao serem ionizados pelo vento solar, geram a maior parte do brilho característico das caudas dos cometas. Observa-se que esta cauda está sempre em oposição à posição do Sol. (KARTTUNEN et al., 2016: pg 220)

Estes corpos celestes possuem trajetórias perturbadas em não-confluência com o plano orbital dos planetas e podem, eventualmente, ser capturados pela gravidade da Terra. Por possuírem essas grandes quantidades de materiais congelados, acredita-se que os cometas eram corpos celestes pequenos que habitavam órbitas longínquas (muitas vezes mais afastadas do Sol do que as órbitas dos últimos planetas) e que alguma perturbação gravitacional arrancou-as do seu prumo. O complexo jogo de campo de forças gravitacionais no Sistema Solar é o grande responsável por estas trajetórias errantes.

Já os asteroides, diferente dos cometas, não possuem cauda e são compostos sobretudo de matéria sólida – rochas e/ou metais solidificados. Os asteroides são os corpos celestes mais recorrentes no nosso Sistema Solar. Apesar disso, começaram a ser observados e catalogados apenas depois da introdução dos instrumentos óticos

²¹ u.a. = abreviação de “unidade astronômica”. É uma unidade de distância que usa a distância média da Terra pro Sol como valor unitário. Portanto 2 u.a.s equivalem a duas vezes a distância da Terra ao Sol e dizer que um corpo celeste se encontra a 2 u.a.s do Sol significa dizer que o mesmo poderia estar entre as órbitas de Marte e Júpiter.

pois não emitem luz e são menores do que os planetas (incluindo os anões) e os maiores satélites naturais.

O primeiro asteroide observado foi Ceres, apenas em 1801. Seu descobridor, Giuseppe Piazza, inicialmente pensou que o corpo fosse uma estrela de brilho fraco. Logo em seguida descartou esta ideia por conta de seu movimento no céu. Piazza estava então em dúvida: este novo corpo poderia ser um cometa ou um planeta - não havia ainda a nomenclatura ‘asteroide’. Em 1802 outro corpo similar a Ceres foi observado - de nome Pallas. Neste mesmo ano, William Herschel (que já havia descoberto Urano) cunhou o termo ‘asteroide’ para se referir a Ceres e Pallas:

Because of this starlike appearance, Herschel declared, "From this, their asteroidal appearance, if I may use that expression, therefore, I shall take my name, and call them Asteroids; reserving for myself, however, the liberty of changing that name, if another, more expressive of their nature should occur." Thus Herschel argued that Ceres and Pallas were not the same as the other planets. (USNO, 2010)

Em 2006, com as novas diretrizes da IAU (já destacadas neste capítulo) ambos deixaram de ser asteroides para tornarem-se planetas anões. Mesmo assim, no início de 2016 já existiam mais de 750.000 asteroides catalogados e mais de 15.000 nomeados. Seu diâmetro varia de alguns metros a centenas de quilômetros²². (KARTTUNEN et al., 2016) Não possui a cauda dos cometas e concentram-se na sua grande maioria em regiões conhecidas do Sistema Solar.

Por fim, os meteoroides são corpos celestes sólidos menores do que os asteroides. O limite entre um e outro é incerto: uma rocha de 10 metros de diâmetro vagando pelo espaço estaria neste limiar. Pode-se dizer que o corpo é ainda um asteroide caso ele tenha sido tão frequentemente observado a ponto de ter seus parâmetros orbitais conhecidos. (KARTTUNEN et al., 2016) Ou seja, em termos

²² A nível de comparação de escala, há uma animação feita por Álvaro Garcia Montoya na Inglaterra em fevereiro de 2020 (*MetaBall Studios*) que compara asteroides de diferentes diâmetros com objetos modelados em 3D como um ser humano, um carro, a torre Eiffel e a cidade de Nova York. Nesta animação, que apresenta os asteroides escolhidos em ordem crescente, o último é Ceres. Porém já colocamos que hoje em dia Ceres não é mais considerado um asteroide. Interessante também notar a música escolhida pelo estúdio e pensar na intenção desta escolha. Para fins acadêmicos astronômicos, o mais importante é a visualização de uma comparação de escalas. Isso será também pertinente para ajudar a imaginar o evento de impacto meteorítico que deu origem à estrutura que levou ao Astroblema da Serra da Cangalha.

práticos um corpo celeste pequeno que é acompanhado pelos astrônomos será um asteroide.

Classificados os corpos celestes menores, hoje sabemos que eles habitam algumas regiões específicas do nosso Sistema Solar. Portanto o corpo que se choca com a Terra e produz as crateras de impacto meteorítico provêm, na maioria das vezes, de um destes sítios astronômicos.

A primeira região mapeada que concentra um grande número de corpos menores chama-se Cinturão Principal de Asteroides (*Main Asteroids Belt* ou MAB). Localiza-se entre as órbitas do último planeta rochoso (Marte) e o primeiro planeta gasoso (Júpiter), mais precisamente entre 1,8 e 3,6 a.u. (PITJEVA, 2018). Dentro dela encontra-se também Ceres (visitado pela sonda Dawn em 2015) com uma órbita de raio médio equivalente a 2,8 a.u. Apesar de a massa de Ceres corresponder a praticamente 1/3 da massa total do Cinturão de Asteroides²³, há no mesmo uma estimativa de haver, no mínimo, 700.000 asteroides com 1km de diâmetro ou mais, podendo este número chegar a 1.700.000 unidades²⁴.

Dentro do MAB há, no entanto, áreas específicas nas quais encontra-se um esvaziamento significativo de corpos celestes. Estas áreas são chamadas de Kirkwood Gaps. Elas existem pois ali atua uma ressonância entre a órbita do asteroide e a de Júpiter em torno do Sol. Assim, um jogo de forças gravitacionais expulsa qualquer massa que tenta ocupar a região. Pode-se calcular onde especificamente as Kirkwood Gaps se encontram de forma simples: as mais proeminentes se ocupam pontos no espaço em que o período orbital do asteroide em relação ao Sol naquele lugar esteja na razão de 1:3, 2:5, 3:7 ou 1:2 do período orbital de Júpiter também em volta do Sol. (KARTTUNEN et al., 2016)

Apesar de o MAB concentrar o maior número de pequenos corpos celestes próximos à Terra ainda existem outros grupos de asteroides e meteoroides dignos de menção, tais quais os tipo trojan e o grupo Apollo-Amor.

Asteroides do tipo trojan são aqueles que ocupam a mesma órbita de um planeta, mas deslocados em 60 graus adiante ou atrás do mesmo considerando-se o plano de órbita do planeta em questão. Eles ocupam os chamados pontos de

²³ A totalidade da massa do Cinturão de Asteroides equivale a 3% da massa da nossa Lua: $2,4 \times 10^{21}$ kg (PITJEVA, 2018).

²⁴ Dados retirados de uma medição utilizando-se medições no infravermelho (TEDESCO, 2002).

Lagrange L4 e L5²⁵. Existem asteroides do tipo trojan comprovadamente orbitando a Terra, Marte, Jupiter e até Netuno, o último dos planetas do nosso Sistema Solar. Para a Terra, temos até o momento 2 trojans confirmados, o segundo em novembro de 2021. (CONNORS et al., 2011; MAN-TO HUI et al., 2021) Já para Júpiter²⁶, são mais de 10.000 asteroides desse tipo ocupando os pontos L4 e L5 de sua órbita. São chamados grupos Trojan (os que se encontram próximos ao ponto L5) e *Greek* (próximos ao ponto L4). Apesar da quantidade abundante, estes asteroides não representam perigo iminente de colisão à Terra por se posicionarem em pontos de equilíbrio estável na órbita de Júpiter.

Já os asteroides e meteoroides dos grupos Apollo e Amor demandam mais preocupação. Os corpos que participam do grupo de asteroides Apollo são assim chamados quando possuem um semieixo maior²⁷ de órbita maior do que o similar da Terra mas um periélio menor do que o afélio terrestre²⁸. (WEISSTEIN, 2013) Ou seja, estes asteroides eventualmente cruzam a órbita da Terra se tornando potencialmente perigosos, ao contrário dos trojans. Por exemplo: o evento meteorítico mais danoso aos seres humanos que se tem notícia, o evento de Chelyabinsk, ocorrido em 2013 na Rússia, deixou mais de 1.500 pessoas feridas e foi ocasionado por um asteroide que muito provavelmente pertenceu ao grupo Apollo antes de entrar na atmosfera terrestre. (EMELYNENKO Et al., 2013)

²⁵ Os pontos de Lagrange são pontos especiais na relação de forças gravitacionais entre dois corpos massivos, notadamente no nosso Sistema Solar, o Sol e um dos oito planetas. São cinco os pontos de Lagrange, nominados L1, L2, L3, L4 e L5. Nestes pontos, as forças gravitacionais do Sol e do planeta em questão cancelam a força centrípeta resultante que atuaria no corpo celeste que ocupa o ponto, gerando um lugar de equilíbrio. Nos pontos L1, L2 e L3 observa-se um equilíbrio instável (qualquer força que atue sobre o corpo retira-o desta condição de equilíbrio), enquanto que nos pontos L4 e L5 pode-se observar uma condição de equilíbrio estável. (LAGRANGE, 1772)

²⁶ A NASA lançou a missão Lucy, na qual pela primeira vez uma sonda orbitará asteroides do tipo trojan tanto do ponto L4 quanto do ponto L5 de Jupiter coletando importantes informações sobre estes corpos celestes. O lançamento ocorreu em 16 de outubro de 2021. A previsão é que em 2025 a sonda faça um flyby pelo asteroide Donaldjohansen do MAB e em 2027 encontre o primeiro de uma série de asteroides trojan de Júpiter programados para serem estudados em flyby.

Fonte: <http://lucy.swri.edu/mission/Overview.html>

²⁷ Semi-eixo maior e menor são conceitos retirados da Geometria clássica, no estudo das elipses. Consideramos as órbitas desses objetos celestes como órbitas elípticas. Uma elipse, por ser como uma circunferência achatada, possui uma variação de tamanho dos eixos que cruzam seu centro, ao invés de um único diâmetro como é o caso das circunferências. O maior de todos os eixos será chamado de eixo maior e o menor de todos, de eixo menor.

²⁸ Já periélio e afélio são conceitos que surgem pelo fato de o Sol não estar exatamente no centro dessa órbita elipsoidal. Como ele possui uma excentricidade, estando um pouco deslocado do centro no eixo maior, um semi-eixo maior acaba tendo mais comprimento do que o outro semi-eixo maior. O periélio é o ponto mais próximo do Sol em que a órbita toca o eixo maior e o afélio está no outro lado, extremo oposto, sendo o ponto mais distante do Sol em que a órbita toca o eixo maior.

Por outro lado menos perigosos, os asteroides do grupo Amor possuem órbitas entre as da Terra e Marte²⁹. São asteroides que a princípio não cruzam nossa órbita, embora qualquer perturbação possa colocá-los em risco de colisão com nosso planeta.

Para completar a lista dos lugares mais importantes de onde podem vir os corpos celestes que impactam na superfície terrestre, existem também os objetos verdadeiramente longínquos, que possuem órbitas muitas vezes fora do plano de órbitas planetárias em volta do Sol mas que podem, ainda assim, por alguma perturbação gravitacional, atingir nosso planeta: são os corpos celestes chamados trans-netunianos, em sua maioria cometas, que estão para além do último dos planetas de nosso Sistema Solar: Netuno. A Astronomia nomeia duas regiões principais as quais guardam estes corpos celestes longínquos. A primeira, chamada de Kuiper Belt (Cinturão de Kuiper, em tradução livre do inglês) e a segunda, a Oort Cloud (Nuvem de Oort, também em tradução livre do inglês).

A região chamada Kuiper Belt compraz objetos celestes que estão entre 30 e 50 u.a.s do Sol e reúne diversos asteroides e cometas de curto-período, estes últimos de órbita excêntrica com período de 200 anos ou menos. (DAVIES et al., 2008; pg 18) Estimam-se mais de 70.000 asteroides com mais de 100km de diâmetro povoando esta região (KARTTUNEN et al., 2016), embora sejam os cometas aqueles corpos que mais nos interessem aqui – de órbita longa e excêntrica, mas sempre se aproximando do Sol e com a possibilidade de também se aproximarem da Terra. Faz sentido, portanto, que Kuiper Belt seja um grande repositório de cometas com muito mais corpos deste tipo do que o MAB, dado que cometas são corpos celestes que possuem voláteis congelados em sua constituição e quanto mais afastado do Sol, menos energia térmica solar os corpos recebem, tornando-os assim mais frios e recebendo materiais congelados do entorno.

A segunda região trans-netuniana é a Oort Cloud. Proposta em 1950 pelo astrônomo Jan Oort, esta região do espaço seria responsável por abrigar cometas de longo-período (> 200 anos) que viriam de distâncias entre 50.000 e 150.000 u.a.s de nós. (OORT, 1950; pg. 91) Os atuais limites internos e externos da Oort Cloud não são consenso, mas em respeito a uma região que abriga cometas que podem vir de encontro à Terra é importante pontuar que ela se encontra em um lugar no espaço

²⁹ Fonte: Site oficial da NASA em: https://cneos.jpl.nasa.gov/about/neo_groups.html

tal que a força gravitacional de grandes corpos celestes já fora do Sistema Solar podem ser suficientes para perturbar a órbita de corpos pequenos que estão na Oort Cloud e assim atirá-los em direção ao Sol. “Occasionally perturbations from passing stars send some of the comets in the Oort cloud into orbits, which bring them into the central parts of the solar system, where they are seen as *long-period comets*.” (KARTTUNEN et al., 2016: pg 221)

Portanto, partindo de uma simplificação com os dados que temos hoje, podemos dizer que normalmente os asteroides que impactam a superfície terrestre advêm de corpos menores de posição original interna às órbitas planetárias; os cometas de curto-período que nos atingem provém do Kuiper Belt e os de longo-período, da Oort Cloud – sendo ambos os tipos de cometas, objetos transnetunianos.

Como vimos, são muitos os tipos de corpos celestes menores e suas possíveis procedências. Alguns deles possuem trajetória, velocidade e massa suficientes para gerar impactos meteoríticos devastadores no planeta Terra, tal qual o ocorrido há milhões de anos atrás na região que hoje chamamos de Serra da Cangalha, no Tocantins. Mas é muito recente o entendimento de que esses corpos extraterrestres poderiam de fato gerar os maiores eventos exógenos transformadores no nosso planeta. A história que conta a evolução desse tipo de pensamento é importante, na medida em que mostra o quão recente é este entendimento. Falamos da História da Meteorítica.

2.2 A Meteorítica: Breve Histórico

No subcapítulo acima classificamos os corpos celestes que causam os eventos de impacto meteorítico e descrevemos seus principais locais de origem. Agora nos concentramos no evento do impacto em si e suas consequências.

A ciência que estuda os impactos de corpos extraterrestres na superfície da Terra é também recente. A Meteorítica enquanto ciência inicia-se formalmente em um grande embate de ideias no transcorrer do século XIX e seu primeiro objeto de disputa é a origem das então chamadas *fireballs*. Estas bolas de fogo (que sempre se observou riscando os céus com brilho intenso durante o dia ou a noite) e seus similares já vinham sendo observadas com grande assombro por diferentes culturas

em diversos momentos distintos da História da humanidade. Plínio, o Velho propõe uma classificação para as mesmas em seu *Historia Naturalis*, ainda no ano de 77 d.C. Nomeia estes objetos celestes de 'faces' e distingue dois tipos de *fireballs* através de suas respectivas imagens observadas:

“The faces shine brilliantly, but they are never seen excepting when they are falling; one of these darted across the heavens, in the sight of all the people, at noon-day, when Germanicus Cæsar was exhibiting a show of gladiators. There are two kinds of them; those which are called lampades and those which are called bolides, one of which latter was seen during the troubles at Mutina. They differ from each other in this respect, that the faces produce a long train of light, the fore-part only being on fire; while the bolides, being entirely in a state of combustion, leave a still longer track behind them.” (PLÍNIO, 2008 [77]: livro II, Cap.25)

Apesar de largamente observado, o fenômeno meteorítico era tratado comumente como uma ligação com os deuses. No mesmo *Historia Naturalis*, Plínio descreve um destes objetos celestes tendo sido observado por egípcios e etíopes, como se segue: “Tinha uma aparência de fogo e era torcida como uma espiral; seu aspecto era horrível, nem era como uma estrela, mas sim como um nó de fogo”³⁰ (PLÍNIO, 2008 [77]: livro II, Cap 23 - 285). Esta descrição Plínio atribuiu ao rei Typhon. Curioso notar que Typhon não fora rei nestes domínios, ao menos não em forma humana. Typhon, segundo Plutarco, uma deidade da mitologia grega, era visto como Seth na mitologia egípcia - deus que matou seu irmão Osíris³¹. Então Plínio, nesta passagem de seu compêndio, possivelmente mistura mitologia com a realidade.

Já mais recentemente, em 7 de novembro de 1492, outra “pedra vinda dos céus” é vista caindo e atingindo o solo no fim daquela tarde nas cercanias da cidade murada de Ensisheim (atual França³², fronteira com a Alemanha na região da Lorena). Este é o meteoróide de mais antigo testemunho ocular a atingir o Ocidente cujo meteorito ainda encontra-se preservado até hoje. O estrondo que antecedeu o

³⁰ “(...) it had a fiery appearance, and was twisted like a spiral; its aspect was hideous, nor was it like a star, but rather like a knot of fire”.

³¹ "This struggle forms the theme of the Ramesside text *The Contending of Horus and Seth*, which borders on satire, and the later, much more sombre version recorded by Plutarch, in which Seth is the embodiment of the Greek demon Typhon." (verbete Seth: Egyptian God in. Encyclopedia BRITANNICA, webpage)

³² Atualmente na França, o território onde ainda hoje existe a pequena cidade de Ensisheim, fora povoado por Celtas, Romanos e quando da queda do meteoróide em questão (no ano de 1492 d.C.), fazia parte do grande Sacro Império Romano-Germânico, estando fora então do território francês. Nos últimos séculos este território trocou de mãos entre franceses e alemães por algumas vezes.

toque da rocha no solo foi ouvido em regiões 100 milhas distantes do ponto de impacto terrestre. Este som certamente intrigou muita gente - esta não é uma paisagem sonora³³ convencional para um dia sem nuvens carregadas - a ponto de chamarem esta rocha que veio dos céus de Donnerstein³⁴. O impacto abriu no solo uma cratera de pouco mais de 1 metro de profundidade e dentro encontrou-se um meteorito pesando cerca de 127 kg (280 lbs). (MARVIN, 1992: pg 29)

O meteorito chamou a atenção de muitas pessoas, incluindo-se o rei Maximilian I da casa de Habsburgo, que atravessava a região para combater os franceses. Após ordenar o transporte do meteorito até seu castelo e estabelecer uma criteriosa investigação sob a tutela de seus conselheiros, concluiu-se que aquele evento assim como a materialidade do meteorito seriam uma benção de Deus e um presságio inequívoco a seu favor na guerra. O rei então retira um pedaço do meteorito para si, outro para seu amigo, o arquiduque Sigismund da Áustria e devolve o meteorito para a cidade de Ensisheim com a ordem de que o mesmo fosse preservado e exposto na igreja da cidade como testemunho daquele milagre divino. (MARVIN, 1992: pg 29)

Artistas ajudaram a propagar a notícia. Sebastian Brant, um renomado poeta da época, fez loas ao evento miraculoso tanto em latim quanto em alemão. No seu poema em latim, Brant destaca a forma do meteorito: segundo o mesmo, o formato triangular da rocha com três pontas agudas tal qual um delta grego seria mais uma evidência de ter sido este um evento divino: estas três pontas teriam significado na Santíssima Trindade da Igreja Católica. (MARVIN, 1992: pg 35)

Albrecht Dürer foi outro artista da época que impressionou-se com o evento. Em 1492, o pintor/ilustrador morava em Basel³⁵, não muito distante de Ensisheim e é provável que tenha testemunhado com seus próprios olhos a queda da *fireball* - com certeza escutou o estrondo. Apesar disso, não era aceita como é hoje uma origem de fora do planeta Terra para este tipo de objeto.

³³ A expressão paisagem sonora ou *soundscape* será detalhada no Capítulo 4 desta tese. Por hora, entenda-a como sinônimo de sonoridade.

³⁴ Donner em alemão significa trovão e Stein, pedra. 'Donnerstein' seria então a pedra-trovão. Neste caso a paisagem sonora foi preponderante a ponto de nomear o corpo.

³⁵ Basel atualmente é uma cidade suíça que pertence a uma fronteira tríplice: Suíça – Alemanha – França e é cortada pelo rio Reno, que ao norte da cidade atualmente divide a França da Alemanha por toda a região de Lorena até o ponto de 48.966 graus Norte de latitude – pouco antes da cidade alemã de Karlsruhe.



Figura 2.1 - Recorte da ilustração em xilogravura que continha o poema de Brant. Esta ilustração é especulada como tendo sido produzida por Dürer, que trabalhava nas ilustrações dos poemas de Brant na época.



Figura 2.2 - Pintada em 1494 por Albrecht Dürer e apenas (re)descoberta pelo mundo em 1960, esta pintura é a única desta época (que temos notícia hoje) a ter como objeto principal retratado uma *fireball*.

Ainda no início do século XIX – trezentos anos já passados do evento de Ensisheim – havia, dentre os cientistas europeus, um ceticismo quanto à origem religiosa/mitológica destas pedras que caem dos céus. Os homens da Ciência questionavam a origem divina dos meteoritos mas mostravam-se igualmente céticos quanto à origem extraterrestre destes fragmentos de rocha. Johannes Kepler, um dos mais importantes astrônomos do seu tempo, em meados do século XVII excluiu os meteoros e as *fireballs* do domínio da Astronomia.³⁶ Foi com custo que a verdade sobre a origem dos meteoritos foi sendo paulatinamente aceita no meio científico.

Em 1794, Ernst Chladni - já famoso por seus trabalhos na área da Física Acústica - escreveu *Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ihr ähnlicher Eisenmassen, und über einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen*³⁷ no qual, a partir da análise de vários relatos anteriores de queda de meteoritos defendeu a origem extraterrestre dos mesmos (CHLADNI, 1794). Chladni combatia na época o pensamento científico dominante de que estes corpos que caíam do céu teriam origem terrestre, como foi o caso do debate sobre a rocha que caiu dos céus em Albareto, no Norte da Itália, em 1776.

Este debate se deu entre dois pensadores italianos: o padre jesuíta Domenico Troili, que defendia que a rocha foi arremessada aos ares por uma erupção vulcânica (vale lembrar que o Vesúvio estava, nessa época, em franca atividade eruptiva) e o bispo de Modena, Giuseppe Mogliani, que defendia que a mesma rocha teria sido atirada para o alto por um relâmpago (aqui, observa-se a influência dos experimentos e descobertas de Benjamin Franklin relacionando relâmpagos e fenômenos elétricos, quando então a eletricidade passa a frequentar o rol de possibilidades dos cientistas da natureza). Embora divergissem na causa, nenhum deles aceitava uma explicação que para eles seria mítica ou religiosa: de que a rocha viria dos céus, de fora da Terra. (MARVIN, 2006)

Outro empecilho para a hipótese levantada por Chladni ter uma aceitação mais rápida era o fato de que ela confrontava ideias de um dos grandes expoentes

³⁶ "Kepler, who excluded fire-balls and shooting stars from the domain of astronomy, because they were, according to his views, "meteors arising from the exhalations of the earth, and blending with the higher ether," expresses himself, however, generally with much caution." (HUMBOLDT, 2005[1858]: pg 217)

³⁷ *Sobre as origens das massas de ferro encontradas por Pallas e outras similares, e sobre alguns fenômenos naturais ligados a elas* (tradução livre). Cabe ressaltar que Chladni referia-se aqui a Peter Simon Pallas, um cientista alemão pouco mais velho que Chladni que analisou um meteorito caído em Krasnojarsk, na Rússia, no ano de 1772 e de composição até então desconhecida. Esta nova composição meteorítica de rocha e ferro recebeu posteriormente o nome de pallasito.

da Física e da Matemática de todos os tempos: Issac Newton. Em sua obra *Optiks*, de 1718, Newton escreveu:

“And therefore to make way for the regular and lasting Motions of the Planets and Comets, it's necessary to empty the Heavens of all Matter, except perhaps some very thin Vapours, Steams, or Effluvia arising from the Atmospheres of the Earth, Planets, and Comets and study of from such an exceedingly rare Aetherial Medium as we described above.” (NEWTON, 1718 Apud. MARVIN, 2006, pg. 34)

Ou seja, ao limpar os céus de qualquer objeto menor, como poderiam pequenas rochas frequentarem este mesmo espaço sideral? Ao considerar que as rochas que caíram ferventes no solo de nosso planeta advinham de fora da Terra, Chladni estava automaticamente confrontando as ideias de Newton.

Pouco a frente, em 1802, Edward Howard, através de uma série de estudos da composição química de diferentes meteoritos recolhidos pela comunidade científica, conclui que em todos há um padrão: a recorrência de uma porcentagem fora do comum do elemento Ni, ao comparar estas amostras com rochas terrestres. (HOWARD, 1802: pg 199-200) Assim Howard pende para os argumentos de Chladni, que nos anos seguintes seguiu perseguindo essa hipótese – tendo inclusive recebido e analisado em mãos um fragmento de 450g do meteorito de Ensisheim (MARVIN, 2006), dentre outros.

A construção desta nova hipótese levantada por Chladni como um novo paradigma e ao longo do século XIX cada vez mais testada e debatida pode ser vista na mudança de pensamento de Alexander von Humboldt ao longo de sua vida. Marvin destaca que Humboldt também era crítico ao trabalho de Chladni, por conta deste recorte: em 10 de outubro de 1794, Humboldt – então com 25 anos de idade – escreve ao amigo Carl Freiesleben, mineralogista de Freiberg: “By all means, read Chladni’s infamous book on iron masses.” (MARVIN, 2006)

Mas durante sua viagem pelas Américas na virada do século, muita coisa mudou na percepção de mundo de Humboldt. Quando esteve no México, em 1804, recolheu amostras de meteoritos que pesavam cerca de 5kg e trouxe-as para Berlin, deixando-as sob os cuidados do químico Martin Heinrich Klaproth para posterior análise, mostrando interesse no tema das rochas que caíam dos céus. (MARVIN, 2006)

Já no fim de sua vida, Alexander von Humboldt escreveu sua obra magna: Kosmos. Neste livro, Humboldt sintetiza suas ideias e descobertas sobre esse grande sistema que é o nosso planeta e o céu, com seus astros e mistérios. E não deixa de falar sobre as *fireballs* e os meteoritos. Abaixo, retiro alguns trechos do livro:

“ (...) and the regular appearance about the 13th of November and the 11th of August, of shooting stars, which probably form part of a belt of asteroids, intersecting the earth's orbit, and moving with planetary velocity.” (HUMBOLDT, 2005[1858])

Aqui Humboldt já afirma que as estrelas cadentes são não só corpos extraterrestres como fazem parte de um cinturão de asteroides e que possuem velocidade planetária integrando o fenômeno totalmente aos conceitos astronômicos da época;

“The connection of meteoric stones with the grander phenomenon of fire-balls — the former being known to be projected from the latter with such force as to penetrate from ten to fifteen feet into the earth — has been proved, among many other instances, in the falls of azzuerolites at Barbotan, in the Department des Landes (24th July, 1790), at Siena (16th June, 1794), at Weston, in Connecticut, U. S. (14th December, 1807), and at Juvenas in the Department of ArdÂche (14th June, 1821).” (HUMBOLDT, 2005[1858])

Neste trecho ele relaciona o fenômeno das *fireballs* com subsequentes meteoritos, dando exemplos.

“It will be sufficient here to remark, that the direction and the excessive velocity of projection (a velocity wholly planetary) manifested by these masses, render it more than probable that they are small celestial bodies, which, being attracted by our planet, are made to deviate from their original course, and thus reach the earth enveloped in vapors, and in a high state of actual incandescence. The familiar aspect of these asteroids, and the analogies which they present with the minerals composing the earth's crust, undoubtedly afford ample grounds for surprise, but, in my opinion, the only conclusion to be drawn from these facts is that, in general, planets and other sidereal masses, which by the influence of a central body, have been agglomerated into rings of vapor, and subsequently into spheroids, being integrant parts of the same system, and having one common origin, may likewise be composed of substances chemically identical.”* (HUMBOLDT, 2005[1858])

Já neste trecho, Humboldt encontra na composição dos meteoritos e na hipótese de que eles são corpos extraterrestres, uma evidência interessante para a

sua ideia sistêmica não só sobre os processos que regem a natureza na Terra, mas sim englobando todo o Universo.

Estas passagens do livro não deixam dúvidas que, passadas algumas décadas, já na metade do séc. XIX, as ideias de Chladni finalmente tomavam corpo dentro da comunidade científica europeia. Um fato curioso - e que se encontra no livro *Kosmos* - é que, mesmo não tendo visitado o Brasil, Humboldt sabia sobre o meteorito de Bendegó³⁸, citando-o inclusive neste livro³⁹.

Assim, a Ciência do século XIX seguiu sedimentando o entendimento dos meteoritos e dos fenômenos a eles associados. Ao longo da primeira metade do século XX, com a Ciência da Meteorítica já aceita, o entendimento sobre impactos meteoríticos se resumia às quedas esporádicas de meteoroides ou pequenos asteroides, cujas consequências não extrapolavam o domínio regional. As maiores crateras conhecidas e aceitas até então situavam-se em áreas desérticas, de pequena densidade demográfica. (FRENCH, 1998)

Nesta época ocorreu a descoberta e o estudo da *Meteor Crater* ou *Barringer Crater*, localizada no deserto do Arizona, EUA. Apesar de terem sido encontrados pequenos meteoritos no seu entorno, inicialmente ela foi classificada como uma feição vulcânica por Gilbert⁴⁰ e o USGS.

³⁸ O meteorito de Bendegó foi descoberto por sertanejos em 1784, dez anos antes da publicação emblemática de Chladni, no interior do Estado da Bahia, no Brasil. Foi inicialmente confundido com um indicativo de minério de ferro na região. Apenas em 1811, pela primeira vez foi cogitada sua característica meteorítica pelo inglês Aristides Franklin de Mornay e somente na década seguinte cientistas visitaram o local, incluindo-se os austríacos Martius e Spix, que coletaram amostras e descreveram o meteorito em detalhes. (CARVALHO et. Al., 2010)

³⁹ “The largest meteoric masses as yet known are those of Otumpa, in Chaco, and of Bahia, in Brazil, described by Rubi de Celis as being from 7 to 7 1/2 feet in length.” (HUMBOLDT, 2005[1858])

⁴⁰ Gilbert foi à campo com duas hipóteses: ou a cratera seria meteorítica ou seria de origem vulcânica:

“Gilbert assumed that if the crater had been formed by a meteorite, that meteorite must have been nearly as big as the crater itself. He also assumed that it was still there, taking up space underneath the crater floor. He therefore decided to test the impact hypothesis in two ways: (1) By comparing the volume of the hollow of the crater to the volume of the ejected material; (2) By experimenting with magnets to test for a large mass of buried iron.

If the meteorite were still under the crater floor, he reasoned, the space inside the crater would be smaller than the volume of material thrown out by the impact. And a large mass of iron would attract a magnet, altering the direction of a compass needle. The results of both tests were negative. Gilbert concluded that the crater was created by a steam explosion, and that the thousands of meteorite fragments lying around it were simply a coincidence. He later used his investigation of the crater, and his own abandonment of the impact hypothesis, in a series of lectures illustrating the application of the dispassionate scientific approach.” (www.barringercrater.com/the-crater) acessado em janeiro/2021.



Figura 2.3 - *Meteor Crater* ou *Barringer Crater*. Fotografia atual, retirada da biblioteca de imagens Bruce Murray Space Image Library. Atualmente a cratera possui cerca de 1186m de diâmetro e 170m de profundidade, além de 45m de elevação. (*Earth Impact Database* e Wikipedia).

Já Daniel Barringer acreditava que esta era uma cratera provocada por um impacto meteorítico e que o corpo que deu origem à feição estaria enterrado abaixo da depressão interna da cratera. O mesmo adquiriu a área e entre os anos de 1903 a 1929 (ano de seu falecimento) empenhou todos os esforços (sem sucesso) para encontrar o que ele pensava ser este suposto grande meteorito.

Também no início do século XX, segundo Alvaro Crósta, estudos desvinculados aos de Barringer demonstravam que “choques em rochas a velocidades muito altas (chamadas de 'hipervelocidades'), tipicamente acima de 3km/s”, liberariam grande quantidade de energia e esta seria suficiente para desintegrar grande parte do corpo celeste que chocara-se com a Terra. (CROSTA, 2013: pg 421) Estes estudos foram fundamentais não só para a determinação de que a chamada *Barringer Crater* é uma cratera de impacto meteorítico - apesar da frustração de Daniel Barringer por não ter achado seu enorme meteorito no interior da mesma - mas muito mais do que isto: eles foram cruciais para o entendimento de que os mais violentos impactos de corpos celestes a atingir este planeta nos deixavam enormes crateras, mas ao mesmo tempo os resquícios materiais e os testemunhos que sobravam eram bem mais sutis - e nada de enormes meteoritos.

Após o desenvolvimento dos estudos sobre ondas de choque em hipervelocidades, outro momento histórico que alavancou o conhecimento sobre crateras de impacto foi a corrida espacial que se inicia após a Segunda Guerra Mundial e tem seu ápice no final dos anos 60. A partir do estudo mais minucioso das formas de outros planetas rochosos e seus satélites, percebeu-se a importância dos impactos meteoríticos para as suas respectivas geomorfologias superficiais. O mesmo poderia então aplicar-se à Terra, embora aqui as crateras percam um pouco de evidência por conta de toda a intensa dinâmica crustal do nosso planeta. (FRENCH, 1998: pg 4-6)

2.3

Crateras de Impacto Meteoríticas: detalhamento do processo de formação em três etapas

Um impacto meteorítico de grande liberação de energia é um evento singular. Raro e intenso. A partir de agora, neste trabalho, quando falarmos em cratera de impacto, é sobre este tipo específico de impacto que nos referimos: o de (1) um corpo celeste impactante com 20m de diâmetro ou mais, caso tenha uma composição predominante de ferro ou (2) um corpo celeste impactante com 50m de diâmetro ou mais, caso possua uma composição mais rochosa e que chegará ao solo sem ter muito de sua velocidade de entrada alterada⁴¹, ou seja, tocam a superfície do planeta a, no mínimo, 11km/s – o que é chamado de hipervelocidade. (FRENCH, 1998)

O grande diferencial deste tipo de impacto é a geração de ondas de choque que atravessarão tanto o corpo impactante quanto o corpo impactado (no caso, a superfície terrestre); elas não se encontram presentes nos impactos de corpos menores. Estas ondas de choque podem gerar uma pressão de até 500 GPa (vale lembrar que 1 GPa equivale a aproximadamente 10^4 atm, ou seja, dez mil vezes a nossa pressão atmosférica ao nível do mar), que é extremamente superior às

⁴¹ Objetos menores do que os descritos anteriormente se comportam de forma distinta ao serem capturados pelo campo gravitacional da Terra e entrarem em rota de colisão com o planeta: suas superfícies sofrem ablação e desintegração assim como suas velocidades são reduzidas a ponto de colidirem com o solo portando não mais do que algumas centenas de metros por segundo como velocidade terminal. (FRENCH, 1998: pg 17). Estes corpos menores podem inclusive nem chegar a tocar o solo, desintegrando-se completamente ou explodindo no ar, quilômetros acima da superfície terrestre como ocorreu no evento de 15 de fevereiro de 2013 em Chelyabinsk/Russia.

pressões que as rochas suportam na dinâmica tectônica da crosta e manto terrestres (não superior a algumas unidades de GPa). Desta forma, as ondas de choque geradas por impactos meteoríticos a hipervelocidade causam assim deformações únicas em escalas macro e microscópica nas rochas envolvidas nos mesmos. Estas deformações serão importantes assinaturas do evento de impacto meteorítico a se buscar para sua comprovação científica. (FRENCH, 1998)

Ainda dependendo da quantidade de energia envolvida no impacto, as crateras formadas podem ser chamadas de simples ou complexas. As crateras simples são as crateras de impacto de menor quantidade de energia liberada, comparativamente. Elas possuem uma borda elevada estabelecendo um limite territorial aproximadamente circular. Seu interior é formado por uma depressão interna cujas paredes lembram o formato de uma tigela, com um perfil tendendo ao parabólico. Na Terra, as crateras deste tipo não ultrapassam normalmente os 4km de diâmetro⁴². Um bom exemplo de cratera de impacto simples é a Barringer Crater, abordada neste trabalho anteriormente. Já as crateras complexas diferenciam-se morfologicamente das crateras simples por possuírem padrões estruturais internos mais diversificados. As crateras complexas podem possuir um ou mais núcleos soerguidos, e por conta deles, bordas em sinclinal (*rim synclines*). Para além das bordas, apresentam zonas externas de falhas normais concêntricas. Seu diâmetro total varia de poucos quilômetros a centenas de quilômetros. (MELOSH & IVANOV, 1999: pg 387) Um exemplo de cratera de impacto complexa é a que gerou o Astroblema da Serra da Cangalha.

O estudo da formação da cratera de impacto meteorítico estabeleceu três etapas principais de desenvolvimento desta dinâmica: (i) contato e compressão; (ii) escavação e (iii) modificação. A primeira fase (i) se dá pelo momento do choque em si e a transdução da energia cinética acumulada pelo corpo impactante; a segunda fase (ii) observa como que essa energia liberada age sobre a superfície do planeta e assim, de que forma ocorre a escavação do terreno; na terceira e última fase (iii) - a mais demorada - é quando entram em ação as forças da gravidade e as forças internas principalmente nas paredes recém-formadas terminando de esculpir o relevo que restará como uma enorme cicatriz crateriforme na geomorfologia do local. (FRENCH, 1998: pg 18) É nesta última fase que é formado o soerguimento

⁴² Segundo Melosh & Ivanov, este limite pode variar entre os 3 e 5km de diâmetro, dependendo do tipo de rocha impactante. (MELOSH & IVANOV, 1999: pg 389)

central, característico das crateras complexas. (MELOSH & IVANOV, 1999: pg 395; FRENCH, 1998: pg 23).

Detalhamento das Três Etapas

Etapa 1 - Contato e Compressão

Esta etapa se inicia quando o corpo impactante (asteroide ou cometa) toca o corpo impactado (crosta terrestre), ou seja, se inicia no momento exato do contato. Esta é a etapa mais curta e ela inteira na maioria das vezes não chega a durar mais do que alguns segundos.⁴³ O corpo impactante adentra a crosta terrestre (no caso de impacto em superfície sólida) numa profundidade que cobre de 1 a 2 vezes o seu próprio diâmetro em uma fração de segundos. Grande parte desta energia cinética que é freada nesta pequena escavação inicial é convertida em ondas de choque que se dividem: uma parte percorre da face para a traseira do corpo impactante; a outra parte se desloca com uma frente de onda semiesférica avançando para dentro da crosta terrestre no corpo impactado. (FRENCH, 1998: pg 18)

Em relação ao corpo impactante, as ondas de choque que percorrem todo o seu volume comprimem e na volta descomprimem (ou aliviam) bruscamente sua matéria, trazendo também uma elevadíssima temperatura e afetando de tal forma sua estrutura que em não mais que poucos segundos, quando a onda de choque volta para o seu ponto inicial após percorrer toda a extensão do asteroide ida e volta, o resultado é o derretimento ou até mesmo a vaporização completa deste corpo que ocasionou o impacto. (FRENCH, 1998: pg 18) A energia envolvida nesse processo é enorme o suficiente para mais do que simplesmente deformar o corpo impactante mantendo seu estado sólido, e sim alterar por completo o estado da matéria: de sólido para líquido ou até gasoso. Isto explica porque tanto Gilbert quanto Barringer não encontraram o enorme meteorito que eles esperavam encontrar por baixo do solo da Meteor Crater no início do século XX.

⁴³ Segundo Melosh & Ivanov (1999), pode-se calcular o tempo desta primeira etapa a partir de uma relação direta e simples entre o raio do corpo impactante (considerando sua forma uma esfera), sua velocidade no momento do impacto e o ângulo de incidência: $t_{cc} = a/(v \sin \theta)$ sendo a o raio, v a velocidade e θ o ângulo de incidência. Os autores exemplificam que para um corpo impactante de 1km de diâmetro a uma velocidade de 15km/s em um ângulo de 45 graus, o tempo gasto pela primeira etapa não seria maior do que um piscar de olhos: em torno de 0,1s. (MELOSH&IVANOV, 1999: pg 391)

Já em relação ao corpo-alvo ou corpo impactado, este é penetrado de 1 a 2 vezes o diâmetro do corpo impactante pelo mesmo e recebe, segundo French, primeiramente a onda de choque compressiva que se dissipa enquanto continua a penetrar o solo. Logo após a passagem dessa primeira frente de onda de choque, o corpo impactado recebe uma segunda frente de onda (tipificada como *release wave*) - agora distensiva - que é produto daquela onda que reflete na parte traseira do corpo impactante e volta até a sua face, não se extinguindo na face do asteroide e sim penetrando também o corpo impactado e seguindo trajetória semelhante à primeira onda que o adentrou mas com característica inversa, por ser uma onda distensiva. O momento em que esta segunda onda de choque inicia seu percurso pelo corpo impactado French dá por terminada a etapa de contato e compressão. A partir daqui o corpo impactante não presta mais nenhum efeito direto na formação da cratera de impacto. Temos então uma protocratera com um diâmetro de até 2 vezes o diâmetro do corpo impactante; temos o mesmo derretido/vaporizado; e temos parte desta protocratera que fora inicialmente escavada, ejetada para fora da mesma. Deste momento em diante a escavação continua pura e simplesmente pela ação das ondas de choque no corpo impactado. (FRENCH, 1998)

Etapa 2 - Escavação : A Formação da Cratera Transiente

Embora não exista mais um corpo sólido interagindo com o corpo impactado (considerando o derretimento/vaporização do corpo impactante), as ondas de choque que seguem seu caminho serão responsáveis pela maior parte da escavação que formará uma primeira grande cratera, a que chamaremos cratera transiente. Estas ondas (que viajam inicialmente a velocidades supersônicas) conseguem tanto desagregar a matéria rochosa do subsolo, fraturando-a, quanto também removê-la.

A partir de uma complexa interação, segundo Melosh & Ivanov (1999) “as ondas de choque (através de sua irreversibilidade termodinâmica) transferem cerca de 1/5 de sua velocidade para as partículas fraturadas do corpo-alvo.⁴⁴” (MELOSH & IVANOV, 1999: pg 392). Por conta da dissipação de energia ao longo do trajeto das ondas de choque no corpo impactado e também das trajetórias geradas em cada

⁴⁴ “ (...) the particle velocity drops to 1/5 of the peak velocity in the shock wave. This residual velocity, the existence of which is attributed to the thermodynamic irreversibility of the shock wave, eventually acts to open the crater (Melosh 1985.” (MELOSH & IVANOV, 1999: pg 392)

partícula fraturada, pode-se dividir a ação da onda na escavação da cratera transiente em duas regiões distintas, as quais obedecerão a comportamentos distintos. (FRENCH, 1998: pg 20)

A região superior a qual French (1999) chama de zona escavada (*excavated zone*) é a parte da cratera transiente que terá seu material ejetado para fora da cratera, gerando a borda elevada da mesma e também lançando uma certa quantidade de material ainda para fora desta. Como ressalta French: “Mesmo a distâncias significativas, a onda de choque ainda pode gerar altas velocidades às partículas fraturadas ($>100\text{m/s}$) o que explica o fato de que a cratera transiente possa ter de 20 a 30 vezes o diâmetro do corpo impactante antes do impacto.⁴⁵” (FRENCH, 1998: pág. 20)

À medida que a onda de choque avança, ela chega a um ponto em que ou a energia cinética, ou a trajetória transferida às partículas (ou ambas) não serão mais suficientes para retirá-las da cratera. Estas partículas ainda sofrem fraturamento (quanto mais longe do ponto de impacto, menor a intensidade dessa ação) e ainda se deslocam, mas a partir daí, para dentro da cratera e não mais para fora. Estes pontos, dentro do processo de formação da cratera transiente, serão chamados por French de zona de deslocamento (*displacement zone*). (FRENCH, 1998: pg 20)

Portanto, a cratera transiente vai sendo escavada radialmente a partir do ponto em que o corpo impactante se vaporizou até o momento em que a dissipação de energia das ondas de choque é suficiente para não mais fraturar e deslocar as rochas atingidas. (FRENCH, 1998: pg 20) Neste momento temos a construção terminada da cratera transiente.

Aqui há um ponto interessante de inflexão: segundo Melosh & Ivanov (1999), “em muitas simulações o chão da cratera transiente encontra sua máxima profundidade e inicia a soerguer um pico central enquanto que o diâmetro (da cratera) ainda continua a crescer”⁴⁶. Portanto a diferenciação entre o surgimento de uma cratera complexa ou simples já se dá ao longo desta segunda etapa quando começa a formação do núcleo soerguido. Mas tanto para o caso das crateras complexas quanto das simples, terminada esta etapa, este será o maior volume de

⁴⁵ “Even at significant distances from the impact point, shock pressures and the resulting ejection velocities remain high enough ($>100\text{ m/s}$) to eject material. For this reason, the diameter of the final crater is many times larger (typically 20–30 \times) than the diameter of the projectile itself.”

⁴⁶ In many simulations the floor of the transient crater achieves its maximum depth and begins to rise into a central peak while the diameter is still increasing (Melosh 1989).

estrutura crateriforme provocado pelo impacto meteorítico. Interessante notar que, ainda segundo Melosh & Ivanov (1999), o tamanho máximo para o diâmetro e profundidade da cratera transiente depende das características físicas e propriedades mecânicas do corpo impactado (que podem incluir dentre outras sua densidade, resistências a tensão e compressão, aceleração da gravidade). Entretanto, a relação numérica direta entre diâmetro e profundidade independe do tamanho e dessas características/propriedades acima citadas.

Criada a cratera transiente, começa então a terceira e última etapa da formação final da cratera de impacto.

Etapa 3 : Modificação.

Nesta etapa não há mais de forma contundente a ação das ondas de choque no corpo impactado. Resta portanto, a própria dinâmica de forças que agem naturalmente na crosta terrestre e estas forças ainda modelarão de maneira determinante a forma final da cratera de impacto. Os últimos atores a agirem nesta grande escultura natural são a força da gravidade (sobretudo no que diz respeito ao colapso das recém-criadas paredes da borda da cratera transiente) e as demais forças atuantes na mecânica das rochas. Em um primeiro momento, ficamos tentados a dizer que este estágio finaliza quando a gravidade termina seu serviço e todo o material movimentado se estabiliza. Isso dura menos de um minuto para crateras de impacto menores para não mais que alguns minutos para as maiores crateras de impacto. Mas outros desenvolvimentos morfológicos podem ainda estar em curso, como o soerguimento central das crateras complexas. Também dependendo da quantidade de energia envolvida, esta terceira fase pode ser mais ou menos significativa na diferença entre a cratera transiente da segunda fase e a cratera de impacto final desta terceira fase, como é o caso das crateras complexas. (FRENCH, 1998)

Na conformação de crateras de impacto simples, a queda de blocos da parede formada na borda da cratera transiente (*crater rim's wall slumping*) para dentro da própria cratera via ação gravitacional é a ação mais contundente observada na fase de modificação. Isso faz com que a profundidade da cratera diminua e a relação profundidade-diâmetro alcance algo em torno de 1:5 a 1:4. (MELOSH & IVANOV, 1999) Este material depositado sobre a superfície da

cratera transiente é normalmente composto de lentes de breccia, além de um material que foi previamente derretido logo após o impacto. (FRENCH, 1998)

Na conformação de crateras de impacto complexas, a energia envolvida nas fases pós-impacto afeta de tal forma a rocha impactada que inclusive aquelas que não foram ejetadas e que sustentam internamente a parede da cratera transiente passam a apresentar uma resistência muito enfraquecida aos esforços mecânicos naturais. Como consequência, novos movimentos de massa surgirão para reacomodar essa mecânica interna. Assim, ao mesmo tempo em que ocorre um soerguimento do centro da cratera, movimentos de colapso nestas zonas de fraqueza criam abatimentos concêntricos formando uma ou mais depressões anelares (grabens anelares) gerando uma série de terraços em sequência até a borda da nova forma da cratera de impacto modificada. (FRENCH, 1998)

O soerguimento central pode levantar para a superfície um material que originalmente antes do impacto se encontrava a centenas ou quilômetros de profundidade. Em corpos impactantes de característica sedimentar esse fato é facilmente mensurável por conta dos marcadores naturais das camadas em sequência de deposição estratigráfica, como será demonstrado adiante no caso do Astroblema da Serra da Cangalha.

2.4

Crateras de Impacto Meteoríticas: métodos de procura e confirmação

Um aspecto crateriforme em uma grande estrutura geológica na superfície do planeta pode gerar uma primeira suspeita de que aquela estrutura foi construída por um impacto meteorítico. Mas esta característica, sozinha, não é suficiente para nenhuma conclusão. Pode ser apenas um indício para uma candidata, mas outros processos geológicos também geram grandes crateras, como é o caso do vulcanismo.

Para impactos meteoríticos de pequenas proporções, quando o corpo impactante atinge o solo com uma velocidade abaixo da velocidade do som, é maior a chance de que se encontre meteoritos – restos do corpo impactante – na área da cratera, caso a erosão ou algum processo de transporte não elimine estes corpos do local. Ao caracterizar-se aquelas rochas como meteoritos obtém-se um primeiro indício da origem daquela cratera. Mas mesmo para estes casos, os meteoritos

podem não estar mais no local ou podem ainda não ter relação direta com aquela estrutura, tendo caído ali por coincidência mas a partir de outro evento meteorítico qualquer. Além disso quando a energia envolvida é grande o suficiente para gerar pressões no ponto de contato entre os corpos impactante e impactado na ordem de 100 GPa ou mais, o asteroide se desintegra e/ou derrete (MELOSH, 1989; FRENCH & KOEBERL, 2010), restando apenas indícios mais sutis para esta comprovação. Portanto, assim resumem French & Koeberl: “ The positive identification of an impact structure can come only from petrographic or geochemical evidence contained in the rocks of the structure. ”⁴⁷ (FRENCH & KOEBERL, 2010; pg 125)

O cerne da questão está no fato de que um impacto meteorítico desta natureza libera uma energia extraordinária em um espaço de tempo muito curto, o que gera pressões que podem atingir valores altíssimos e temperaturas na ordem de dezenas de milhares de graus Celsius nos corpos envolvidos – além da passagem de uma onda de choque que percorre estes corpos alterando suas características para sempre. Ocorre um metamorfismo específico, associado de forma incontestável a esse tipo de evento natural, o impacto meteorítico a hipervelocidade. Como nos apontam Kenkmann, Poelchau e Wulf (2014) em dois gráficos bem didáticos (Figura 2.3 A e Figura 2.3 B), observamos algumas características físicas relacionadas com o metamorfismo em rochas.

⁴⁷ “A identificação positiva de uma estrutura de impacto pode apenas advir de evidência petrográfica ou geoquímica contida nas rochas da estrutura.” (tradução livre) Discussão etimológica: quando o autor fala em ‘*impact structure*’, pode-se ler como ‘a estrutura que resultou de um impacto meteorítico’ ou ainda ‘astroblema’.

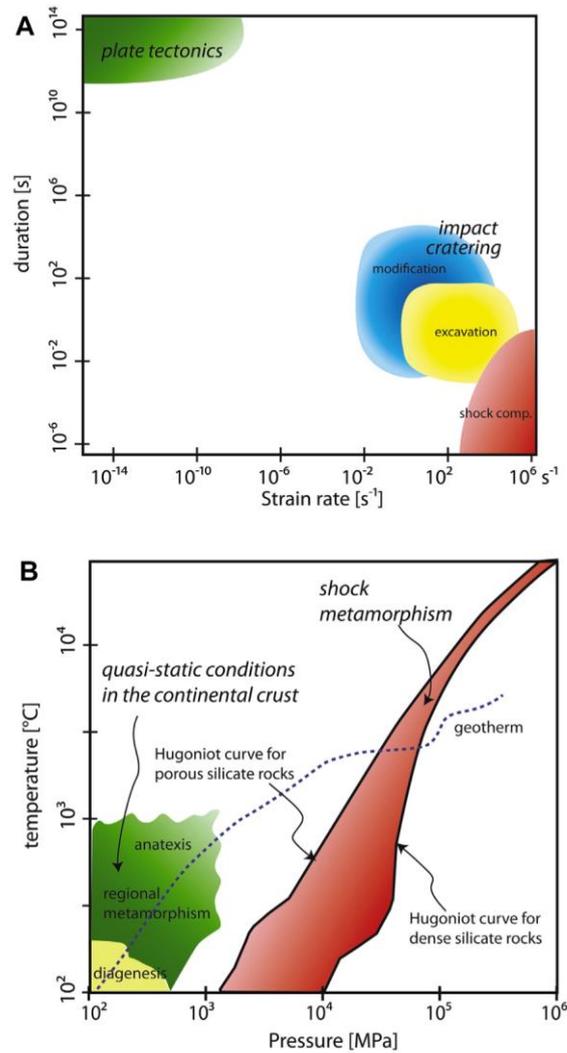


Figura 2.3 – A) Gráfico log-log de taxa de deformação (no eixo das abscissas) x duração (no eixo das ordenadas). B) Gráfico log-log de pressão (eixo das abscissas) x temperatura (eixo das ordenadas). Fonte de A e B: Kenkmann, Poelchau e Wulf (2014).

O gráfico apresentado na Figura 2.3 A mostra a diferença de um processo endógeno, a tectônica de placas – em verde, e o processo de formação de uma cratera de impacto a hipervelocidade. Observa-se que eles encontram-se em lados opostos do gráfico. O processo tectônico trabalha a baixos valores de taxa de deformação (na ordem de grandeza que varia de 10^{-14} a 10^{-6} , ou seja, no seu momento de maior taxa de deformação, ela ocorre numa intensidade de cerca de apenas $0,000001 s^{-1}$). Embora ocorra a uma taxa de deformação muito baixa, essa deformação é contínua por muito tempo, em uma duração que pode estar para além

dos 10^{15} segundos (ou das dezenas de milhões de anos). Já o processo exógeno de formação de uma cratera de impacto a hipervelocidade, em seu estágio mais agudo (Etapa 1 – Contato e Compressão) representado com a cor vermelha no Gráfico A, a relação é inversa: a taxa de deformação está na ordem de 10^6 s^{-1} e a duração, ocorrendo de 10^{-6} a 10^{-2} segundos (ou seja: na ordem de fração de segundo) quando pode iniciar-se o próximo estágio. Ao longo da formação da cratera a energia tende a se dissipar e assim, a taxa de deformação diminui como pode-se observar ainda no Gráfico A: a Etapa 2 apresenta-se na cor amarela e a última Etapa, na cor azul.

De forma complementar, compara-se no gráfico apresentado na Figura 2.3 B o comportamento de processos endógenos de deformação de rochas (diagênese, metamorfismo regional e a anatexia) e o impacto meteorítico a hipervelocidade, representado aqui pela legenda “metamorfismo de choque”, pois este impacto gera uma alteração diferenciada nas rochas afetadas por essa enorme quantidade de pressão aplicada a altíssima temperatura e curto intervalo de tempo. Como podemos perceber no Gráfico da Figura 2.3 B, o metamorfismo de choque trabalha a uma pressão e temperatura muito maiores do que os eventos endógenos que geram metamorfismo no interior do planeta, podendo inclusive ocasionar fusão nas rochas envolvidas mais próximas ao ponto de contato entre o corpo impactante e o corpo impactado.

Justamente estas condições singulares geram novos produtos rochosos singulares em astroblemas de diâmetros quilométricos. Estes novos produtos, pesquisadores procuram *in loco* para a comprovação de um impacto meteorítico a hipervelocidade. A medida que a energia do choque vai se dissipando, a temperatura também diminui. Diferentes produtos ocorrem a partir de diferentes intensidades de temperatura e pressão, mesmo quando aplicadas ao mesmo tipo de rocha ou mineral. Abaixo lista-se os mais importantes destes produtos.

Os *diaplectic glasses* (“vidros diapléticos”, em português) são materiais apenas contidos em crateras de impacto. São formados a alta pressão (30-50 GPa) durante a passagem da onda de choque. (FRENCH & KOEBERL, 2010) Por conta desta alta pressão, perdem totalmente (ou parcialmente) sua estrutura cristalina e são também chamados de “vidros de impacto”⁴⁸. Sua característica singular é que esta transformação na estrutura da matéria acontece sem que a rocha atingida

⁴⁸ Fonte: Alvaro Crósta em Glossário Geológico Dinâmico Ilustrado da SIGEP. Fonte digital. Acessada em dezembro/2022. http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/vidro_impacto.htm

derreta, ou seja, sem chegar ao estado líquido, o que os diferencia dos outros tipos de vidro produzidos na natureza cujo processo normal é a rápida solidificação de um corpo líquido que, assim, não tem tempo de criar uma estrutura cristalina. Por conta disso, eles não apresentam sinais de ruptura ou fluxo. Os vidros diapléticos são mais difíceis de se encontrar em um astroblema, pois normalmente se distribuem em um pedaço menor e mais superficial do corpo impactado, sendo rapidamente decompostos pela erosão. Apesar de poder apresentar escala macroscópica, sua caracterização não se atinge a olho nu, já que outros tipos de vidro produzidos em outros tipos de eventos geológicos se assemelham sobremaneira à ele, sendo necessário um estudo de laboratório para a correta verificação. (FRENCH & KOEBERL, 2010)

Outro produto raro mas ainda assim encontrado em estruturas de impacto são os “minerais de alta densidade”. (CRÓSTA, 2012) Compõem-se de minerais que normalmente encontram-se apenas no manto ou na parte inferior da crosta terrestre, em que a alta pressão mantém-nos coesos. Por exemplo: um tipo de SiO_2 produzida a alta pressão, notadamente por volta dos 30GPa (FRENCH, 1998; CRÓSTA, 2012), a coesita, foi a responsável pelas primeiras evidências mais formais de que tanto a Barringer Crater quanto a cratera de Ries, duas das mais estudadas crateras terrestres de impacto meteorítico (a primeira, do tipo simples e a segunda, do tipo complexa) possuíam de fato uma origem meteorítica. No caso da cratera de Ries, a coesita coexiste com vidros diapléticos e outros materiais na brecha de impacto chamada suevito. (SHOEMAKER & CHAO, 1961; STÖFFLER et al., 2013; KENKMANN et al., 2014) A Figura 2.4 abaixo apresenta esta coexistência.

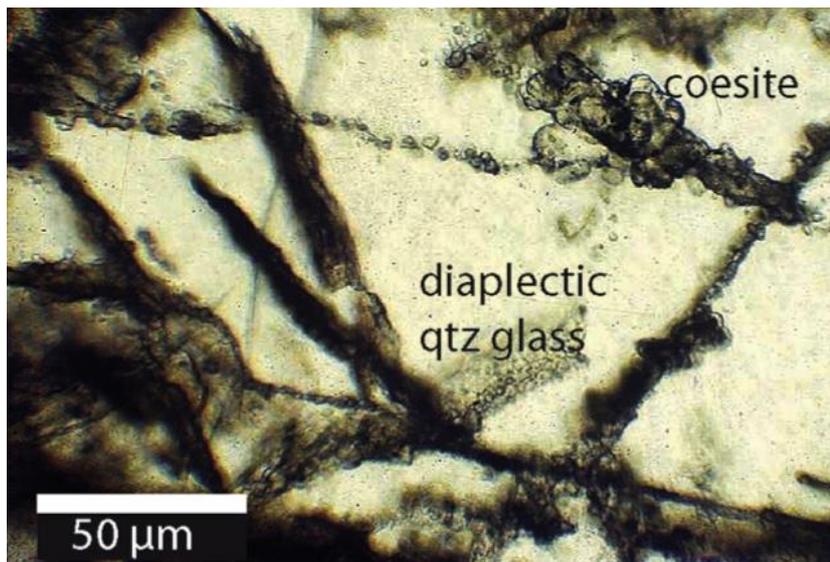


Figura 2.4 – Exemplo de coesita e vidro diaplético proveniente de quartzo (*diaplectic qtz glass*) compondo amostra de suevito retirada do astroblema de Ries, Alemanha. Fonte: Kenkmann et. Al, 2014 .

Diamantes de pequeno diâmetro, na escala do milímetro ou próxima disso⁴⁹, produzidos através de ondas de choque em matriz de grafite também são considerados indicadores de um evento de impacto meteorítico. Estes minerais polimorfos de alta pressão característicos devem ser analisados com cuidado especial, já que uma simples observação microscópica não é suficiente para caracterizá-los. Há a necessidade do uso de outras técnicas adicionais, tais quais a difração por raio-X, espectroscopia Raman ou ressonância magnética nuclear. (FRENCH & KOEBERL, 2010)

Os *shatter cones* (“cones de estilhaçamento”, em português) foram os primeiros padrões de reconhecimento de estruturas de impacto propostos e até hoje são os únicos que possuem a característica de ocorrerem em escala macroscópica, identificáveis a olho nu. São fraturas estriadas que se distribuem em uma superfície cônica e acontecem quando a rocha recebe pressão na ordem de 2 a 5 Gpa (considerada já baixa pressão para eventos de impacto meteorítico a

⁴⁹ Os chamados nanodiamantes (diâmetro entre 3 e 5 nanômetros) podem não possuir origem em evento meteorítico, dado que a menores pressões ele pode ser fabricado. (FRENCH & KOEBERL, 2010)

hipervelocidade). Portanto são encontradas em grandes volumes de rocha impactada e a uma considerável distância do ponto de choque. Isso faz com que mesmo astrolemas já bem erodidos ainda possam conter este tipo de feição disponível para análise. (FRENCH & KOEBERL, 2010)

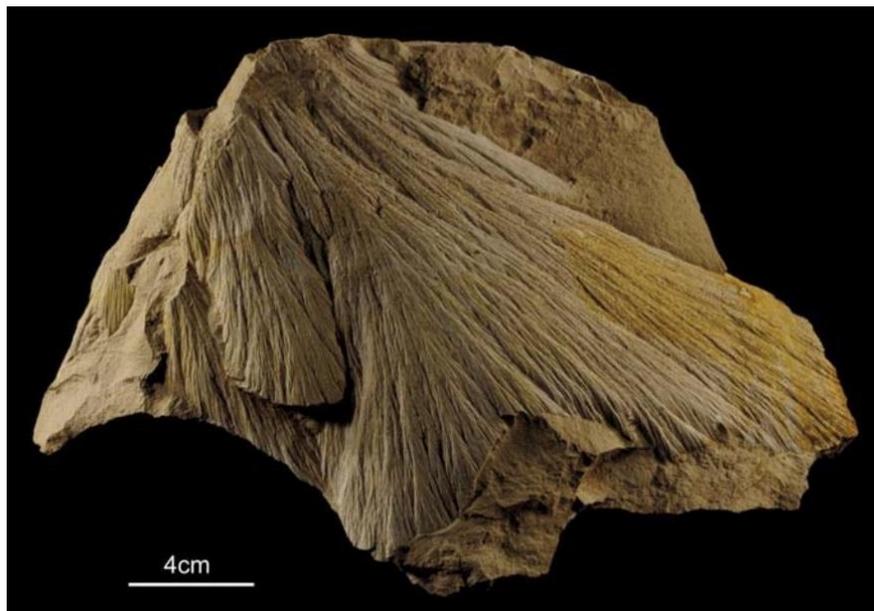


Figura 2.5 – Exemplo de cones de estilhaçamento (*shatter cones*) em amostra da cratera de impacto de Steinheim, Alemanha. Fonte: French and Koeberl, 2010.

Outros parâmetros geológicos para verificação de estruturas de impacto meteorítico são as microestruturas planares (Grieve, Stöffler e Langenhorst, 1996: pg 7) produzidas por choque. Destas destacam-se as fraturas planares (*planar fractures* ou PFs) e as feições planares de deformação (*planar deformation features* ou PDFs). Segundo Crósta:

“As PFs são conjuntos paralelos de fraturas de clivagem em grãos de quartzo que se desenvolvem em pressões mais baixas, geralmente entre 5 e 8 GPa. Elas se desenvolvem segundo os planos $c(0001)$, $m\{1010\}$ e $r\{1011\}$, com espaçamento entre os planos entre 15 e 20 μm . Por causa do regime de pressão relativamente

baixo em que ocorrem, as PFs não devem ser consideradas, de forma isolada, como evidência segura da ocorrência de metamorfismo de impacto.” (CRÓSTA, 2012: pg. 682)

E assim define Crósta, as PDFs:

“Já as PDFs são as feições diagnósticas de choque mais comuns encontradas em estruturas de impacto terrestres, e têm sido de fundamental importância no reconhecimento da maioria das estruturas de impacto terrestres, notadamente daquelas mais antigas e profundamente erodidas, nas quais as demais feições de choque já não existem mais (French, 1998). Trata-se de conjuntos de planos paralelos de deformação que se formam em regimes de pressão entre 8 e 30 GPa. As PDFs ocorrem dentro de cristais minerais individuais, formando múltiplos conjuntos de planos bem definidos e extremamente delgados (2-3 μm), exibindo um espaçamento bastante reduzido entre os planos (entre 2 e 10 μm). Em cristais de quartzo, as PDFs se formam em planos cristalográficos específicos, podendo cada um deles ser associado ao respectivo regime de pressão.” (CRÓSTA, 2012: pg. 682)

PDFs em quartzo com índice Miller-Bravais (0001) ocorrem a mais baixos regimes de pressão; passam ao índice (1 0 -1 3) em moderados níveis de pressão; ao atingirem os mais altos níveis de pressão a produzir PDFs, os mesmos demonstram índices Miller-Bravais do tipo (1 0 1 2). (GRIEVE, STÖFFLER e LANGENHORST, 1996; pg 9) A medida em que o quartzo recebe diferentes intensidades de pressão de choque, a orientação tridimensional das feições planares de deformação que cortam o cristal de quartzo afetado apresenta variação.

Cabe ressaltar que o comportamento das PDFs em grão de quartzo em rocha sedimentar é diverso do comportamento do grão de quartzo em rochas cristalinas não-porosas, formando-se em diferentes intensidades de pressão e orientações planares. Além disso, mais calor é gerado em rochas sedimentares porosas (se comparadas ao mesmo processo em rochas-alvo cristalinas não-porosas) o que acarreta em mais matrizes rochosas em estado líquido após a passagem da onda de choque. (FRENCH, 1998: pg 52-53).

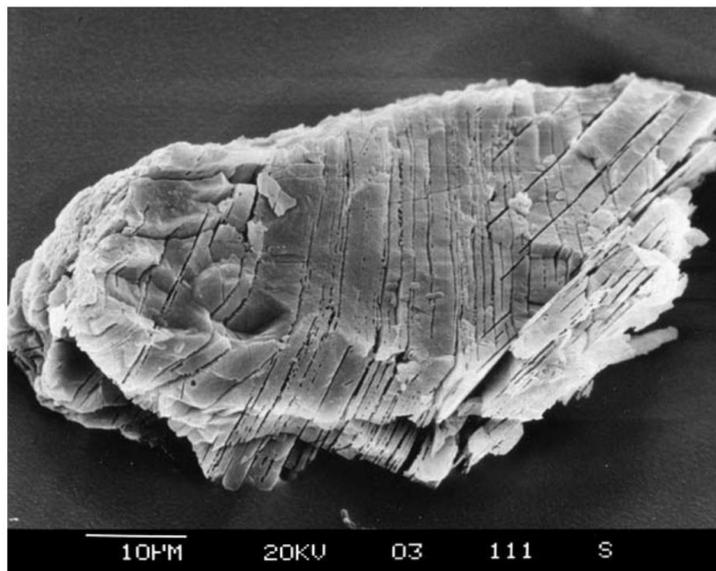


Figura 2.6 – Microfotografia de varredura eletrônica de um grão de quartzo modificado por ondas de choque tratado em ácido, mostrando dois conjuntos de vazios planares de distinta orientação tridimensional, produzidas pela dissolução do material amorfo que compõe os PDFs. Escala: 10 μ m. Fonte: (FRENCH & KOEBERL, 2010)

Estas são algumas das principais feições que ajudam na caracterização de um astroblema como tal. Apesar das quase já 200 estruturas de impacto confirmadas ao redor do mundo, provavelmente existe ainda um sem-número de estruturas similares a serem descobertas. Estas feições continuarão a ser ainda muito úteis na correta caracterização deste tipo de estrutura.

Para além das feições geológicas listadas acima, determinadas assinaturas geofísicas ajudam também a formar um corpo de comprovação ainda mais robusto para a procura e caracterização de crateras de impacto a hipervelocidade. Todos os processos envolvendo grande aporte de pressão e temperatura durante os processos de formação da cratera de impacto durante e após a passagem das ondas de choque modificam as propriedades físicas das rochas internas e vizinhas à cratera. Estas modificações geram anomalias gravitacionais e magnéticas que podem ser devidamente diagnosticadas através de estudos geofísicos. (FRENCH, 1998)

A passagem da onda de choque altera o substrato rochoso para além das rochas que ficam expostas na cratera. Mesmo rochas que não foram deslocadas de sua posição original podem sofrer fraturas ainda quilômetros abaixo da base da

cratera de impacto. Estas rochas fraturadas passam a apresentar uma menor densidade, se comparadas às suas vizinhas não-fraturadas. Essa diferença de densidade influi diretamente no valor da aceleração da gravidade medida em superfície, gerando o que convencionou-se chamar de uma anomalia gravitacional negativa (normalmente circular ou no formato da cratera em *bird's eye view*). Esta assinatura tem maior credibilidade quando aplicada a crateras de impacto simples. As crateras de impacto complexas tendem a compensar esse desvio gravitacional por conta do núcleo soerguido. (FRENCH, 1998)

Já as assinaturas magnéticas não possuem um único padrão de variação por conta dos processos de criação da cratera de impacto. Elas podem apresentar anomalias de formato circular assim como podem não apresentar, dependendo de cada caso, que deve ser previamente analisado. Há casos em que o soerguimento de rochas com intensa propriedade magnética pode gerar esta anomalia; há casos em que uma magnetização de rochas fundidas também podem apresentar essa variação. Entretanto há casos em que não há robusta variação de traços magnéticos comparando-se o antes e o depois do impacto meteorítico. (FRENCH, 1998)

Há ainda o uso de sísmica para grandes crateras de impacto (FRENCH, 1998) ou o estudo de espectroscopia de raios gama para ajudar a identificar modificações que ficam claras em determinados componentes radioativos que integram solos gerados por rochas modificadas por impacto meteorítico a hipervelocidade. (VASCONCELOS, LEITE & CRÓSTA, 2012)

Todos estes métodos geofísicos, se não são, sozinhos, suficientes para atestar a origem de uma estrutura de impacto, desempenham um papel fundamental para descobrir possíveis candidatas a astroblemas ou crateras de impacto que encontram-se hoje escondidas, recobertas por sedimentos de milhões de anos de deposição.

3 O Astroblema da Serra da Cangalha e breve descrição geológica

3.1 Localização do Astroblema, da área de estudo e vias de acesso

O Astroblema da Serra da Cangalha localiza-se inteiramente na zona rural do município de Campos Lindos, no leste do Estado do Tocantins, próximo à fronteira com o Estado do Maranhão, dentro da região brasileira comumente chamada hoje de MATOPIBA⁵⁰. Insere-se dentro da Bacia Sedimentar (intracratônica) do Parnaíba e localiza-se nas coordenadas geográficas 8°4'55" S, 46°51'16" W. A estrutura arredondada multianelar possui, como limites externos, uma borda de aproximadamente 13,2 km de diâmetro⁵¹. A área de estudo comportará toda esta estrutura e algumas áreas adjacentes à mesma ao norte e nordeste (abarcando inclusive a porção mais urbanizada do município) até o rio Manoel Alves Grande, que delimita a divisa entre Estados (TO/MA). Este rio é de importância capital pois é ele o canal fluvial que capta a água de todos os rios e riachos que nascem na Serra da Cangalha e arredores. Esta bacia hidrográfica será apresentada e analisada no Capítulo 4 deste trabalho.

⁵⁰ MATOPIBA é um acrônimo que aglutina as iniciais dos Estados da Federação Brasileira que compõem este território: MA = Maranhão, TO = Tocantins, PI = Piauí e BA = Bahia. É uma região importante para o agronegócio, em especial com o cultivo da soja.

⁵¹ As coordenadas geográficas aqui utilizadas e este novo valor de diâmetro médio para o Astroblema da Serra da Cangalha estão apresentados e justificados com os devidos cálculos no Capítulo 4 deste mesmo trabalho, no estudo da forma desta estrutura – mais precisamente no último subcapítulo do mesmo.

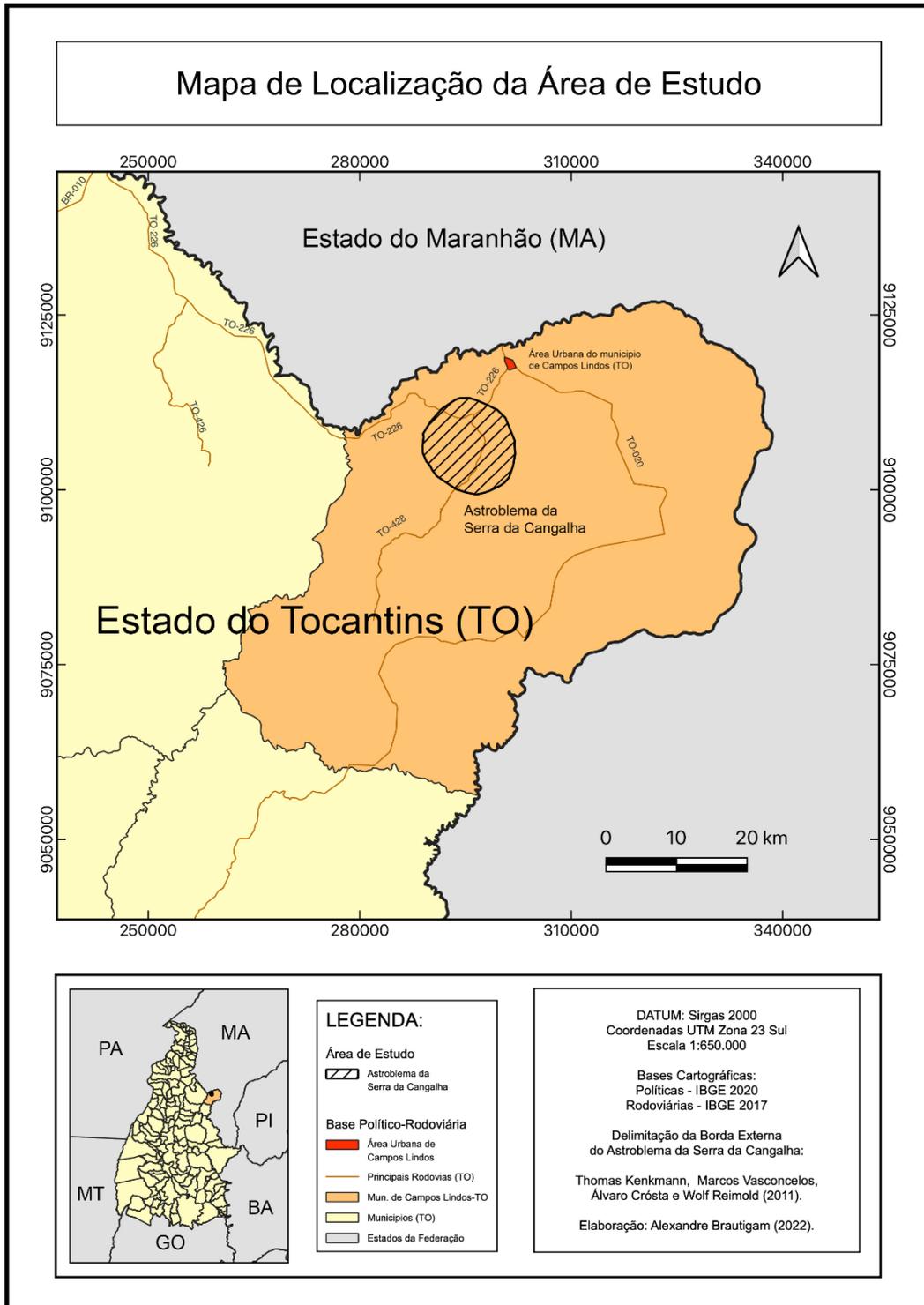


Figura 3.1 – Mapa de Localização da área de estudo.

O acesso ao astroblema é precário. Partindo do Sudeste do Brasil, a melhor opção é conjugar um primeiro trajeto aéreo com um segundo terrestre. Os aeroportos abertos para vôos comerciais mais próximos são os de Palmas (TO) e Imperatriz (MA).⁵² Em linha reta, Palmas (capital do Tocantins) está 290km a sudoeste da Serra da Cangalha. Já Imperatriz, segunda maior cidade do Maranhão, se encontra a 285km ao norte. Apesar de estarem ambas praticamente à mesma distância da Área de Estudo, o trecho terrestre partindo desta última é menos cansativo, se compararmos com o trecho terrestre a partir de Palmas. Vindo de Imperatriz: são 222km pela BR-010 (Belém-Brasília) até a cidade de Carolina⁵³; 93km pela BR-230 (Transamazônica) até a entrada da MA-133, que se localiza pouco antes de se chegar à cidade de Riachão. Todo este trecho é percorrido em asfalto. A partir daí são mais 60km pela MA-133, 16km pela MA-140 e 2km pela TO-226 até a cidade de Campos Lindos, perfazendo 78km em estrada sem pavimentação. No total, são 393km de parte terrestre. Segundo Vasconcelos, o acesso terrestre via Palmas percorre 454km até sua chegada no astroblema. (VASCONCELOS, 2012: pg 3) Estas duas possibilidades de deslocamento terrestre são mostradas na Figura 3.2, o Mapa de Deslocamento Rodoviário, apresentado a seguir.

Sendo estas as duas melhores formas de se chegar ao Astroblema da Serra da Cangalha, observa-se que a infra-estrutura disponível (até a conclusão deste trabalho) em termos de opções de transportes e condições viárias é um ponto negativo para quem busca a sua visitação.

⁵² Com voos menos frequentes, há também a opção para Araguaína, mais próxima de Campos Lindos do que Palmas e Imperatriz. Pesam contra esta opção a baixa frequência dos voos e o fato de que a perna de voo Brasília-Araguaína é feita com aviões turbopropélion ATR 72 de empresa terceirizada pela GOL, a VOEPASS.

⁵³ A partir de Estreito até Carolina, a BR-010 funde-se com a BR-230. Portanto, neste trecho estamos percorrendo a Belém-Brasília e concomitantemente, a Transamazônica.

⁵⁴ Diferente do trecho vindo de Palmas, no meio do caminho entre Imperatriz e o astroblema da Serra da Cangalha encontra-se a Chapada das Mesas, destino turístico bem explorado. Por conta disso, há inúmeras opções de pernoite no seu entorno, próximo à cidade de Carolina.

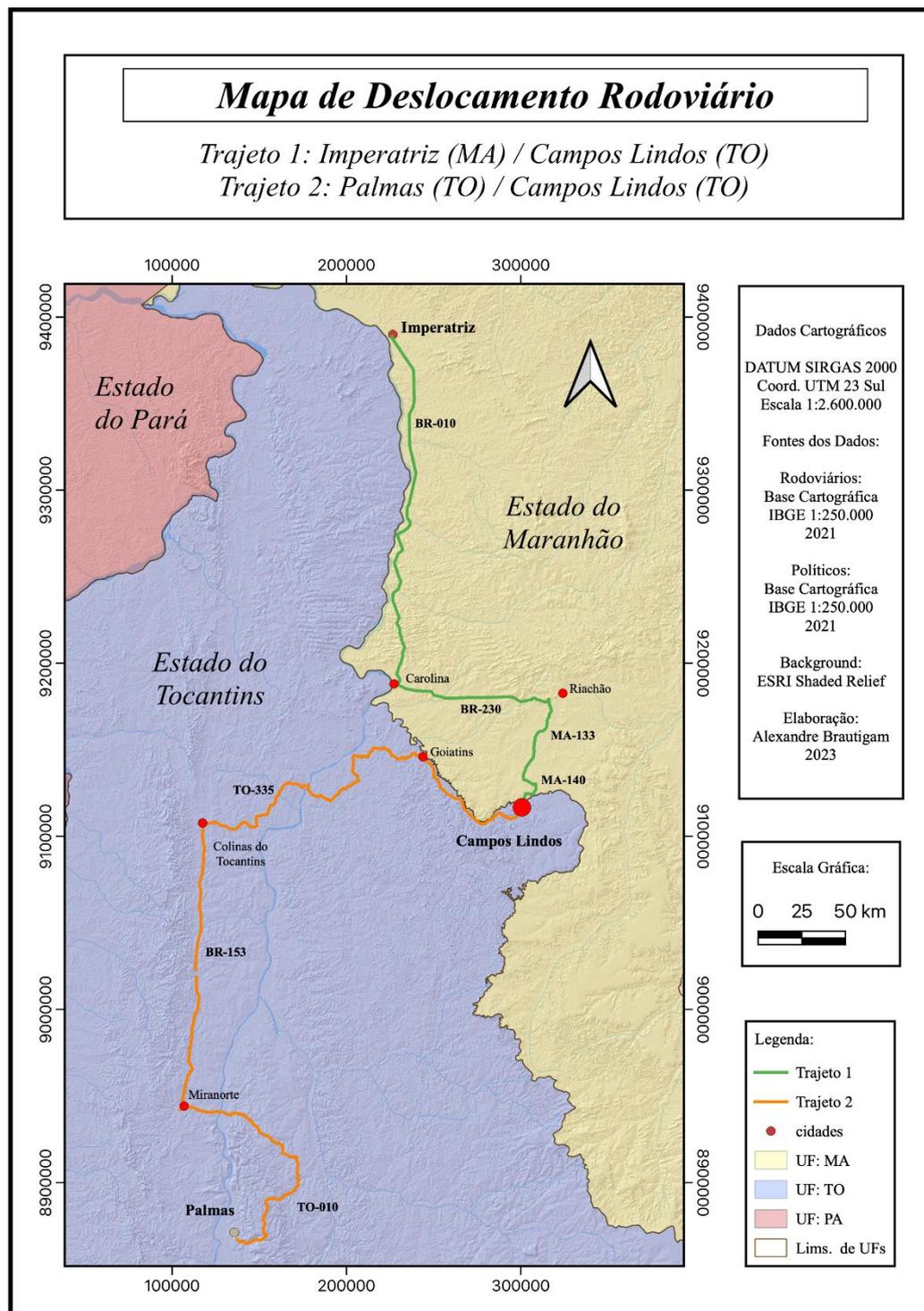


Figura 3.2 - Mapa comparativo (base retirada do Google Maps) entre as duas principais rotas de vias de acesso ao Astroblema da Serra da Cangalha (TO). Rota preta para o caminho vindo de Palmas (TO) e a vermelha para o caminho vindo de Imperatriz (MA). As linhas se encontram no Astroblema da Serra da Cangalha.

3.2 Litologia básica do Astroblema da Serra da Cangalha

3.2.1 Breve histórico deposicional da Bacia do Parnaíba

O Astroblema da Serra da Cangalha está situado na Província Estrutural do Parnaíba (Figuras 3.3 e 3.4). Esta se desenvolveu ainda sobre o supercontinente Gondwana, sendo portanto uma das quatro principais bacias sedimentares que começam a se formar durante o Paleozoico para hoje fazer parte da Placa Sul-Americana. Esta província recebe áreas dos Estados do Piauí, Maranhão, Tocantins, Pará e Bahia. (IBGE, 2019)



Figura 3.3 - As Províncias Estruturais do Brasil (IBGE, 2019).



Figura 3.4 - Recorte do Mapa anterior destacando a Província Estrutural do Parnaíba, número 9, em verde claro - perfazendo grande parte dos territórios dos Estados do Maranhão e Piauí e parte considerável do Tocantins - incluindo a totalidade do município de Campos Lindos e todos os municípios circundantes vizinhos. (IBGE, 2019)

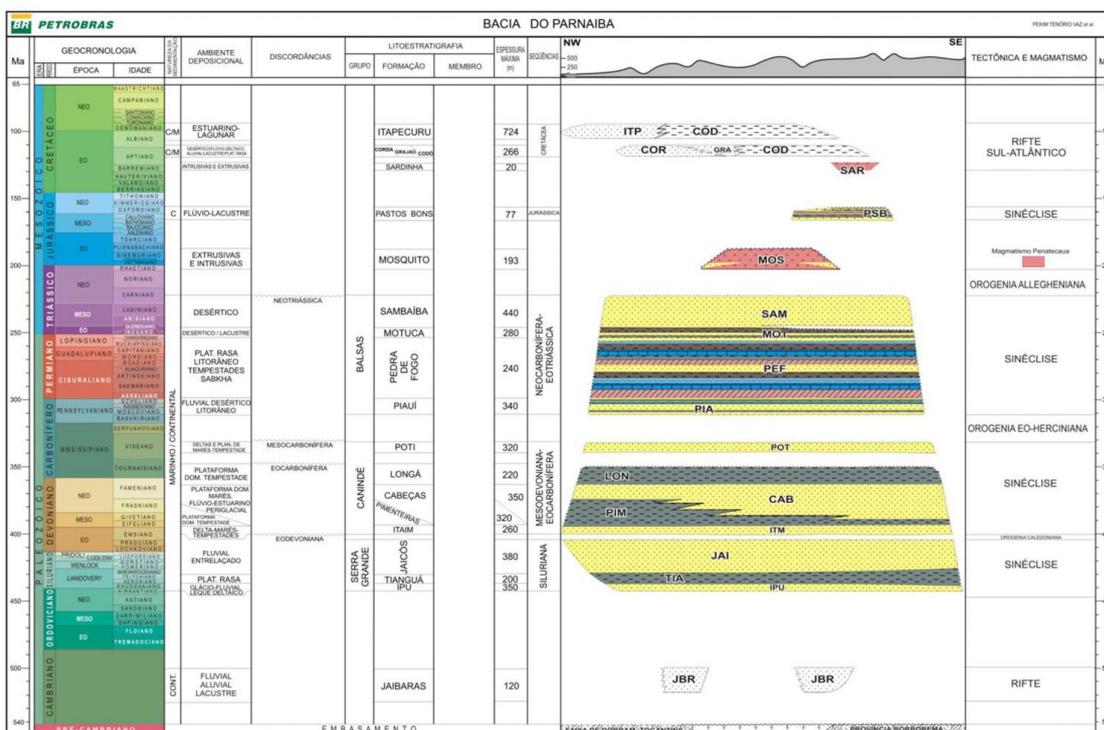


Figura 3.5 - Coluna Estratigráfica da Bacia do Parnaíba, retirada de Vaz, 2007 in. ANP, *Sumário Geológico e Setores em Oferta*.

A Bacia Sedimentar do Parnaíba compraz a maior parte da Província Estrutural do Parnaíba e contém o Astroblema da Serra da Cangalha. Sua coluna estratigráfica (Figura 3.5) está dividida em cinco grupos, depositados do Siluriano ao Cretáceo e correlacionáveis a ciclos tectônicos de caráter global. (GOES et. FEIJO, 1994)

São eles: o Grupo Serra Grande (sequência siluriana); o Grupo Canindé (sequência devoniana); o Grupo Balsas (sequência carbonífero-triássica); o Grupo Mearim (sequência jurássica); e o que seria o último Grupo ou ajuntamento de diferentes formações cretáceas (Grajaú, Codó e Itapecuru), já que Góes não delimita um nome específico para este conjunto de formações. Embora inominadas como Grupo, estas últimas estão todas associadas ao que Schobbenhaus (1984) chama de Evento Sul-Atlântico, que delimita uma reativação da Plataforma Sul-Americana quando observa-se a tafrogênese continental trazendo então para a Bacia do Parnaíba novos tipos de rochas provenientes de magmatismo básico: basaltos e diques de diabásio. Já os quatro grupos anteriores apresentam, em sua maioria, rochas sedimentares siliciclásticas.

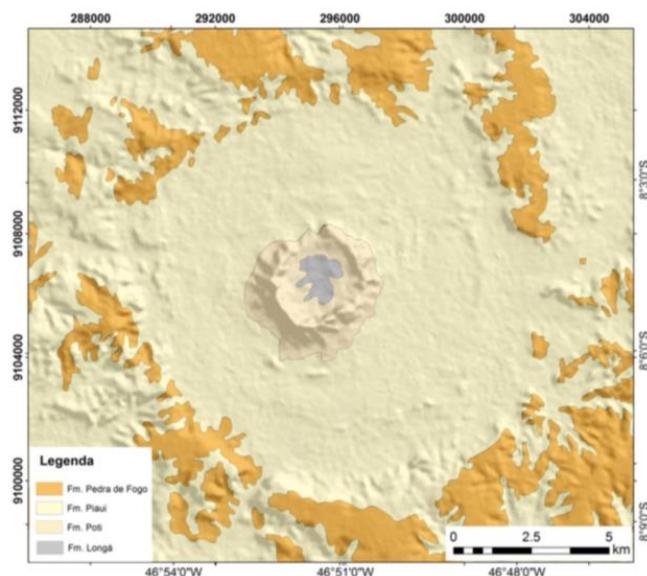
Segundo Schobbenhaus (1984), a deposição sedimentar da Bacia do Parnaíba tem começo após o final colisional do Ciclo Brasileiro e uma relativa calma tectônica a partir do Ordoviciano-Eossiluriano. Ela pode ser dividida grosso modo em duas fases principais: a primeira, talassocrática, ocorreu do Eossiluriano ao Eocarbonífero com grandes transgressões marinhas; já a segunda, geocrática, posicionada no Neocarbonífero e no Triássico, "assistiu à sedimentação continental, com ingressões episódicas do mar no início da fase". (SCHOBHENHAUS, 1984: pg 35)

3.2.2

Introdução à Diversidade Litológica no Astroblema da Serra da Cangalha

A Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (escala 1:1.000.000) (CPRM, 2004), em sua folha Rio São Francisco (SC-23) posiciona o Astroblema da Serra da Cangalha em área dominada pelo Grupo Balsas, notadamente e apenas com as Formações Pedra de Fogo e Piauí. A escala proposta para este mapa dificulta maior detalhamento. Mas já na tese escrita por McHone em 1986 está documentado o

entendimento de que a área do astroblema recebia não duas, mas quatro diferentes formações geológicas de dois Grupos distintos: as Formações Pedra de Fogo e Piauí, do Grupo Balsas, mas também as Formações Poti e Longá, do Grupo



Canindé. (McHONE, 1986; pg. 117)

Figura 3.6 - Mapa Geológico do Astroblema da Serra da Cangalha/TO e arredores, proposto por McHone (1986) com relevo sombreado gerado a partir da imagem ASTER-GDEM. (Fonte: VASCONCELOS, 2012; pg. 10)

Comparando o mapa de McHone com o mapa feito a partir de trabalho de campo por Kenkmann, Vasconcelos, Crósta e Reimold (2011), observa-se, tanto em um quanto no outro, uma mesma curiosa distribuição das diferentes formações geológicas para a área do astroblema: de dentro para fora, de forma concêntrica, obtemos as Formações em ordem geoestratigráfica da mais antiga para a mais recente: Formações Longá, Poti, Piauí e Pedra de Fogo.

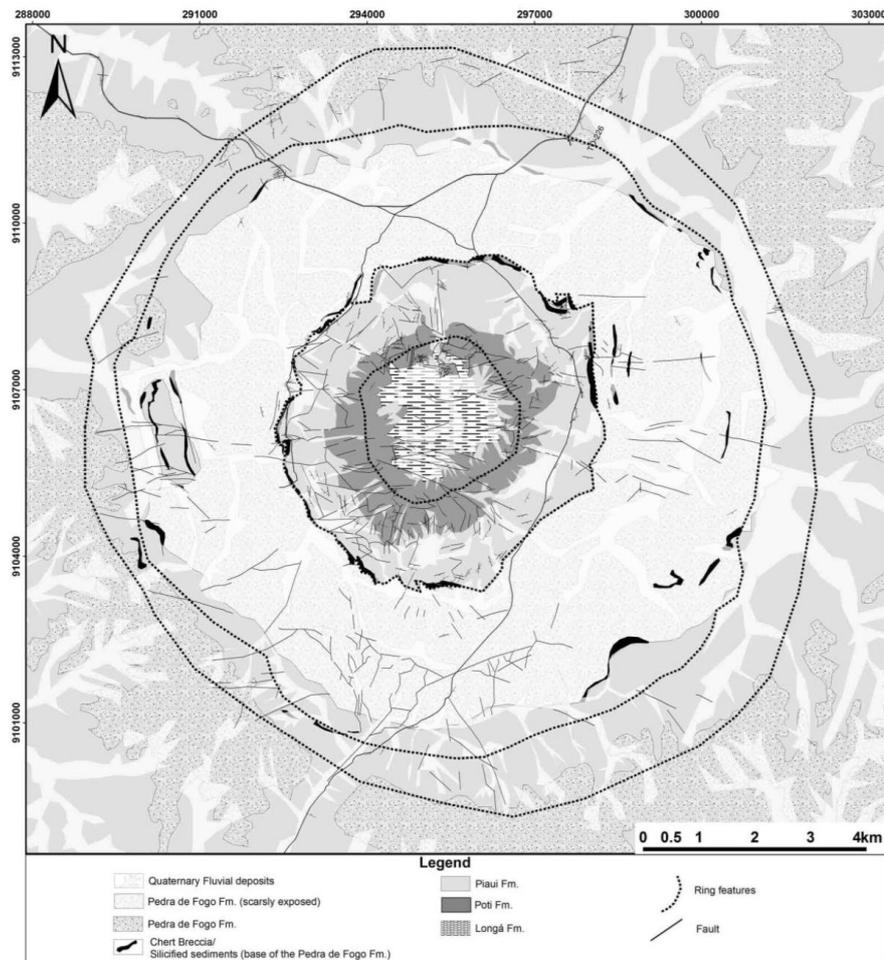


Figura 3.7 – Mapa Geológico da área da Serra da Cangalha construído por Kenkmann et al. (2011) através de dados coletados em trabalho de campo in loco e sensoriamento remoto. (Fonte: KENKMANN et al., 2011: pg 878)

Em termos de composição e características sedimentares para cada uma das formações geológicas encontradas na área do astroblema, sublinha-se:

- Formação Longá: dominada por folhelhos devonianos e siltitos, embora também possua arenito em menor quantidade. Este arenito possui grãos fraturados e uma grande quantidade de cimento de óxido de ferro. (McHONE apud. VASCONCELOS, 2012; VASCONCELOS et al., 2013) Esta Formação é interpretada como “depósitos plataformais dominados por tempestades”. (BIZZI et al., 2003; pg. 67)

- Formação Poti: dominada por arenitos brancos ou vermelhos do Carbonífero em acamamentos quartzíticos na ordem do decâmetro. Estas rochas tem por característica um alto teor de silicificação e é bastante endurecida oferecendo boa resistência à erosão; (KENKMANN et al., 2011; VASCONCELOS et al., 2013) “A Formação Poti é interpretada como ambientes de deposição como *shoreface* / submaré inferior e superior, canal flúvio-estuarino e planície de maré, sob condições climáticas de aridez, conforme evidenciado por *tepees* e concreções do tipo “rosa do deserto”.” (BIZZI et al., 2003; pg 68)

- Formação Piauí: formada por intercalações de arenito, siltito e argilas. Seus arenitos possuem estratificação cruzada. Por conter uma proporção maior de acamamentos incompetentes, é menos resistente à erosão do que a Formação Poti. (KENKMANN et al., 2011) “Consiste-se de depósitos de dunas eólicas, de interdunas e planícies de deflação.” (RIZZI et al., 2003; pg. 68)

- Formação Pedra de Fogo: Encontra-se, na região da Serra da Cangalha, composta de arenito vermelho, argila acinzentada e em seus contatos com a Formação Piauí aparecem brechas de cherte (sílex) e também troncos petrificados de *Psaronius brasiliensis*. (VASCONCELOS, 2012) A Formação Pedra de Fogo consistiu de “um ambiente litorâneo com presença localizada de biostromas com estromatólitos hemisféricos. Estes, por sua vez, são superpostos por arenitos com estratificação cruzada sigmoidal e alternâncias de folhelho e arenito, depositados em planície de maré.” (RIZZI et al., 2003; pg 68)

As Formações Longá e Poti não encontram afloramento registrado em nenhum outro sítio em um raio de dezenas de quilômetros a partir da Serra da Cangalha. A proposta de McHone (1986) que é revista e aceita também por Kenkmann et al. (2011) é de que, com o impacto meteorítico e a imediata criação da cratera de tipo complexa, estas formações tenham sido exumadas da subsuperfície crustal, como podemos visualizar no desenho esquemático em corte SW-NE a seguir (Figura 3.8), formando o núcleo do chamado soerguimento central – movimento ascende comum às crateras de impacto complexas.

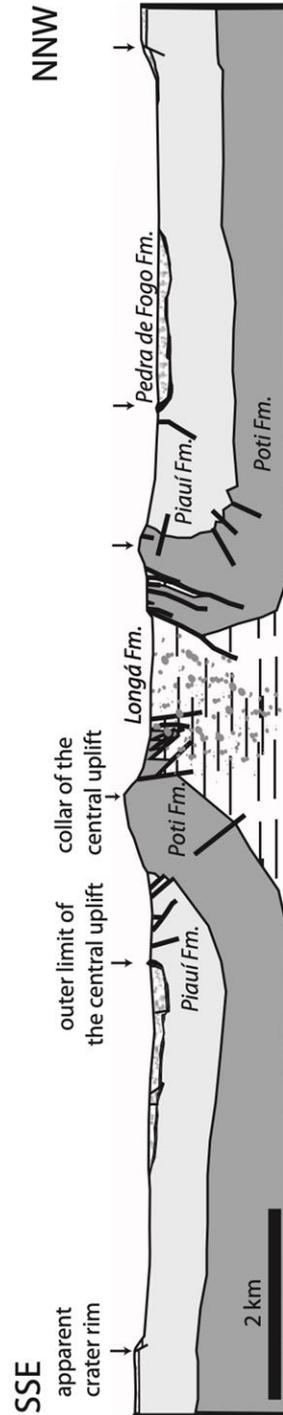


Figura 3.8 - desenho esquemático da estratigrafia do Astroblema da Serra da Cangalha em corte lateral sentido SSE-NNW mostrando a provável exumação de camadas estratigráficas mais antigas. Fonte: Kenkmann et al., 2011. Esse movimento explicaria também o formato circular em superfície da Formação Longá e o formato anelar da Formação Poti.

4 Paisagem e Geomorfologia da Serra da Cangalha

A Geomorfologia abarca o processo de compreensão sobre as formas de relevo. Portanto almeja, antes de tudo, descrever os diferentes tipos de relevo de uma região específica. Entretanto, ao entender que a Terra é dinâmica não só no seu interior como em sua superfície crustal, busca também explicação para os processos que moldam este relevo gerando suas formas atuais - formas estas que compõem a paisagem. Assim, ao estudar-se a evolução da paisagem do Astroblema da Serra da Cangalha, faz-se mister um estudo de sua geomorfologia. Ao entender a conexão simbiótica entre paisagem e geomorfologia, apresenta-se neste Capítulo um estudo que antes aborda diferentes olhares teóricos sobre o amplo conceito da paisagem para, em seguida, abrir-se uma discussão geomorfológica sobre o objeto de estudo desta tese, o nosso astroblema.

4.1 Breve discussão sobre o conceito de paisagem

'Paisagem' é um conceito caro à Geografia. Dentre seus principais conceitos (tal qual 'Espaço', 'Lugar', 'Território') é algo que liga o humano ao meio. Quando fala-se em transformação da paisagem, o que exatamente busca-se observar?

Inicia-se o estudo sobre o termo em questão a partir do contexto histórico e etimológico. Segundo Claval, o termo 'paisagem' "surgiu no sec. XV, nos países baixos, sob a forma de *landskip*. Aplica-se aos quadros que apresentam um pedaço de natureza, tal como a percebemos a partir de um enquadramento. (...) O alemão forja o termo *Landschaft*, e o inglês, *landscape*, para traduzir o novo termo holandês, cujo emprego se impõe com a difusão do novo gênero pictural. O italiano transcreve a idéia de extensão de *pays*, que vem da raiz *land*, criando *paesaggio*, de onde deriva o termo francês." (CLAVAL, 2004; p.14).

Assim sendo, para Claval (2004) constrói-se o termo na cultura europeia a partir da pintura. As Artes Plásticas, ao se libertarem dos temas sacros, passam a

retratar também a vida mundana e, com isso, incorporam a representação não só de elementos humanos como também do seu entorno. Através da moldura e do recorte do real determinado pelo pintor, surge a paisagem: primeiro como background para as cenas humanas e posteriormente como temática principal de arte pictórica.

A partir do séc. XVI surgem pinturas em que observa-se um maior cuidado na reprodução dos elementos abióticos ali retratados. Como exemplo, apresentamos o desenho *Mountain Landscape* (1594), de Hendrick Goltzius - tido por Reznicek apud Rosenberg (2009) como talvez a primeira obra puramente paisagística feita na Holanda. Rosenberg (2009) observa que os traços que definem a topografia das montanhas desenhadas por Goltzius se assemelham sobremaneira aos traços que definiram os músculos de seu Hércules, pintado pouco antes. Tudo indica que Goltzius se serviu da técnica de desenho de anatomia pra criar suas montanhas, inspiradas pela viagem que o mesmo fez à Itália no final do século XVI, atravessando os Alpes e seus pungentes monólitos dolomíticos. Segundo Eric Dardel: “Montanhas e falésias fazem aparecer a ossatura rochosa da Terra. Uma consistência e uma resistência do espaço telúrico. [...] ‘Aqui’, declara Goethe, ‘tu repousas imediatamente sobre uma base que alcança as profundas regiões da terra [...] Nesse momento, as forças íntimas da Terra agem sobre mim.’ Ele sente a rocha como uma potência que “dá a solidez” à sua alma.” (DARDEL, 2011; pg 17)



Figura 4.1- Mountain Landscape (1594), Hendrick Goltzius. Teylers Museum, Haarlem.

Neste momento, o que então determina o que encerra uma paisagem? Seria basicamente a moldura da tela, que modela justamente uma escolha subjetiva do artista? A escolha do enquadramento é bem determinada pelo agente que pinta. Mas "mesmo que a natureza esteja ali em sua totalidade, representar uma paisagem em uma tela carrega ainda assim a subjetividade da escolha do pintor - e não só do

ângulo, do enquadramento, mas também dos elementos retratados." (CLAVAL, 2004; p.15)

Assim, partindo da tela em branco, o pintor pinta aquilo que ele vê - não no sentido estrito, mas no sentido lato. O pintor elege os elementos que surgirão na sua - pessoal, particular - paisagem, povoando ao seu bel-prazer seu quadro. E da mesma maneira, agiram os geógrafos.

A paisagem deixa de ser estritamente um léxico das Artes com o surgimento dos naturalistas a partir da metade do séc. XVIII. Alexander von Humboldt (1769-1859) ressignifica o entendimento de paisagem: antes restrita ao universo da Arte, o alemão incorpora (através de descrições de campo minuciosas) dados e relações científicas à ela. Era o momento das expedições naturalistas que corriam o globo terrestre em busca de maravilhamentos, aventuras e, principalmente, respostas - e a paisagem passa a ser também traduzida pelo universo das palavras.

“Nesta região, como em quase todas da cadeia dos Andes, e nas montanhas do México diversificam-se de modo muito pitoresco os pontos culminantes, por erupções de traquita e pórfiro, que se elevam como torres ou em colunas. Estas massas dão a certos sítios dos cumes o aspecto de cristais de montanhas engrinaldadas, ou de cúpulas redondas; atravessa esta comarca uma massa de calíça que se estende na América a imensa distância de um e de outro lado do equador e pertence, segundo as profundas investigações de Leopoldo de Buch, à massa cretácea. Entre Guambos e Montan, a 3.898 metros sobre o nível do mar, encontramos petrificações de conchas pelágicas, amonites de 38 centímetros de diâmetro, o grande *Pecten alatus*, ouriços-do-mar, isocárdios e a *Exogyra polygona*.” (HUMBOLDT, 1950; pg. 219-220)

Tanto a descrição por escrito quanto a pintura se baseiam em escolhas do autor para delimitar aquilo sobre o qual discorrem. Na passagem acima, muita coisa mais se mostrava aos olhos de Humboldt nestas paragens mas tivemos ali a descrição de uma paisagem. Portanto a paisagem é um véu que se coloca entre o ser humano e o mundo abarcando as diversas escalas que a percepção humana e seus instrumentos conseguem e escolhem traduzir. Assim nos diz Besse: “a paisagem fala-nos dos homens, dos seus olhares e dos seus valores, e não propriamente do mundo exterior.” (BESSE, 2014; p.13) Ou seja, para o autor essa escolha é guiada, pensada, consciente. Ao deslocar-se o conceito de paisagem da análise puramente estética para o de uma 'representação cultural', Besse pontua que os estudiosos das Ciências Humanas abrem novas perspectivas analíticas para se pensar a paisagem ao mostrar-se que “as determinações da construção paisagística também são

econômicas, religiosas, filosóficas, científicas e técnicas, políticas, até psicanalíticas.” (BESSE, 2014; pg. 19)

Além disso a paisagem recorta cenas nas quais muitas vezes há o constructo material humano envolvido. Arquitetônico. Claval (2004) afirma que a paisagem tem valor arqueológico, a partir do momento em que se conhece a história arquitetônica/social do espaço físico observado/determinado. (CLAVAL, 2004; p.39) Ou seja, a ação antrópica vai paulatinamente deixando marcas concretas na paisagem a cada nova intervenção humana. Uma ponte, uma rua, um jardim, casas e prédios se misturam em um mosaico temporal de marcas humanas na paisagem que se nos apresenta.

Mas o estudo da evolução da paisagem pode se dar tanto em relação à arquitetura e outras morfologias de criação humana quanto à morfologias de evolução da natureza, como a variação das formas do relevo ao longo do tempo ou, como melhor fez a escola alemã, em relação à história da biosfera. (CLAVAL, 2004; p.44) Neste sentido, pontuamos uma complexidade adicional: o substrato geomorfológico sobre o qual o ser humano edifica suas construções materiais foi construído a partir de eventos variados, cada qual com a sua devida escala temporal de evolução e ponto de partida singular na linha do tempo de evolução da Terra. Desta forma classificamos os terremotos como eventos de curta duração, na unidade máxima dos minutos⁵⁵. Um impacto de um asteroide no solo de nosso planeta gera por vezes alterações drásticas neste substrato e seu processo mais contundente está na escala de minutos-hora⁵⁶. Já as erupções vulcânicas podem durar anos⁵⁷. Em contrapartida os grandes eventos tectônicos que não cessam na crosta terrestre, por sua vez, trabalham em escalas de milhões de anos, para citar um outro extremo⁵⁸.

⁵⁵ Apesar de um terremoto de grande intensidade ter o seu ápice sentido na escala dos segundos, as ondas sísmicas P e S se propagam pelo interior do planeta sendo sentidas por estações sísmicas a milhares de quilômetros de distância, ainda minutos depois do ápice. Vale também ressaltar que o terremoto comumente inicia-se a uma profundidade de quilômetros abaixo da superfície e só será sentido pelos seres humanos ao atingir a mesma. (TEIXEIRA et al, 2009 p. 59)

⁵⁶ Segundo French (1998 apud CROSTA, 2012: p. 679) “Estima-se que, para a formação de uma cratera com 100 km de diâmetro, esses três estágios tenham duração conjunta não superior a uma hora.”

⁵⁷ The present Pu’u O o-Kupaianaha eruption marks the most voluminous outpouring of lava on Kilauea’s East Rift Zone since the 15th century and is the longest East Rift Zone eruption ever recorded. (...) Over the next 15 years, effusion of lava from Pu’u O’o was nearly continuous, interrupted only temporarily by nearby fissure eruptions and East Rift Zone intrusions. (Poland et al, 2014: p. 327)

⁵⁸ A cordilheira andina, cuja formação se iniciou há aproximadamente 140 milhões de anos, tem levantamento contínuo desde o fim do Cretáceo e o Himalaia, que começou a ser formado há

Mas mesmo eventos tectônicos podem ser sentidos na escala temporal humana. Por exemplo, segundo Guerra e Cunha (1995) “um segmento da falha de Santo André, na Califórnia, se deslocou cerca de 4,3m em apenas 133 anos.”

Ou seja, a paisagem que se nos apresenta hoje é uma grande colcha de retalhos espaço temporal, tanto no que diz respeito aos elementos antrópicos (arquitetônicos e os demais de infraestrutura humana como pontes, estradas, etc) quando aos elementos naturais.

A partir dos anos 70 a fenomenologia insere novas formas de pensar a paisagem pelos geógrafos. A paisagem simplesmente é, enquanto estímulo de sensações ao ser humano que vai criá-la com o seu olhar. Pontua Claval (2004): “O registro geográfico deixa de considerar que os homens são independentes do meio onde se encontram: eles só podem existir nos meios geográficos com os quais mantêm relações mais complexas do que até então se pensava.” (p. 49).

A paisagem então, ao interagir com o ser humano se mostra a cada um deles como algo que está e existe fora deles. A partir deste prisma, Besse coloca que há duas formas de se perceber esse fora: um modo é o científico. Mas para além da Ciência, está a vivência humana e nela se encontra o segundo modo. Afirma Besse: “(...) a paisagem é primeiramente sensível, uma abertura às qualidades sensíveis do mundo” (BESSE, 2014; p.45) e cita Barbara Bender, “(...) as paisagens não são apenas ‘vistas’, mas sim encontros pessoais. Não são apenas enxergadas, mas sim experimentadas com todos os sentidos.” Ou seja, paisagem é antes de tudo personificação; é presença.

Pois a partir da experiência, pode-se desobjetivizar a paisagem. Ela passa a ser um acontecimento, uma teia. E quando há experiência envolvida, um abraço metafórico entre corpo e ambiente, isso passa a ser para além das palavras e das descrições. Há um esforço real e efetivo na Ciência e no método científico mas a experiência vivida não pode ser substituída por qualquer outro procedimento humano. Diz Besse: “A paisagem é o nome dado a essa presença do corpo e ao fato de ele ser afetado, tocado fisicamente pelo mundo ao redor, suas texturas, estruturas e especialidades: há nisso algo como um acontecimento.” (BESSE, 2014; p.47)

aproximadamente 50 milhões de anos apresenta hoje, descontada a erosão, uma ascensão de cerca de 1cm/ano.” (GUERRA e CUNHA, 1995, p. 63)

A paisagem sonora e suas reverberações contemporâneas

No senso comum, ao falar-se sobre paisagem associa-se rapidamente o termo a um quadro ou a uma imagem visual. Mas muito se perde caso a análise de uma paisagem se encerre à este sentido humano. Como nos mostrou Besse (2014) anteriormente, é algo mais. Hoje é comum, em uma viagem, que o turista guarde recordações da paisagem através do seu *smartphone* - quer seja com fotos ou fazendo vídeos. Os vídeos pertencem à categoria do audiovisual, portanto registrando informações que nos chegam aos olhos e aos ouvidos. Nossa sociedade se tornou essencialmente visual em muitos aspectos, mas muito se perde caso ignoremos as informações sonoras que nos rodeiam. ‘*Umwelt*’: ‘meio ambiente’, em alemão: uma palavra que se forma a partir da junção do substantivo ‘*Welt*’ = ‘mundo’ (não muito diferente de ‘*world*’, em inglês) e a preposição ‘um’, que significa ‘em torno de’, ‘em volta de’. O mundo que te rodeia, que te abraça. Um acontecimento. Portanto, informações perdidas – por exemplo, as sonoras – significam menor imersão quando reconstruímos, descrevemos, desfrutamos ou ressignificamos uma paisagem. Isto seria por demais reducionista. Portanto procura-se resposta abaixo para o seguinte questionamento: como o universo sensível das sonoridades agrega valor ao estudo das paisagens?

Se a paisagem é presença, sentida com todos os sentidos, há um tipo de paisagem que presta reverência e atenção ao universo do sonoro: o *soundscape*.

O *soundscape* é o material sonoro de determinado ambiente, tal qual definiu Murray Schafer em “A afinação do mundo” (SCHAFER, 1977). Este material, que abraça a paisagem, pode ser usado com uma intenção científica, ao mesmo tempo que artística.⁵⁹ Pode ser usado com uma intenção didática, quando integra uma

⁵⁹ Bernie Krause e David Monacchi são exemplos de cientistas-artistas: são pesquisadores da bioacústica e compositores de música eletroacústica. Com o mesma matéria-prima sonora (em muitos casos, bio e geofonia) fazem arte contemporânea e Ciência. Ambos estudam de que forma o *soundscape* pode traduzir cientificamente a ocorrência de variações de populações de diferentes espécies animais em um habitat (KRAUSE & FARINA, 2016; MONACCHI & FARINA, 2019) assim como utilizam as captações sonoras dos *soundscape*s pesquisados para reorganizá-las em uma composição eletroacústica de *soundscape* gerando um produto artístico que pode ser ouvido tanto em headphones em casa quanto visitando-se instalações artísticas pelo mundo, como é o caso de “*Fragments of Extinction*” de Monacchi (MONACCHI, 2013) e “*The Great Animal Orchestra*”, de Bernie Krause., implementado pela Fundação Cartier no ano de 2019. (<https://www.fondationcartier.com/en/exhibitions/international/le-grand-orchestre-des-animaux>, acessado em dezembro/2022). Artistas-pesquisadores brasileiros do universo da música contemporânea e da radioarte também retribuem e ressignificam *soundscape*s, como é o caso de Rodolfo Caesar com ‘*Tinnitus*’ (<https://soundcloud.com/rodolfo-caesar/tinnitus>, acessado em dezembro/2022) e ‘Bioacústica’ (<https://soundcloud.com/rodolfo-caesar/bioacustica>, acessado em dezembro/2022) e Janete El-Haouli, com ‘Ciranda das Mulheres’ (<https://soundcloud.com/janete-el-haouli/ciranda-das-mulheres>, acessado em dezembro/2022) e Memórias – uma reinvenção da

produção audiovisual para este fim. Ou pode simplesmente ser sentido *in loco*, ao vivo, em sua mais efêmera e exclusiva manifestação. Pode trazer paz, alegria, uma noção de pertencimento ou uma memória afetiva; tensão, dúvida e/ou medo. Muito diferente de uma fotografia, que guarda informações visuais de elementos que podem ter se alocado naquele lugar em diferentes eras da história da Terra e ali permanecido, o *soundscape* trabalha com uma materialidade do presente, já que sua matéria-prima, a sonoridade em sua totalidade, rapidamente se dissipa - ou seja, possui uma história estritamente finita no tempo. A pessoa que se encontra no centro de um astroblema, cujo impacto meteorítico ocorreu há milhões de anos atrás, convive com esta feição-testemunho (podendo evocar um pensamento de como se deu aquele evento extraordinário e catastrófico) ao mesmo tempo em que pode, por exemplo, experimentar uma sensação de paz e conforto ao ouvir o canto dos pássaros que co-habitam aquele espaço naquele exato momento, em um início de manhã ensolarado - como acontece frequentemente no Astroblema da Serra da Cangalha. O *soundscape* insere uma camada adicional e complementar que amplifica a complexidade de uma experiência sensorial.

Nesta camada, como no exemplo anterior, pode estar presente a biofonia - sons criados por organismos vivos. É possível também uma coexistência com sonoridades da chamada geofonia – sons criados por elementos não-bióticos, como por exemplo o som do vento, da chuva, o som do fluir de um riacho. E, de forma crescente, amplifica-se pelo mundo a antropofonia – os sons criados pelo ser humano e suas máquinas. (KRAUSE, Apud. DUMYAHN & PIJANOWSKI, 2011) Qual é o valor do *soundscape* em uma área de preservação natural? Quão nociva é a antropofonia nos dias de hoje e qual é a sua relação com a poluição sonora e com o nível de conforto e bem-estar que queremos deixar para as gerações futuras? Por outro lado, quão relaxante é a geofonia de um *soundscape*?

cidade jardim”. (https://soundcloud.com/janete-el-haouli/memorias_uma-reinvencao-da-cidade-jardim, acessado em dezembro/2022).

Da mesma forma que, através de *soundscape*s coletados em campo, artistas trabalham neste tipo de matéria-prima recortando, invertendo, filtrando, esticando a materialidade do som, é possível também trilhar o caminho inverso: construir um *soundscape* não previamente captado; trazer o universo da ficção para o sonoro; misturar *soundscape*s que no mundo real não se misturaram ou nunca se misturariam.. Ou ainda recriar a sonoridade de um evento raro, extraordinário, cataclísmico que ocorreu há milhões de anos atrás – e portanto recriar a paisagem sonora de um evento pretérito não-presenciado por nenhum ser humano.

Da mesma maneira que no universo visual há o foco daquilo que escolhemos olhar, mecanismo que privilegia determinadas informações visuais em detrimento de outras, no universo sonoro há a escuta seletiva. Com estes dois mecanismos de seleção/exclusão ativos, dois seres humanos percebem duas paisagens diferentes estando no mesmo lugar, no mesmo momento. As possibilidades de construção individual dessa paisagem são infinitas e assim valorizam a experiência de cada indivíduo *in loco* e suas singularidades. Esta possibilidade fenomenológica será explorada em seguida.

4.2 Geomorfologia do Astroblema da Serra da Cangalha - Metodologia

Há diversas maneiras de estabelecer um olhar geomorfológico para uma paisagem. Escolhemos, para esta parte da tese, utilizar um método híbrido (dual) que mescla o olhar sensível de campo com um trabalho de gabinete. Para o primeiro, uma abordagem descritiva empírica: observação, memória e sensações a partir de uma abordagem fenomenológica e registros fotográficos de campo fazem parte do primeiro conjunto ou primeira matéria-prima de análise geomorfológica. Para a segunda parte que conclui o método, apresentamos um trabalho de gabinete em ambiente SIG: desenvolve-se mapa hipsométrico a partir de cartas de MDE (modelo digital de elevação) e mapas da rede de drenagem contendo curvas de nível, os principais cursos d'água e as bacias hidrográficas que se inserem na área de estudo, além de uma discussão sobre a representação e aferição para a localização de uma estrutura geomorfológica complexa (como o é o Astroblema da Serra da Cangalha), a determinação e descrição de seus compartimentos de relevo assim como de suas principais estruturas concêntricas internas.

4.2.1

Primeira matéria-prima para análise geomorfológica: a escolha fenomenológica

Alexander von Humboldt é tido como um dos pais da Geografia. Naturalista alemão nascido no final do século XVIII, explorou diversas regiões da Terra⁶⁰ em busca de um entendimento amplo e global da natureza. É sua a criação das linhas isotermas que influenciarão Charles Lyell em seu “Princípios de Geologia”. (WULF, 2016: pg. 263) Apesar de ter nascido no seio do Iluminismo e carregar consigo um ímpeto positivista por medições, Humboldt foi influenciado pelas aulas de Geografia Física de Immanuel Kant, a ponto de ter um busto do filósofo em seu escritório. (WULF, 2016) Kant via como fundamental a descrição para o estudo geográfico: "A descrição permite a construção, por meio do jogo entre razão e imaginação, do senso de espacialidade do fenômeno em um determinado lugar geográfico." (VITTE, 2016) Esta ideia toma posição a partir do conceito kantiano de nível transcendental:

“Nossos sentidos, tanto quanto nossa razão, são como lentes coloridas por meio das quais percebemos o mundo. Embora talvez acreditemos que a forma como ordenamos e compreendemos a natureza seja baseada na razão pura - em classificação, leis do movimento e assim por diante -, Kant acreditava que essa ordem era moldada pela nossa mente, através dessas lentes coloridas.” (WULF, 2016: pg 66)

Assim, Kant abria espaço para o uso da imaginação em confluência com a razão, através do nível transcendental para a análise de uma natureza sistêmica. E Humboldt toma para si estes conceitos. Seus encontros em Jena com Wilhelm (seu irmão), Goethe e Schiller em acaloradas discussões pautadas na *Physische Geographie* de Kant trouxeram à Alexander von Humboldt esta menos conhecida faceta: ele passara a ser não só o Humboldt das medições científicas acuradas, mas também o Humboldt “que conciliava os dados científicos exatos e uma resposta emocional ao que ele estava vendo.” (WULF, 2016: 68) E é com a insubstituibilidade da sensação *in loco* sorvendo a experiência do fenômeno que

⁶⁰ Humboldt, que morou na Alemanha e França, visitou os vulcões italianos Etna e Vesúvio (presenciando erupções neste último), o Pico del Teide nas Ilhas Canárias e a Cordilheira dos Andes (da Venezuela ao Peru), escalando o vulcão Chimborazo no Equador – considerado até então a maior montanha da Terra. Esteve também *in loco* nos Estados Unidos, México, Rússia e Sibéria ainda no início do século XIX. (WULF, 2016)

Humboldt se antecipa à fenomenologia que surgiria praticamente um século depois pelas mãos de Edmund Husserl e, posteriormente, Merleau-Ponty.

Pautado por estas referências filosófico-geográficas, buscarei na descrição presencial sensível meu material fenomenológico para o presente capítulo.

4.2.2

Segunda matéria-prima para análise geomorfológica: o ambiente SIG

Em paralelo à descrição do universo do sensível, apresentamos também um material-produto mais objetivo para complementar a análise geomorfológica da região do Astroblema da Serra da Cangalha: o conjunto de mapas desenvolvidos a partir de dados de sensoriamento remoto assim como bancos de dados do Governo Brasileiro. São eles: o Mapa Hipsométrico e o Mapa de Rede de Drenagem e Bacias Hidrográficas da área de estudo proposta.

Mapa Hipsométrico

O Mapa Hipsométrico tem por objetivo, através de uma escala de cores, destacar a compartimentação do relevo da área de pesquisa. Cada cor está associada a um intervalo de cota topográfica, a saber: verde, amarelo, laranja, vermelho e preto.

Para gerar este mapa, utilizamos duas imagens de satélite do modelo digital de elevação ALOS PALSAR⁶¹, já que a área de estudo se dividia entre ambas: a MDT AP_25191_FBD_F7020_RT1 e a AP_25614_FBD_F7020_RT1. A partir delas, fiz o recorte em mosaico da área de interesse. Em seguida obtive, utilizando

⁶¹ A escolha pelo modelo ALOS PALSAR se justifica por sua ótima resolução horizontal: 12,5m por pixel.

Fonte: <https://asf.alaska.edu/data-sets/derived-data-sets/alos-palsar-rtc/alos-palsar-radiometric-terrain-correction/>

o software QGIS 3.12⁶², curvas de nível de intervalos de 20m. Destas curvas, extraí o Mapa Hipsométrico com *hillshade* - utilizando o mesmo software. Os arquivos ALOS PALSAR foram obtidos do site <https://search.asf.alaska.edu/>⁶³ - hospedado pela Universidade do Alaska em parceria com a NASA.

Mapas de Rede de Drenagem, Cotas Altimétricas e Bacias Hidrográficas

Estes mapas tem por base as curvas de nível (geradas a partir do Mapa Hipsométrico) e os dados oficiais da Agência Nacional de Águas (ANA) em formato ‘.gpkg’ para a rede de drenagem (cursos d’água) dos rios brasileiros. As bacias destacadas são sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves Grande - notadamente as sub-bacias que alimentam este rio pela sua margem sul no município de Campos Lindos (TO) e que executam a drenagem da área do Astroblema da Serra da Cangalha e arredores.

Como procedimento, importei as curvas de nível e os dados da rede de drenagem no software QGIS 3.12. Ainda pelo mesmo software, escolhi fazer a delimitação das sub-bacias “manualmente” como mais um exercício de mergulho no entendimento da dinâmica geomorfológica local. Diferentemente da obtenção das curvas de nível através do MDE, procedimento este puramente algorítmico, acreditamos na importância do labor humanizado para delimitar as bacias e sub-bacias hidrográficas. Esta escolha nos recompensa com uma maior imersão na dinâmica fluvial/topográfica da área de estudo delimitada pois para tal percorremos cada dobra das curvas de nível esquadrinhando seus degraus e visualizando os entalhes que esculpem o relevo.

⁶² Software livre utilizado para aplicações em sensoriamento remoto, como alternativa ao caro ArcGIS.

⁶³ Acessado em Abril/2020.

4.3 Análise Geomorfológica na Escala da Paisagem

4.3.1 Descrição Fenomenológica

Início a Análise Geomorfológica na escala da paisagem através da abordagem fenomenológica conforme proposto na metodologia descrita anteriormente. Em meados de 2019 planejamos e executamos o primeiro trabalho de campo na região escolhida para esta tese. Mais do que um primeiro campo, esta foi a primeira vez em que eu, Alexandre, estive em Campos Lindos e na Serra da Cangalha⁶⁴. A partir da minha vivência *in loco*, depositarei aqui minhas impressões, memórias e afetos sobre a área de estudo em questão.

Como pré-campo, estabeleci contato preliminar com o professor Alvaro Crósta, que me forneceu vasto material geológico sobre o Astroblema da Serra da Cangalha assim como sobre astroblemas de forma mais geral e crateras de impacto meteorítico, além do contato do professor Marcos Vasconcelos, autor da tese de Doutorado orientada por Crósta que fundamenta em grande medida a parte geológica deste trabalho na escala local. De posse deste material teórico-geológico e mais alguns mapas auxiliares (Mapa Geológico do Estado do Tocantins, assim como folhas de mapas topográficos IBGE da região) parti para este primeiro trabalho de campo.

Poeira. Bem diferente da paisagem do Estado do Rio de Janeiro, no sul do Maranhão em época pouco chuvosa - como costumam ser os meses inverniais nesta região - a vegetação, embora ainda verde, é baixa (pouco acima da altura dos olhos) e alimentada por um véu de poeira que se levanta e baila rente com o passar dos caminhões e automóveis em estrada de terra. Foram 76 km de estrada precária

⁶⁴ Esta pesquisa de Doutorado previa originalmente dois trabalhos de campo: o primeiro, de reconhecimento, no início do estudo - como um campo de reconhecimento geral - e o segundo, no último terço do tempo total deste Doutorado, para afinar - ou reconfigurar - as leituras e providenciar o que faltasse. Sobre a importância de revisitar, já dizia Ab' Saber: "Para um geógrafo, voltar a uma região do grande interior brasileiro, é um ato de revisão de paisagens e espaços, a nível do físico, ecológico e social. Mas também a oportunidade de se questionar a si próprio, em termos de mudança de ótica de observação e do modo de perceber os sistemas de relações entre grupos humanos e meios geográficos em mudança." (AB' SABER, 1963) Infelizmente por conta da pandemia e falta de verba para pesquisa este segundo trabalho de campo não foi viabilizado tampouco realizado.

cortando o cerrado seco, percorrendo a MA-133 e a MA-140 que, na prática, são uma única estrada de terra com bifurcações cerrado adentro. Muitos caminhões e ainda mais poeira. Muito calor. Algumas horas. Estas algumas horas dentro do carro em movimento dinâmico e contínuo avançando cada vez mais ao sul me trouxeram uma paisagem que me é diferente: um horizonte que não se alcançava olhando diagonalmente para cima (delimitada pelo cimo de morros ou montanhas), e sim para frente. A topografia que corta esta parte do cerrado sul maranhense (próxima à fronteira com o Estado do Tocantins e o Município de Campos Lindos) é bem plana. Não há, no horizonte, nenhuma linha de montanhas que molde um horizonte irregular. Já é, inclusive, uma topografia bem diferente daquela que ficou para trás na Transamazônica. Lá dirigíamos por grandes descidas e subidas alternadas e dominavam os chapadões: monumentos rochosos em formato de mesa, o topo aplainado, escarpas de declividade bruta, muitas vezes com mais de centena de metros de altimetria relativa. Lindas estruturas como o Morro do Chapéu, próximo a Carolina/MA, nomeado pelo formato característico, autoexplicativo.

A partir do momento em que entrei na MA-133, aquelas impressionantes estruturas de rocha sedimentar ficaram para trás e não só o caminho ficou mais nivelado (sem subidas e descidas tão proeminentes e longas) como também a vegetação passou a ser a referência primeira de paisagem e horizonte. Neste trecho ermo despido de colinas, morros, serras, montanhas ou qualquer outra feição de relevo a se notar, eu contemplava o cerrado à esquerda e à direita na minha paisagem-janela, recorte em movimento e seus teimosos 15km/h atrás de caminhões em fileira envoltos por seus enxames de poeira transportando soja, barulho e lentidão.

Até que duas novidades aparecem no fim desta viagem. Súbito, a paisagem muda. Meu olhar, que se acostumara ao emaranhado de árvores baixas caracterizando o cerrado de médio porte do centro-oeste toma um susto com a nova paisagem homogênea que se descortina à esquerda e à direita da estrada de terra: um imenso mar de soja, até aonde a vista alcance. E enquanto meu olhar se readequa à uniformidade visual que o latifúndio proporciona, surge ao longe como que arranhando a continuidade linear do horizonte em soja uma formação rochosa que, imponente, se ergue. Diferente do padrão que eu via na BR, essa forma de relevo possuía um crista irregular com topos arredondados. E quanto mais percorro a

estrada, maior a estrutura se torna. A estrada que corta a plantação me leva em direção à ela. Este foi meu primeiro contato real, visual, com a Serra da Cangalha.

Em Campos Lindos, logo após atravessar a ponte de concreto por sobre o rio Manuel Alves Grande e assim chegar ao Tocantins, há de novo uma mudança. Bem, cabe dizer antes de tudo que o Astroblema da Serra da Cangalha se encontra neste município, mas em região rural - afastado alguns quilômetros ao sudoeste da cidade-sede que nomeia o mesmo. A cidade de Campos Lindos é uma pequena cidade projetada, com seus quarteirões majoritariamente retangulares, ruas de terra e casas. Uma de suas entradas localiza-se logo após a ponte. Antes mesmo de deixar as coisas no hotel, atravessei a cidade e fui em direção ao astroblema. Percorre-se de novo estrada asfaltada (TO-226)⁶⁵ pela saída sudoeste da cidade, logo após passar o Hotel Campos Lindos e abandonar a área urbana através de uma rotatória.

Percorrendo esta estrada, de novo a paisagem muda. O som de música alta, sertanejo universitário que tocava-agredia na ponte que dava acesso à cidade ficou para trás. Apenas o barulho do motor, o vento normal de um carro em movimento em uma estrada asfaltada e um relevo baixo, avermelhado em suas vertentes abruptas desnudo, coisa de 30 a 50m de amplitude altimétrica, bem próximo à estrada de ambos os lados. São formações tabulares de cimo aplainado preenchidas por campos de cerrado no topo. Se elevam e percorrem de forma contínua de um lado e de outro a paisagem, elevando também o horizonte azul pincelado por brancas nuvens. Vez ou outra servem de pasto à propriedades rurais que salpicam ao longo da estrada. Grama, bananeiras e uma população bovina preenchem estas novas paragens. A soja ficou para trás, já não se vê mais. Descortina-se, vez por outra, a silhueta superior da Serra da Cangalha, escondida por estas mesetas mais próximas de mim. Silhueta disforme, ondulada e irregular que quebra a padronização geométrica das topografias mais cercanas. Quando, após uma curva, estas formações se esvaem e o horizonte se distancia e se alarga, observo ainda assim formações tabulares semelhantes ao longe. Parece que elas dominam a região. E seriam soberanas, não fosse uma estrutura de relevo diferente: a Serra da Cangalha.

⁶⁵ Esta estrada liga a área urbana de Campos Lindos à cidade de Goiatins/TO, pouco mais de 100km dali à oeste, pela rodovia sempre asfaltada. Esta é a única rodovia asfaltada a chegar na cidade de Campos Lindos.

Muitas vezes o nome dá a dica. Neste caso, não é diferente. Cangalha, na região, é o nome dado a uma peça que é colocada no lombo dos animais, para monta-los e transportar carga nas laterais. Essa silhueta corresponde, grosso modo, à linha que molda a estrutura da Serra da Cangalha, vista de seu entorno - como o formato do perfil de uma sela: as extremidades do topo, à esquerda e à direita, são mais altas - e o centro do topo, rebaixado em uma cunha côncava. Suas encostas, com declividade de moderada a alta, são preenchidas por vegetação rasteira do cerrado e algumas árvores. Ainda falando de suas encostas, lá e cá afloram, por vezes, uma rocha avermelhada. Um morador me disse algo interessante: *"Você pode dar a volta nela que ela parece sempre igual, mantendo essa forma da cangalha. Por isso o nome."* E se percorremos tanto a TO-226, que margeia seu flanco norte, quanto a estrada de terra que atravessa-a no eixo norte-sul pelo seu flanco leste - sentido Rancharia, em muitos trechos isso parece verdade. Percorri estes dois caminhos de carro. Por fora, de longe, ela se diferencia bastante por sua grande amplitude altimétrica mas também pela linha variavelmente ondulada de cume que a destaca das elevações de topo aplainado que nos envolvem ao longo da estrada asfaltada próxima e a conferem uma aparência de serra. E este "afundamento central" nesta linha é que dá à ela o aspecto da cangalha. Não fosse aquele curioso fato de que ela parece ter o mesmo formato ao rodeá-la, seria como olhar para uma serra comum.

Dias depois de minha chegada à Campos Lindos, consegui contatos na cidade e uma mini-expedição para percorrer à pé o interior da serra. A ideia era largar o carro próximo à face oeste da Serra da Cangalha e, à pé, contorna-la para conhecer seu interior a partir da face norte - e assim o fizemos.

Era manhã, céu azul com algumas nuvens e muito calor. Há muito não chovia na região. Paramos o carro em um pasto e iniciamos a caminhada. O horizonte à minha direita era dominado pela crista da serra em formato de cangalha. À esquerda, vegetação. Entramos em uma mata mais fechada percorrendo o interior da calha seca de um riacho. Após alguns minutos percorrendo esta calha descortina-se uma nova, estonteante paisagem: surgem enfim as impressionantes paredes rochosas, íngremes e avermelhadas, retorcidas e fraturadas, com centenas de metros de altura erguendo-se tanto à nossa frente ao longe, quanto ao lado direito e ao lado esquerdo. Finalmente adentrávamos, por baixo, em sentido norte-sul, o interior daquela gigantesca geodiversidade crateriforme.

A caminhada durou em torno de seis horas. Percorremos a parte interna inferior oeste para depois fazer a subida da encosta pelo sua face oeste interna e descer pela face oeste de fora, pela parede externa daquela serra anelar. A parada no topo da serra me deu a primeira visão geral daquele monumento. Aquele é, sem dúvidas, o melhor ponto *in loco* para, a olho nu, entender o formato único dessa estrutura. Aquele é um ponto-chave. Soma-se ao cansaço e à sede extrema de um lugar sem qualquer fonte de água em época de seca, o maravilhamento. O formato circular da serra vazada torna-se muito evidente. Nas suas faces internas (muito mais do que nas externas) observamos bem os afloramentos rochosos. Por conta da alta declividade dessas paredes, em sua maioria estão desnudas de vegetação. Ali observo com detalhes as deformações das camadas sedimentares (dobras na escala do metro/decâmetro), muito fraturamento e lá, apenas lá podemos com mais propriedade ter uma breve ideia do que deve ter sido o impacto. Sentar na cumeeira da Serra da Cangalha e olhar pra dentro dela. A paisagem é inesquecível: a beleza do cerrado verde preenchendo aquela depressão circundada pela parede rochosa anelar (sem aparente manejo humano recente) que outrora fora o ponto mais alto de um enorme núcleo soerguido há milhões de anos atrás. Esta serra, singular, possui ainda uma característica interessante, digna de nota: seu formato anelar, crateriforme, não completa os 360 graus em uma cota altimétrica semelhante. Em sua face norte observamos, do alto, que há um rebaixamento significativo da crista como se fosse quase que uma abertura naquela serra circular. Por lá, inclusive, que entramos. Por lá passava aquela calha seca de riacho. Mais do que um anel, o formato da Serra da Cangalha se assemelha a um colar - palavra muito bem utilizada para delimitar essa área do astroblema no estudo geológico pretérito de Crósta, Kenkmann, Reimold e Vasconcelos realizado na região.

E, pra finalizar o relato: depois de contemplarmos por um tempo o interior da serra-em-formato-de-cratera, nos voltamos para o seu exterior, ainda posicionados na sua crista. O último momento lúdico propunha-nos olhar ao longe, aonde a vista se perde, e ver bem pequenino o relevo tabular que demarca os limites do que teria sido a real borda da pretérita cratera. O relevo, neste ponto, é o que delimita e ao mesmo tempo nos fornece um mínimo de escala para entendimento de um evento tão forte, singular e transformador – o qual, até que se prove o contrário, a História da Humanidade ainda não teve a oportunidade de presenciar ao vivo. Alguns eventos, inclusive, preferimos que fiquem no registro do

imaginário – por uma questão até de preservação da espécie. De qualquer forma, a experiência da imaginação, estando ainda diretamente dentro da cicatriz real (embora bem erodida) do edifício crateriforme é, sem dúvidas, impressionante.

Alguns artistas pensam que o conhecimento científico elimina a poesia do mundo. Eu não compartilho dessa visão maniqueísta. A fruição estética de uma paisagem pode ganhar novos contornos poéticos a partir do entendimento do que gerou aquela forma, aquele relevo, aquela depressão interna de uma estrutura crateriforme: o que gera um impacto meteorítico e como ele evolui. É possível imaginar, daquele mesmo ponto, o pretérito evento catastrófico, o som ensurdecedor; logo a seguir o rápido soerguimento (para além daquelas altitudes, inclusive) de um núcleo interno de uma cratera do tipo complexa enquanto rochas são atiradas para o alto, reagrupadas no solo, enquanto algumas vaporizadas, outras derretidas se mesclam ou somem da paisagem. Novas rochas são criadas; assinaturas microscópicas de pequenas fraturas estampam grãos de quartzo que milhões de anos depois estarão na superfície de uma estrutura erodida pelas forças do tempo. Um incomensurável reordenamento de toda aquele ambiente biótico e abiótico - em não mais que poucos minutos! Ao mesmo tempo, em um gigantesco salto temporal, é possível imaginar uma chuva torrencial hoje, neste mesmo lugar. Trovões, raios, os animais se escondendo da chuva. Aquelas paredes íngremes, desnudas e avermelhadas da parte interna da serra crateriforme se transformam em receptáculos para uma drenagem de muita água capturada e concentrada para o interior da depressão. Topografia que guia o escoamento para fora da Serra da Cangalha, levando água e sedimentos barrentos das fraturadas paredes rochosas e do solo encharcado. Por outro lado, é ainda possível imaginar a noite de céu limpo, após a chuva, neste sítio especial: o breu a um palmo do nariz, o céu pontilhado por cerca de 10.000 estrelas cintilantes em um lugar de pouquíssima poluição luminosa – fato esse cada vez mais raro no mundo cada vez mais globalizado e ocupado pelos seres humanos – o som dos animais noturnos do cerrado como *soundscape* dominante e vez por outra, de forma repentina - quase distraída - perceber em um átimo de segundo um rápido e longo traço luminoso que, uma vez mais, firme risca o escuro firmamento do céu.

Só me foi tão verdadeiro esse faz-de-conta da recriação desse evento singular a partir do momento em que eu estive ali, *in loco*. Olhar para tudo aquilo com a consciência mínima de que ali houve, mesmo que há milhões de anos atrás,

um impacto real de um corpo celeste impressionantemente veloz, a uma hipervelocidade, que gerou a cratera cujas reminiscências-testemunho estavam literalmente debaixo de meus pés torna essa experiência única. Como não se maravilhar com a narrativa que a Ciência nos proporciona, contando histórias reais de milhões de anos atrás? Uma paisagem, somada ao conhecimento atrelado à ela, se ressignifica e se enriquece.

É a partir da vontade de replicar para o máximo de pessoas interessadas nos grandes eventos do nosso planeta, que penso na importância de conceitos⁶⁶ que cada vez mais são apontados e remexidos; explorados e desenvolvidos: a Geocomunicação, a Geoeducação, o Geoturismo responsável e sustentável voltado para uma geoconservação de sítios de importância descomunal para a Ciência e para pessoas que valorizam os grandes monumentos naturais, os quais nos ajudam a contar a História do nosso planeta. Esse mote voltará nos capítulos posteriores dessa tese, nos quais tudo isso se interconecta. A seguir damos sequência à análise complementar de gabinete, com o auxílio de nossa segunda matéria-prima conforme especificado na metodologia deste Capítulo, iniciando-se pelo Mapa Hipsométrico. (Figura 4.2)

⁶⁶ Estes conceitos serão devidamente explicitados e explicados no Capítulo 5, que trata da Geodiversidade e seus correlatos.

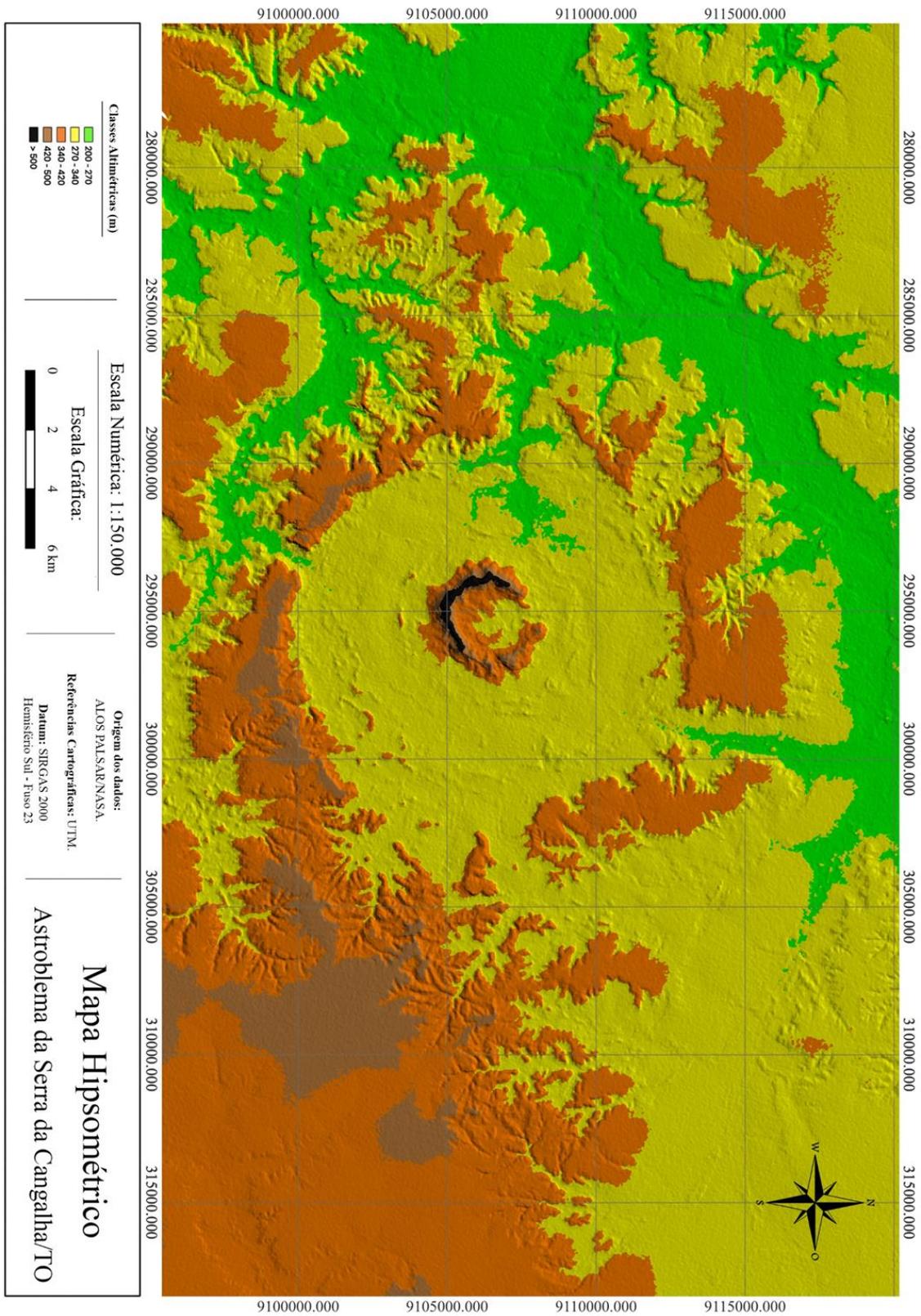


Figura 4.2 - Mapa Hipsométrico da área do Astroblema da Serra da Cangalha.

4.3.2 – Análise de Gabinete: ambiente SIG

Hipsometria

O mapa Hipsométrico (Figura 4.2) revela de forma muito clara os principais compartimentos de relevo⁶⁷ atuantes na área do Astroblema da Serra da Cangalha. O mesmo se encontra praticamente centralizado no mapa. Delimitando a borda externa do Astroblema observamos baixos platôs de topo aplainado esculpido por uma erosão remontante. Estes compartimentos de relevo se relacionam com o afloramento da Formação Pedra de Fogo e estão marcados grosso modo pela altimetria de legenda laranja. Direcionando o olhar para o interior do astroblema, observamos uma área planificada, como uma planície anelar porém rebaixada em relação ao topo dos baixos platôs: esta é a área da chamada bacia anelar do astroblema, majoritariamente ocupando a altimetria de legenda amarela.

Chegamos então à Serra da Cangalha propriamente dita: o compartimento de relevo de maior altimetria do mapa. Ela aparece representada pelas cores laranja, marrom e preta que, juntas, apresentam o formato de um colar, se visto de cima. Neste colar, notamos um significativo gradiente altimétrico: primeiro uma baixa cota em sua porção norte (dando lugar inclusive à altimetria de legenda amarela), em contraste com a sua mais alta linha de cume de sudeste a noroeste (altimetria de legenda preta). A Serra da Cangalha, por ser uma estrutura circular vazada, possui vertentes externas e internas. Sendo abraçada por estas vertentes internas situa-se a depressão central, uma minibacia que recebe os sedimentos destas paredes. No mapa ela é representada pela área de coloração amarelada no centro do astroblema.

Portanto, destacamos aqui, compondo a área do astroblema (de fora para dentro), quatro domínios de relevo importantes: delimitando as paredes externas

⁶⁷ Não há atualmente na Geomorfologia brasileira uma sistemática padronizada que defina uma única taxonomia aplicável para classificação de relevo multiescalar no país. Deste impasse surge, em 2019, uma proposta para a criação do Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo (SBCR). (BOTELHO & PELECH, 2019; IBGE, 2020) Até o momento de fechamento desta tese o SBCR ainda não foi definido e publicado como tal. Por conta desta indefinição e por conta das singularidades geomorfológicas encontradas no relevo de astroblemas, optou-se neste trabalho, sempre que possível, por utilizar as nomenclaturas devidas colhidas nos trabalhos geológicos pretéritos os quais descrevem de forma introdutória a geomorfologia do Astroblema da Serra da Cangalha. Quando necessário, levantam-se neste subcapítulo também discussões quanto a novas nomenclaturas para determinados compartimentos de relevo.

Vale ressaltar a importância de inserir na discussão do SBCR estes compartimentos singulares de um relevo de características astroblêmicas que encontram-se presentes no território brasileiro.

da antiga cratera temos os baixos platôs; depois a planície anelar; em seguida a serra crateriforme ou colar serrano; e por fim a depressão central, interna ao colar conforme visto na figura 4.3

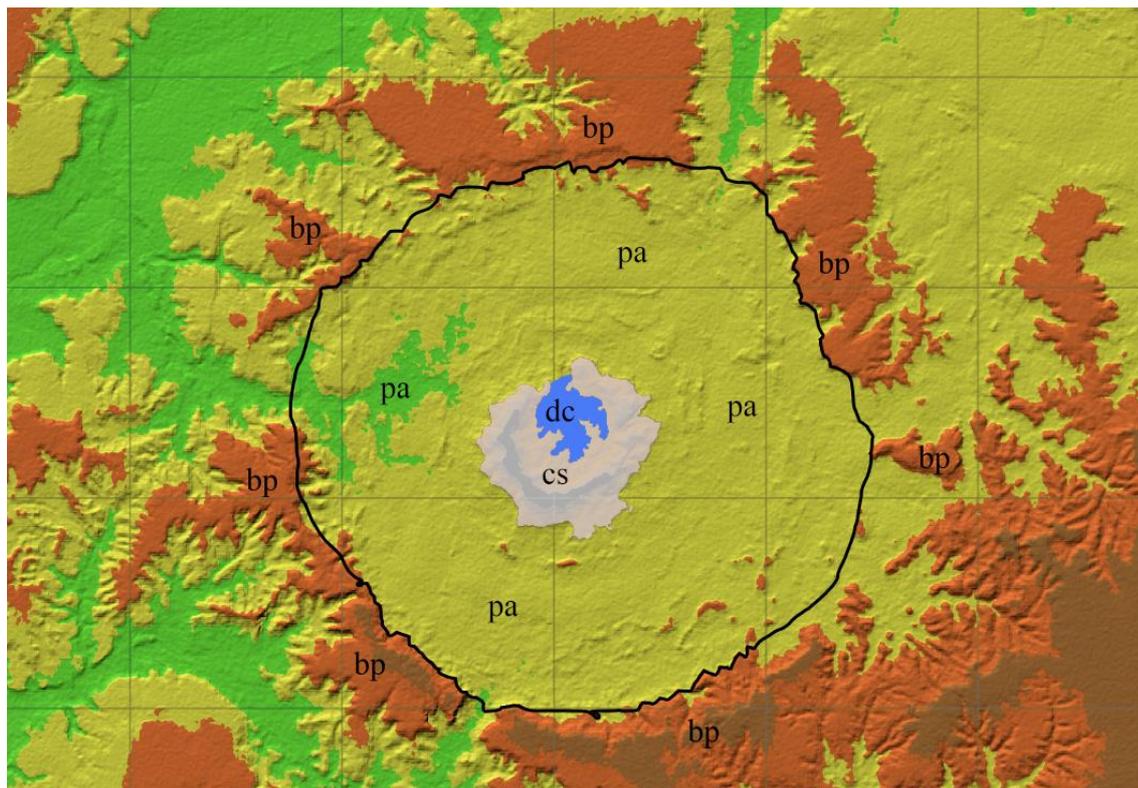


Figura 4.3 – Imagem de autoria própria que utiliza como background um recorte do Mapa Hipsométrico (Figura 4.2), destacando os compartimentos de relevo no entorno e interior do astroblema (bp = baixos platôs; pa = planície anelar; cs = colar serrano e dc = depressão central) para melhor visualização da distribuição espacial-superficial dos mesmos. A linha preta em formato quase-circular delimita o perímetro da borda externa do astroblema da Serra da Cangalha.

A Serra da Cangalha, nosso colar serrano, é uma feição única. Sua crista de topografia irregular confere à ela esta classificação geomorfológica de uma serra, mas sua estrutura arqueada abraçando a depressão central e aberta na face nortenoeste confere-lhe esta singularidade em sua forma, o que explica sua nomenclatura: tal qual um colar aberto, a estrutura circular da Serra da Cangalha

também não é completamente fechada. Ao analisar-se seu perfil topográfico, a variação altimétrica se torna bem evidente. No que seria a abertura do colar, em sua face norte-noroeste, encontra-se a menor cota altimétrica: 308 metros sobre o nível do mar (m.s.n.m.). Já o pico da serra, com seus 622 m.s.n.m. situa-se na parte sudoeste da mesma. Temos, portanto, uma amplitude altimétrica de 314 m entre os pontos mais altos e mais baixos da crista. Observamos ainda pelo perfil topográfico que esta linha de cumeeira (divisor de drenagem) à oeste possui altimetria mais elevada, se comparada à da porção leste da serra, que vai ter o seu ponto de máximo pouco abaixo dos 500 m.s.n.m..

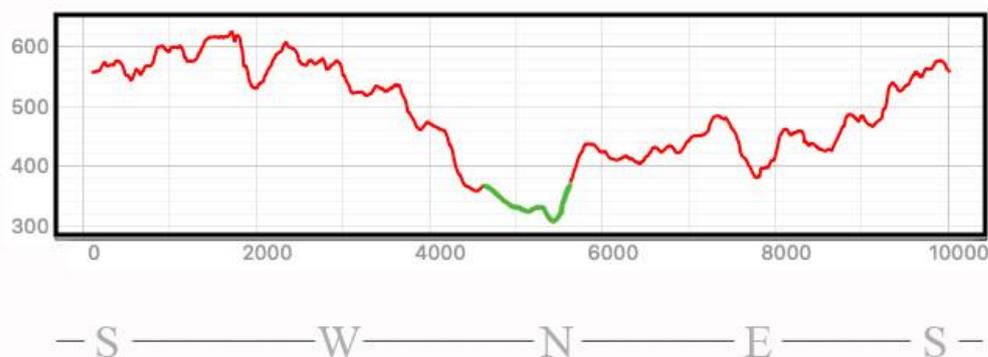
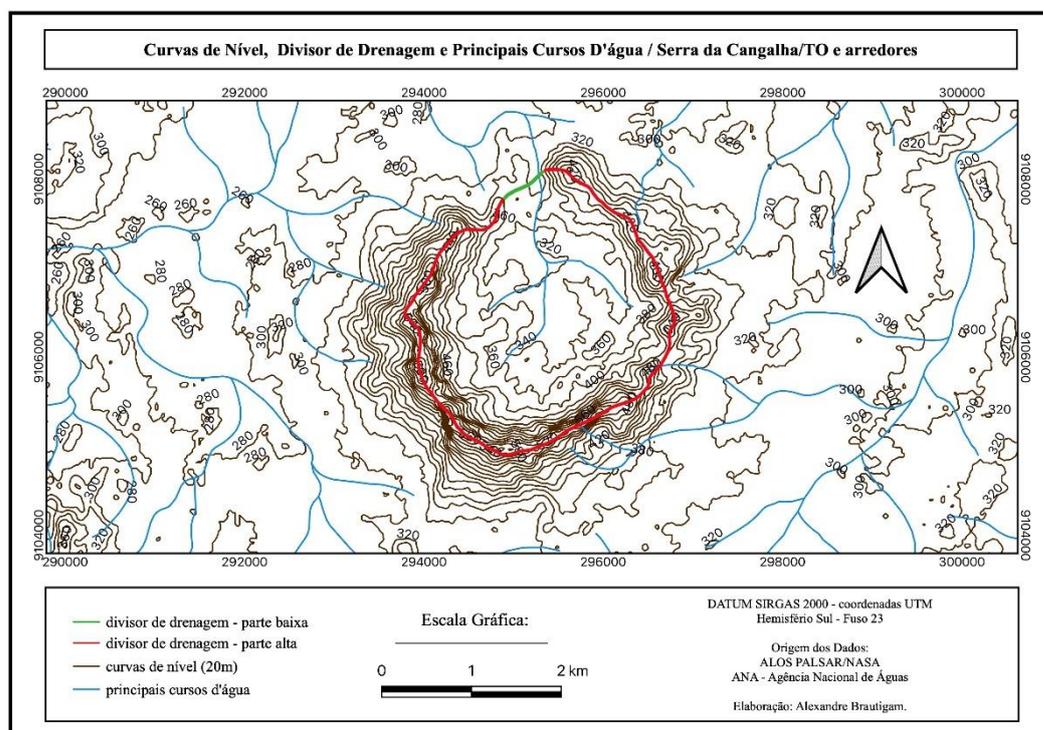


Figura 4.4 - (em cima) Área do colar serrano em curvas de nível e sua drenagem principal em azul. Em vermelho e verde, o divisor de drenagem do colar serrano. (embaixo) Perfil topográfico aberto da crista da Serra da Cangalha/TO. Eixos vertical e horizontal em metros. A parte verde corresponde à parte do divisor na face N-NO, melhor acesso à depressão central.

Para um futuro produto de Geoeducação/Geocomunicação é importante salientar algumas minúcias sobre estes diferentes compartimentos de relevo acima apresentados e as confusões usuais acerca do astroblema, da serra e de uma pretérita cratera de impacto.

Evidências geológicas indicam que houve um choque meteorítico neste local há centenas de milhões de anos atrás, conforme já visto no Capítulo 3. Este impacto criou, à época, uma cratera de impacto meteorítico do tipo complexa. Esta cratera possuía possivelmente uma parede/borda externa que se ergueu logo após o choque e um núcleo soerguido no seu centro, de formato dômico. Por conta do choque ter atingido uma litologia sedimentar, este núcleo soerguido trouxe à superfície camadas sedimentares que estavam já depositadas em subsuperfície naquele momento. Por conta disso, observamos uma distribuição circular aparentemente concêntrica de camadas sedimentares diferentes com idades distintas, sendo a mais central também a mais longeva - a que estava mais fundo e mais foi soerguida, aflorando de volta (Figura 3.8). Não só as idades de cada estrato são diferentes entre si (por conta da ordem de deposição estratigráfica na bacia sedimentar); também suas respectivas resistências litológicas à erosão o são, por serem rochas sedimentares diferentes entre si.

Por conta de uma erosão diferencial baseada nestas resistências - segundo McHone (1986) e Vasconcelos (2012) - a seguinte evolução da paisagem se deu ao longo destes milhões de anos: a área mais central ocupada pela Formação Longá oferecia menor resistência às intempéries desenvolvendo alta taxa de erosão e culminando hoje em uma depressão interna; a camada seguinte, ocupada pela Formação Poti, por sofrer menos com a erosão, hoje aparece com uma maior cota altimétrica, já que a Formação seguinte, a Piauí, também oferece menos resistência à erosão do que a Formação anterior. Coincidentemente, justamente a camada do meio (Fm. Poti) é a mais resistente das três. Resistência essa que se tornou ainda maior por um processo de silicificação que afetou de forma moderada a intensa os arenitos Poti que perfazem o colar. Assim, o que antes era um domo, por conta destas características descritas acima, com o passar do tempo se transformou em um colar serrano/serra crateriforme.

Atualmente muitas pessoas pensam que este colar serrano, chamado de Serra da Cangalha, é o que restou das paredes da antiga cratera de impacto. Em outras palavras, é comum haver uma confusão entre o que é a Serra da Cangalha e

o que é o astroblema que leva seu nome. Na realidade a borda externa da erodida préterita cratera é muito maior do que o perímetro da Serra da Cangalha. Este grande perímetro da borda do astroblema está delimitado pelas bordas do outro compartimento de relevo da área: os baixos platôs. Quando subimos na crista da Serra da Cangalha, olhar lá de cima pras imponentes paredes internas (que protegem, em um abraço litológico, a depressão central) já é impressionante. Mas entender que aquilo não é a cratera em si e sim apenas uma parte do núcleo soerguido de uma estrutura muito maior é ainda mais impressionante. Essa discussão abre, ainda, uma nova frente de investigação referente às estruturas quase concêntricas que moldam a geomorfologia do astroblema.

Pode-se enxergar o Astroblema da Serra da Cangalha da seguinte maneira: no plano do solo, retirando-se o eixo z das altitudes, apresentam-se quatro zonas morfoestruturais quase concêntricas, fechadas e de formatos próximos ao circular, mas irregulares. Listam-se abaixo:

A maior delas é aquela que delimita em seu interior o Astroblema da Serra da Cangalha. Representa a área total do astroblema e seu perímetro encerra a borda externa, remanescente dos limites da antiga cratera meteorítica. Vamos chamá-la aqui de borda do astroblema, quando nos referirmos ao perímetro dessa forma e dessa área do astroblema, quando nos referirmos ao seu preenchimento completo, para dentro destes limites.

A segunda maior compraz a área que delimita não mais o astroblema inteiro, mas apenas o que seria a área de seu núcleo soerguido – a estrutura interna que define esta antiga cratera como uma cratera complexa. Estes limites definem não só o núcleo soerguido, mas também a área da atual Serra da Cangalha.

A terceira forma quase concêntrica à borda da cratera e ao núcleo soerguido é o divisor de drenagem da Serra da Cangalha. Esta forma anelar irregular é importante pois delimita não só toda uma situação específica de bacias de drenagem como também representa, para o Geoturismo e para o Astroturismo potenciais pontos de interesse, tanto pelo seu valor cênico diurno quanto noturno: ao longo desta cumeeira tem-se uma visão privilegiada e panorâmica da parte interna do colar serrano, ou seja da depressão central e seu cerrado, assim como de um céu noturno livre de obstáculos para a observação de toda a abóboda celeste, caso atinja-se o ponto de maior altimetria desse divisor de drenagem.

A última forma quase concêntrica em relação às três anteriormente aqui

apontadas é aquela que delimita a depressão central. É dentro dela, especialmente, que pode-se sentir verdadeiramente abraçado por esta serra crateriforme única.

Portanto é interessante notar que é muito fácil confundir a Serra da Cangalha com o Astroblema da Serra da Cangalha, por exemplo, quando são estruturas nas quais uma contém a outra mas ao mesmo tempo são, em suas totalidades, diferentes entre si.

Portanto, para estruturas quase concêntricas, qual coordenada geográfica deve-se escolher para determinar a posição no espaço do astroblema da Serra da Cangalha? Como deve-se “pontificá-lo” ?

Uma opção encontrada na Geometria para definir um ponto de uma estrutura fechada irregular é buscar sua centroide. A centroide é um ponto (x,y) definido pela média de todos os pontos que delimitam o perímetro. Para um círculo ou para um quadrado, sua centroide devolve o mesmo ponto encontrado para o seu centro. Mas para uma superfície irregular não-simétrica, a centroide apresenta um ponto que busca um equilíbrio melhor entre cada ponto que define seu perímetro.

Calculadas as centroides de cada uma das quatro formas descritas acima, observa-se que elas não se encontram todas na mesma coordenada geográfica:

Centroide da borda do astroblema:

- em graus, minutos e segundos: $8^{\circ} 4' 55''$ S, $46^{\circ} 51' 16''$ W
- em coordenadas UTM: 23S 295644 9106188

Centroide do núcleo soerguido:

- em graus, minutos e segundos: $8^{\circ} 4' 46''$ S, $46^{\circ} 51' 25''$ W
- em coordenadas UTM: 23S 295365 9106460

Centroide do div de drenagem:

- em graus, minutos e segundos: $8^{\circ} 4' 47''$ S, $46^{\circ} 51' 27''$ W
- em coordenadas UTM: 23S 295304. 9106416

Centroide da depressão central:

- em graus, minutos e segundos: $8^{\circ} 4' 42''$ S, $46^{\circ} 51' 26''$ W

- em coordenadas UTM: 23S 295336 9106572

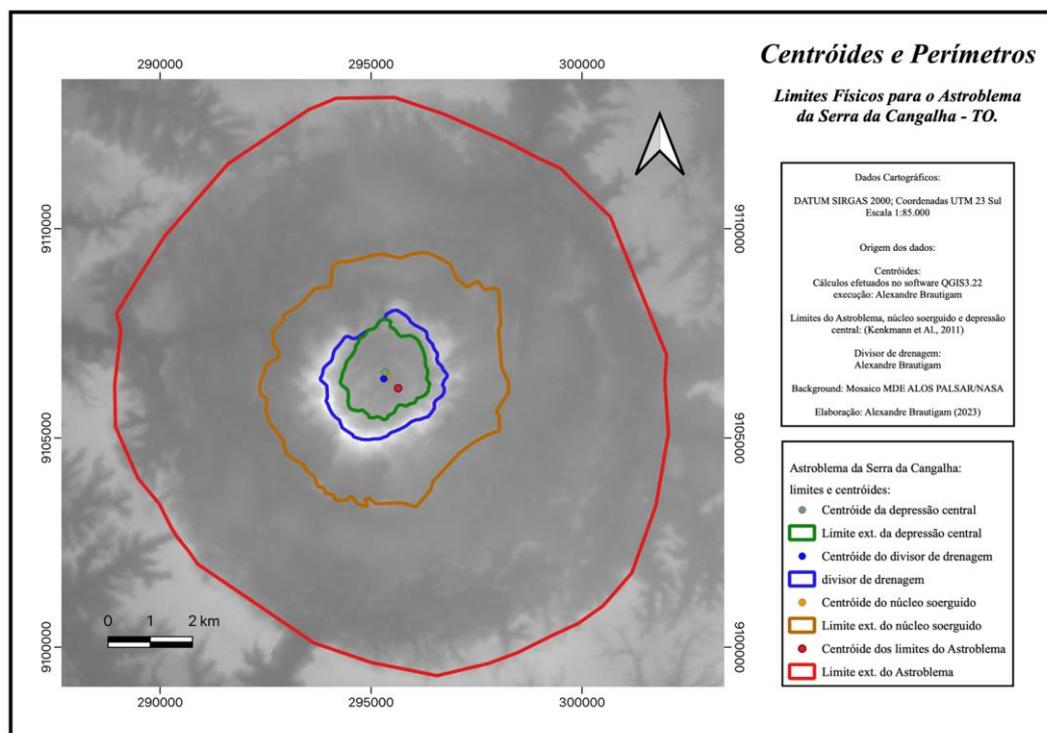


Figura 4.5 – Mapa sobre MDE desenvolvido a partir de dados ALOS/PALSAR. Apresentam-se as quatro formas descritas acima (borda do Astroblema da Serra da Cangalha; núcleo soerguido deste astroblema; divisor de drenagem da atual Serra da Cangalha e depressão central do núcleo soerguido do astroblema) e suas respectivas centróides.

Observa-se, na Figura 4.5 acima, que a controide do astroblema (ponto vermelho no mapa) apresenta-se mais afastada, se comparada às outras três. A Figura 4.6 (na próxima página) apresenta esta característica espacial em mais detalhe, utilizando-se de uma escala maior.

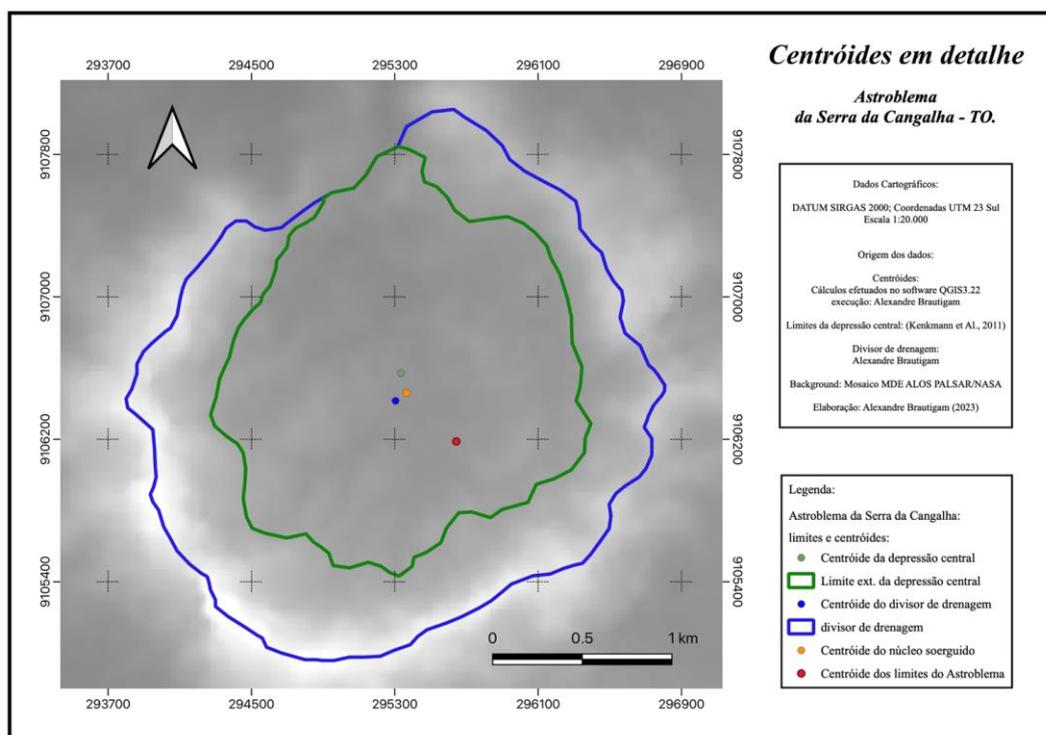


Figura 4.6 – Mapa sobre MDE desenvolvido a partir de dados ALOS/PALSAR. Apresentam-se, em maior escala, as centróides das quatro formas descritas acima (borda do Astroblema da Serra da Cangalha; núcleo soerguido deste astroblema; divisor de drenagem da atual Serra da Cangalha e depressão central do núcleo soerguido do astroblema) assim como os respectivos limites externos do divisor de drenagem e da depressão central, ambos contidos na área da Serra da Cangalha.

Considerando a centróide da depressão central (ponto verde nos mapas das Figuras 4.5 e 4.6) como a origem de um plano cartesiano bidimensional, nota-se:

Centróide da borda do astroblema:	+308m, -384m
Centróide do núcleo soerguido:	+029m, -112m
Centróide do divisor de drenagem:	-032m, -156m
Centróide da depressão central:	+000m, +000m.

Ou seja, há um deslocamento com mais de 300m de distância em ambos os eixos entre a centróide da depressão central e a centróide da borda do astroblema.

Como pretende-se “pontificar” todo o astroblema e não só a Serra da Cangalha, escolhe-se a coordenada geográfica determinada pela centróide da borda do astroblema como sendo a coordenada geográfica do Astroblema da Serra da Cangalha, apresentada no Capítulo 3 desta tese – mesmo sendo esta mais distante

em relação à posição das outras três.

Outra discussão aberta sobre descrições dessas formas – que podem ser importantes em materiais e produtos de geocomunicação e geoeducação envolvendo o Astroblema da Serra da Cangalha e suas multiestructuras – envolve o valor de seu diâmetro, quando trata-se de uma escala maior.

Uma cratera possui forma quase anelar. Mas essa forma é, de maneira mais detalhada, extremamente irregular – afastando-se de uma forma perfeitamente circular ou mesmo elíptica. Portanto, como simplificar essa forma em termos de suas dimensões quando pretende-se descrever seu tamanho a partir de uma vista superior bidimensional planificada? Apresenta-se no presente trabalho uma opção para este impasse a partir de dois métodos diferentes. Posteriormente comparam-se os resultados.

Método 1:

- busca-se um círculo-referência que esteja circunscrito à forma analisada, com centro na centroide desta forma;

- define-se diâmetro da forma irregular como sendo uma semi-reta que se inicia em qualquer ponto contido no perímetro desta forma; passa pela centroide da mesma finalizando-se em um segundo ponto no perímetro da forma. Observa-se que, sendo a forma irregular, haverá vários diâmetros, cada qual com um comprimento diferente, variando entre um diâmetro mínimo e um máximo, delimitados e definidos pela irregularidade da forma. Quanto mais irregular ela for, maior será a variação entre estes valores extremos;

- encontra-se, de forma visual, candidatos à diâmetro mínimo e máximo; quantificam-se todos e definem-se o menor e o maior de fato;

- tira-se a média aritmética entre ambos. Este será o diâmetro médio para aquela forma.

Método 2:

- busca-se a área da forma irregular, via software;

- aproxima-se esta forma de um círculo-médio a se definir. Este círculo tem como propriedade fundamental possuir a mesma área da forma em análise.

- de posse do valor real da área da forma, aplica-se este valor na fórmula da área da circunferência obtendo-se o valor do raio deste círculo-médio;
- obtém-se o valor do diâmetro médio a partir do valor do raio do círculo-médio.

Utilizando-se o Método 1, aplicado à forma da borda do astroblema, tem-se que:

Utilizando-se um círculo-base de 12km obteve-se:

Diâmetro mínimo = 12.518,81 m;

Diâmetro máximo = 13.946,75 m;

O diâmetro máximo é 11,41% maior do que o diâmetro mínimo;

O diâmetro médio $D_1 = 13232.78$ m.

Utilizando-se o Método 2, aplicado a forma da borda do astroblema, tem-se que:

Area da forma irregular: 137.093.538,39 m² ou 137 km²;

Raio do círculo-médio para esta forma= 6,606 km;

Diâmetro médio da forma $D_2 = 13,212$ km = 13.212 m.

Comparando-se ambos os métodos, observamos uma diferença de aproximadamente 20m ou uma razão entre os valores finais de ambos os métodos $R = D_1/D_2 = 1.001572812594611$ ou 0,16% o que demonstra um resultado muito aproximado entre ambos.

A vantagem do Método 1 é que, além de um valor de diâmetro médio, ele apresenta também um diâmetro mínimo e um diâmetro máximo, assim como o azimute (direção dessa semireta no espaço, em termos de graus: considera-se o norte = 0°; leste = 90°; sul = 180° e oeste = 270°) de cada um desses dois diâmetros específicos. Portanto identifica-se, sobre a forma, não só os pontos de maior e menor distância em relação ao seu lado oposto como também em qual direção eles apontam e se encontram, em relação à centroide, já que esse ângulo é medido tomando ela como ponto-referência.

No caso da forma da borda do Astroblema da Serra da Cangalha, apresentada acima, os azimutes são:

Para o diâmetro mínimo: azimute 244.18° - 064.18° ;

Para o diâmetro máximo: azimute 352.00° – 172.00° .

Os dados obtidos pelo Método 1 estão representados na Figura 4.7 abaixo.

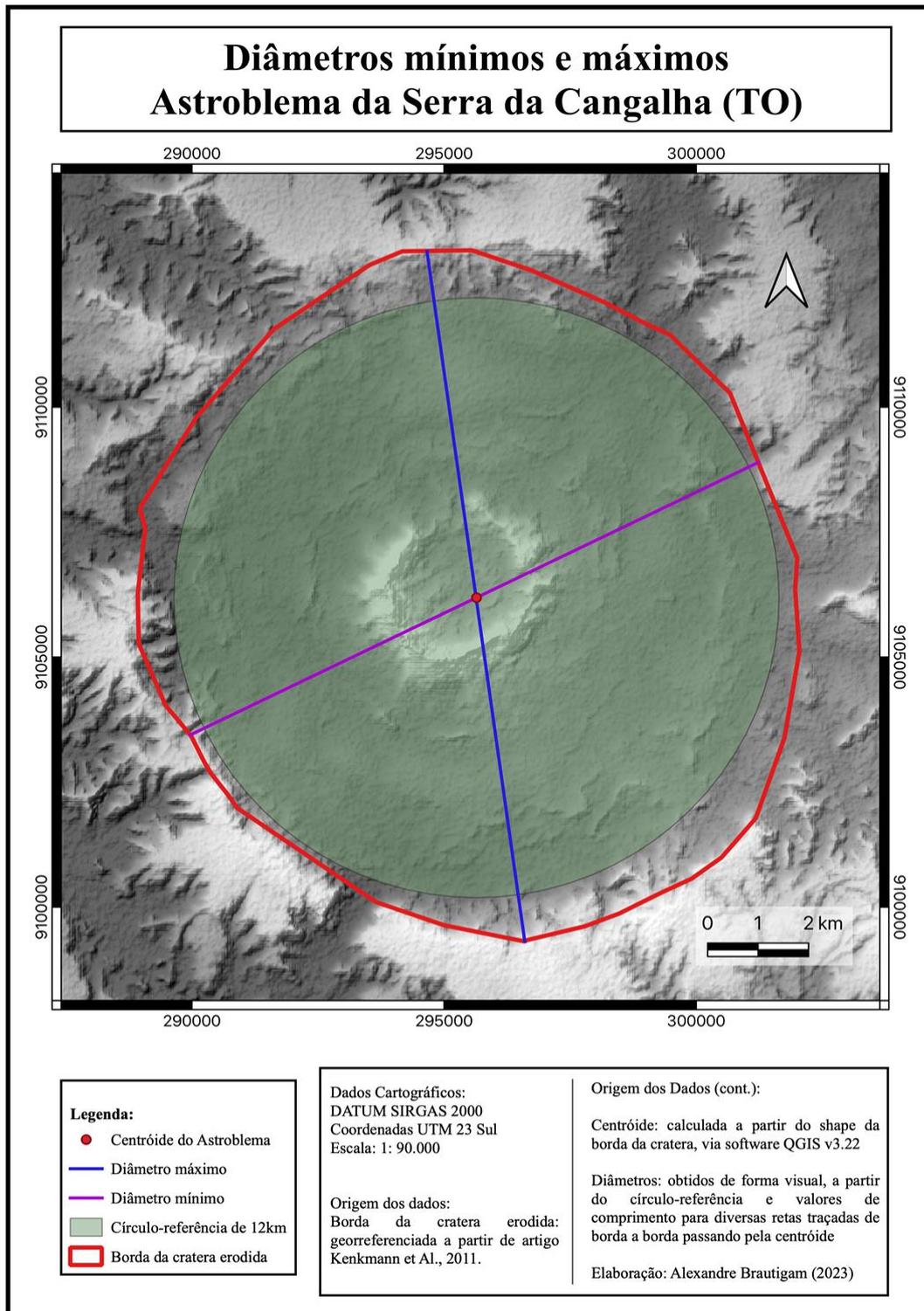


Figura 4.7 – Mapa sobre MDE desenvolvido a partir de dados ALOS/PALSAR. Apresenta-se a forma da borda do Astroblema da Serra da Cangalha (perímetro em vermelho); sua respectiva centróide (ponto vermelho); o círculo-referência (em verde) para obtenção de candidatos a diâmetro máximo e mínimo da forma e os diâmetros mínimo (em roxo) e máximo (em azul) devidamente posicionados. Trabalho desenvolvido sobre forma georreferenciada descrita por Kenkmann et al., 2011.

A mesma metodologia foi aplicada também para a forma do divisor de drenagem. Seguem abaixo os resultados obtidos:

Método 1:

Utilizando-se um círculo-base de 2km, obteve-se:

Diâmetro mínimo = 2.389,63 m; azimuth $327,47^\circ - 147,47^\circ$;

Diâmetro máximo = 3.136,11 m; azimuth $191,08^\circ - 011,08^\circ$;

Razão entre os diâmetros mínimo e máximo: 1,31238;

Diâmetro médio: 2.762,87 m.

Método 2:

Área atual do divisor de drenagem: 6.179.741,88 m² ou 6,18 km².

Raio = 1,4025 km;

Diametro = 2,805 km = 2.805,00 m.

Comparando-se os resultados obtidos pelos dois métodos, observamos uma diferença de aproximadamente 42m entre os valores para o diâmetro médio encontrado entre ambos ou uma razão entre os valores finais de ambos os métodos $R = D_2/D_1 = 1.015248$ ou aproximadamente 1,52% de diferença entre os dois valores finais, o que demonstra mais uma vez um resultado muito aproximado entre ambos. Esta porcentagem, maior do que a porcentagem obtida para a forma da borda do astroblema indica um padrão mais irregular para a forma do divisor de drenagem em comparação à forma da borda externa do astroblema – como podemos observar tanto nas Figuras 4.5, 4.6, como comparando as Figuras 4.7 e 4.8.

Através dos resultados obtidos acima para as duas formas, recomenda-se o diâmetro de 13,22km para a borda externa do astroblema e diâmetro de 2,78km⁶⁸ para a cumeeira (divisor de drenagem) da serra crateriforme – além da divulgação dos respectivos diâmetros máximo e mínimo para ambas as formas.

⁶⁸Deixando o algarismo duvidoso para a casa do decâmetro nos dois casos.

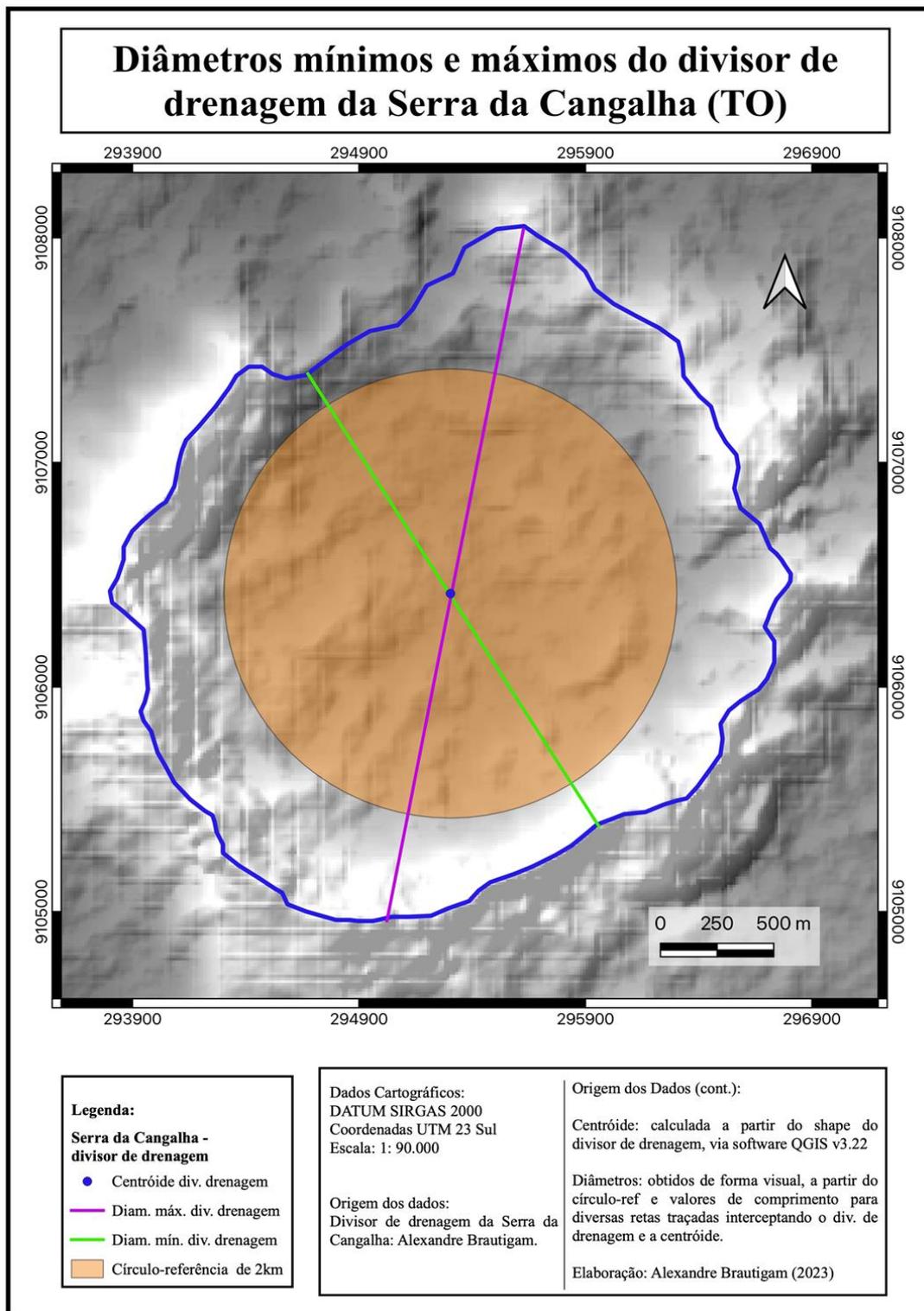


Figura 4.8 – Mapa sobre MDE desenvolvido a partir de dados ALOS/PALSAR. Apresenta-se a forma do divisor de drenagem da Serra da Cangalha (perímetro em linha azul fechada); sua respectiva centróide (ponto azul); o círculo-referência (em laranja) para obtenção de candidatos a diâmetro máximo e mínimo da forma e os diâmetros mínimo (em verde) e máximo (em roxo) devidamente posicionados.

Bacias Hidrográficas e Redes de Drenagem

A rede de drenagem é fortemente condicionada à litologia e uma das grandes responsáveis pela erosão do relevo. Portanto o pretérito impacto, ao fazer aflorar antigas camadas sedimentares de diferentes competências, reorganizou não só o relevo no instante posterior ao choque, como também condicionou toda uma mudança na rede de drenagem local como bem percebe-se ao analisar-se o mapa abaixo (Figura 4.5) com os principais cursos d'água da região estudada.

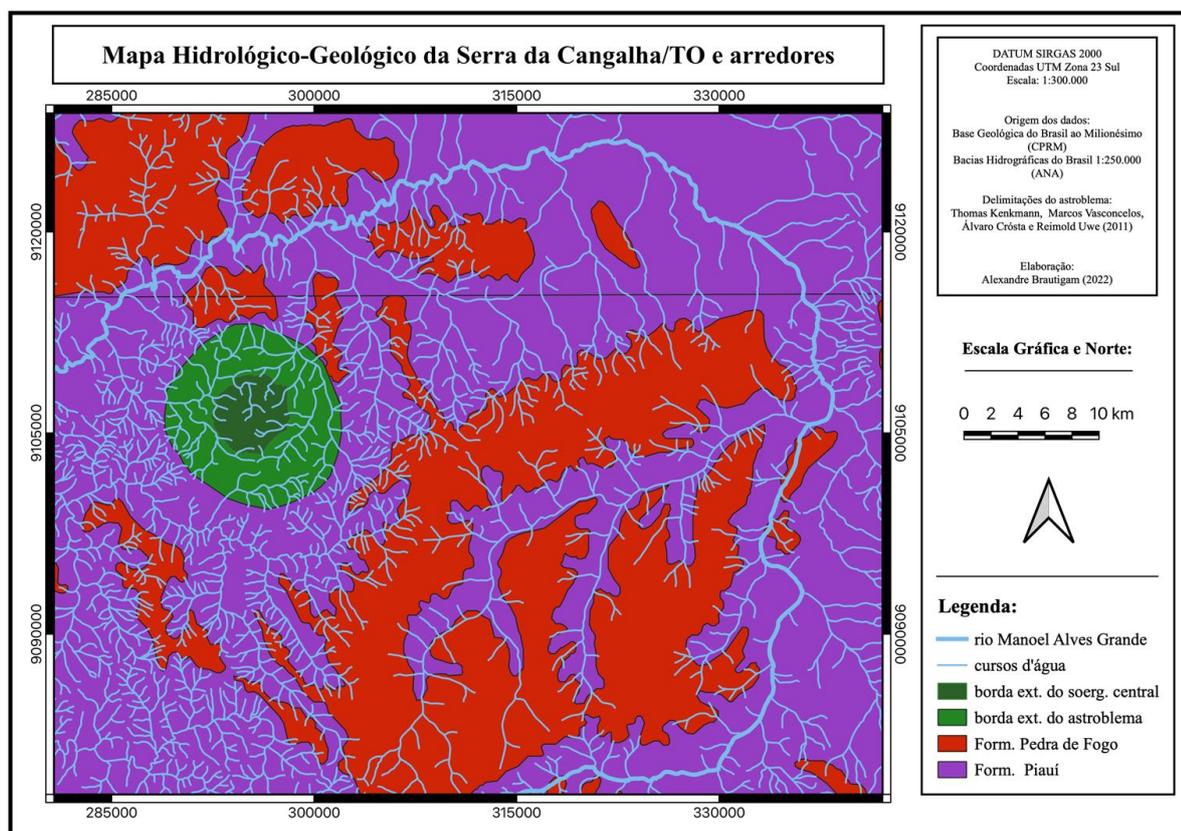


Figura 4.5 - Rede de drenagem (traçado em azul claro com espessura fina) do rio Manoel Alves Grande (traçado azul claro de espessura mais grossa que corta a imagem e tangencia a norte o astroblema) sob base geológica feita no software QGIS. Em roxo, as áreas ocupadas por afloramentos da Formação Piauí e em vermelho, Formação Pedra de Fogo. Geologia retirada da escala 1:1.000.000 da base de dados do Brasil ao Milionésimo.

O rio Manoel Alves Grande (rMAG) é o canal fluvial principal da região, servindo inclusive como limite de separação política entre os Estados do Maranhão e do Tocantins. Afluente do rio Tocantins, recebe toda a drenagem da nossa área de estudo. Sua rede de drenagem caracteriza-se por um padrão dendrítico, conforme observa-se na figura 4.6 (próxima página). Apesar da predominância do padrão dendrítico ao longo da bacia do rio Manoel Alves Grande, observa-se na área do astroblema que há, ali, um outro tipo de padrão: o anelar. Condicionado pela litologia e formato especiais do astroblema, o tipo de padrão de drenagem se altera.

A forte resistência à erosão da Formação Poti em relação às suas vizinhas gera uma alteração na dinâmica de erosão fluvial neste local que se reflete diretamente na deformação dos lineamentos fluviais dos canais tributários do rio Manoel Alves Grande que advém destes rincões. Impactos meteoríticos criam normalmente crateras de formato aparentemente circular/oval e, como já vimos, as camadas sedimentares que afloraram em resposta de reação ao choque neste sítio vieram em forma anelar concêntrica. Esta forma condicionou este padrão hidrológico de drenagem anelar local.

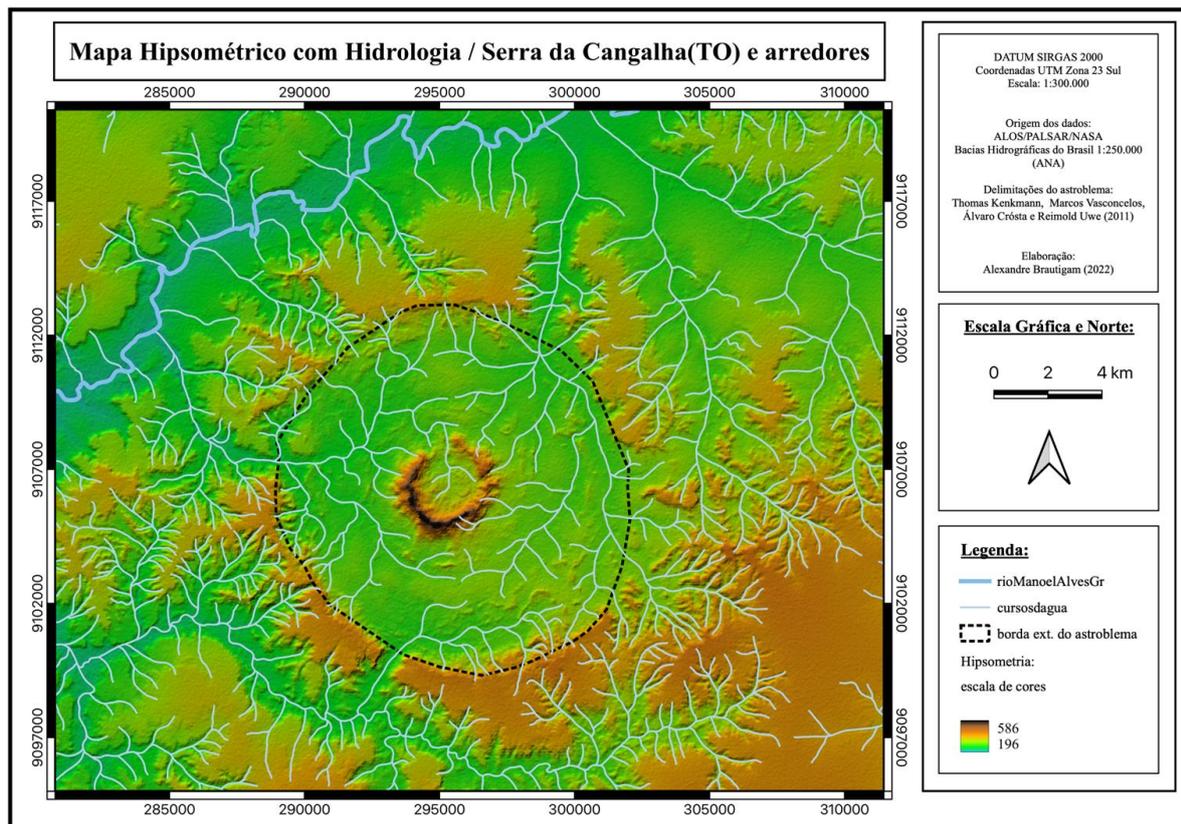


Figura 4.6 – Mapa Hipsométrico com Hidrologia da Serra da Cangalha e arredores. Escala 1:300.000. Observa-se o padrão anelar da rede de drenagem que atua no Astroblema da Serra da Cangalha/TO. Cursos d'água em azul claro sobre base hipsométrica da área de estudo. Limites do astroblema delimitados em Kenkmann et al., 2011.

Três sub-bacias do rMAG disputam a rede de drenagem que se acumula na depressão central da Serra da Cangalha, como podemos observar na figura 4.7. São elas as sub-bacias do rio Espaduatedo (em verde escuro no mapa da Figura 4.7), do rio da Solta (em vermelho no mapa) e a do rio Formiga (em preto no mapa).

O rio Espaduatedo é o responsável pela drenagem que cavou os baixos platôs mais próximos à cidade de Campos Lindos. A rodovia asfaltada que liga esta cidade à Goiatins, ao oeste, acompanha paralelamente o traçado do rio desde Campos Lindos até adentrar a área do astroblema. Dos três, este é o que se encontra mais a montante em relação ao rMAG. Sua bacia ocupa todo o setor leste e praticamente a metade do setor norte da planície anelar do Astroblema da Serra da Cangalha, embora não se conecte diretamente com a área interna do colar serrano e da depressão central.

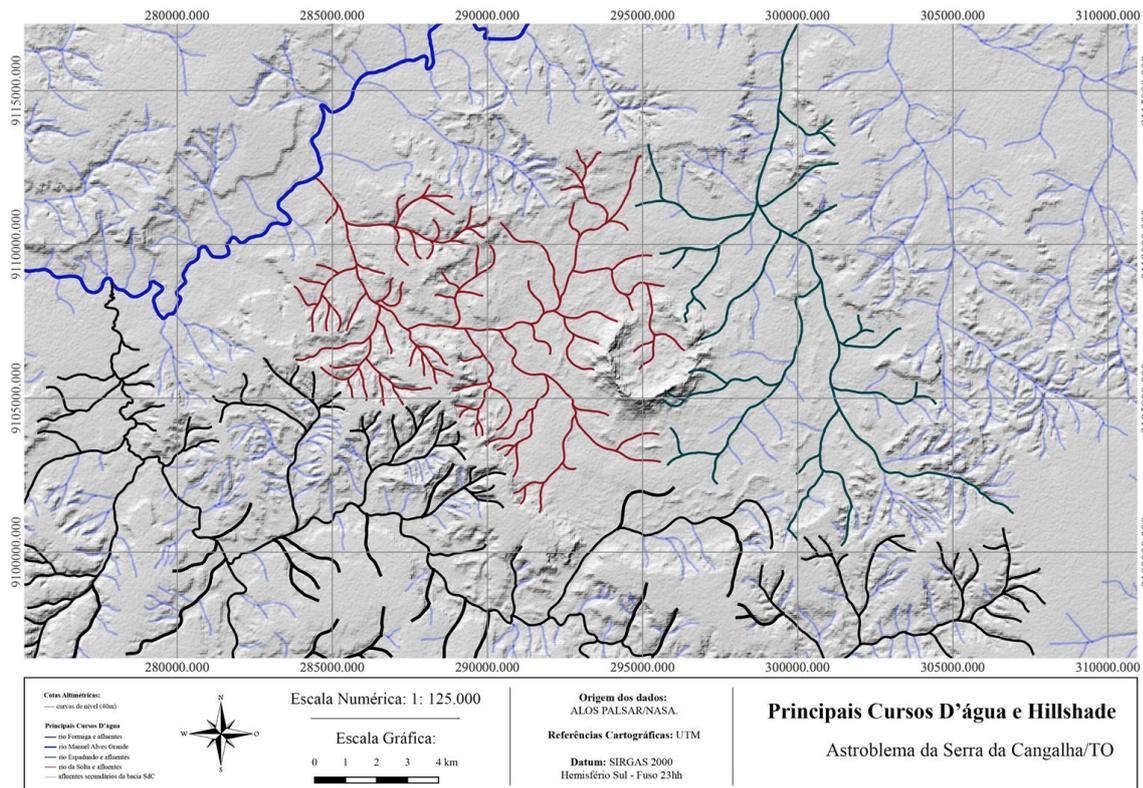


Figura 4.7 - Principais cursos d'água que escavam a área do Astroblema da Serra da Cangalha e arredores. Em verde, os principais cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Espaduaado. Em vermelho, o mesmo em relação ao rio da Solta e em preto, ao rio da Formiga. Em azul escuro, o rio Manoel Alves Grande.

O rio da Solta, com sua sub-bacia, foi o agente erosivo que conseguiu vencer as paredes do astroblema pelo seu setor N-NW com mais contundência tendo sua bacia hidrográfica ocupando-se da drenagem de praticamente todo o setor oeste da planície anelar, dividindo o setor norte com a sub-bacia do rio Espaduaado. Além disso, foi este o rio que capturou a drenagem da depressão central, interna ao colar serrano. Portanto toda a água da chuva e ação erosiva que flui para fora da depressão central é hoje transportada pela bacia do rio da Solta até a calha do rMAG.

Por fim, o rio Formiga: terceiro importante tributário do rio principal de nossa área de pesquisa. Este possui a maior das três mais importantes sub-bacias do astroblema e é, dos três, o que se encontra mais a jusante do rMAG. Possui a maior das três sub-bacias mas ao mesmo tempo foi o que encontrou mais dificuldade em erodir os baixos platôs que circundam o astroblema e é o que se

encontra mais distante dos contrafortes da Serra da Cangalha atualmente: ele apenas vence os baixos platôs no setor sul-sudoeste da planície anelar⁶⁹ mas não se aproxima ainda do divisor de drenagem da serra (que se encontra no topo do colar serrano), tal qual seus antagonistas Solta e Espaduaado.

Como leitura para possíveis cenários futuros de erosão e importantes capturas fluviais, ao observar-se a distribuição das sub-bacias do rMAG e a topografia atual através das curvas de nível, escolhem-se dois pontos principais de interesse, como mostra a figura 4.8.

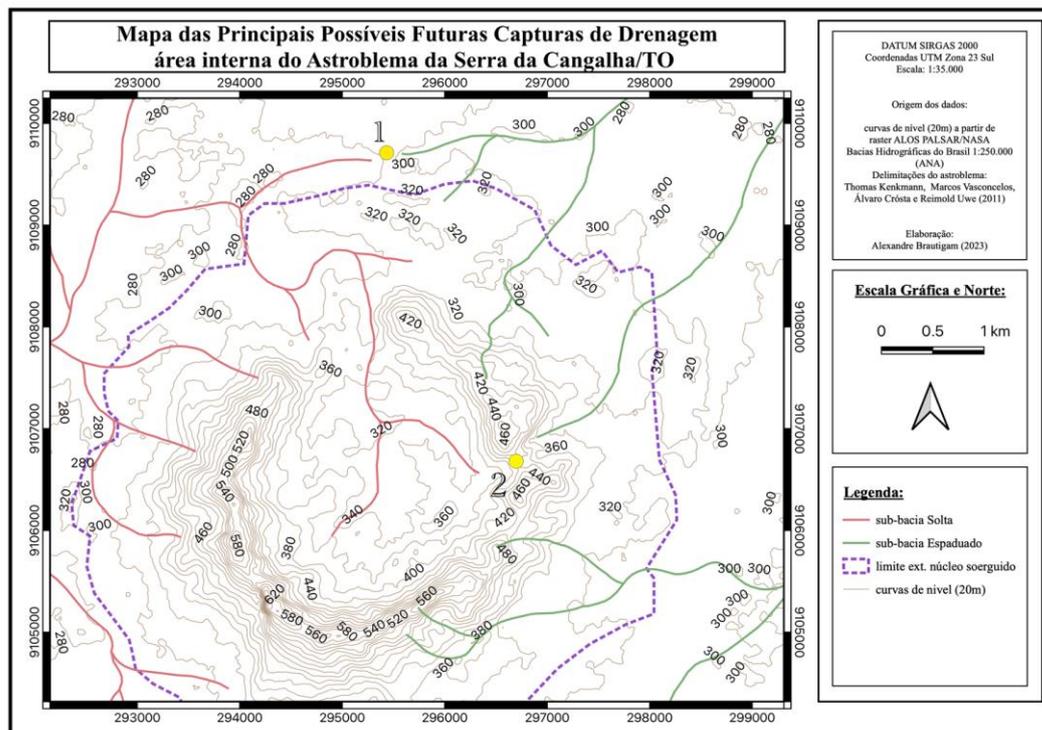


Figura 4.8 - Este mapa aponta dois locais de principal interesse de análise para um cenário futuro de capturas fluviais entre sub-bacias do rMAG na área do Astroblema da Serra da Cangalha. Os pontos estão marcados por círculo amarelo e possuem numeração especificando-os (1 e 2), em fonte diferente e maior do que as fontes de *label* das curvas de nível.

⁶⁹ É por ali, inclusive, que passa a estrada de terra TO-428, que corta a bacia anelar em sentido sul-norte contornando a serra crateriforme pelo setor leste da planície anelar terminando na asfaltada TO-226, que leva até o núcleo urbano do município de Campos Lindos, alguns quilômetros a nordeste dali.

O ponto 1, no setor norte da planície anelar, mas ainda perto do limite externo do núcleo soerguido e já fora da Serra da Cangalha (cujos limites se amalgamam com os limites externos do núcleo soerguido) encontra-se em terreno já bem plano – evidenciado pelas curvas de nível – e mostra uma proximidade entre as frentes de ação erosiva das sub-bacias do Espaduaado (em verde, a leste no mapa) e do rio da Solta (em vermelho, a oeste no mapa). Ambas avançam uma em direção à outra, demonstrando uma possibilidade de junção. A depender da dinâmica de evolução fluvial até lá, pode abrir-se ali uma nova fonte de escoamento – ou uma divisão de escoamento – entre estas duas sub-bacias do rMAG para todo o fluxo que até então é todo canalizado para a sub-bacia do rio da Solta e que advém das vertentes internas e da depressão central do Astroblema da Serra da Cangalha.

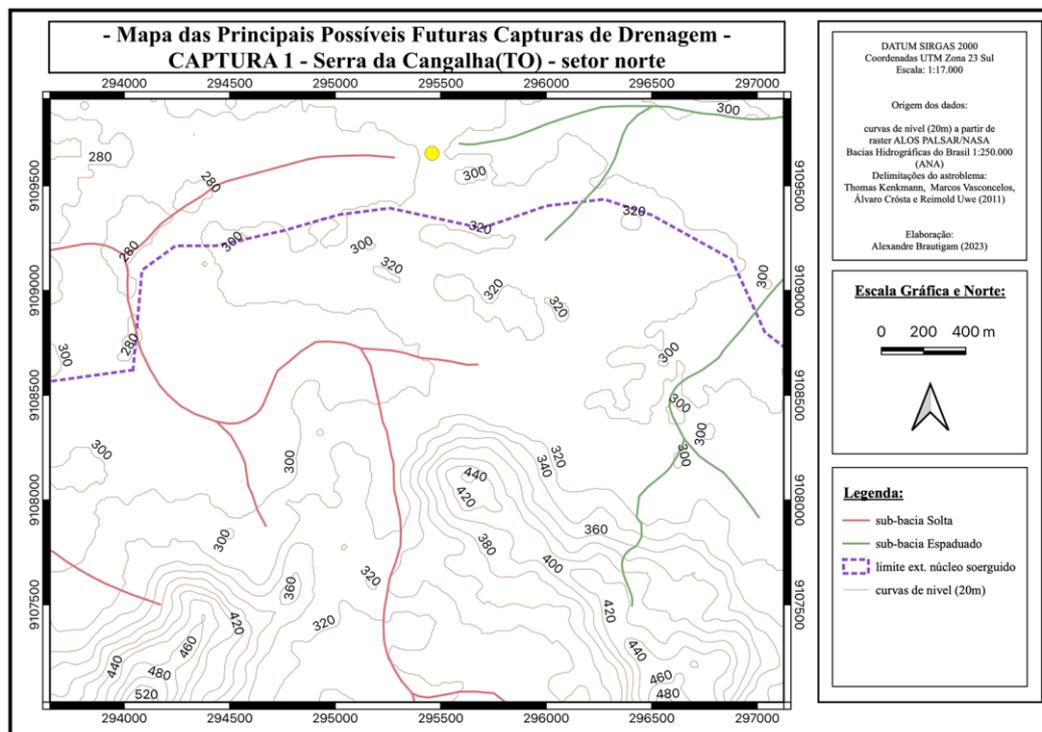


Figura 4.9 - Este mapa aponta, com escala maior (maior detalhe), o primeiro local de principal interesse de análise para um cenário futuro de capturas de drenagem entre sub-bacias do rMAG na área do Astroblema da Serra da Cangalha. O ponto está marcado por círculo amarelo. Aqui não há numeração pois este ponto encontra-se sozinho neste mapa.

O ponto 2 encontra-se dentro da área do núcleo soerguido, sobre o divisor de drenagem da Serra da Cangalha, no seu setor leste. Este é um ponto de características de relevo bem diversas das do ponto 1. Aqui, observa-se um braço da sub-bacia do rio da Solta fazendo um trabalho de escavação na parede da encosta interna da Serra da Cangalha enquanto que um braço da sub-bacia do Espaduaado faz trabalho similar pelo outro lado: pela encosta externa da Serra da Cangalha. Caso este braço do Espaduaado consiga capturar a drenagem interna da depressão central do Astroblema da Serra da Cangalha, assim como no caso possível do ponto 1, o fluxo hidrológico do interior do colar serrano se dividirá entre duas diferentes sub-bacias do rMAG, alterando a dinâmica local. Atentando-se às curvas de nível no entorno do ponto 2, observa-se que para que haja a captura, uma porção considerável da parede da Serra da Cangalha deve ser ainda erodida. Outro fator a se considerar é o de que as altitudes dentro da depressão central tem valores similares às altitudes de fora do colar serrano, quando a declividade cai. Por outro lado, a competência das litologias das diferentes formações geológicas que compõem essas áreas assim como as devidas coberturas vegetais e as possíveis ações antrópicas (principalmente na vertente externa do colar serrano e no início da planície anelar, dado que não há ocupação humana na depressão central do astroblema) devem também entrar em consideração para uma melhor projeção do desenvolvimento hidrológico das sub-bacias hidrológicas do rMAG dentro do astroblema. Este é um primeiro olhar. Demanda-se, portanto, uma série de investigações geomorfológicas com dados de campo, análises de gabinete e todo um desenvolvimento geomorfológico necessário a se realizar na área, carente deste tipo de estudo até o presente.

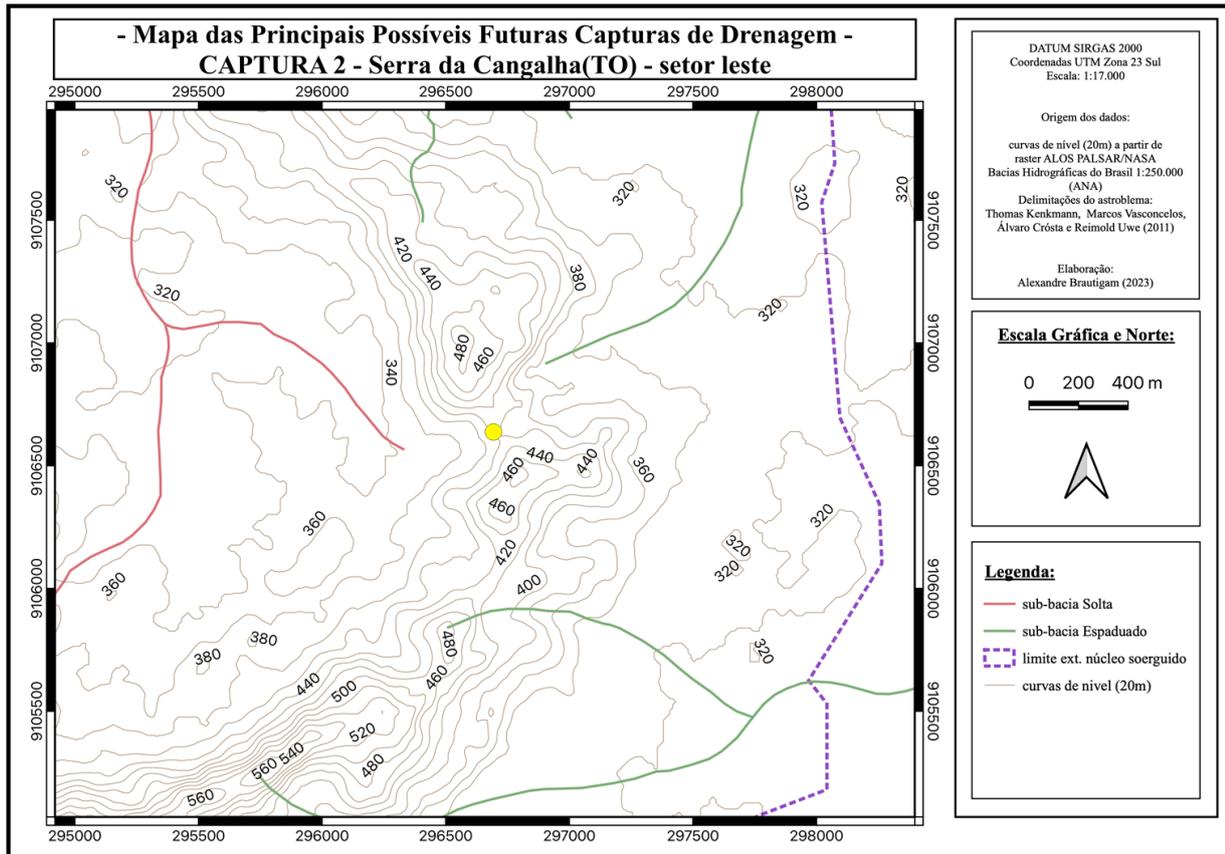


Figura 4.9 - Este mapa aponta, com mais aproximação, o primeiro local de principal interesse de análise para um cenário futuro de capturas de drenagem entre sub-bacias do rMAG na área do Astroblema da Serra da Cangalha. O ponto está marcado por círculo amarelo. Aqui não há numeração pois este ponto encontra-se sozinho neste mapa

5 A Geodiversidade e a Geoconservação da Serra da Cangalha

5.1 Geodiversidade e a Importância da Geoconservação: valores aplicados ao Astroblema da Serra da Cangalha

A partir do entendimento de que um redirecionamento desenvolvimentista considerando a finitude dos recursos naturais fazia-se mister, adentramos o século XXI com a preocupação da Sustentabilidade no radar da humanidade. Mas a questão se desenrolava para além da preocupação com a escassez do petróleo ou da madeira para alimentar as famintas indústrias globais. Questões como a diminuição da camada de ozônio e o aquecimento global saltaram dos artigos científicos para as manchetes dos jornais. Ao mesmo tempo, emergiu uma preocupação com desmatamentos e extinções de espécies animais em massa provocadas por ações antrópicas modificando o meio ambiente de forma cada vez mais intensa.

Neste contexto surge uma preocupação paralela – afinal a ação antrópica não se limita a alterar a distribuição biótica na superfície terrestre. A cobertura abiótica também é modificada e com isso interferimos na Geodiversidade do planeta.

Segundo Kubalikova (2013), o termo 'Geodiversidade' apareceu pela primeira vez através do texto *A Methodology for the Identification of Significant Landforms and Geological Sites for Geoconservation Purposes* escrito por Chris Sharples para The Tasmanian Forestry Commission em 1993: "*Geoconservation aims at conserving the diversity of earth features and systems ('Geodiversity') and allowing their ongoing processes to continue to function and evolve in a natural fashion.*" (SHARPLES, 1993: pág. 7).

Observamos que a gênese do termo aparece já em confluência com a questão conservacionista - um tópico que será mais explorado adiante. Interpretando diretamente a citação *per se*, observamos que Geodiversidade se relaciona não só com as feições geológicas e geomorfológicas do planeta mas

também com seus sistemas. Ou seja, Geodiversidade é não só forma mas também processo e interconectividades. A diversidade se faz perceber na dinâmica terrestre através da complexidade entre os plurais contatos e eventuais remodelagens morfológicas abióticas - e tudo está interligado. Esta interligação dialoga diretamente com o conceito de 'complexidade', de Edgar Morin, que acentua: “Mas então a complexidade se apresenta com os traços inquietantes do emaranhado, do inextricável, da desordem, da ambiguidade, da incerteza.” (MORIN, 2015; pg. 13) A desordem que junta, gera o emaranhado; o caos que de forma assimétrica e estocástica prega peças na modelagem racional computacional humana mais desenvolvida, enquanto que assim possibilita as mutações que governam a evolução das espécies vivas ao longo da flecha do tempo. As ações e interações que povoam a atmosfera com novos e diferentes gases, que redistribuem o solo erodido encosta abaixo, que modificam o pH dos rios, que levam esta água para o consumo de outros seres vivos - animais e vegetais, que enriquecem com material orgânico o solo em que morrem. Os incontáveis ciclos concomitantes e interrelacionados se preenchem naturalmente com esta complexidade.

Morin e Sharples dialogam. No texto em que apresenta o termo ‘Geodiversidade’, Sharples vai além ao comentar sobre o que escolher conservar:

“A sustainable conservation estate has not been protected if just one representative example of each particular phenomenon is identified and managed for conservation. Such an approach does not allow for the possibility of accidental damage to, or unplanned long-term degradation of, the sole protected example. It also does not take into account the fact that natural systems are complex and interconnected, so that a particular type of individual feature or system may itself be an integral component of several different types of other system. Thus, to conserve those diverse systems, protection of multiple examples of a particular class of feature or system may be necessary.” (SHARPLES, 1993: pg 15)

Compreendendo a simbiose que sugere a complexidade de Morin, fica mais fácil perceber que ao defendermos a conservação da Geodiversidade tal qual já sugeria Sharples estamos também propondo a conservação da Biodiversidade mesmo que de forma indireta, pois são tecidas juntas na complexidade do mundo. Há uma conectividade intrínseca entre ambas.

Entretanto há ainda uma miríade de justificativas para a conservação da Geodiversidade, inicialmente listadas por Sharples (1993, pg 08):

- considerando o valor intrínseco;
 - considerando que a Geodiversidade desempenha papel crucial para assegurar a sustentabilidade de ecossistemas dos quais ela faz parte;
 - considerando que a modificação brusca de determinada feição geomorfológica pode gerar novas suscetibilidades à desastres naturais tais como deslizamentos de terra e alagamentos. Caso ocorram perto de zonas habitadas, desencadearão problemas diretos ao ser humano;
 - considerando o valor científico e educacional, urge preservar sítios que possuam áreas de interesse de pesquisa geológica/geográfica/arqueológica;
 - considerando os valores de pertencimento, acentuamos que ao criar-se uma ligação sentimental entre o ser humano e o lugar que o mesmo habita, nasce ali um valor cultural que acresce resistência para uma ação externa de modificação deste meio. Este laço pode inclusive estender-se para uma qualidade holística/religiosa;
 - considerando os valores turísticos e/ou de lazer, este lugar recebe também um reforço de pessoas que mesmo não habitando o espaço de forma permanente apropriam-se dele eventualmente para visitação, contemplação, descanso e/ou uso esportivo por exemplo. Além de movimentar de forma positiva economicamente toda a região.

Já em 2004, em seu livro “*Geodiversity, valuing and conserving abiotic nature*”, Murray Gray abre o escopo em maior detalhamento de valores plurais da geodiversidade⁷⁰. São eles:

- 1) valor intrínseco ou de existência;
- 2) valor cultural (subdividido em:
 - 2a. folclore/geomitologia;
 - 2b. histórico/arqueológico;
 - 2c. espiritual;
 - 2d. de senso de local;
- 3) valor est tico. Subdividido em:

⁷⁰ Em 2013, Gray lança nova edi o deste livro, no qual passa a trabalhar com Serviços Ecossistêmicos prestados pela Geodiversidade mudando sua abordagem sobre os valores da Geodiversidade. Escolhemos continuar usando os conceitos apresentados na edi o de 2004.

- 3a. paisagens locais;
- 3b. Geoturismo e atividades de lazer;
- 3c. inspiração artística;
- 4) valor econômico. Subdividido em:
 - 4a. combustíveis minerais;
 - 4b. minerais preciosos, metais e industriais;
 - 4c. minerais de construção;
 - 4d. fósseis;
- 5) valor funcional. Subdividido em:
 - 5a. funções utilitárias;
 - 5b. funções geosistêmicas;
 - 5c. funções ecossistêmicas;
- 6) valor de pesquisa e educacional. Subdividido em:
 - 5a. processos científicos e descobertas científicas;
 - 5b. História da Terra;
 - 5c. História da Pesquisa;
 - 5d. monitoramento ambiental;
 - 5e. Educação e treinamento.

Ao defender cada um desses valores para a geodiversidade, Gray incorpora uma visão multidisciplinar/multifacetada em que cada um desses valores possui a sua importância própria, (e detalhada uma a uma no livro). Mas para além disso, o autor evidencia também que muitos destes valores podem ocorrer de forma concomitante – e até conflitante – em determinada geodiversidade.

Sobre o valor intrínseco da natureza, Gray (2004, pág. 68) aponta que há uma discussão acalorada entre tecnocentristas e ecocentristas: os primeiros defendem uma visão de mundo centrada na evolução da espécie humana através de um desenvolvimento tecnológico abastecido pelos recursos naturais, os quais deverão estar sempre disponíveis ao seu bel-prazer. Esta é uma visão pouco sustentável e bem alinhada com a economia neoclássica. Já os ecocentristas estabelecem uma relação de valor horizontal entre todos os agentes (bióticos e abióticos) que povoam o planeta e estes sim defendem o valor intrínseco da natureza. Citando argumentos ecocentristas, entendemos válido o da noção de

escala neste tipo de valoração: a escala de tempo necessária para que erga-se determinada feição geomorfológica ou desenvolva-se determinado tipo complexo de vida – às vezes algo na casa dos milhões de anos – deve ser levada em consideração para validar o valor intrínseco destas feições e espécies ameaçadas pela rápida ação predatória do ser humano. No caso de uma feição provocada por um impacto meteorítico de alta energia, podemos substituir a importância de um processo de milhões de anos por um outro processo que é de rara ocorrência no planeta.

Sobre o valor cultural de determinado geossítio, Gray (2004, pág.70) aponta que diferentes civilizações antigas associaram de forma inquebrável a paisagem à passagens mitológicas/folclóricas e quando esta paisagem é removida, com ela se vaporizam (em termos orwellianos) também as passagens em questão. Já sendo conservada e bem administrada, a cultura não só se mantém como também se espalha caso haja um bom programa que envolva Geoturismo e Geocomunicação.

Como exemplo podemos citar um caso curioso que acontece na Austrália: há uma localidade chamada Devil's Marble. Seu nome se dá por conta de arredondadas rochas graníticas (com diâmetros de 2 a 4m) que afloram no deserto norte-australiano e surgiu após comentário feito por John Ross em 1870, ao explorar a área: *'This is the Devil's country; he's even emptied his bag of marbles around the place!'*, como consta no "*Devils Marbles Conservation Reserve Joint Management Plan – Introduction*" (PARKS AND WILDLIFE SERVICE OF THE NORTHERN TERRITORY-AUSTRALIA, 2009). John Ross foi um explorador escocês que trabalhou para a implantação de linhas telegráficas na Austrália no fim do século XIX. Ou seja, *Devil's Marble* é um nome recente.

Mas a região em questão já era povoada por povos aborígenes bem antes disso e estes povos já possuíam uma explicação para aquelas diferentes formações rochosas. Em 1961 a área foi transformada em uma reserva natural pelo Governo Australiano e recebeu o nome de *Devil's Marble Reserve*⁷¹. Em 1982 a área da reserva passa a ser administrada pelo *Aboriginal Areas Protection Authority* e em 2008 o Governo, em solenidade, formaliza a devolução destas

⁷¹ Todos os nomes que esta reserva recebeu desde 1961 encontram-se no site intitucional do Governo Australiano de nome "Place Names Register Extract". *Northern Territory Land Information System*. Northern Territory Government. Retrieved 29 January 2014.

terras para seus Donos Tradicionais (*Traditional Owners*) passando a compartilhar a gestão do mesmo com os representantes aborígenes e arrendando a terra para que a mesma possa ser visitada por turistas. Em 2011 há uma nova mudança do nome, e a reserva atualmente se chama *Karlu Karlu/Devil's Marble Conservation Reserve*. Observa-se assim uma maior valorização da cultura ancestral dos povos originais australianos. Mas não apenas por isso. No plano de manejo da reserva há a recorrente preocupação em transmitir a explicação aborígene para aquelas formações graníticas. Além disso, as visitas guiadas sempre são acompanhadas de guias aborígenes e os mesmos ainda fazem regularmente rodas de conversa com os demais guarda-parques explicando e ensinando sua mitologia milenar. Se por qualquer interesse outro, esta paisagem foi abruptamente modificada pelos tecnocratas em busca de recursos minerais, responda: o que restará desta mitologia milenar? O que a evidenciará, a materializará de fato, já que ela está atrelada às formações rochosas presentes naquele local? Portanto, neste caso a Geoconservação faz-se necessária pelo próprio valor cultural.

Em alguns casos o sagrado transcende meros objetos rochosos. Segundo o *Pipestone County Historical Society & Museum* de Minnesota⁷², indígenas norte-americanos Lakota consideram o solo sagrado. Uma de suas lendas diz que o Grande Espírito lançou sobre todos uma enorme Inundação, em tempos remotos. A carne dos indígenas ancestrais sedimentou-se em uma argila que aflora na região, chamada de *pipestone*. O Grande Espírito entregou então aos indígenas um cachimbo feito dessa argila e assim, ao fumar neles, estariam em contato direto com seus ancestrais. Como valorar esta argila? Como não pensar em proteger este solo?

Dentro da categoria de valor cultural, Gray (2004: pg 72) também pontua os valores (auto-explicativos) arqueológico e histórico. Muitas vezes importantes sítios arqueológicos são destruídos ou descaracterizados por simples desconhecimento de quem ocupa a região. No Jalapão/TO, recentemente foi descoberto um alinhamento de pedras que havia sido parcialmente destruído:

“O primeiro sítio dessa modalidade é um alinhamento composto de grandes blocos ligados pelo enfileiramento de pequenos seixos. O local de ocorrência é um platô,

⁷² Texto de referência na webpage do *Pipestone County Historical Society & Museum*.

no alto de um serro, cercado por baixios e pelo rio Monte Santo, o que confere uma visão panorâmica do entorno. Este alinhamento, situado no município de Rio Sono, foi parcialmente destruído pelo proprietário da fazenda, quem, desconhecendo a origem da estrutura, movimentou as pedras com um trator afim de liberar a passagem para o gado. Entretanto, as pedras maiores, parcialmente enterradas, não puderam ser movidas pela máquina. Tomaram-se os pontos de georreferenciamento a partir das pedras não movidas afim de reconstituir o alinhamento. Trata-se de um pequeno ‘muro’, de 83 metros de comprimento, alinhado no sentido leste-oeste. As características apresentadas levaram os pesquisadores a pensarem que tais alinhamentos estariam associados a uma espécie de culto solar ou que fizesse parte de um sistema mais complexo de comunicação com os astros, mesmo porque os alinhamentos parecem ordenados em virtude de um determinado solstício.” (OLIVEIRA E AGUIAR, 2011: pg 23)

Caso os pesquisadores não tivessem chegado a tempo, este lugar poderia ser ainda mais descaracterizado, perdendo-se uma fonte de estudo sobre uma possível paleoastronomia praticada em território brasileiro.

Valores de Geodiversidade e o Astroblema da Serra da Cangalha: análise qualitativa

Para o caso do nosso objeto de estudo, o Astroblema da Serra da Cangalha, uma miríade de valores da geodiversidade listados por Gray encontram reverberação nesta feição geomorfológica e tornam sua geoconservação necessária. Segue abaixo uma análise qualitativa, a partir de minhas impressões e registros em visita de campo à região no ano de 2019.

Antes de tudo, o valor intrínseco ou de existência. Uma forma que foi moldada por milhões de anos pela natureza a partir de uma erosão diferencial em diferentes tipos de rocha que foram expostos à superfície terrestre através de um evento singular de impacto a hipervelocidade é por demais grandioso e tem um valor inquantificável ‘per se’; pela grandiosidade envolvida em múltiplas camadas⁷³ e pela raridade de ocorrência desse fenômeno (impacto meteorítico a hipervelocidade) no planeta Terra.

Sobre o valor cultural da região do Astroblema da Serra da Cangalha, posso

⁷³ Estas múltiplas camadas comprazem desde a escala de tempo de milhões de anos de erosão diferencial para chegarmos à geomorfologia dessa estrutura (pós-impacto) que recebemos hoje até a grandiosidade de material afetado no evento do impacto, a grandiosidade da energia envolvida no mesmo e a probabilidade deste corpo, que viajou não se sabe quanto de espaço e tempo no Universo, em encontrar justo o nosso planeta pela proa.

afirmar que, no subcampo apontado por Gray (2004) como ‘folclore/geomitologia’, observa-se lá – pois tive primeiras impressões registradas diretamente com moradores nativos da região em primeiro trabalho de campo. Há histórias contadas pelos moradores sobre misteriosas luzes a noite que acompanham os carros em velocidade impressionante ao longo da estrada que cruza o território do astroblema e sobre um pote de ouro supostamente localizado em algum lugar dentro do astroblema. Estas histórias fazem parte de um imaginário coletivo. Faz-se mister um trabalho mais apurado e específico sobre os relatos locais na temática ‘folclore/mitologia’ que envolvem os moradores das cercanias campestres do colar serrano da região, para efeito de registro formal e científico.

Ainda sobre o valor cultural e as subdivisões propostas por Gray (2004), pode-se falar também em um potencial arqueológico ainda não explorado. Senão, vejamos: as sociedades de um modo geral se utilizam dos materiais que as cercam. Em tempos pré-históricos, os materiais se restringiam àqueles que estavam à mão, nas cercanias. É ainda incipiente o estudo arqueológico na região da Serra da Cangalha⁷⁴ mas sabemos que uma das formações geológicas que afloram na região é a Formação Pedra de Fogo, cujo um de seus constituintes é o sílex – material largamente utilizado em sociedades pré-históricas por conta de sua dureza (muito utilizado para, por exemplo, produzir pontas de flecha) e pela facilidade em, confrontando-se dois pedaços de sílex um contra o outro, produzir-se fagulhas úteis para a geração de fogo (ANDRADE e NOGUEIRA, 2022: pg 267) – daí o nome da Formação em questão. Remexer nestas terras de forma indiscriminada sem este tipo de olhar é ato que pode inviabilizar pesquisas importantes futuras a nível arqueológico, como quase aconteceu no exemplo citado acima não muito longe dali, nas terras do Jalapão/TO.

Esta feição geomorfológica é amplamente atravessada pelo valor estético (dadas sua beleza e seu formato diferenciado conforme podemos vislumbrar nas imagens que compõem a Figura 5.1), e que só não é melhor explorado por conta de sua obliteração: o país é grande demais e muito permanece escondido, quando localiza-se fora ou longe dos grandes centros urbanos. Há um alheamento não-proposital à Serra da Cangalha por parte significativa da população e, dessa forma,

⁷⁴ Apurei, em pesquisa no Portal CAPES, não haver nenhum *paper* com esta proposta até então (outubro/2022).

ao desconhecer, não contempla-se. A logística complicada para se atingir o local é um fator importante que pesa a favor deste alheamento. A malha viária no interior do país é precária, conforme já analisado no Capítulo 3. Fato é que o país tem proporções continentais, com litoral densamente povoado e interior olvidado – pelo Poder Público (a nível estadual e federal, principalmente) e pela própria população abastada do litoral e grandes centros urbanos, que ainda não descobriu de fato todas as potencialidades do interior do Brasil.

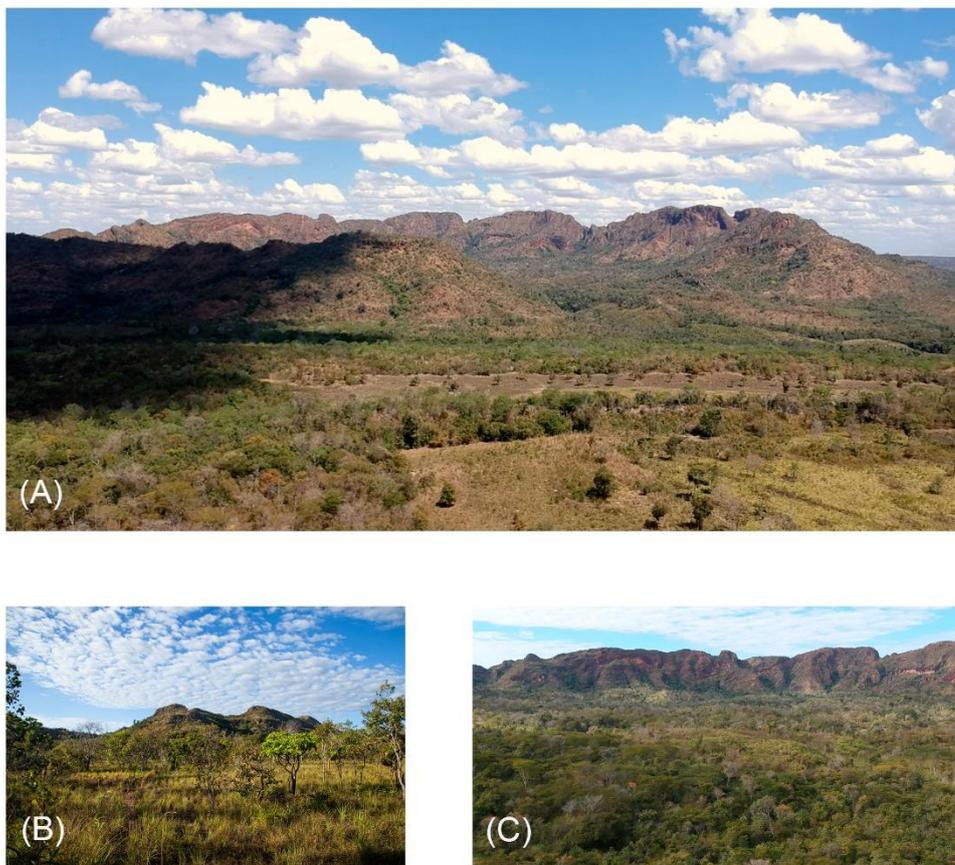


Figura 5.1 – Três fotografias do Astroblema da Serra da Cangalha de autoria própria para ilustrar o valor estético do mesmo. Mais fotografias realizadas durante este trabalho de campo estão disponíveis no Apêndice desta tese. A) Destaque para a Serra da Cangalha e sua morfologia crateriforme com sua “abertura” em sua face norte. O padrão circular especial desta serra pode ser bem contemplado neste ponto de vista aéreo. Foto tirada com drone. B) Fotografia que mostra a beleza da Serra da Cangalha vista de fora da mesma assim como do cerrado que preenche grande parte da planície anelar, daonde esta foto foi tirada. C) Visual da depressão interna do Astroblema da Serra da Cangalha e ao longe a parede interna leste da Serra da Cangalha. Fotografia tirada a partir do divisor de drenagem da Serra da Cangalha em seu setor oeste.

Como paisagem local (primeira subdivisão do valor estético de Gray (2004), a Serra da Cangalha (até mais do que o astroblema em si) é um ponto de referência, por sua dominância altimétrica que a faz ser vista ao longe nesta terra planificada que é a região em que se situa. A população do entorno tem a mesma como referência geográfica clara no horizonte. Trazendo de volta minha análise fenomenológica, foi um momento especial e um marco de imponência desta feição geomorfológica, quando avistei a Serra da Cangalha pela primeira vez, uma serra ativa elevando-se por detrás do solo preparado para a plantação em um latifúndio de soja, ainda no Maranhão, a muitos quilômetros de distância do astroblema.

Mas a verdadeira magnitude de sua estética singular só pode ser apreciada ou do ar (em um ponto de vista de de centenas de metros acima do solo – através de pequenos aviões, helicópteros ou drones – o que se chama hoje de “bird’s eyes”), ou de dentro da serra (Figuras 5.1a e 5.1c, respectivamente). Ao adentrar-se na feição crateriforme através da erosão provocada pelos afluentes do rio da Solta que drenam as vertentes internas da Serra da Cangalha de dentro pra fora, pelo setor N-NO de menor altimetria do colar serrano e observar estas paredes internas abraçando o cerrado na depressão central, é ali que se inicia de verdade o maravilhamento com esta estrutura. Já ao continuar caminhada, ao subir as paredes íngremes e avermelhadas dessa feição e, de cima, olhar para o colar serrano, aquela formação singular de uma serra com amplitude altimétrica de algumas centenas de metros que parece ter sido entortada em formato de ferradura ou colar, encontra-se um sublime estético em poucos lugares alcançado. A Serra da Cangalha vista de dentro, dada sua forma singular e dada a sapiência do fenômeno que a gerou, é carregada de um imenso potencial de inspiração artística.

Sobre o valor funcional, a Serra da Cangalha exerce grande influência geossistêmica, na medida em que sua morfologia resultante da erosão da pretérita cratera de impacto rege a distribuição fluvial de três diferentes bacias hidrográficas que desaguam no rio Manuel Alves Grande, conforme visto no Capítulo 3. Dessa maneira, a partir de sua peculiaridade morfológica/hidrológica/pedológica, criou-se um ecossistema próprio no interior do colar serrano que é diferente do ecossistema que evoluiu na planície anelar. A diferença de densidade e altura da floresta de cerrado que se encontra na depressão central, em relação ao que se vê no lado exterior da serra, é facilmente perceptível. Estudos ecossistêmicos na região seriam fundamentais para determinar o grau de diferenciação dentro e fora

do colar serrano.

No que tange ao “valor de pesquisa e educacional” e suas subdivisões (GRAY, 2004) a área do Astroblema da Serra da Cangalha possui também grande potencial. O estudo da cratera de impacto a hipervelocidade que existe (mesmo que largamente erodida) no local é de relevância internacional. Hoje, apenas 190 crateras de impacto por hipervelocidade são reconhecidas pelo site *Impact Earth*, distribuídas pelo mundo. Destas, apenas oito se encontram na América do Sul. Portanto, sua preservação é de vital importância para futuros estudos sobre este tipo de evento natural, que sozinho pode mudar os rumos de boa parte da vida no planeta.

Por ter ainda afloramentos que revelam a estrutura modificada pelo impacto (VASCONCELOS, 2012) tanto em escala macro quanto micro, a Serra da Cangalha e arredores é um museu a céu aberto, o que possibilita que estudantes e curiosos sejam agraciados com uma aula de campo voltada à Geoeducação in loco, que se mistura à contemplação estética e ao entendimento da força descomunal do evento natural que ocorreu ali em tempos pretéritos. Como dizia Humboldt, a experiência de estar e sentir o local estudado se complementa de forma indelével às medições e cálculos da Ciência de gabinete, como já explicitado no Capítulo 3.

A somatória e o entendimento de todos esses valores aplicados e analisados para a região proporciona uma conclusão de que seria de grande valia uma ação para a geoconservação dessa geodiversidade, além de um inventário permenorizado detalhando e especificando os pontos de interesse geológico no interior e no entorno do Astroblema da Serra da Cangalha.

Nos subcapítulos seguintes, segue um estudo sobre a legislação brasileira a nível federal e estadual do Tocantins no sentido ambiental: o que já se tentou e foi feito pelo Poder Público para esta feição em específico e alternativas em proposição para o presente e futuro.

5.2

A Geoconservação e a Legislação Ambiental no Brasil e no Tocantins

5.2.1

A Legislação Ambiental Federal e a Geoconservação

O Estado Brasileiro conta com vasta legislação ambiental que dialoga com conceitos hoje mais introjetados na sociedade, tais quais os da sustentabilidade, biodiversidade e proteção ambiental. Entender como funciona essa legislação permite entender quais são os mecanismos nacionais legais que promovem a preservação e conservação também da geodiversidade. Por exemplo: os Parques Nacionais são apenas um tipo de Unidade de Conservação (UC) Federal prevista em lei - o mais conhecido pelo grande público. Entretanto, para além de todas as UCs previstas em lei, áreas que não se enquadram no Sistema Nacional de Unidades de Conservação – o SNUC – ainda podem fazer parte de uma rede legalizada de conservação ou proteção ambiental, ao integrar uma Reserva Legal, uma Área de Preservação Permanente ou mesmo uma região ainda não protegida pela lei mas que se encontre, dentro do Zoneamento Ecológico-Econômico, em uma Zona ou Subzona em que se recomende uma ação antrópica pouco invasiva. Apresentamos e analisamos estes e outros instrumentos de nossa Legislação Ambiental, operando os necessários recortes nas leis devidas buscando um enfoque na Geoconservação. Para tanto, iniciamos definindo qual é o conceito de Geoconservação.

Segundo Nascimento, Ruchkys & Mantesso-Neto (2008) a geoconservação, em resumo, é uma ação antrópica na qual busca-se proteger o patrimônio geológico, após um detalhado estudo de definição daquilo que deve ser encarado como tal. Ainda segundo estes autores, patrimônio geológico corresponde a nata da geodiversidade, que será determinada a partir de análises dos valores de geodiversidade de cada sítio. (NASCIMENTO; RUCHKYS; MANTESSO-NETO, 2008: pg. 22) Portanto, ao buscarmos a geoconservação, buscamos preservar lugares que possuem alto valor científico, educativo, turístico e/ou cultural com relação a sua geodiversidade.

Com este conceito de geoconservação em mente, analisamos abaixo a legislação ambiental brasileira dentro do recorte pertinente.

No âmbito federal, começamos com a Lei 6.938/1981 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA). Essa lei define alguns objetivos calcados claramente no conceito de desenvolvimento sustentável quando afirma, em seu Art. 4º, que tem como primeiro objetivo visar “à compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico”. Ou seja, ela não possui um caráter puramente conservacionista mas busca uma sociedade que possa se desenvolver sem esquecer-se de seus compromissos ambientais.

Ainda no mesmo artigo, esta lei define que a PNMA também visa “à formação de uma consciência pública sobre a necessidade de preservação da qualidade ambiental e do equilíbrio ecológico” – ou seja, não basta que o Estado aja de forma a buscar esse equilíbrio, mas que também passe estes valores à sociedade como um todo.

Já no Art. 2º, ela determina que um de seus princípios é o “incentivo ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais”, definindo ‘recursos ambientais’ no artigo seguinte: “a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora.” Importante pontuar que esta lei surge mais de dez anos antes da conceituação do termo Geodiversidade mas em sua definição de recursos naturais, a mesma já inclui os itens ‘solo’ e ‘subsolo’ dentro desta rede de proteção ambiental.

Cabe também ressaltar que, ao apresentar os instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, a lei invoque, dentre outros, a necessidade de um zoneamento ambiental⁷⁵. Esta proposta, realizada em 1981 nesta mesma lei encontra sua regulação atual mais ampla e atualizada apenas em 2002, portanto 21 anos mais tarde – com o Decreto n. 4.297/2002 que “Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências.” Segundo este decreto, ao planejar e implementar o ZEE, o Poder Público:

⁷⁵ Pela letra da lei, temos:

Art 9º - São instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente:

I - o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;

II - o zoneamento ambiental;

III - (...)

- I - buscará a sustentabilidade ecológica, econômica e social, com vistas a compatibilizar o crescimento econômico e a proteção dos recursos naturais, em favor das presentes e futuras gerações, em decorrência do reconhecimento de valor intrínseco à biodiversidade e a seus componentes;
- II - contará com ampla participação democrática, compartilhando suas ações e responsabilidades entre os diferentes níveis da administração pública e da sociedade civil; e
- III - valorizará o conhecimento científico multidisciplinar.

Os incisos primeiro e segundo regulamentam o ZEE através de conceitos que hoje formam a base sólida de um instrumento muito usado pelo mercado financeiro para avaliar o comprometimento de empresas com a agenda sustentável: o protocolo ESG – Environmental, Social and Governance [(PEDERSEN et. al.: 2020), (MOBIUS & ALI: 2021)], sem deixar de lado – através do inciso III - a importância do uso do conhecimento científico para a correta distribuição das zonas na ZEE.

De legislação mais específica, há o Código Florestal de 2012 (Lei 12.651/2012). Ele reafirma a preocupação com o meio ambiente e com uma política nacional voltada para a sustentabilidade – agora de forma literal na lei. No seu Art. 1º, lê-se:

Parágrafo único. Tendo como objetivo o desenvolvimento sustentável, esta Lei atenderá aos seguintes princípios: (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

I - afirmação do compromisso soberano do Brasil com a preservação das suas florestas e demais formas de vegetação nativa, bem como da biodiversidade, do solo, dos recursos hídricos e da integridade do sistema climático, para o bem estar das gerações presentes e futuras; (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

II - reafirmação da importância da função estratégica da atividade agropecuária e do papel das florestas e demais formas de vegetação nativa na sustentabilidade, no crescimento econômico, na melhoria da qualidade de vida da população brasileira e na presença do País nos mercados nacional e internacional de alimentos e bioenergia; (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

III - ação governamental de proteção e uso sustentável de florestas, consagrando o compromisso do País com a compatibilização e harmonização entre o uso produtivo da terra e a preservação da água, do solo e da vegetação; (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

IV - responsabilidade comum da União, Estados, Distrito Federal e Municípios, em colaboração com a sociedade civil, na criação de políticas para a preservação e restauração da vegetação nativa e de suas funções ecológicas e sociais nas áreas urbanas e rurais; (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

V - fomento à pesquisa científica e tecnológica na busca da inovação para o uso sustentável do solo e da água, a recuperação e a preservação das florestas e demais formas de vegetação nativa; (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

VI - criação e mobilização de incentivos econômicos para fomentar a preservação e a recuperação da vegetação nativa e para promover o desenvolvimento de atividades produtivas sustentáveis. (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

Percebe-se, já no inciso I, a preocupação básica daqueles que defendem a sustentabilidade, que é a preocupação com o bem-estar das gerações presentes e futuras. Já ao citar a preservação da integridade dos sistemas climáticos, esta lei também se alinha com os temores provocados por um atual Aquecimento Global. De uma forma geral, evidentemente esta lei tem por foco as florestas, sua preservação e uso sustentável – mas através de uma visão sistêmica/complexa do planeta, sabe-se que uma área desmatada terá influência direta na dinâmica hidrológica da região e por conseguinte, não só em seus elementos bióticos (com sua biodiversidade) como também no seu complexo abiótico (com sua geodiversidade). Portanto, um Código Florestal que tem por princípios buscar a preservação de parte considerável de nossos biomas e florestas está, indiretamente, protegendo também a geodiversidade do país embora não cite-a diretamente.

Para além disso, de forma mais específica o Código Florestal traz novas normas de preservação ambiental que se aplicam a toda e qualquer propriedade rural circunscrita em nosso território nacional, através da: a) conceituação⁷⁶ e da delimitação⁷⁷ das Áreas de Preservação Permanentes (APPs); e b) conceituação⁷⁸ e determinação das extensões de Reserva Legal a serem delimitadas em todo o país. As áreas de Reserva Legal possuem uma flexibilidade maior quanto ao seu uso (em comparação às APPs – vide conceitos nas notas de rodapé 43 e 45), embora observe-se sempre a aplicabilidade de um manejo do tipo sustentável como norma⁷⁹.

⁷⁶ A Lei 12.651/2012 conceitua APP em seu Art. 3º inciso II: “(...) área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.” Interessante notar que a lei cita biodiversidade e, ao invés de trabalhar com a geodiversidade, fala sobre estabilidade geológica. Interpreto que a função de preservar a estabilidade geológica de uma APP esteja intimamente ligada a uma intenção de praticar a geopreservação desta área.

⁷⁷ A delimitação das APPs obedecem a diversos parâmetros técnicos que beneficiarão desde áreas que circundam corpos d’água os mais variados a topos de morros, montes, montanhas e serras, compreendendo todo o extenso Art. 4º e Art. 5º da Lei 12.651/2012, iniciando o Capítulo II da mesma - destinado tão somente às APPs. Discutiremos alguns pontos específicos do Art. 4º quando aplicarmos alguns destes parâmetros à nossa área de estudo mais adiante.

⁷⁸ A Lei 12.651/2012 conceitua Reserva Legal em seu Art. 3º inciso III: “área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa.”

⁷⁹ Na Seção II da Lei 12.651/2012, lê-se:

Tanto APPs como áreas de Reserva Legal são porções de propriedades particulares rurais (e/ou urbanas, no caso de APPs) destinadas a um cuidado ambiental especial. Uma propriedade rural particular pode ter até 80% de sua área destinada à Reserva Legal⁸⁰ e na área restante, ainda assim, possuir APPs. Por lei, a Reserva Legal de uma propriedade não pode contabilizar uma área nesta mesma propriedade que já é (também definida por lei) uma APP, salvo exceções⁸¹.

Quando uma propriedade rural se encontra em área de floresta na Amazônia Legal⁸², mas em um município que já possua uma quantidade considerável de território indígena demarcado e/ou Unidades de Conservação, a porcentagem de terreno que deve ser transformada em Reserva Legal diminui de 80 para 50%.

Art. 17. § 1º Admite-se a exploração econômica da Reserva Legal mediante manejo sustentável, previamente aprovado pelo órgão competente do Sisnama, de acordo com as modalidades previstas no art. 20.

§ 2º Para fins de manejo de Reserva Legal na pequena propriedade ou posse rural familiar, os órgãos integrantes do Sisnama deverão estabelecer procedimentos simplificados de elaboração, análise e aprovação de tais planos de manejo.

Art. 20. No manejo sustentável da vegetação florestal da Reserva Legal, serão adotadas práticas de exploração seletiva nas modalidades de manejo sustentável sem propósito comercial para consumo na propriedade e manejo sustentável para exploração florestal com propósito comercial.

Art. 22. O manejo florestal sustentável da vegetação da Reserva Legal com propósito comercial depende de autorização do órgão competente e deverá atender as seguintes diretrizes e orientações:

I - não descaracterizar a cobertura vegetal e não prejudicar a conservação da vegetação nativa da área;

II - assegurar a manutenção da diversidade das espécies;

III - conduzir o manejo de espécies exóticas com a adoção de medidas que favoreçam a regeneração de espécies nativas.

⁸⁰ A porcentagem de área de uma propriedade que deve ser destinada à Reserva Legal obedece, segundo a Lei 12.651/2012, os seguintes critérios:

I - localizado na Amazônia Legal:

- a) 80% (oitenta por cento), no imóvel situado em área de florestas;
- b) 35% (trinta e cinco por cento), no imóvel situado em área de cerrado;
- c) 20% (vinte por cento), no imóvel situado em área de campos gerais;

II - localizado nas demais regiões do País: 20% (vinte por cento).

⁸¹ Segundo a Lei 12.651/2012: Art. 15. Será admitido o cômputo das Áreas de Preservação Permanente no cálculo do percentual da Reserva Legal do imóvel, desde que:

I - o benefício previsto neste artigo não implique a conversão de novas áreas para o uso alternativo do solo;

II - a área a ser computada esteja conservada ou em processo de recuperação, conforme comprovação do proprietário ao órgão estadual integrante do Sisnama; e

III - o proprietário ou possuidor tenha requerido inclusão do imóvel no Cadastro Ambiental Rural - CAR, nos termos desta Lei.

§ 1º O regime de proteção da Área de Preservação Permanente não se altera na hipótese prevista neste artigo.

⁸² Lei 12.651/2012, Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

I - Amazônia Legal: os Estados do Acre, Pará, Amazonas, Roraima, Rondônia, Amapá e Mato Grosso e as regiões situadas ao norte do paralelo 13º S, dos Estados de Tocantins e Goiás, e ao oeste do meridiano de 44º W, do Estado do Maranhão;

Mesmo que estas terras indígenas/ UCs não se encontrem especificamente na propriedade em questão⁸³.

Para fins de controle federal, após definir APPs e Reserva Legal, o Código Florestal determina como os proprietários de terras comuniquem ao Governo não só a correta demarcação destas como também a comprovação de que seu uso obedece à legislação vigente. Assim, introduz o CAR – Cadastro Ambiental Rural – espaço destinado para este controle⁸⁴. Os imóveis rurais devidamente cadastrados no CAR desfrutam de uma série de benefícios também previstos no Código Florestal, tais como o acesso ao crédito agrícola⁸⁵, a possibilidade de adesão ao Programa de Regularização Ambiental (PRA)⁸⁶ e outros⁸⁷.

Para além das APPs e das Reservas Legais espalhadas por todo o país, o Estado elege também “áreas prioritárias de ação governamental relativa à qualidade e ao equilíbrio ecológico”, conforme objetivo traçado no inciso II do Art. 4º da lei que define a PNMA. E, após a escolha de uma nova área deste tipo, o Estado define qual tipo de Unidade de Conservação implementará no local.

A lei que define e diferencia os tipos de Unidades de Conservação aplicáveis pelo Poder Público Federal às áreas prioritárias escolhidas pelo mesmo é a Lei

⁸³ Lei 12.651/2012, Art. 12, § 4º: Nos casos da alínea *a* do inciso I, o poder público poderá reduzir a Reserva Legal para até 50% (cinquenta por cento), para fins de recomposição, quando o Município tiver mais de 50% (cinquenta por cento) da área ocupada por unidades de conservação da natureza de domínio público e por terras indígenas homologadas.

⁸⁴ O CAR é criado e regulamentado ao longo de todo o Capítulo VI da Lei 12.651/2012, intitulado DO CADASTRO AMBIENTAL RURAL, abrangendo a totalidade dos Arts. 29 e 30 desta lei.

⁸⁵ Lei 12.651/2012, Art. 78-A: Após 31 de dezembro de 2017, as instituições financeiras só concederão crédito agrícola, em qualquer de suas modalidades, para proprietários de imóveis rurais que estejam inscritos no CAR.

⁸⁶ Lei 12.651/2012, Art. 59 § 2º: A inscrição do imóvel rural no CAR é condição obrigatória para a adesão ao PRA, que deve ser requerida em até 2 (dois) anos, observado o disposto no § 4º do art. 29 desta Lei.

⁸⁷ Ainda pela Lei 12.651/2012, temos:

Art. 15. Será admitido o cômputo das Áreas de Preservação Permanente no cálculo do percentual da Reserva Legal do imóvel, desde que: III - o proprietário ou possuidor tenha requerido inclusão do imóvel no Cadastro Ambiental Rural - CAR, nos termos desta Lei.

§ 2º O proprietário ou possuidor de imóvel com Reserva Legal conservada e inscrita no Cadastro Ambiental Rural - CAR de que trata o art. 29, cuja área ultrapasse o mínimo exigido por esta Lei, poderá utilizar a área excedente para fins de constituição de servidão ambiental, Cota de Reserva Ambiental (CRA) e outros instrumentos congêneres previstos nesta Lei.

Art. 26. A supressão de vegetação nativa para uso alternativo do solo, tanto de domínio público como de domínio privado, dependerá do cadastramento do imóvel no CAR, de que trata o art. 29, e de prévia autorização do órgão estadual competente do Sisnama.

Art. 44 § 1º A emissão de CRA será feita mediante requerimento do proprietário, após inclusão do imóvel no CAR e laudo comprobatório emitido pelo próprio órgão ambiental ou por entidade credenciada, assegurado o controle do órgão federal competente do Sisnama, na forma de ato do Chefe do Poder Executivo.

9.985/2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC).

O SNUC institui 12 diferentes tipos de UCs, divididos em dois grupos: as Unidades de Proteção Integral e as Unidades de Uso Sustentável. Em seu Art. 7º, a lei define-os, assim como a diferença entre os mesmos: “O objetivo básico das Unidades de Proteção Integral é preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos nesta Lei. O objetivo básico das Unidades de Uso Sustentável é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais.” Portanto o primeiro dos grupos de UC é mais restritiva (quanto ao uso antrópico do território que se encontra em seus domínios) enquanto que o segundo permite um uso controlado.

No primeiro grupo, Unidades de Proteção Integral, temos (definidas pelo Art. 8º) as seguintes categorias: I - Estação Ecológica; II - Reserva Biológica; III - Parque Nacional; IV - Monumento Natural; V - Refúgio de Vida Silvestre.

No segundo grupo, Unidades de Uso Sustentável, temos (definidas pelo Art. 14) as seguintes novas categorias: I - Área de Proteção Ambiental (APA); II - Área de Relevante Interesse Ecológico; III - Floresta Nacional; IV - Reserva Extrativista; V - Reserva de Fauna; VI - Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e VII - Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

Sobre esta lei, destaco mais uma vez, a preocupação legislativa com o desenvolvimento sustentável do país – de forma direta através de um de seus objetivos⁸⁸, de algumas de suas diretrizes⁸⁹ e do próprio conceito de “uso sustentável”⁹⁰ e de “conservação da natureza”⁹¹. Mas sobretudo, ao dividir as UCs

⁸⁸ Lei 9.985/2000, Art. 4º : “O SNUC tem os seguintes objetivos: (inciso IV) “promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais.”

⁸⁹ Lei 9.985/2000, Art. 5º: “O SNUC será regido por diretrizes que: (inciso VI) assegurem, nos casos possíveis, a sustentabilidade econômica das unidades de conservação; (inciso IX) considerem as condições e necessidades das populações locais no desenvolvimento e adaptação de métodos e técnicas de uso sustentável dos recursos naturais; (inciso XIII) busquem proteger grandes áreas por meio de um conjunto integrado de unidades de conservação de diferentes categorias, próximas ou contíguas, e suas respectivas zonas de amortecimento e corredores ecológicos, integrando as diferentes atividades de preservação da natureza, uso sustentável dos recursos naturais e restauração e recuperação dos ecossistemas.

⁹⁰ Lei 9.985/2000, Art. 2º : “Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por (inciso XI) uso sustentável: exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável;

⁹¹ Lei 9.985/2000, Art. 2º: “Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por (inciso II) conservação da natureza: o manejo do uso humano da natureza, compreendendo a preservação, a manutenção, a

em duas classes, sendo uma delas chamada de “Unidades de Uso Sustentável” - na qual há uma permissividade mais acentuada do uso antrópico do território, conquanto obedecem-se critérios de manejo voltados à aplicação de parâmetros sustentáveis – observa-se uma lei que define em sete dos doze tipos de Unidades de Conservação a possibilidade de ocupação e uso humano dos mesmos. Duas destas sete são UCs bem notórias: as APAs e as RPPNs.

Outro fato a se considerar nesta lei, tendo como filtro ações voltadas à Geoconservação ou à preservação da Geodiversidade no Brasil, é ter como objetivos, não só o de “proteger paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica” (Art. 4º, inciso VI) como também o de “proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural.” (Art. 4º, inciso VII) e o de “proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental” (Art. 4º, inciso X).

Interessante notar que os incisos VI e VII do Art. 4º da lei 9.985/2000 dialoga com os diversos valores listados por Sharples na sua defesa pela conservação da Geodiversidade (já debatidos anteriormente neste trabalho) – ou seja, nossa legislação ambiental embora não cite diretamente a Geodiversidade e a Geoconservação, abraça diretamente muitos de seus valores e coaduna com suas preocupações.

5.2.2 A Legislação Ambiental no Tocantins e a Geoconservação

No caso do Estado do Tocantins, também existem órgãos ambientais responsáveis e uma legislação ambiental específica. Foi criada, em 2005, a Lei Estadual 1.560/2005 a qual institui o Sistema Estadual de Unidades de Conservação da Natureza – SEUC e estabelece competências para órgãos estaduais: o COEMA (Conselho Estadual de Meio Ambiente – órgão deliberativo e consultivo), “com a competência de acompanhar a implementação do SEUC” (Lei Estadual 1.560/2005,

utilização sustentável, a restauração e a recuperação do ambiente natural, para que possa produzir o maior benefício, em bases sustentáveis, às atuais gerações, mantendo seu potencial de satisfazer as necessidades e aspirações das gerações futuras, e garantindo a sobrevivência dos seres vivos em geral;

Capítulo II, Art. 6º, I); a SEPLAN (Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente – órgão central), “responsável pela elaboração de estudos e propostas para criação de unidades de conservação” (Lei Estadual 1.560/2005, Capítulo II, Art. 6º, II) e a NATURATINS (Instituto Natureza do Tocantins – órgão executor) e órgãos municipais, “com a função de implementar o SEUC, subsidiar propostas de criação e administrar as unidades de conservação estaduais e municipais, nas respectivas esferas de atuação” (Lei Estadual 1.560/2005, Capítulo II, Art. 6º, III).

Sobre os objetivos listados na Lei Estadual 1.560/2005, destacamos uma preocupação direta com o desenvolvimento sustentável, a educação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo sustentável⁹². (Lei Estadual 1.560/2005, Capítulo I, Seção II, Art. 3º, IV) Com um olhar voltado para a geoconservação, destaco ainda nos objetivos: “proteger paisagens naturais notáveis e pouco alteradas” (Lei Estadual 1.560/2005, Capítulo I, Seção II, Art. 3º, Va) – que seria, por exemplo, o caso da Serra da Cangalha⁹³; “proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica, biológica e histórico-cultural” (Lei Estadual 1.560/2005, Capítulo I, Seção II, Art. 3º, Vb) – aqui, uma preocupação diretamente com o meio abiótico (ao citar explicitamente características geológicas e geomorfológicas) e por conseguinte, com a geoconservação; e ainda “proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental” ; (Lei Estadual 1.560/2005, Capítulo I, Seção II, Art. 3º, VI).

Interessante notar que na Seção III da Lei Estadual 1.560/2005, “Das Diretrizes de Gestão” na qual em tese deveria-se apresentar as ações pretendidas para que se cumpram os objetivos determinados na seção anterior, não há qualquer

⁹² Interessante notar que em nenhuma lei ambiental federal encontrei essa expressão, o “turismo sustentável”.

⁹³ Usar a expressão ‘paisagens pouco alteradas’ pura e simplesmente como um elemento a se proteger é uma abordagem simplista. Usando o exemplo da Serra da Cangalha – que pode ser estendido a qualquer feição geomorfológica: A Serra da Cangalha é um astroblema. O próprio entendimento da etimologia do termo ‘astroblema’ já indica que esta feição é uma cicatriz de um impacto meteorítico notoriamente alterada pela erosão em comparação à cratera de impacto que lhe deu forma. Ou seja, temos ali uma paisagem modificada, alterada pelas dinâmicas naturais da superfície terrestre agindo por milhões e milhões de anos naquela estrutura crateriforme. Embora muito alterada pela erosão e demais agentes de modificação no tempo geológico, ao mesmo tempo podemos afirmar que ela é bem pouco alterada pelo homem na escala do tempo histórico. A ação antrópica (em especial no interior dessa serra crateriforme) é muito pouco aparente. Acredito que a letra da lei verse sobre alteração antrópica de paisagem e uma visão de paisagem como algo visual a se enquadrar numa fotografia. Mas é importante pontuar que a paisagem é algo dinâmico e seu conceito é extremamente complexo, como já discutimos amplamente no Capítulo 2 desta tese.

menção de ação direta para a geoconservação. Fala-se em biodiversidade, esquece-se da geodiversidade. Como exemplo, o Art. 4º, Ia: São diretrizes do SEUC assegurar “a representação de amostras significativas e ecologicamente viáveis das diferentes populações, habitats e ecossistemas do território estadual e das águas jurisdicionais, salvaguardando o patrimônio biológico existente no conjunto das unidades de conservação”. Fala-se em patrimônio biológico mas não no geopatrimônio.

Um pouco adiante, ao falar mais detalhadamente sobre a pesquisa científica, temos:

Art. 5º. Os órgãos executores devem se articular com a comunidade científica, com o propósito de incentivar o desenvolvimento de pesquisas sobre a fauna, a flora e a ecologia das unidades de conservação e os impactos sobre esta, bem como sobre formas de uso sustentável dos recursos naturais.

§ 1º. As pesquisas científicas nas unidades de conservação não podem colocar em risco a sobrevivência das espécies integrantes dos ecossistemas protegidos.

É inegável que a preocupação com a biodiversidade é de crassa importância para o equilíbrio ecológico de uma região. Mas ao não falar sobre o geopatrimônio, ao restringir o incentivo do desenvolvimento de pesquisas sobre fauna, flora e ecologia sem falar diretamente também sobre a geodiversidade observamos uma lacuna de preocupações com o meio abiótico, aquele que inclusive (e não só) fornece substrato vital para todas as formas de vida que dele se servem.

A Lei Estadual 1.560/2005, ao elencar os tipos de Unidades de Conservação que integram o SEUC, mostram muita similaridade com as UCs federais desenvolvidas na Lei 9.985/2000, que institui o SNUC. Da mesma forma, divide as UCs estaduais em Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável (Lei 1.560/2005, Capítulo III, Art. 11), mas cria também outros tipos de UC em suas subdivisões.

Neste caso, a categoria Unidades de Proteção Integral subdivide-se em I) Estação Ecológica Estadual; II) Parque; III) Monumento Natural e IV) Refúgio de Vida Silvestre. (Lei 1.560/2005, Capítulo III, Seção I, Art. 12)

Já a categoria Unidades de Uso Sustentável subdivide-se em I) Área de Proteção Ambiental (APA); II) Reserva de Fauna Estadual; III) Reserva de Desenvolvimento Sustentável; IV) Rio Cênico; V) Estrada Parque; VI) Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN); VII) Área de Relevante Interesse

Ecológico; VIII) Reserva Extrativista. (Lei 1.560/2005, Capítulo III, Seção II, Art. 18)

Partindo de uma análise quanto à geoconservação e ao turismo sustentável, destacamos sete tipos de Unidades de Conservação Estaduais do Tocantins:

1) Parque (Lei 1.560/2005, Capítulo III, Seção I, Subseção II, Art. 15):

“O Parque : I - tem por objetivo a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas, promoção de educação ambiental, recreação em contato com a natureza e turismo ecológico”.

Portanto, para o estabelecimento de um Parque Estadual no Tocantins a beleza cênica é condição na letra da lei. Fala-se também em relevância ecológica mas a lei não traz definição sobre este tema. A beleza cênica remonta ao valor estético mas ignora o valor científico de uma área de grande geodiversidade ou que possua características geológica-geomorfológicas de rara ocorrência. Isto será melhor contemplado no tipo de UC Estadual seguinte:

2) Monumento Natural (Lei 1.560/2005, Capítulo III, Seção I, Subseção III, Art. 16):

“O Monumento Natural: I - tem como objetivo básico preservar sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica.”

Em outra categoria de UC Estadual, as Unidades de Uso Sustentável, encontram-se:

3) A Reserva de Desenvolvimento Sustentável (Lei 1.560/2005, Capítulo III, Seção II, Subseção III, Art. 23):

“I - é uma área natural que abriga populações tradicionais, cuja existência baseia-se em sistemas sustentáveis de exploração dos recursos naturais, desenvolvidos ao longo de gerações e adaptados às condições ecológicas locais e que desempenham um papel fundamental na proteção da natureza e na manutenção da diversidade biológica; II - tem como objetivo básico preservar a natureza e, ao mesmo tempo, assegurar as condições e os meios necessários para a: a) reprodução e melhoria dos modos e da qualidade de vida; b) exploração dos recursos naturais pelas populações tradicionais; c) valorização, conservação e aperfeiçoamento do conhecimento e das técnicas de manejo do ambiente, desenvolvido por estas populações.”

Aqui, novamente fala-se em proteção da natureza mas com ênfase na manutenção de diversidade biológica e no desenvolvimento sustentável – ou seja, com ocupação antrópica, ignorando-se a geodiversidade.

4) Rio Cênico (Lei 1.560/2005, Capítulo III, Seção II, Subseção IV, Art. 26):

“O Rio Cênico é unidade de conservação em forma de faixas lineares em áreas de domínio público ou privado, compreendendo a totalidade ou parte de um rio, com notável valor panorâmico, cultural ou recreativo, incluindo como limites os leitos e todas as terras adjacentes essenciais para a integridade paisagística e ecossistêmica.

Parágrafo único. O Poder Público incentiva o turismo sustentável e a educação ambiental ao longo do rio cênico.”

Esta é uma UC Estadual que não encontra paralelo no modelo federal. O Tocantins é um Estado da Federação que não é banhado pelo mar e por conseguinte, possui estreita relação com seus rios. Vale lembrar que o próprio nome do Estado é o nome de um dos seus mais importantes rios (em conjunto com o rio Araguaia), cujo nome já existia antes da criação do Estado⁹⁴. Esse tipo de UC Estadual reforça a preservação um elemento da natureza, o rio, que já se encontrava resguardado pelo Código Florestal, no que diz respeito às APPs em áreas fluviais – mas aqui, por ser uma UC da categoria das Unidades de Uso Sustentável, reforça-se a possibilidade do ‘turismo sustentável’, expressão mais uma vez utilizada na letra da lei.

5) Estrada Parque (Lei 1.560/2005, Capítulo III, Seção II, Subseção V, Art. 27):

“A Estrada Parque é instituída compreendendo o leito de parte ou totalidade da estrada e as faixas de domínio de notável valor panorâmico, cultural ou recreativo. § 1º. A administração da Estrada Parque é realizada em conjunto com os órgãos de transporte e meio ambiente. § 2º. O Poder Público incentiva o turismo sustentável e a educação ambiental ao longo das Estradas Parque.”

A análise desta UC Estadual é similar à feita para a UC Rio Cênico, com uma particularidade: aqui, trata-se de uma Unidade de Conservação que tem como objeto um produto direto e exclusivo da ação antrópica, uma estrada – e não um elemento da natureza.

⁹⁴ O Estado do Tocantins é o mais novo dos Estados da Federação, tendo sido criado em definitivo em 1988, através da nova Constituição Federal. (artigo 13 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias, CRFB/88)

6) Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN (Lei 1.560/2005, Capítulo III, Seção II, Subseção VI, Art. 28):

“A Reserva Particular do Patrimônio Natural constituída de propriedade privada ou de parte destacada dela sobre a qual o proprietário institui, de modo perpétuo, o gravame de manter intacta a diversidade biológica.”

Sobre a RPPN Estadual do Tocantins cabe o destaque para a preocupação de manter intacta a diversidade biológica. Ou seja, o Patrimônio Natural aqui se restringe ao meio biótico, como vemos vendo em muitos casos analisados já ao longo deste Capítulo, excluindo-se a preocupação com a geodiversidade.

7) Área de Relevante Interesse Ecológico (Lei 1.560/2005, Capítulo III, Seção II, Subseção VII, Art. 29)

“A Área de Relevante Interesse Ecológico é: I - área constituída por terras públicas ou privadas, em geral de pequena extensão, com pouca ou nenhuma ocupação humana, com características naturais extraordinárias ou que abriga exemplares raros da biota regional; II - tem por objetivo: a) manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local; b) compatibilizar o uso dessas áreas com os objetivos de conservação da natureza.”

Aqui, a letra da lei elege para proteção uma área com características naturais extraordinárias ou que abriga exemplares raros da biota regional. Com o uso do “ou”, passa-se a impressão de que características naturais extraordinárias possam ser características abióticas, ou seja, um ponteiro que aponta para a geodiversidade do local, mas sem uma redação mais direta não nos desprendemos do campo subjetivo das suposições/interpretações.

Como conclusão da análise do SEUC/TO, observamos o não-uso dos termos geodiversidade e geoconservação. Apesar disso, há uma ideia de conservação da natureza, de um ecossistema ou de uma beleza cênica (atrelada a uma preocupação com o valor estético) e às vezes também uma preocupação literal em conservar o valor cultural – valores estes listados dentro da rede de valores que Gray (2004) enumera como de relevante importância em uma análise para geodiversidade. Há também tipos de UCs Estaduais na Legislação Ambiental Estadual do Tocantins que sugerem um ‘turismo sustentável’, expressão não encontrada na Legislação Ambiental Federal.

5.3

Serra da Cangalha: Geoconservação através da legislação ambiental brasileira

5.3.1

Tentativas Governamentais em passado recente

Já houve, nos últimos quinze anos, mais de uma tentativa de estabelecer uma Unidade de Conservação na área do Astroblema da Serra da Cangalha. Estas tentativas têm como base legislações estaduais, já que estas iniciativas partiram do Governo Estadual do Tocantins.

Três leis estaduais dialogam diretamente com este processo iniciado na primeira década deste século, embora a terceira delas – a Lei nº 2.656/2012 – na qual institui-se o ZEE do Tocantins – apenas obteve efeito prático real para o planejamento e implantação de preservação ambiental no Estado quando este ZEE foi finalizado e comunicado, há menos de um ano atrás (dezembro de 2021). As outras duas leis que incentivaram estas ações foram, primeiramente a Lei que cria o SEUC (já analisada no subcapítulo anterior) e a Lei Estadual 1.917/2008, a qual institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Tocantins. Em seu Capítulo II, dentre seus objetivos, observamos o contido no inciso XII: “a criação de novas Unidades de Conservação, de acordo com o Sistema Estadual de Unidades de Conservação”.

Dentre os tipos de Unidades de Conservação Estadual/Municipal oferecidos pelo SEUC, dois foram escolhidos, em momentos diferentes para a área da Serra da Cangalha. O primeiro tipo de UC tentado no local é o Parque, em 2008. Sobre esta tentativa, obtive informações apenas na Justificativa Técnica para implantação já do segundo tipo de UC na área, o Monumento Natural, cinco anos mais tarde.

Assim versa a Justificativa Técnica para implantação do Monumento Natural Estadual Serra da Cangalha:

“Em 2008, um novo estudo coordenado pelo Instituto Natureza do Tocantins (Naturatins) em parceria com a organização não-governamental *The Nature Conservancy* (TNC) intitulado “Um mosaico de Unidades de Conservação para o Leste do Estado do Tocantins – Parte 3 – Parque Estadual Serra da Cangalha” complementou as informações existentes com o levantamento de dados bióticos e abióticos para a região da Cangalha, resultando na proposição de estabelecimento de uma unidade de conservação na categoria Parque Estadual, com vistas à proteção dos ecossistemas e do fenômeno do astroblema.” (SEMADES, 2013).

Portanto em 2008 já havia o interesse público não só na preservação do meio ambiente como também na preservação de um sítio de valor científico. Observa-se a escolha, na época, de uma categoria de UC Estadual que é bem restritiva quando à ocupação humana e seu uso, como observamos na letra da lei:

O Parque Estadual:

“é de posse e domínio públicos, e as áreas particulares incluídas em seus limites são desapropriadas” (Lei Estadual nº 1.560/2005, Capítulo III, Seção I, Subseção II, Art. 15, inciso II).

“tem a visitação pública sujeita às normas e restrições estabelecidas no plano de manejo da unidade ou no regulamento e pelo órgão responsável por sua administração.” (Lei Estadual nº 1.560/2005, Capítulo III, Seção I, Subseção II, Art. 15, inciso II)

Para a execução deste Parque Estadual seria necessária a desapropriação de aproximadamente 200 moradores do local, os quais, organizados, rechaçaram a proposta inviabilizando-a (SEMADES, 2013).

Uma nova proposta é levantada pelo Governo Estadual, agora para uma UC Estadual da categoria Monumento Natural. Ainda dentro da classe mais restritiva (Unidade de Proteção Integral), esta categoria tem uma ação direta sobre a população local mais branda do que a categoria Parque Estadual, já que não pressupõe a desapropriação de propriedades privadas internas à área delimitada de forma *sine qua non*, mas sim apenas em caso especial. Diz a lei:

O Monumento Estadual:

“pode ser constituído por áreas particulares, desde que haja compatibilidade entre os objetivos⁹⁵ da unidade de conservação com o uso do solo e dos recursos naturais pelos proprietários. Havendo incompatibilidade entre os objetivos da área e as atividades privadas ou não havendo aquiescência do proprietário às condições propostas para a coexistência do Monumento Natural com o uso do solo, a área é

⁹⁵ É determinado um objetivo específico para o Monumento Natural Estadual: “tem como objetivo básico preservar sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica” (Lei Estadual nº 1.560/2005, Capítulo III, Seção I, Subseção II, Art. 15, inciso II).

Além deste, existem os objetivos gerais do SEUC do Tocantins, que versam basicamente sobre preservação do meio ambiente e desenvolvimento sustentável, em 7 diferentes incisos (alguns contendo diferentes alíneas) no Art. 3º da Seção II do Capítulo I desta lei).

desapropriada. (Lei Estadual nº 1.560/2005, Capítulo III, Seção I, Subseção III, Art. 16, inciso II)

Mesmo com esta segunda proposta, o Governo Estadual não obteve êxito. O relatório da Consulta Pública realizada em 21 de março de 2013 aponta para nova desaprovação da comunidade local – fato este que pode ter pesado no não-andamento do processo de implantação do Monumento Natural Estadual Serra da Cangalha.

Embora não estejam claros os motivos pelos quais o projeto de 2013 não seguiu em frente, concluímos que qualquer projeto que seja implantado de maneira *top-down*, imposto pelos governantes à comunidade local e com drásticas alterações negativas no seu modo de vida – como as desapropriações – causam um atrito indesejável entre o Poder Público e aqueles que realmente serão impactados diretamente pelas Unidades de Conservação. É incoerente que um grupo de pessoas que moram a mais de 400km da região e desconhecem a fundo a cultura e as necessidades dos locais definam, sozinhas, qual o tipo de alteração aquela região deve sofrer em detrimento de quais benesses e perdas. O resultado da consulta popular mostrou como é torto e desconexo o traço que deveria unir os anseios da população local e as ideias/demandas dos governantes do Estado.

Além disso, a efetividade de uma real conservação ambiental de uma área alocada em uma UC – seja ela federal, estadual ou municipal – é questionada. Salmona et. al (2014) argumentam que muitas UCs no Brasil são instituídas e, por não receberem a atenção e investimentos devidos pós-criação dos mesmos, perdem muito de seu caráter conservatório/restaurador. Esta prática é tão comum que existe, para estas UCs, uma alcunha: “Unidades no Papel”. Segundo Medeiros et. al (2011),

“uma comparação entre o orçamento destinado às áreas protegidas no Brasil e em outras nações revela que mesmo países com PIB menores que o brasileiro investem, por hectare protegido, entre cinco e 25 vezes mais na manutenção dos seus sistemas (figura 2). Ao mesmo tempo, a relação entre a superfície protegida por unidades de conservação do SNUC e o número de funcionários alocados em sua gestão está entre as piores do mundo. A título de exemplo, enquanto na África do Sul esta relação é de um funcionário para cada 1.176 hectares, no Brasil é de um funcionário para 18.600 hectares.”

Este é o risco que se corre quando uma política de conservação ambiental é desenvolvida sem a participação popular daqueles que serão diretamente atingidos

pela mesma: além de gerar potenciais descontentamentos locais, estes sentimentos provocados nos mesmos deixam para o Poder Público uma responsabilidade isolada de manter esta proposta, já que a população, descontente, não se sente participativa e de fato não é convocada para tanto. Quando a população se interessa pelo projeto de forma autêntica e orgânica, ela passa a ser uma parceira no seu desenvolvimento, gerando mais força para que o mesmo tenha êxito continuado.

5.3.2

Geoconservação: A situação atual da área do astroblema da Serra da Cangalha

Hoje a área do astroblema da Serra da Cangalha não possui nenhuma Unidade de Conservação estabelecida em seus domínios. Portanto, toda e qualquer proteção ambiental efetiva – incluindo-se aquela referente à Geoconservação – somente é resguardada pelo Poder Público através da constituição de APPs e Reservas Legais dentro de cada propriedade particular cadastrada no CAR – Cadastro Ambiental Rural.

Toda a área do astroblema da Serra da Cangalha é ocupada pelo bioma cerrado e encontra-se dentro do território definido legalmente como ‘Amazônia Legal’ pelo Código Florestal⁹⁶. Portanto, enquadra-se nos parâmetros regradados pela Lei 12.651/2012, Art. 12, inciso I, alínea b - na qual todas as propriedades rurais situadas nesta área devem destinar 35% de sua área total (excluídas as áreas de APP) para a composição de sua área de Reserva Legal. Além disso, há nascentes, rios e riachos, dentro desta área – todas estas feições sendo passíveis de proteção

⁹⁶ Na Lei 12.651/2021, Art 3º, inciso I define-se Amazônia Legal como sendo “os Estados do Acre, Pará, Amazonas, Roraima, Rondônia, Amapá e Mato Grosso e as regiões situadas ao norte do paralelo 13º S, dos Estados de Tocantins e Goiás, e ao oeste do meridiano de 44º W, do Estado do Maranhão”.

via APP⁹⁷. Estes dados devem estar contidos no CAR de cada propriedade corretamente cadastrada.

O Astroblema da Serra da Cangalha possui uma área de aproximadamente 137, 094 km² de extensão. Em seu interior há diversas propriedades rurais. O centro urbano do município de Campos Lindos fica a aproximadamente 7 quilômetros rodoviários de distância dos limites do astroblema.

Acessando o site oficial do SICAR⁹⁸ (Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural) para consulta pública, é apresentado um mapa do Brasil (sob a base do Google Maps – satélite) contendo todos os CARs cadastrados no país. No seu canto direito superior há a opção de aumentar ou diminuir a escala do mapa. Ao clicar-se sobre um Estado da Federação no mapa, apresentam-se todos os municípios daquele Estado. Ao clicar-se sobre um dos municípios fornecidos, obtém-se acesso às áreas rurais cadastradas neste município. O site oferece então o download de dados relativos à inscrição de cada propriedade rural cadastrada na área em um arquivo pdf. Ao mesmo tempo, é possível também fazer o download dos arquivos *shapefile* de todas as propriedades cadastradas em cada município com as respectivas situações cadastrais. Estes dados são abertos e colocam-se disponíveis pelo Governo Federal para consulta pública.

Portanto, é possível analisar de que forma as propriedades estão distribuídas no território do Astroblema da Serra da Cangalha e arredores. Na figura 5.2 abaixo observa-se a distribuição e a condição cadastral dos imóveis rurais que estão contidos na área em questão. O limite da borda externa do astroblema está representado por uma linha vermelha marcando o perímetro da mesma. Olhando

⁹⁷ A Lei 12.561/2012 (Código Florestal) define e determina quais são as características físicas para que uma área se torne APP. Segue a letra da lei para os casos supracitados:

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012). (Vide ADIN Nº 4.903)

⁹⁸ Site oficial do SICAR para consulta pública: <https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>, acessado em novembro/2022.

para dentro deste limite, de todas as áreas apresentadas, em termos de propriedades rurais que ocupam áreas especialmente importantes do astroblema, uma delas destaca-se. Há uma propriedade rural que é ao mesmo tempo não só a maior propriedade rural cadastrada no CAR dentro do território do Astroblema da Serra da Cangalha como sua área engloba também toda a depressão central (no mapa, com o perímetro dos limites externos representados por linha verde) e grande parte da área interna do divisor de drenagem da serra crateriforme (divisor este representado pela linha azul no mapa). Esta propriedade portanto contém todo o cerrado pouquíssimo alterado nas últimas décadas que compõe a parte interna da Serra da Cangalha.

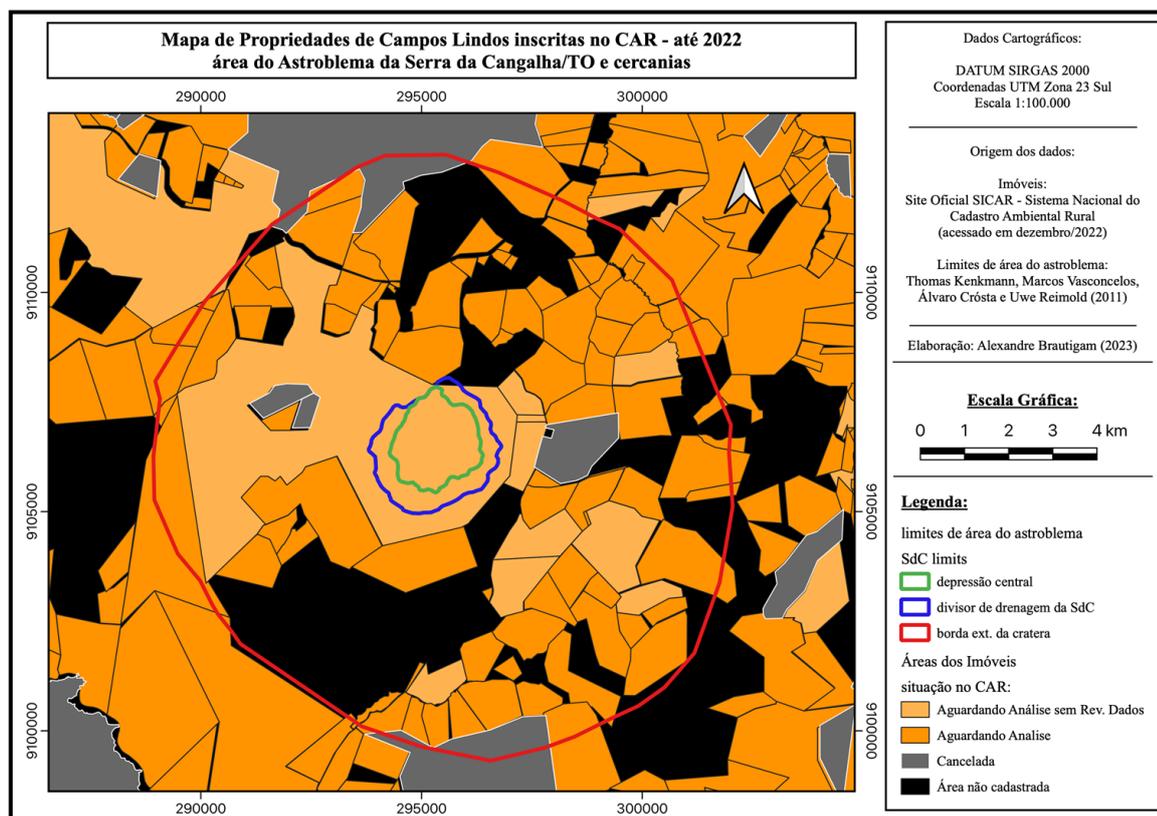


Figura 5.2 - Este mapa indica a distribuição de propriedades rurais no território do Astroblema da Serra da Cangalha e arredores. Os dados fornecidos pelo Estado que compõem as áreas das propriedades foi baixado em novembro/2022 com a situação cadastral atualizada até a data de 01.11.2022. Os limites da área do astroblema (externos e internos) são fornecidos pelo artigo “*The complex impact structure Serra da Cangalha, Tocantins State, Brazil*” (KENKMANN et al., 2011).

Esta propriedade rural está cadastrada no CAR e sua situação em novembro/2022 está classificada como “Ativa” e sua condição consta na categoria “Aguardando análise sem revisão de dados”. Seu cadastro foi entregue em 09.07.2017 segundo consta no “Demonstrativo da Situação das Informações Declaradas no CAR” – DSID/CAR – disponível para download online, mas até novembro de 2022 o proprietário ainda aguardava a análise do órgão governamental competente. São mais de 5 anos de espera até então. Seus dados disponíveis pelo Estado no DSID/CAR apresentam mais alguns dados importantes.

A propriedade possui 2661,9151 hectares. Como cada hectare corresponde a 10000 m², infere-se que a propriedade possui cerca de 26,61 km². Assim esta propriedade, sozinha, possui 19,41% do território do astroblema. No DSID/CAR, o proprietário apresenta 932,7513 hectares de área da propriedade reservada para Reserva Legal. Este montante representa exatamente 35,04% da área total do imóvel cadastrado. Como já apresentado anteriormente, o Astroblema da Serra da Cangalha insere-se totalmente na Amazônia Legal devendo portanto, por lei, apresentar uma área de Reserva Legal de 35%. A área proposta condiz com o que se demanda legalmente. As áreas de APP também estão quantificadas no DSID/CAR: 163,0373 ha, correspondendo a 6,13% da área total da propriedade rural em questão. Observa-se ainda no DSID/CAR que o proprietário apresenta, na seção de Cobertura do Solo, que a área total de remanescentes de Vegetação Nativa⁹⁹ corresponde a 2656,5361 hectares, ou seja, 99,78% da área total do imóvel. Observa-se que o proprietário cumpre a lei e preserva grande parte da propriedade, para além de suas obrigações legais.

⁹⁹ Segundo a Lei Federal n. 12.651/12, em seu Art. 3o, inciso XXIV, define-se: “Remanescente de Vegetação Nativa: área com vegetação nativa primária ou em regeneração, que não esteja em regime de pousio.”

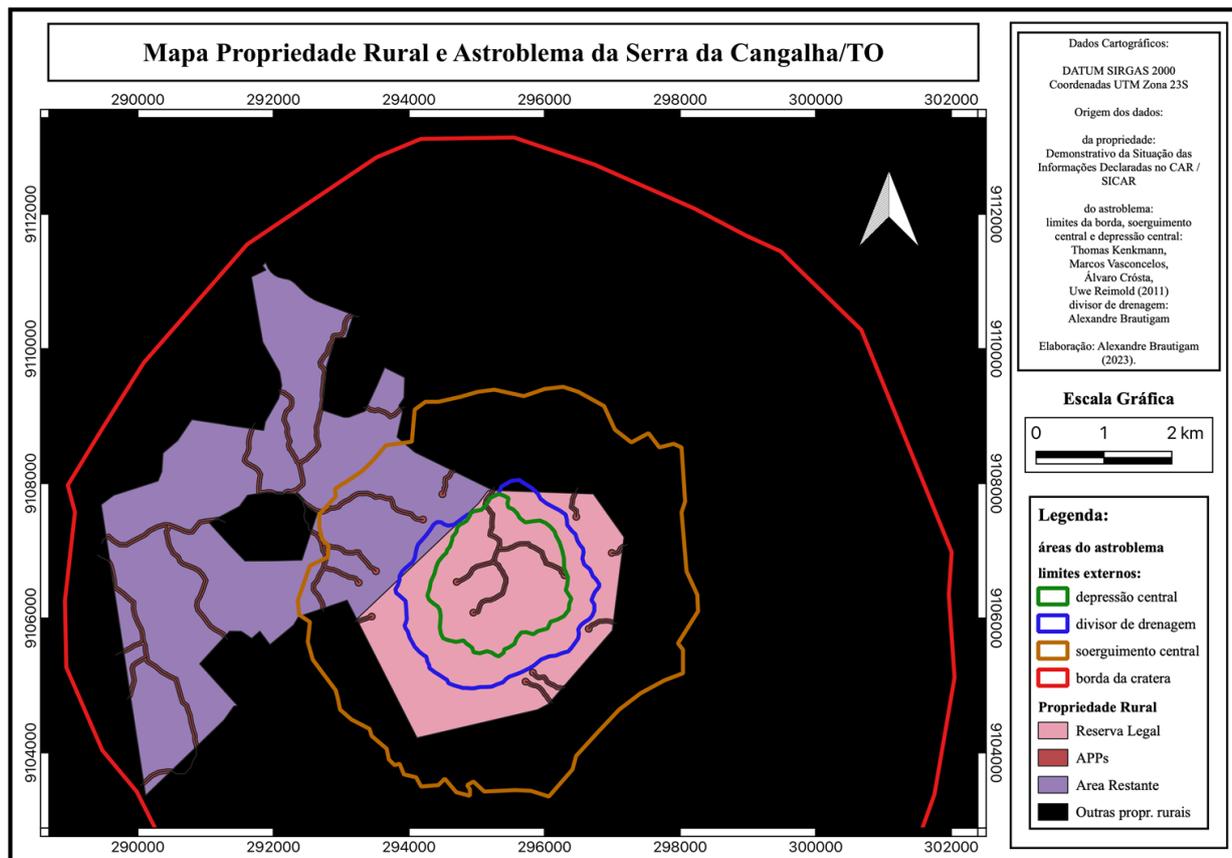


Figura 5.3: Este mapa indica a distribuição de áreas para Reserva Legal e APPs de uma importante propriedade rural no território do Astroblema da Serra da Cangalha e arredores. Os dados fornecidos pelo Estado que compõem as áreas das propriedades foi baixado em novembro/2022 com a situação cadastral atualizada até a data de 01.11.2022. Os limites da área do astroblema (externos e internos) são fornecidos pelo artigo “*The complex impact structure Serra da Cangalha, Tocantins State, Brazil*” (KENKMANN et al., 2011). O divisor de drenagem contido neste mapa é produto desta tese (Capítulo 4).

Como pode-se observar na Figura 5.3, a área reservada para proteção como Reserva Legal compraz toda a depressão central, toda parte interna da Serra da Cangalha que pertence à propriedade em questão e ainda quase toda a parte das vertentes externas da serra crateriforme contida também na propriedade em questão. Dessa forma, o proprietário particular reserva um bom espaço para proteção legal via Reserva Legal e APPs. Com mais de 99% de sua área ocupada por remanescentes de vegetação nativa de forma declarada,

observa-se uma intenção de preservação ambiental muito acentuada por parte do proprietário desta propriedade rural.

5.3.3

O Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins: cenas dos próximos capítulos

Finalizando o estudo que confronta esta feição singular que é o Astroblema da Serra da Cangalha e os instrumentos criados pelo Poder Público voltados à proteção ambiental, nos falta uma visada que aponte para o futuro. Neste primeiro momento, analiso um volumoso e recente instrumento gerado pelo Estado do Tocantins e que será de suma importância para o planejamento do Poder Público frente às questões ambientais e de desenvolvimento sustentável: o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), já explicitado nesta tese para o âmbito federal mas que aqui se faz presente na sua versão estadual. Descrevo a análise o ZEE do Tocantins (ZEE-TO) – em especial com um olhar voltado para a área do Astroblema da Serra da Cangalha – nas linhas que se seguem.

O primeiro registro legal sobre o ZEE do Tocantins aparece no ano de 1992, 11 anos depois de promulgada a Política Nacional do Meio Ambiente. Nesta ocasião, através do Decreto nº 5.562/1992, é criada a Comissão Organizadora do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins, com a função de “planejar, coordenar, acompanhar e avaliar” a sequência dos trabalhos do devido ZEE; articular-se com o Governo Federal para a devida compatibilização entre este trabalho e algo similar em âmbito federal, assim como com organizações internacionais para o devido suporte.

Apenas 20 anos mais tarde é promulgada a Lei Estadual nº 2.656/2012, que enfim institui o Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins, recortando o território estadual em Zonas e Subzonas “para efeito de planejamento das ações públicas e privadas do Estado, (...) tendo por referência base de dados biofísicos e socioeconômicos” (Lei nº 2.656/2012, Arts. 1º e 2º).

No seu Artigo 3º, a Lei nº 2.656/2012 define as Zonas e Subzonas como se segue:

- I - Zona A, Áreas para Ocupação Humana;
- II - Zona B, Áreas para Conservação Ambiental e do Patrimônio Natural, dividida nas seguintes subzonas:
 - a) Subzona B.1, Áreas para Conservação dos Ambientes Naturais;
 - b) Subzona B.2, Áreas para o Corredor Ecológico Tocantins-Araguaia;
 - c) Subzona B.3, Áreas de Ocorrência de Cavidades Naturais Subterrâneas;
 - d) Subzona B.4, Áreas de Proteção de Captação de Água para Abastecimento Público;
- III - Zona C, Áreas Prioritárias para Unidades de Conservação de Proteção Integral;
- IV - Zona D, Áreas de Unidades de Conservação de Uso Sustentável;
- V - Zona E, Áreas sob Administração Federal. (Lei nº 2.656/2012)

Dessa forma, dependendo da posição que o Astroblema da Serra da Cangalha se encontre nas Zonas/Subzonas possíveis, haverá já uma pré-disposição para determinada ação do Poder Público em relação à políticas públicas visando sua preservação ambiental.

Em 2017 (cinco anos após a Lei que instituiu o ZEE do Tocantins) instituiu-se novamente, por decreto¹⁰⁰, a Comissão Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins, substituindo a comissão criada vinte e cinco anos antes com o mesmo propósito. Uma mudança pequena mas significativa neste decreto está no fato de que é dever da comissão não só “planejar, coordenar, acompanhar e avaliar” o processo de implementação deste ZEE (como já acontecia com a comissão anterior) mas agora também inclui-se o jugo de aprovar ou não o trabalho.

De fato, isto ocorre em mais cinco anos de trabalho. No dia 04 de agosto de 2021 foi comunicado à população (no site oficial do Governo Tocantinense) o agendamento de uma *live* para os dias 01 e 03 de dezembro do mesmo ano (a ocorrer na plataforma digital de vídeos *You Tube*), na qual o Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins seria formalmente apresentado à população¹⁰¹ e posteriormente disponibilizado em formato digital textual para consulta geral. Hoje é possível acessar o produto final do ZEE/TO no website da Secretaria de Planejamento e Orçamento do Tocantins¹⁰², subdividido em “Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins: Produtos Técnicos” e “Seminários de Apresentação dos Resultados”.

¹⁰⁰ Decreto nº 5.559/2017 do Estado do Tocantins.

¹⁰¹ Link para a matéria: <https://zee.seplan.to.gov.br/noticia/2021/8/4/governo-do-tocantins-publica-plano-de-zoneamento-ecologico-economico-do-estado/>. Acessada em 21/10/ 2022.

¹⁰² Link para acesso: <https://zee.seplan.to.gov.br/produtos-zee-to/>. Acessado em 21/10/2022.

A partir do material disponibilizado na seção de Produtos Técnicos, analisamos os documentos de maior importância à luz dos objetivos desta tese. São eles: “Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins – Síntese da Compartimentação da Paisagem”; “Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins – Diagnóstico do Meio Natural”; “Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins – Diagnóstico do Meio Antrópico”; “Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins – Prognóstico Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins”; “Relatório Final Tomo I – Plano de Paisagem do Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins”; “Relatório Final Tomo II – Plano de Ação do Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins”.

Destes seis documentos, os quatro primeiros fazem parte de um levantamento técnico-científico com a divisão das zonas e subzonas, diagnósticos e um prognóstico (criado a partir destes diagnósticos anteriores), culminando nos documentos que sugerem um plano de paisagem e de ação.

A escolha de análise destes documentos do ZEE/TO se justifica pelo que se segue: no documento que demonstra como foi feita a compartimentação da paisagem, nos interessa saber qual é a profundidade (nível de escala da base de dados) da metodologia proposta, e qual é o peso que uma feição tão singular como o astroblema pode ter nessa análise; no documento sobre o diagnóstico do Meio Natural, nos interessa entender como e se o Astroblema da Serra da Cangalha está descrito (em termos de bases geológicas/geomorfológicas); no documento sobre o diagnóstico do Meio Antrópico, nos interessa entender qual é a leitura do ZEE para o município de Campos Lindos, referente aos dados de ocupação humana e uso da terra; no documento sobre prognóstico ecológico-econômico, nos interessa entender quais demandas eles associam à área do Astroblema da Serra da Cangalha e em especial se há para o local a sugestão de algum turismo sustentável ou geopreservação e nos relatórios finais referentes ao plano de paisagem e ao plano de ação, analisamos o que fica reservado à área do astroblema.

Sobre a compartimentação da paisagem: o ZEE-TO adotou uma metodologia em que utiliza-se tanto de informações coletadas em bases de dados já coletadas previamente quanto de dados complementares retirados em campo pela própria equipe técnica do projeto. O objetivo principal desta etapa é caracterizar as

Unidades de Paisagem¹⁰³. As Unidades de Paisagem representam o III Nível de compartimentação da paisagem e é o que trabalha com bases de dados mais detalhadas.

O primeiro nível é chamado de “Macrocompartimentação da Paisagem” e atua com bases na escala de 1:1.000.000. Aqui, foram utilizadas as seguintes bases:

Geomorfologia e Unidades Geomorfológicas – (Base de dados geográficos do Tocantins, 2012);

Geologia – Ambientes Geológicos (SEPLAN-TO, 2008);

Pedologia – Solos – (SEPLAN-TO, 2008);

Regionalização Climática (SEPLAN-TO, 2008);

Bioma – Macro Ecossistemas – (MMA, RADAMBRASIL, 1992; PROJETO SIVAM, 2012);

Mapa de Regiões Fitoecológicas – (SEPLAN-TO, 2013).

Observa-se uma base desatualizada e uma preponderância de elementos físicos e biológicos com a ausência dos elementos antrópicos para esta macrocompartimentação. Analisando os mapas disponíveis na conceituação metodológica deste trabalho (TOCANTINS, 2017b) não há ocorrência de nenhum maior detalhamento geomorfológico ou geológico na restrita área do astroblema que justifique sua interferência direta neste primeiro nível de subdivisão espacial.

Para o segundo nível, que fragmenta cada macrocompartimentação em pedaços menores, teremos a chamada “Compartimentação da Paisagem”, que atua com bases na escala de 1:250.000. Nesta etapa, foram usadas as seguintes bases:

Geologia - Classes (CPRM, 2006);

¹⁰³ “As Unidades da Paisagem constituem-se na base para a definição de zonas, normas e planos de ordenamento territorial que integram o Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins (ZEE-TO).” (TOCANTINS, 2017b: pg 3) Ou seja, elas são o produto final da compartimentação da paisagem mas ainda não constituem, elas mesmas, as zonas que nomeiam o Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins.

Pedologia - Tipos de Solos (SEPLAN-TO, 2012);

Geomorfologia – Hipsometria (Base Digital Contínua – NATURATINS/SEPLAN-TO, 2004);

Cobertura Vegetal e Uso da Terra (Elaboração própria do Consórcio Senografia/Detzel Consulting/Hardt Planejamento, 2016).

Aqui entra pela primeira vez uma base temática que discorre sobre possíveis ações antrópicas, “Cobertura Vegetal e Uso da Terra”. Portanto apenas neste nível de compartimentação da paisagem a ação humana entra em análise. Por outro lado, pensando sobre a influência do Astroblema da Serra da Cangalha nesta etapa, no mapa geológico não aparecem as variações concêntricas de diferentes formações que existem circunscritas à sua área e o mapa hipsométrico na escala 1:250.000 disponibilizado dentro do documento não possui qualidade suficiente para inferir-se se ele registrou (ou não) a variação altimétrica singular da Serra da Cangalha. Portanto, não posso afirmar que há dados aqui do meio abiótico que demonstrem de forma clara a influência da paisagem da Cangalha neste nível de compartimentação.

Por fim o terceiro nível, que por sua vez fragmenta cada compartimentação da paisagem criada no nível anterior em “Unidades de Paisagem”, formadas a partir de bases na escala de 1:100.000. Para esta última etapa, utilizaram-se as seguintes bases temáticas:

Declividades (SEPLAN-TO, 2012);

Hidrografia (NATURATINS/SEPLAN-TO, 2004);

Pedologia – subordens de solos (SEPLAN-TO, 2008);

Clima – precipitação (SEPLAN-TO, 2008);

Cobertura Vegetal e Uso da Terra (Elaboração própria do Consórcio Senografia/Detzel Consulting/Hardt Planejamento, 2016.).

Ressalta-se que embora haja temas repetidos se comparados aos níveis anteriores de compartimentação, por se tratarem de bases em diferentes escalas, o maior nível de detalhamento confere resultados diferentes para esta etapa do trabalho.

Cabe também pontuar que este trabalho de caracterização de Unidades de paisagem do ZEE-TO utiliza-se do seguinte conceito de paisagem:

“[...]determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 1971, P.2).” (TOCANTINS, 2017b).

Este é um conceito pertinente para um trabalho que tem como objetivo dividir áreas em um espaço físico e que, ao mesmo tempo, para tal possui um olhar específico justamente para essas matrizes: a física, a biológica e a antrópica.

No total, foram 13 Macrocompartimentos de Paisagem, subdivididos em 72 Compartimentos de Paisagem, também subdivididos em 161 Unidades de paisagem. Os macrocompartimentos receberam uma letra maiúscula para diferenciá-los; os compartimentos um número e as unidades, uma letra minúscula. O Astroblema da Serra da Cangalha se encontra na Unidade de paisagem denominada D4a. Na descrição desta unidade, o astroblema é a única feição geomorfológica citada nominalmente, como se segue: “Além disto é encontrada a cratera denominada Serra da Cangalha, com aproximadamente 13km de diâmetro, situada no município de Campos Lindos, que foi criada pelo impacto de um meteorito, ocorrido há cerca de 220 milhões de anos.” (TOCANTINS, 2017b: pg 208)

Porém, há imprecisões na curta citação que podem ser revistas/melhor escritas. Primeiro, um erro de nomenclatura. Não existe um impacto de um meteorito, já que “meteorito” é um produto deste tipo de impacto. Meteoritos são fragmentos do corpo celeste que se chocou com o planeta, conforme já explicado nesta tese. Houve, neste caso, um impacto de um corpo celeste com a superfície terrestre – e, diga-se, um tipo de impacto com uma quantidade de energia envolvida que dificilmente deixa meteoritos nas cercanias ou dentro da cratera.

E outro erro que advém de certa confusão própria desta feição geomorfológica é dizer que a Serra da Cangalha é uma cratera com 13km de

diâmetro - pois a Serra da Cangalha, na verdade, não é a cratera toda e sim apenas parte dela. Os limites exteriores da cratera erodida estão nos baixos platôs que circundam a planície anelar e tudo isso se encontra já fora da Serra da Cangalha. A Serra da Cangalha se caracteriza pelo colar serrano e pela depressão central, resquícios do que restou do núcleo soerguido da cratera. A Serra da Cangalha é a parte central da cratera e possui apenas cerca de 4km de diâmetro.

Nas referências bibliográficas deste trabalho de Compartimentação de Paisagem do ZEE-TO não há menção a nenhum trabalho sobre o Astroblema da Serra da Cangalha. Como no corpo do texto não há indicação de citação, não podemos saber de onde estas informações foram recolhidas pela equipe técnica, que inclusive esteve lá *in loco* ao longo deste trabalho para coletas de campo referentes ao meio físico (TOCANTINS: 2017b, pg 59).

O segundo relatório analisado é o “Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins – Diagnóstico do Meio Natural”. Neste trabalho, a equipe faz um trabalho de revisão bibliográfica consistente a nível estadual sobre o meio físico do Estado do Tocantins. Sobre a parte abiótica, são pouco menos de 200 páginas discorrendo sobre a geologia, geomorfologia, pedologia, clima, recursos hídricos, potencial eólico e solar.

Na parte referente à geologia do Estado, descreve-se a Província Parnaíba e apresenta-se um mapa da mesma, com escala 1:3.000.000 contendo seus respectivos Grupos/Formações Geológicas (TOCANTINS, 2017c: pg 57). Foram usadas como fonte de dados para a construção da parte geológica do mapa, a Base Cartográfica Contínua do Brasil ao milionésimo (IBGE/DGC, 2014) e a Base Cartográfica Digital Contínua do Estado do Tocantins (SEINF/DERTINS, 2014). Neste mapa, toda a área do astroblema e praticamente toda a área do município de Campos Lindos é recoberta pelas Formações Piauí e Pedra de Fogo¹⁰⁴. Sabemos que na área que delimita o astroblema, há a ocorrência concêntrica das formações Longá, Poti, Piauí e Pedra de Fogo, conforme já destacado no Capítulo 2 desta tese. Portanto, duas formações geológicas ficaram de fora deste mapeamento geológico do ZEE-TO. Cabe notar que o trabalho de Vasconcelos (2012) que confirma essas

¹⁰⁴ Como legenda para estas duas diferentes Formações, usou-se cores tão parecidas de tal maneira que ao se observar o mapa ocupando integralmente a tela do computador confunde-se ambas as Formações no município de Campos Lindos, como se fossem uma só.

quatro formações *in loco* tem publicação cinco anos antes e poderia ter sido utilizado como referência de consulta.

Esta falta fica mais evidente pois justamente a área limítrofe do astroblema está destacada no mapa com uma linha verde circundando a mesma. De dentro dessa área, parte uma linha preta com o seguinte texto: “Monumento Serra Cangalha”. A linha verde está, na legenda do mapa, vinculada a marcação de Unidades de Conservação. Logo, concluímos que, dadas as UCs possíveis com esse nome (Lei 9.985/2000 – SNUC; Lei Estadual nº 1.560/2005 – SEUC), seria uma referência a uma UC do tipo Monumento Natural – que não existe atualmente na área¹⁰⁵.

Passamos à análise do terceiro documento escolhido que integra o ZEE-TO: “Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins – Diagnóstico do Meio Antrópico”. Neste documento, abordaram-se indicadores de desenvolvimento socioeconômico e uso e ocupação da terra relativos ao Estado do Tocantins. Ao formular um documento que tem por intenção determinar ações futuras do Poder Público voltadas ao desenvolvimento sustentável e preservação ambiental é de suma importância que se conheça, para além do meio físico em questão, as relações do homem com a terra e do homem com o homem.

Inicialmente em um *overview* geral, ao trazer à tona uma análise basilar sobre os Macrocompartimentos da Paisagem, este documento cita o astroblema da forma como se segue:

“Também é uma área de destaque a cratera de impacto de meteorito, no município de Campos Lindos, sendo a segunda maior cratera conhecida no Brasil, de grande interesse científico e apelo turístico. A região possui uma importante UC de Proteção Integral, o Monumento Natural das Árvores Fossilizadas do Estado do Tocantins, no município de Filadélfia, o maior monumento natural fossilizado do mundo, com fósseis anteriores aos dinossauros, datados com mais de 250 milhões de anos, importante referencial arqueológico para o país.” (TOCANTINS, 2017d: pg 9)

Aqui, observamos um erro conceitual relativo à nomenclaturas que foi aplicado à etapa de Compartimentação da Paisagem (já evidenciado nesta tese¹⁰⁶) sendo replicado em documento posterior quando justamente cita características ambientais gerais de cada Macrocompartimento de Paisagem, replicando um erro

¹⁰⁵ Para os dados de Ucs inseridos neste mapa, utilizou-se como fonte o documento “Unidades de Conservação: Sistema Informatizado de Monitoria de RPPN (ICMBio/Semarh-TO 2017)”.

¹⁰⁶ Ver a análise sobre o documento “Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins – Síntese da Compartimentação da Paisagem”, neste mesmo subcapítulo desta tese.

conceitual em documento de finalidade de consulta e que pode ser base para muitas citações futuras de forma equivocada. Não existe “cratera de impacto de meteorito”. Entretanto, para além deste erro, há a importância de se assumir um interesse científico para a área do Astroblema da Serra da Cangalha, assim como um apelo turístico. Aqui, há um reforço notável e institucional/político dos valores científicos e turísticos do Astroblema da Serra da Cangalha, o que analisamos como um fato altamente positivo para esforços futuros de geoconservação do sítio. Por outro lado, é curioso notar que aqui não se fala absolutamente sobre a Serra da Cangalha como Monumento Natural - como indicava o mapa geológico do Tocantins anexado ao Diagnóstico do Meio Físico (TOCANTINS, 2017c: pg 57), já analisado em página anterior – apesar de, logo em seguida, citar o Monumento Natural das Árvores Fossilizadas do Estado do Tocantins. Um trabalho volumoso feito a muitas mãos corre o risco de se mostrar, vez por outro, confuso. Neste caso, a Serra da Cangalha é ou não uma Unidade de Conservação? Em um mapa aparenta-se que sim, em outras partes do ZEE-TO, aparenta que não.

Ao discorrer sobre arranjos socioeconômicos do Estado do Tocantins, há um recorte que encaixa a área do Astroblema da Serra da Cangalha aos municípios de Carolina e Balsas (ambos no Maranhão, próximos à fronteira com o Tocantins)¹⁰⁷. Carolina é a porta de entrada para o Parque Nacional da Chapada das Mesas e se encontra a 173km de estradas de asfalto e de terra (respectivamente, 91km e 82km) do astroblema. A partir da sugestão (supracitada no documento de Diagnóstico do Meio Antrópico do ZEE-TO que ora analisamos) de exploração do turismo para o Astroblema da Serra da Cangalha, por conta da dificuldade de locomoção até o sítio dada a malha de transportes deficitária na região, é importante pensar também em congregar outros locais próximos que já tenham este apelo mais sedimentado, como é o caso da Chapada das Mesas (MA) ao norte, do Jalapão (TO) ao sul e/ou outros elementos naturais de apelo turístico no entorno.

Já sobre as questões socioeconômicas, evidencia-se neste documento a terra de contrastes que é o município de Campos Lindos (no qual se situa o nosso objeto de estudo). Já no seu início, ao discorrer sobre o Macrocompartimento de Paisagem “D”, Campos Lindos mereceu destaque:

¹⁰⁷ Mapa “Regiões Rurais e Regiões de Influência – filtro 04” (TOCANTINS, 2017d: pg. 134) e descrição do filtro 04. (TOCANTINS, 2017d: pg. 129-130)

“No Macrocompartimento D, algumas áreas apresentam um uso mais intensivo do solo principalmente por agricultura, devido à ocorrência de manchas de Latossolo: no município de Campos Lindos, em áreas planas e mais altas nos patamares, e em partes dos municípios de Pedro Afonso e Bom Jesus do Tocantins.” (...) “O cultivo de soja se destaca no município de Campos Lindos, responsável por mais de 20% das exportações no estado. Pedro Afonso é o segundo no ranking com 16% das exportações de soja e derivados e se destaca também na produção de biocombustível. Os dois lideram o PIB da Região Programa Nordeste, onde estão inseridos, seguidos de Goiatins e Itacajá, também com a economia baseada na produção de lavouras temporárias e pecuária.” (TOCANTINS, 2017d: pg 10)

Em contrapartida, o mesmo município de Campos Lindos possui os piores índices de vulnerabilidade social e de prosperidade possíveis (TOCANTINS, 2017d: pgs 188 e 200). Está aí evidenciado um enorme contraste: os grandes produtores rurais com safras e cifras expressivas, mas a população do município em situação de vulnerabilidade e pouca prosperidade.

Os diagnósticos deste trabalho de diagnóstico do meio antrópico do ZEE-TO em especial já apontam (mesmo que de forma indireta) para uma solução possível em prol de uma melhora socioeconômica para a população de Campos Lindos e ela se encontra no próprio município: explorar o turismo do Astroblema da Serra da Cangalha de forma sustentável e propositiva em benefício da e em conjunto com a população local. No Capítulo que se segue aprofundaremos este tópico. Aqui, segue a análise do ZEE-TO.

O próximo relatório do ZEE-TO a ser analisado é o “Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins – Prognóstico Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins”. Esta é uma primeira proposição de possibilidades futuras por parte da equipe do ZEE-TO, de posse do material levantado por eles. No que tange nosso objeto de estudo nessa tese, vale salientar alguns tópicos deste prognóstico:

“Também foi indicada como potencial para a criação de unidade de conservação a Serra da Cangalha devido à aspectos do meio físico e biológico, em função da existência de uma cratera ocasionada pela queda de um meteorito, considerada a segunda maior do Brasil, e a importantes aspectos de diversidade, como a presença de fitofisionomias importantes de Florestas Estacionais, “Paludosas” (Floresta Estacional Aluvial) e “Buritizais” (Veredas), espécies de formigas, incluindo a descoberta de um gênero novo, da arara-azul-grande *Anodorhynchus hyacinthinus*, do chororó-de goiás *Cercomacra ferdinandi*, da araponga-de-barbela *Procnias averano* e do tié-de-cerrado *Neothraupes fasciata*, podendo também ser um atrativo turístico a partir da criação de um circuito com o Monumento Natural das Árvores Fossilizadas (DIREÇÃO, 2005).” (TOCANTINS, 2017e: pg 78-79)

Observamos, de certa forma, o que havia sido apontado já nos estudos prévios do ZEE-TO e que aqui recebem um reforço. Saliento a proposição direta e inequívoca para criação de um circuito de turismo abarcando também o MN das Árvores Fossilizadas, situado a noroeste do astroblema. Isto fica claro também em avaliação posterior, mesmo que mais abrangente:

“Como de especial importância para o desenvolvimento do estado aponta-se também a melhoria da infraestrutura de apoio e incremento ao turismo, com a composição de um calendário de eventos para divulgação, a nível nacional e internacional, das feiras, festivais e festas religiosas, criando roteiros entre os pontos turísticos, incorporando também o turismo fluvial, com a oferta de grandes embarcações com roteiros de exploração da natureza e interação com as comunidades locais.” (TOCANTINS, 2017e: pg 239)

Há uma estratégia aqui: usar a necessidade de um maior aproveitamento do turismo para a região, para incentivar-se a melhoria da infraestrutura e de fato, ambas interrelacionam-se. Pode-se dizer um exemplo de aplicação do pensamento complexo de Morin, no qual diferentes saberes/culturas interconectam-se em prol de um mundo melhor.

Já em sua parte final, o relatório apresenta o conceito de componentes estratégicos, os quais “definem as potencialidades verificadas no estado do ponto de vista econômico, estrutural, ambiental e de planejamento.” (TOCANTINS, 2017e: pg 251) Dentro das potencialidades ambientais, elenca-se dentre outras, “as belezas cênicas visando o incentivo às atividades de ecoturismo” (TOCANTINS, 2017e: pg 251). Embora não cite a Serra da Cangalha como exemplo (neste momento o relatório fala apenas em linhas gerais), esta feição singular encaixa-se nesta potencialidade.

Mais adiante, o relatório apresenta, uma a uma, as potencialidades (com pequeno texto explicativo e mapa correspondente). Ao apresentar a potencialidade chamada “Sistema de Unidades de Conservação” (TOCANTINS, 2017e: pg 254), novamente encontra-se marcada a área do astroblema como tal. Mas não existia nenhuma UC consolidada no local até 2017.

Se o documento peca pelo excesso no mapa de Sistema de Unidades de Conservação, também peca por omissão na explanação sobre turismo. Tanto no detalhamento dessa potencialidade quanto no mapa, olvida-se do Astroblema da Serra da Cangalha:

“As áreas de potencial turístico no Tocantins concentram-se principalmente na região sudeste, e envolvem o turismo histórico e ecoturismo, devido à presença de cidades históricas e Unidades de Conservação, além da beleza cênica da região. Também considera-se como potencial turístico as praias fluviais, que possuem uma concentração na região central e extremo oeste. Na região oeste, devido à presença do Parque Nacional do Araguaia e do Parque Estadual do Cantão, é potencial o turismo científico.” (TOCANTINS, 2017e: pg 256)

Em suma: no início do documento há uma indicação para a criação de uma Unidade de Conservação na área do astroblema, pois haveria ali grande necessidade de conservação devido a aspectos singulares do meio físico e biológico encontrados no local; já no mapa de UCs há uma indicação de que ali já há uma UC (!!). E ao final, no mapa e texto explicativo da potencialidade estadual de nome “Potencial Turístico”, ignora-se o Astroblema da Serra da Cangalha.

Entramos agora na análise dos relatórios finais do ZEE-TO. Eles se encontram divididos em 3 partes: “Relatório Final Tomo I – Plano de Paisagem do Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins”; “Relatório Final Tomo II – Plano de Ação do Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins” e “Relatório Final Tomo III – Síntese do Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins”. Analisaremos neste trabalho os Tomos I e II.

No Tomo I, apresenta-se a criação final das Zonas às quais o Zoneamento Ecológico-Econômico se destina, dividindo-as em três diferentes categorias: as ZEs (Zonas Especiais); as ZDIs (Zonas de Desenvolvimento Integrado) e as ZCEs (Zonas de Consolidação Estratégicas). As ZEs são Zonas que delimitam-se por UCs já instaladas ou áreas de terras indígenas já demarcadas para proteção. Sobre as demais, explica o documento:

“A organização das Zonas das Categorias ZDIs e ZCEs parte dos níveis de maiores aptidões para a conservação ecológica em função da capacidade de suporte do meio natural limitada e avança para os menores níveis de restrição do meio natural. Em contraponto constam os potenciais de dinamização socioeconômica, mínimos quando as restrições do meio natural são altas e máximos quando há pouca aptidão para a conservação ecológica.” (TOCANTINS, 2020a: pg 101)

Tanto as ZDIs quanto as ZCEs são subdivididas em 4 categorias: ZDI-1, -2, -3, -4 e ZCE-4, -3, -2, -1 - sendo a ZDI-1, aquela mais propícia às políticas de conservação ambiental e a ZCE-1, a mais propícia para um olhar mais voltado à dinamização do desenvolvimento socioeconômico respectivamente.

Ao que toca diretamente o nosso objeto de estudo nesta tese, observa-se que ao discutir “áreas prioritárias para o serviço ecossistêmico”, o documento cita a Serra da Cangalha como uma destas áreas¹⁰⁸, repetindo o texto *ipsis literis* que já analisamos aqui ao debruçarmo-nos sobre o documento referente ao prognóstico ecológico-econômico do Estado, escrito três anos antes – com suas consistências e inconsistências inalteradas. (TOCANTINS, 2020a: pg 113; TOCANTINS, 2017e: pg 78-79) Já na parte em que detalha cada Zona, podemos observar que a área do Astroblema da Serra da Cangalha encontra-se na Zona Três Pedras, classificada como uma ZDI-2. (TOCANTINS, 2020a: pg 245-246) Portanto, dentro de uma gradação de oito níveis, ela está colocada na Zona de segundo maior nível de recomendação à proteção ambiental. No seu relatório textual, há também a recomendação de, nesta zona, “consolidar roteiro turístico local, vinculado ao turismo de aventura, ecoturismo, integrado aos demais roteiros do estado.” (TOCANTINS, 2020a: pg 246)

No que concerne ao Tomo II, o chamado Plano de Ação do ZEE-TO, observa-se como o primeiro de seus objetivos específicos: “Detalhar diretrizes de gestão ambiental destinadas à proteção da geodiversidade, dos recursos hídricos e da biodiversidade.” Aparece, em um texto técnico gerado pelo Poder Público em 2020, o termo “geodiversidade” e, ainda, relacionado à sua proteção e como um objetivo específico. Em nenhuma das leis contidas na Legislação Ambiental (quer seja de cunho federal ou estadual) analisadas até então nesta tese houve tal ocorrência.

O Plano de Ação faz uma breve síntese do Tomo I, e apresenta a representação gráfica definitiva do mapa do Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins. Uma vez mais, também neste documento, incorre-se na confusão sobre a área do Astroblema da Serra da Cangalha. (TOCANTINS, 2020b: pg. 47) Abaixo (Figura 5.4) segue um recorte da área em questão no mapa supracitado.

¹⁰⁸ Segundo este documento, estas seriam áreas propensas a maior potencial de conservação ambiental.

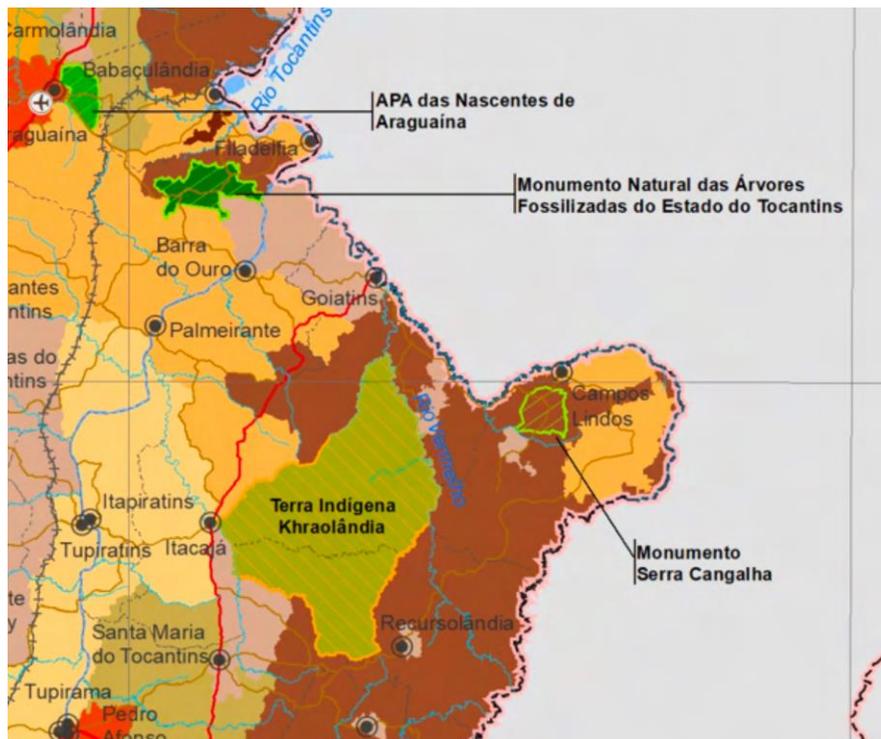


Figura 5.4: Recorte da área do Astroblema da Serra da Cangalha, retirado da Figura 1.4 “Representação Gráfica de Mapa do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins” (TOCANTINS, 2020b: pg. 47)

Percebe-se, na Figura 5.4 acima, que à direita da “Terra Indígena Khraolândia” há a delimitação hachurada em verde (com as bordas mais grossas) e dali sai a indicação Monumento Serra Cangalha. Percebe-se também que, diferente do que podemos observar na indicação do Monumento Natural das Árvores Fossilizadas do Estado do Tocantins (a noroeste) e da APA das Nascentes do Araguaína, a área delimitada pela borda mais grossa não se encontra preenchida pela cor verde, e sim por um marrom que indicaria, pela legenda do mapa, uma ZDI-2 (no caso, a Zona ZDI-2 Três Pedras). Não há, na legenda, nenhuma indicação para uma área marcada desta forma. Nos encontramos em um limbo cartográfico para a área do astroblema, em um documento que apresenta os resultados da ZEE-TO. Conforme já demonstrado nesta tese, houve a tentativa de implementar ali uma UC (Monumento Natural), mas que, segundo os próprios documentos já aqui analisados, não frutificou.

Mais adiante no Capítulo 4 deste mesmo Tomo II, chamado de “Programas e Projetos”, observa-se com mais detalhamento qual o direcionamento que este

documento dá ao objetivo específico que visa preservar a geodiversidade do Estado. No subcapítulo 4.1 apresenta-se o “Programa de Conservação da Geodiversidade (PGA-GEO)” (TOCANTINS, 2020b: pg 85). Este programa é subdividido em dois projetos: 1) “Projeto de Suporte Geotécnico à Defesa Civil (PGA-GEO_Controle)” e 2) “Projeto de Preservação do Patrimônio Geonatural (PGA-GEO_Patrimônio)”.

O segundo projeto volta a atenção do Poder Público diretamente para a questão da conservação do meio abiótico natural. Apoiando-se no conceito de geodiversidade da CPRM, este projeto tem a justificativa que se segue:

“A preservação do Patrimônio Geonatural apresenta caráter amplo e está associada às ocorrências, feições e processos encontrados em ambientes naturais abióticos. A existência de número expressivo de ambientes naturais notáveis e de características diversas no estado do Tocantins, como, por exemplo, a região do Jalapão, a ilha do Bananal, a floresta petrificada na região de Filadélfia no Tocantins setentrional, cavidades naturais, sistemas dunares, áreas inundáveis, serras, chapadas, entre outros, demanda a adoção de práticas preservacionistas guiadas por projetos que venham a manter a evolução natural dos processos do meio físico que ocorrem nas paisagens a elas associadas.” (TOCANTINS, 2020b: pg. 88)

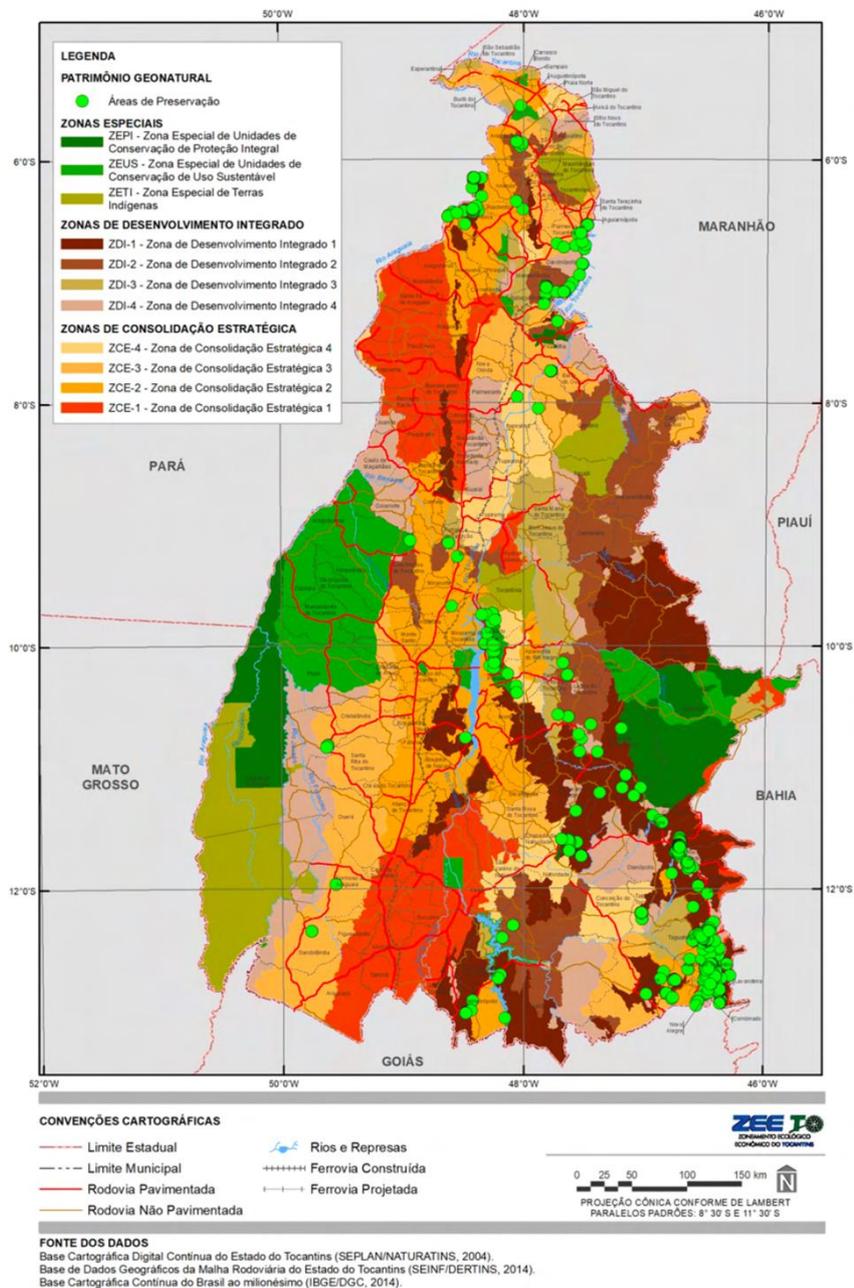
Assim, o objetivo do projeto é o de “Valorizar o patrimônio geonatural do estado por meio de preservação, conservação, conhecimento e usos públicos adequados”. (TOCANTINS, 2020b: pg. 88)

E para atingir este objetivo, são propostas quatro macroações:

- 1) “Criar e implementar política estadual de preservação e conservação dos sítios geonaturais relevantes de forma a evitar degradação e possibilitar usos públicos de atrativos relacionados ao geopatrimônio”; (TOCANTINS, 2020b: pg. 88)
- 2) “Inventariar e mapear os ambientes geonaturais com atributos singulares ou relevantes no estado, considerando também a base de informação contida no mapeamento estadual de geodiversidade do Tocantins¹⁰⁹” (TOCANTINS, 2020b: pg. 89)
- 3) “Elaborar estudos técnicos especializados nas áreas-alvo com propósito de ampliar o conhecimento sobre os potenciais de utilização dos ambientes geonaturais para fins de fomento ao uso público e à proteção”; (TOCANTINS, 2020b: pg. 89)
- 4) “Criar Geoparques, Unidades de Conservação ou áreas de proteção (Tombamentos, Reservas) focadas em proteção e usos públicos do patrimônio geonatural do estado.” (TOCANTINS, 2020b: pg. 89)

¹⁰⁹ Aqui, é citado o mapa de geodiversidade do Estado do Tocantins, produzido pela CPRM, e fornecido o link: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Gestao-Territorial/Mapas-de-Geodiversidade-Estaduais-1339.html> (acessado/conferido em outubro/2022)

Em seguida, como conclusão da apresentação deste projeto, apresenta-se o “Mapa da Área de Abrangência do Projeto de Preservação do Patrimônio Geonatural (PGA-GEO_Patrimônio)”. No mesmo (apresentado abaixo como a Figura 5.5) observa-se o Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins, suas Zonas e subzonas e uma novidade: o que ele chama de Áreas de Preservação.



Fontes:
Elaboração do Autor, 2020.

Figura 5.5 - “Mapa da Área de Abrangência do Projeto de Preservação do Patrimônio Geonatural (PGA-GEO_Patrimônio)”. Figura retirada do “Relatório Final Tomo II – Plano de Ação do Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins”, página 90.

Observam-se muitas Áreas de Proteção espalhadas pelo mapa. Nenhuma sequer próxima à área do astroblema da Serra da Cangalha. Da mesma forma, na Justificativa do projeto de geoconservação do ZEE-TO citam-se lugares específicos, diferentes tipos de feições e nenhuma palavra sobre a serra crateriforme.

Passados todos estes documentos através desta análise criteriosa, concluímos que há uma grande confusão neste volumoso documento oficial escrito a muitas mãos, que é o Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins, no que tange à sua funcionalidade para com a área do Astroblema da Serra da Cangalha. Como demonstrado páginas acima, no Prognóstico Ecológico-Econômico, ao mesmo tempo em que se recomenda a preservação da Serra da Cangalha e um aproveitamento turístico, ao apresentar-se um mapa com as potencialidades turísticas, nada consta no seu território. Em diversos mapas contidos no ZEE-TO há uma indicação de uma área que chamam de “Monumento Serra Cangalha”, mas não consta nenhum Monumento Natural da Serra da Cangalha ou algo do gênero nas listagens que o ZEE-TO apresenta das UCs presentes e instaladas no Estado. Realmente observamos em subcapítulo anterior nesta tese que de fato houve uma tentativa, em 2012, de se criar ali uma UC Estadual deste tipo, mas sem sucesso. E no derradeiro documento, no qual apresenta-se um projeto muito interessante para sedimentar a importância da geoconservação, o Projeto de Preservação do Patrimônio Geonatural, não haja sequer uma linha citando o Astroblema da Serra da Cangalha como exemplo de um geopatrônio singular, quer por seu valor intrínseco, científico, estético ou cultural. É de se lamentar que em um documento tão importante para planejamentos territoriais futuros do Estado esta feição esteja representada e apresentada de forma tão incerta, confusa e por vezes esquecida.

6 Geoastroparque da Serra da Cangalha: uma proposta de Geoconservação e desenvolvimento sustentável

6.1 O conceito de Geoparques UNESCO

No PGA-GEO_Patrimônio proposto no Plano de Ação do ZEE-TO, uma das macroações sugeridas é a criação de Geoparques. Mas Geoparques ainda não fazem parte do SNUC, assim como também não integram o SEUC-TO. Em contrapartida, há um conceito-projeto muito interessante (que congrega Poder Público e a sociedade civil organizada) de Geoparque já em funcionamento pelo mundo, inclusive com exemplos práticos e ativos no Brasil: são os Geoparques UNESCO.

Os Geoparques foram idealizados mediante o entendimento, no final dos anos 90 do século passado, de que a conservação da natureza necessita perpassar não somente pela proteção da biodiversidade (fração biótica da natureza que ao longo de muito tempo recebeu maior atenção na área), mas também pela variedade de ambientes, rochas, minerais, águas, fósseis, solos, climas e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida no planeta Terra (fração abiótica da natureza), sendo assim extremamente conectadas e interdependentes (ROCHA; FERREIRA; FIGUEIREDO, 2017).

A partir de uma discussão entre G. Martini e N. Zouros durante o 30º Congresso Internacional de Geologia realizado em Pequim em 1996, nasceram duas ideias embrionárias a serem aplicadas especificamente em Geoparques que tornariam esta iniciativa uma modelo a ser seguido por unidades de Geoparque por todo o mundo nos anos que se seguiram: a primeira delas, de que um Geoparque deveria não só servir à proteção daquele patrimônio geológico em si, mas também servir às necessidades das sociedades locais que ocupam aquele território; e a segunda, de que estas unidades, tendo em comum o anseio pela geoconservação, agissem de forma organizada e unida em prol desta causa, promovendo ações voltadas à pesquisa científica, à educação e ao turismo. (ZOUROS, 2004: pg 165); (ZOUROS, 2005)

Com isso, em junho de 2000 é criada a European Geoparks Network (EGN), congregando quatro Geoparques de quatro diferentes países. São eles: Réserve Géologique de Haute-Provence - França; The Petrified Forest of Lesvos (Natural History Museum of the Lesvos Petrified Forest, Island of Lesvos) - Grécia, Geopark Gerolstein/Vulkaneifel - Alemanha e Maestrazgo Cultural Park - Espanha.

Partindo do pressuposto de que o desenvolvimento sustentável de um território é pré-condição para o sucesso de qualquer estratégia de conservação, Zouros define um Geoparque Europeu como sendo “um território que combina a proteção e promoção do patrimônio geológico com ações para um desenvolvimento sustentável local” (ZOUROS, 2004).

Em sequência, Zouros elenca que as principais características/ações para uma área postular o título de Geoparque são:

- Possuir em seus domínios atributos geológicos, mineralógicos, geofísicos, geomorfológicos, paleontológicos ou geográfico específicos;
- Compreender um certo número de sítios geológicos de particular importância em termos de qualidade científica, raridade, apelo estético ou valor educacional;
- Possuir patrimônio geológico que também atenda a valores arqueológicos, ecológicos, históricos e/ou culturais;
- Assegurar, através do Poder Público responsável pela área, políticas afirmativas para a promoção de um desenvolvimento territorial sustentável visando a sociedade local;
- Conectar-se à rede de Geoparques e, assim, fazer uso efetivo de medidas de proteção e gestão definidas pela rede;
- Deve ser gerido por uma estrutura claramente definida, organizada de acordo com a legislação nacional de cada país e capaz de fazer cumprir as políticas de proteção, valorização e desenvolvimento sustentável no seu território.

Em 2004, Geoparques europeus e chineses se juntaram e, com a chancela da UNESCO, criaram a Rede Global de Geoparques (ou Global Geoparks Network – GGN). A China era o país não-europeu que mais tinha desenvolvido esse tipo de parque até então. Em 2015 um novo esforço aponta para um desejo de maior equidade para a criação de novos Geoparques fora da Europa e da China - em especial na África e na América Latina - e estabelece uma maior participação da

UNESCO para este propósito com o surgimento do selo “*UNESCO Global Geopark*”. Este selo passa a ser fornecido aos proponentes que satisfaçam determinadas exigências que alinhavassem o projeto de Geoparque em questão com os preceitos definidos pelo *International Geoscience and Geoparks Program* (IGGP). (DU & GIRAULT, 2018)

6.2

UNESCO Global Geopark: Uma análise deste modelo de preservação ambiental e desenvolvimento sustentável

Todo o processo descrito nas tentativas frustradas de transformar a área do Astroblema da Serra da Cangalha em uma Unidade de Conservação Estadual nos aponta o ônus de uma tentativa de uma imposição estatal de medidas de proteção ambiental a territórios que pertencem a uma população desinformada e desconfiada.

Uma das grandes diferenças entre o modelo de implementação de uma UC (seja ela a nível municipal, estadual ou federal) e a implementação de um projeto de Geoparque que obtém o selo UNESCO Global Geopark é justamente o quanto a população local é de fato protagonista tanto em relação aos meandros de construção da proposta do Geoparque, quanto de sua efetiva implementação.

Nos documentos técnicos relativos à tentativa governamental de implementação da UC Monumento Natural da Serra da Cangalha (SEMADES, 2013a; SEMADES, 2013b) observamos que há uma intenção de mostrar à população os benefícios que tal medida traria para todos. Ao mesmo tempo, nota-se que ao dialogar pouco com a população, cria-se uma dificuldade muito maior para a aceitação do projeto, conforme descrito no Relatório da Consulta Pública MONA Serra da Cangalha:

“Advindo do extrato da consulta pública, de forma geral, ficou clara a vontade e compreensão da população quanto à necessidade de se conservar atributos ecológicos e ambientais da região, não apenas circundada à Serra da Cangalha, mas de outros componentes da região. No entanto, heranças de processos políticos no Estado, frente a um grande desenvolvimento no setor de *commodities* provedor de grandes riquezas, fomenta uma condição de discrepância socioeconômica e fortalece o conflito perene, rebatendo essa condição no processo de criação da UC. Não é ainda compreendida por parte da população de que forma tal equipamento pode prover benefícios econômicos e incremento na qualidade de vida dos municípios de uma forma geral.” (SEMADES, 2013b)

A última frase da citação acima demonstra que embora haja, por parte do Poder Público, uma intenção de prover um desenvolvimento sustentável para os moradores que habitam a área do pretense Monumento Natural, esta ponte com a população não é feita da melhor maneira. Quais seriam os benefícios econômicos que a população – em especial a mais rural – obteria desta UC?

Um outro trecho deste relatório pontua: “Vale lembrar, ainda, que a ausência dos estudos fundiários dificultaram sobremaneira os debates, pois muitas justificativas não puderam ser combatidas justamente em razão desta ausência.” (SEMADES, 2013b)

Percebe-se neste trecho como que a falta de uma sedimentação teórico-técnica mais fundamentada gera entraves na comunicação com a população. O Estado tornou-se refém de sua própria ineficácia.

Uma outra abordagem possível seria a de trabalhar a questão do desenvolvimento sustentável na área em questão de uma forma continuada, com diversos projetos que se entrecruzassem, cada qual abordando diferentes faixas etárias e/ou áreas de interesse. Projetos que englobassem as escolas, as associações, as secretarias municipais. Projetos que, pouco a pouco, mostrassem de forma efetiva e real qual seria o ganho da população com estas novas possibilidades e com a criação da UC ou do Parque/Geoparque – a ponto de, em um dado momento, a própria população escolher este caminho e começar ela mesma a cobrar o Poder Público pela viabilização do Geoparque caso percebam eles que de fato este é um bom caminho para todos, sem prejuízo de nenhuma parte.

É justamente também este protagonismo da população local em prol do desenvolvimento sustentável da região que é exigido (dentre várias outras condições) dos pretendentes para a obtenção do selo UNESCO Global Geopark. Quando a própria população apoia e deseja que um projeto seja implementado em seu território, este projeto ganha muita força. E muita força, muita energia é necessária, pois o processo pelo qual passa-se um postulante ao selo da UNESCO é bastante demorado e requer um jogo de equipe entre população, Poder Público e pesquisadores das Geociências, todos remando na mesma direção. Este processo possui inúmeras etapas e ocorre ao longo de vários anos até que o aspirante alcance o selo UNESCO Global Geopark.

As condições mínimas exigidas pela UNESCO para que um território

torne-se aspirante ao selo são¹¹⁰:

1) Possuir um patrimônio geológico de valor internacional e ser administrado por um órgão com existência legal reconhecida pela legislação nacional;

2) O órgão de administração deve incluir todos os interessados relevantes, incluindo parceiros, a comunidade científica, local e indígena (se houver);

3) Deve ter um plano de gestão abrangente, abrangendo questões de governança, desenvolvimento, comunicação, proteção, infraestrutura, finanças e parcerias.

4) Deve já haver discussão e trocas propositivas com outros Geoparques Globais da UNESCO, bem como com a Rede Global de Geoparques;

5) Deve conectar seu patrimônio geológico com seu patrimônio cultural e natural e utilizá-lo para fins educacionais, de conscientização e de informação aos visitantes e moradores locais¹¹¹.

6) Deve ser um único território unificado - sem fronteiras interrompidas e todo o território deve estar envolvido nas atividades do Geoparque;

7) Certifique-se de que, caso o território do atual projeto de Geoparque esteja a menos de 100 km de outro Geoparque Global da UNESCO existente, um estudo independente seja realizado para demonstrar a diferença geológica e a possível complementaridade com aquele Geoparque;

8) Também é importante que o Geoparque desenvolva uma marca própria e se envolva em visibilidade e comunicação, tanto para os visitantes quanto para a população local através de um site dedicado, sinalizações, painéis, museus, diferentes locais do geoparque, centros de visitantes, folhetos e mapa detalhado da área que conecta a área geológica e outros locais. Um aspirante a Geoparque Global da UNESCO deve ter uma identidade corporativa, diferenciando-a de outras designações ou áreas protegidas da área.

Ou seja, lendo as exigências mínimas percebemos facilmente que para se tornar um aspirante a UNESCO Global Geopark muito trabalho prévio deve ser

¹¹⁰ Fonte: Site oficial da UNESCO, no link <https://en.unesco.org/global-geoparks/how-to-become-geopark>, acessado em novembro de 2022. Tradução própria, texto original em inglês.

¹¹¹ Em outras palavras: promover a Geoeducação através da Geocomunicação. Diversos exemplos exitosos são demonstrados já no artigo “*Education in European Geoparks*”, na *European Geoparks Magazine*. (EGN, 2005) Nas edições mais recentes desta revista (de tiragem anual e de edição ininterrupta até a presente data) há uma seção intitulada ‘Geoeducação’ na qual, a cada ano, novidades deste campo são comunicadas nos mais diversos Geoparques que compõem sua rede.

feito: não só a conversa com os interessados envolvidos, mas o estabelecimento de uma comissão gerencial ampla e reconhecida institucionalmente e toda uma complexidade de estudos prévios (não só na área das Ciências da Terra, como bem demonstra o item 3 acima), além da criação e uso de uma identidade visual própria e sobretudo da inserção do Geoparque postulante na rede de Geoparques já existentes através de uma troca continuada.

O grande diferencial de um Geoparque com o selo UNESCO para uma UC estatal no Brasil é que quando de sua nomeação, o Geoparque UNESCO já está a pleno vapor direcionado e funcionando a partir da filosofia que rege as exigências para a obtenção desta chancela, com plena participação da população local, como direta interessada na aplicação desta filosofia. Já uma Unidade de Conservação (a depender do tipo) pode requerer transformações drásticas no manejo das terras que a partir de tal data se encontrem em seu domínio, mudando radicalmente a vida da população local de uma forma indesejada. E nem sempre as regras do jogo, no caso da implantação de uma UC, estão postas à mesa para a população nas consultas públicas que são feitas de forma prévia. Como exemplo, voltamos à tentativa de criação do Monumento Natural da Serra da Cangalha e seu relatório da Consulta Pública:

“O fato de o plano de manejo ser elaborado em momento posterior à criação da UC, procedimento incompreendido pela maioria dos presentes, também foi utilizado como argumento. Esta linha de argumentação foi colocada defendendo que haveria uma possível estratégia de governo onde seriam feitos, pós criação da UC, bloqueios dos usos das terras, limitando fortemente seu uso por parte das famílias inseridas no polígono proposto.” (SEMADES, 2013b)

Como se vê, as regras do jogo – como o plano de manejo – ainda não estavam totalmente claras para a população, que se viu alijada da construção do processo de algo que interferiria diretamente nas suas vidas. Acredita-se, portanto, que o modelo de Geoparque incentivado pela UNESCO possa ser o mais apropriado para uma preservação do Astroblema da Serra da Cangalha, a partir do momento em que os principais atores locais envolvidos assim o desejarem, entendendo que com uma intenção de desenvolvimento sustentável para a região todos possam ganhar – inclusive o meio ambiente.

6.3

Exemplos de Geoparques em Astroblemas: no Brasil e no Mundo

6.3.1

Os Astroblemas nacionais e sua Geoconservação

Como visto anteriormente, não há um tipo específico de Unidade de Conservação na lei ambiental brasileira que se preocupe diretamente com a preservação do Patrimônio Geológico. Portanto, aqueles que buscam a preservação dos astroblemas brasileiros valem-se dos mais diferentes recursos, de forma individualizada e descentralizada, buscando alternativas de caso a caso.

Um interessante e pioneiro trabalho que analisa de forma quantitativa o valor científico dos astroblemas brasileiros é proposto por Joana Sanchez e José Brilha. Com destaque para os astroblemas de Araguainha e o da Serra da Cangalha, Sanchez e Brilha destacam sobre o último, que este “apresenta uma grande diversidade de elementos megascópicos e macroscópios com alto grau de integridade da maioria destes elementos (com algumas restrições para a ocorrência de cones de estilhaçamento e para as brechas de impacto)”¹¹² (SANCHEZ & BRILHA, 2017: pg 830). Este é um documento técnico que poderia ser anexado ao ZEE-TO e assim contribuir para reforçar a necessidade da geoconservação desta estrutura de impacto. Hoje, como vimos no Capítulo anterior deste trabalho, o Astroblema da Serra da Cangalha se escora apenas nas leis ambientais gerais do país sem nenhuma política efetiva para a sua proteção por parte do Poder Público.

Mas outros astroblemas já sensibilizaram de alguma forma um pouco mais efetiva os atores políticos regionais. Por exemplo, o Astroblema (ou Domo) de Araguainha, também elogiado através do trabalho analítico de Sanchez e Brilha (2017), possui ótima divulgação científica da feição e do fenômeno conhecido como impacto meteorítico na homepage da própria prefeitura¹¹³.

No Paraná, o Astroblema de Vista Alegre obteve o apoio de uma empresa estatal, a Mineropar, que em conjunto com pesquisadores e Poder Público

¹¹² Tradução livre do original em inglês: “(...) presents a high diversity of megascopic and macroscopic elements and a high integrity of the majority of these elements (there are no in-situ shatter cones and the impact breccias are not completely preserved).” (SANCHEZ & BRILHA, 2017: pg 830).

¹¹³ Link para acesso em: <https://www.araguainha.mt.gov.br/index.php/navegacao/domo-de-araguainha> (Acessado em novembro/2022)

alavancaram uma série de produtos de Geoeducação e Geocomunicação como folhetos distribuídos em vários idiomas (português, inglês e espanhol) para os moradores da região e visitantes, além de painéis instalados em pontos estratégicos in loco e até um selo comemorativo emitido pelos Correios quando do tombamento desta feição. (CPRM, 2013) Infelizmente este esforço foi descontinuado pelo Governo do Estado do Paraná.

Dados os fatos acima, percebe-se que até agora a proteção ambiental efetiva dos astroblemas decorre de ações pontuais, locais, caso a caso de forma isolada e não-integrada. Mas esforços significativos estão em curso para dar visibilidade à esse tipo de feição e integrá-las. Um bom passo é dar voz à essa categoria em publicações que reúnem o Patrimônio Geológico nacional.

Como exemplo deste tipo de publicação, citam-se os livros da SIGEP (Comissão Brasileira dos Sítios Geológicos e Paleobiológicos), intitulados “Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil”.

A SIGEP foi criada em 1997 pelo DNPM, conforme consta em seu site oficial:

“No final de 1993, o Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM foi solicitado a dar apoio ao Grupo de Trabalho de Sítios Geológicos e Paleobiológicos do Patrimônio Mundial, pelo seu presidente Dr. J.W. Cowie, com propostas do Brasil para a GILGES, posteriormente substituída pela Lista de Dados Global de Sítios Geológicos da IUGS (*Geosites*). Assim, no âmbito do DNPM, foi criado Grupo de Trabalho Nacional de Sítios Geológicos e Paleobiológicos.

Em março de 1997, o DNPM promoveu a reunião de diversas instituições em sua sede, em Brasília, para a efetivação de uma participação brasileira mais ampla, dentro dos objetivos propostos por aquele Grupo de Trabalho. Assim foi instituída a **Comissão Brasileira dos Sítios Geológicos e Paleobiológicos – SIGEP.**” (SIGEP, homepage oficial em: <http://sigep.cprm.gov.br/index.html> acessado em novembro de 2022)

Desde então a SIGEP faz um trabalho fundamental catalogando, com a ajuda de instituições de pesquisa, pesquisadores e público em geral, o Geopatrimônio brasileiro. Como produto paralelo a esse levantamento nacional, a SIGEP edita os livros supracitados para dar visibilidade a esse Geopatrimônio.

Atualmente encontram-se no seu terceiro volume e em todos observa-se uma categoria relacionada às feições astroblêmicas. Em seu primeiro volume a categoria se chama simplesmente “Astroblemas” e é descrito em detalhes o Astroblema (na publicação, intitulado de Domo) de Araguinha. (CPRM, 2002)

Em seu segundo volume, a categoria se chama “Sítios de Astroblemas”, na qual descrevem-se os astroblemas “Domo de Vargeão” e “Cratera de Colônia”. (CPRM, 2009) No terceiro e último volume, na categoria “Sítios de Astroblemas” caracteriza-se o Astroblema de Vista Alegre. (CPRM, 2013)

Dado que hoje são reconhecidos internacionalmente sete astroblemas em território brasileiro¹¹⁴, encontram-se representados nas publicações do SIGEP por volta da metade destas feições por enquanto, o que é um ótimo percentual.

Em harmonia com a catalogação e divulgação dos sítios geológicos e paleontológicos do Brasil desenvolvidas pela SIGEP há o projeto “Geoparques”, desenvolvido pela CPRM (um dos órgãos estatais que compõem a SIGEP e o responsável pelas publicações dos livros da mesma).

“O projeto ‘Geoparques’ do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), criado em 2006, representa importante papel indutor na criação de geoparques no Brasil, uma vez que esse projeto tem como premissa básica a identificação, levantamento, descrição, diagnóstico e ampla divulgação de áreas com potencial para futuros geoparques no território nacional, bem como o inventário e quantificação de geossítios. Para esse trabalho concorre o acervo de levantamentos geológicos existentes no País e a experiência do corpo técnico da empresa, além do aporte de estudos e propostas da comunidade geocientífica. Em alguns casos, essa atividade indutora é feita em conjunção com universidades e outros órgãos ou entidades federais, estaduais ou municipais que tenham interesses comuns, em consonância com as comunidades locais.” (CPRM, 2012)

Dos sete principais astroblemas brasileiros, o Astroblema (ou Domo) de Araguainha-Ponte Branca é o de maior visibilidade nacional e internacional. Além de este ser o mais conhecido e maior astroblema sulamericano (sua cratera de impacto possui 40km de diâmetro) (CRÓSTA, 2012), é o único astroblema do Brasil que se encontra tanto em um dos volumes da série “Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil” da SIGEP (neste caso, já no seu primeiro volume, de 2002) quanto também no primeiro volume lançado em 2006 do livro “Geoparques do Brasil - Propostas” do projeto ‘Geoparques’ da CPRM. Neste último, apresenta-se ao leitor não só uma explanação científica que justifica o aceite daquela feição como um astroblema, mas já há também todo um mapeamento de 15 diferentes

¹¹⁴ São sete os astroblemas listados pela *Earth Impact Database*, a saber: Araguainha, Colônia, Riachão, Santa Marta, Serra da Cangalha, Vargeão e Vista Alegre. Acessado em novembro/2022. O suposto astroblema de Colônia, embora conste no Earth Impact Database, ainda suscita dúvidas no meio científico quanto a sua origem como uma estrutura de impacto meteorítico ao mesmo tempo em que duas outras estruturas não constavam na lista deste site mas possuem comprovação documentada em artigos científicos publicados em revistas do primeiro escalão da meteorítica. São elas o astroblema de São Miguel do Tapuio e o de Novas Colinas.

geossítios detalhados e justificados para integrar visitas em um possível futuro Geoparque na área. (CPRM, 2012)

Apesar de constar no projeto ‘Geoparques’ da CPRM, o caminho para um futuro Geopark UNESCO do Astroblema de Araguainha seria ainda longo a se percorrer, como bem pontua a CPRM, ao discorrer sobre o auxílio que a mesma presta com o seu projeto ‘Geoparques’ para aqueles que pretendem postular o selo da UNESCO e integrar a rede mundial de geoparques chancelada por esta entidade global:

“A ação catalisadora desenvolvida pela CPRM representa, entretanto, somente o passo inicial para o futuro geoparque. A posterior criação de uma estrutura de gestão do geoparque e outras iniciativas complementares é essencial e deverão ser propostas por autoridades públicas, comunidades locais e interesses privados agindo em conjunto.” (CPRM, 2012)

De qualquer modo, excluindo-se o Geoparque do Araripe, que recebeu o selo da UNESCO no mesmo ano em que o livro “Geoparques do Brasil – Propostas, Volume 1” foi lançado, três geoparques nacionais muito avançaram até aqui e constam neste livro supracitado: o Geoparque do Seridó¹¹⁵ e o Geoparque Caminhos dos Cânions do Sul¹¹⁶, os quais já também receberam o selo da UNESCO e integram a rede UNESCO Global Geoparks desde abril de 2022¹¹⁷; e o Geoparque Costões e Lagunas do Rio de Janeiro – que apesar de não ter ainda referendada a sua posição efetivamente nesta rede, já trilhou um caminho longo neste sentido¹¹⁸ e também inspirador para outros projetos ainda embrionários,

¹¹⁵ O Geoparque Seridó assim autoneomeia-se em seu site oficial (<https://geoparqueserido.com.br/>, acessado em novembro/2022). Já na comunicação oficial da UNESCO, em sua homepage, quando da nomeação deste geoparque como corpo integrante da rede UNESCO Global Geoparks, consta o nome Seridó UNESCO Global Geopark. (<https://www.unesco.org/en/articles/unesco-designates-8-new-global-geoparks>, acessado em novembro/2022). Escolhemos utilizar o nome que consta no site oficial do geoparque.

¹¹⁶ O Geoparque Caminhos dos Cânions do Sul assim autoneomeia-se em seu site oficial (<https://canionsdosul.org/>, acessado em novembro/2022). Já na comunicação oficial da UNESCO, em sua homepage, quando da nomeação deste geoparque como corpo integrante da rede UNESCO Global Geoparks, consta o nome Southern Canyons Pathways UNESCO Global Geopark. (<https://www.unesco.org/en/articles/unesco-designates-8-new-global-geoparks>, acessado em novembro/2022). Escolhemos utilizar o nome que consta no site oficial do geoparque.

¹¹⁷ Fonte: Artigo hospedado no Site Oficial UNESCO: <https://www.unesco.org/en/articles/unesco-designates-8-new-global-geoparks>, acessado em novembro/2022.

¹¹⁸ Muito além de estar presente no livro “Geoparques do Brasil – Propostas, Volume 1”, observa-se um trabalho incessante por parte da equipe que gerencia a proposição deste Geoparque. São hoje 64 entidades parceiras, dentre prefeituras envolvidas, museus, institutos universitários, associações de guias de turismo, ONGs e outros, conforme publicação no site oficial do Geoparque (<https://www.geoparquecostoeselagunas.com/entidades-parceiras/>, acessado em dezembro de 2022).

como Geoparques para os astroblemas brasileiros. Portanto, figurar neste livro não basta mas é um ótimo primeiro passo.

Convém pontuar a importância da visibilidade. Quanto mais os astroblemas brasileiros forem vistos e falados pelo mundo, mais a população toma conhecimento de sua existência. Só se busca preservar aquilo que se conhece e que, por conseguinte, se valoriza.

Em 28 de outubro de 2022, a IUGS (*International Union of Geological Sciences*) lançou o livro “*The First 100 IUGS Geological Heritage Sites*”, como parte das comemorações de seus 60 anos de existência¹¹⁹. Uma das pessoas que assina o prefácio deste livro e endossa os 100 sítios escolhidos é Nickolas Zouros, presidente da GGN (*Global Geoparks Network*) que, junto à UNESCO, é responsável por gerenciar a rede UNESCO Global Geoparks, tornando tudo interligado. Sobre a importância de se dar visibilidade a diferentes geossítios espalhados pelo mundo, pontua a IUGS na Apresentação do Livro:

“IUGS recognition of Geological Heritage Sites gives visibility to those sites. It identifies them as being of the highest scientific value. They are sites that served to develop the science of geology, particularly its early history. They are the world’s best demonstrations of geologic features and processes. (..) Their visibility is greatly enhanced by IUGS recognition. Some of the sites are classic and known to almost all geologists, but few geologists know most of the sites because of their diverse types and geographic settings. The announcement of the “First 100” and the attractive book and webpage will lead to many of the sites becoming known for the first time to large numbers of geologists and the public. Interest in individual sites will increase as will geo-visitors. Many of the “First 100” are well protected in national parks, geoparks, and natural reserves, but many are not. Recognition and visibility of the “First 100” IUGS Geological Heritage Sites can lead to their further appreciation, to their use as educational resources, and, most importantly, to their preservation.” (IUGS, 2022)

Quatro dos cem sítios escolhidos pela IUGS para fazer parte desta listagem especial possuem território integral ou parcial no Brasil. São eles: o Monolito do Pão de Açúcar, do Rio de Janeiro – compondo o Sítio de número 079, um dos vinte

O projeto possui também uma logo oficializada e, para além da logo, mascotes que ajudam a contar de forma lúdica e acessível as intrincadas questões geológicas que permeiam a área do Geoparque. Paralelamente, a produção científica relativa à este Geoparque abrange questões preponderantes que demonstram um alinhamento total com o conceito de Geopark incentivado pela mesma, no qual a preservação ambiental anda lado a lado com o desenvolvimento social, (em especial o das comunidades mais carentes, promovendo ideias de sustentabilidade para os moradores locais, sobretudo os mais necessitados). (Ver exemplos desta diversidade de estudos em: (AVELAR, MANSUR & ANJOS, 2015); (ALBANI, MANSUR & SANTOS, 2022); (SANTOS, MANSUR & SEOANE, 2022).

¹¹⁹ Fonte: <https://iugs60.org/first100geosites/>, acessado em dezembro de 2022.

e dois sítios da categoria ‘*Geomorphology and Active Geological Processes*’; as Formações Paleoproterozóicas de Ferro Bandado do Quadrilátero Ferrífero, de Minas Gerais – compondo o Sítio de número 013, um dos doze sítios da categoria ‘*Statigraphy and Sedimentology*’; as Cataratas do Iguçu/Iguazú, em território misto Brasil/Argentina, é o Sítio número 085, outro dos vinte e dois sítios da categoria ‘*Geomorphology and Active Geological Processes*’ e por fim o Astroblema de Araguainha (Domo de Araguainha *Impact Structure*, como versa originalmente na publicação da IUGS), localizado na divisa entre os Estados de Goiás e Mato Grosso, Sítio de número 100, a fechar a lista e a integrar de forma solo a categoria ‘*Impact Structures and Extraterrestrial Rocks*’.

Importante para os astroblemas que haja uma categoria específica para as crateras de impacto e meteoritos – já que esta é apenas uma primeira lista e outras virão, o projeto continua – e mais importante ainda que a cratera de impacto escolhida¹²⁰ para ser esta representante solo desta categoria, dentre as quase 200 verificadas ao redor do mundo¹²¹, seja uma brasileira – estando ainda a frente de sítios já reconhecidos mundialmente como a Meteor Crater¹²², nos EUA; a cratera de Chicxulub¹²³, no México ou a cratera de Vredefort¹²⁴, na África do Sul.

¹²⁰ A escolha dos geossítios listados neste livro passou por um criterioso processo, como a própria IUGS demonstra na Introdução do livro: “*For IUGS Geological Heritage Sites, a first group of 20 international experts on geoheritage from 13 different countries developed the high standards for recognition. An open process of identification was open among more than 40 participant of the IGCP 731 project. 181 candidates from 56 countries were proposed and were evaluated by 33 international experts. The result of this international collaboration between IUGS and more than 10 commissions and affiliated organization is the selection of the “First 100” presented in this book. The First 100 IUGS Geological Heritage Sites is a great milestone that will inspire the work of this ambitious program. There will be more IUGS Geological Sites recognized in the coming years.*” (IUGS, 2022)

¹²¹ O texto no livro é mais um a citar o ‘*Earth Impact Database*’ como uma fonte cientificamente segura de contagem das estruturas de impacto ao redor do mundo. (IUGS, 2022) Apesar disso, cabe ressaltar que este site encontra-se em vias de ser descontinuado e já está sendo substituído por outra base de dados equivalente, a *Impact Earth*, da University Western Ontario, cujo endereço é <https://Impact.uwo.ca/>

¹²² Uma das mais bem preservadas crateras de impacto meteorítico disponíveis para visitação atualmente e basilar para a História da Meteorítica, conforme já descrito nesta tese.

¹²³ Enorme astroblema com 180km de diâmetro. O impacto pode ter sido tão devastador a ponto de ligar diretamente este acontecimento à extinção dos dinossauros, há 66 milhões de anos atrás e determinar o limite entre o Cretáceo e o Paleogeno. (Hipóteses levantadas a partir de (HILDEBRAND et al., 1991))

¹²⁴ Maior cratera de impacto meteorítico a hipervelocidade que temos registro em nosso planeta, com cerca de 300km de diâmetro e 2 bilhões de anos de existência. (OSINSKI et al., 2022)

6.3.2

Os Astroblemas internacionais e o selo da UNESCO: alguns exemplos

No Brasil, até o momento, nenhum Geoparque vinculado à rede da UNESCO possui um astroblema no seu território. Mas das quase 200 crateras de impacto meteorítico listadas pelo *Earth Impact Database*, algumas possuem ou já possuíram esta característica.

A EGN (*European Geoparks Network*) foi criada em 2000 com o acordo de cooperação entre quatro Geoparques. Cinco anos depois, contava com 17 Geoparques, um dos quais hospedava um astroblema: era o *Astrobleme Rochechouart Chassenon*, na França. (ZOUROS, 2004) Hoje, ele não mais figura na atual lista da rede UNESCO Global Geoparks. (GGN, 2022)

Em contrapartida, existem alguns astroblemas pretendentes ao selo UNESCO Global Geopark pelo mundo, além dos brasileiros que porventura almejem esta chancela, como é o caso do Lonar Impact Crater, na Índia. Tanto o Serviço Geológico da Índia quanto o Serviço Arqueológico da Índia declararam a cratera de Lonar Patrimônios Geológico e Arqueológico, respectivamente. Hoje, entende-se que esta feição é uma cratera de impacto meteorítico do tipo simples, com sua estrutura bem preservada e com morfologia e dimensões também parecidas com a Barringer Crater, mas com um lago hipersalino em seu interior. Estima-se que a Lonar Impact Crater tenha surgido a partir de um evento de impacto há cerca de apenas 570 mil anos atrás (SCHMIEDER & KRING, 2020). Uma grande e importante diferença desta cratera para a Barringer Crater é o fato de o seu impacto ter ocorrido sobre rochas basálticas. Este fato, somado ao fato de que ela possui ainda uma estrutura bem preservada interessa em muito sobretudo aos pesquisadores de crateras de impacto existentes no Sistema Solar, em especial na Lua e em Marte – as quais também ocorreram em mesmo tipo de corpo impactado. (CHANDRAN et al., 2022)

Sob a ótica sócio-cultural e arqueológica, a cratera de Lonar dialoga com mitos e religiosidade. Conforme Chandran et al. (2022), para toda feição geomorfológica diferenciada, na Índia, haverá um mito para a sua criação e com

a cratera de Lonar não é diferente. O próprio nome da cratera advém de um demônio indiano de nome Lonasura. A cratera seria então o que restou do esconderijo subterrâneo deste demônio depois de o mesmo ser derrotado por Lord Vishnu e o lago que existe no seu interior, o sangue do demônio vencido. Independente desta passagem, vários templos foram erguidos há muitos séculos atrás no entorno da cratera para venerar deidades hindus como Vishnu, Shiva e Shakthi. A cratera de Lonar é um ponto de peregrinação religiosa dos indianos. (CHANDRAN et al., 2022)

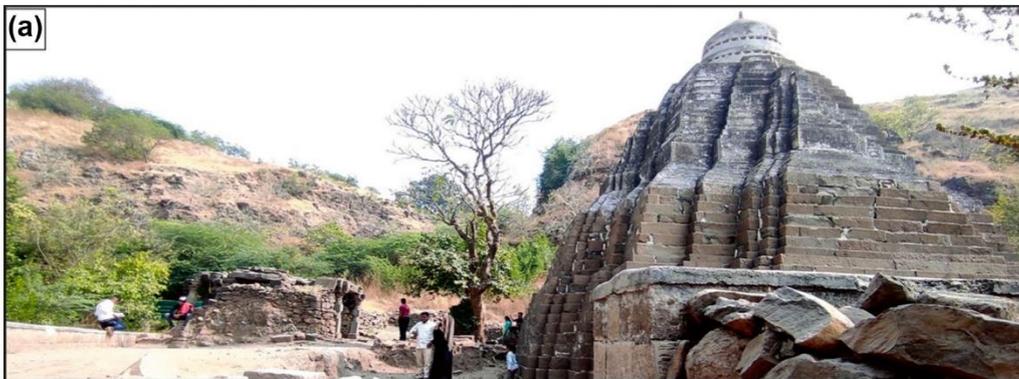


Figura 6.1 - Exemplos de alguns templos antigos que circundam a cratera de Lonar. a) O Templo Kamalja Devi, ao sul do lago da cratera, é dedicado à deusa Kamalaja; b) Templo Daytiasudan, na cidade de Lonar, celebra a vitória de Vishnu sobre Lonasur; c) já o Templo Kumareshwar, a nordeste da borda da cratera, é dedicado a Shiva.

Por conta de toda uma miríade de argumentos científicos multidisciplinares, que abarcam da Geologia à Sociologia, Chandran e outros pesquisadores, juntos, recomendam a criação de um Geopark UNESCO no local. (CHANDRAN et al., 2022)

Embora alguns astroblemas postulem, mesmo que para um futuro ainda distante, a chancela do selo UNESCO Global Geopark, hoje ao menos um Geopark UNESCO tem como feição principal um astroblema: o Ries UNESCO Global Geopark, nomeado em conjunto com nossos outros novos dois Geoparques UNESCO brasileiros no ano de 2022. Em conjunto com o já existente Swabian Alb UNESCO Global Geopark, ambos bem próximos em localização um do outro, contemplam dois astroblemas (um em cada Geoparque – embora em Swabian Alb a cratera de impacto que integra-o não represente sua feição geológica principal) que até hoje geram a seguinte dúvida na comunidade científica: ambos foram criados a partir de um evento único, a partir de um corpo celeste que, fracionado, atingiu e criou duas crateras diferentes? Ou esta proximidade física entre estas duas distintas crateras é apenas uma coincidência, na qual dois eventos distintos de impacto meteorítico ocorreram de forma não-relacionada no tempo? (Buchner, Sach & Schmieder, 2022)

Ries UNESCO Global Geopark

Principais características da Cratera de Ries

A bacia de Ries (“Rieskessel”, em alemão), a noroeste de Munique no Estado da Baviera, Alemanha, já chamava a atenção dos geólogos alemães desde o século XIX, como se observa na publicação “*Geognostische Beobachtungen im*

Riesgau um dessen Umgebungen” de Bernhardt von Cotta¹²⁵ em 1834. (SHOEMAKER & CHAU, 1961); (STÖFFLER et al., 2013) Em 1904, pela primeira vez é sugerida por Edward Werner a possibilidade de esta bacia ser de origem meteorítica. (SHOEMAKER & CHAO, 1961); (HORN, 1972) Em 1961, Eugene Shoemaker e Edward Chao comprovam pela primeira vez a hipótese elencada por Werner ao identificar o mineral coesita no suevito¹²⁶ encontrada na cratera de Ries (SHOEMAKER & CHAO, 1961); (STÖFFLER et al., 2013), um ano após os mesmos comprovarem a origem meteorítica da Barringer Crater, no Arizona (EUA) - através de minucioso estudo da mesma coesita¹²⁷ encontrada também em rochas desta cratera americana.

As seguintes informações sobre o evento que gerou a cratera de Ries nos são apresentadas por Stöffler et al. (2013): estima-se que o impacto meteorítico a hipervelocidade que gerou a cratera de Ries tenha ocorrido a aproximadamente 15 milhões de anos; que o corpo impactante, provavelmente um asteroide rochoso com um diâmetro entre 1.1 e 1.5km atingiu a área da cratera a uma velocidade estimada de 15 a 18km/s gerando uma máxima pressão entre 300-500 GPa.

Este evento criou uma cratera com 25km de diâmetro e rochas fragmentadas da subsuperfície e do embasamento cristalino do corpo impactado foram arremessadas para fora da cratera, enquanto um cobertor de material fino ejetado, após um momento em suspensão, cobre a área da cratera e seu entorno. Cinco unidades estruturais proximais concêntricas são listadas por Stöffler et Al (2013). de dentro pra fora:

- 1) Depressão (ou bacia) central, com uma área que ocupa um raio de aproximadamente 6km e 800m de profundidade (medida da superfície pré-impacto até o final das lentes de breccia);
- 2) borda soerguida do anel interno, com 6km de raio;

¹²⁵ Cotta foi um entusiasta das ideias de Alexander von Humboldt e também um grande divulgador da obra-prima de seu mestre, o livro “Kosmos”. (DAUM, 1998 Apud Wikipedia, verbete “Bernhardt von Cotta”: “*Wissenschaftspopularisierung im 19. Jahrhundert: Bürgerliche Kultur, naturwissenschaftliche Bildung und die deutsche Öffentlichkeit*“)

¹²⁶ “*The Ries suevite serves as a unique example for understanding the complex processes in impact craters that lead to the formation of impact melt rocks and polymict breccias through shock wave loading, ejecta plume formation, ballistic and nonballistic ejecta emplacement, and the interactions of these processes.*” (STÖFFLER et al., 2013)

¹²⁷ Segundo Horn (1972), “*A major discovery concerning the criteria for impact craters was the isolation of Coesite and Stishovite from the Coconino sandstone at the site of Meteor Crater, Arizona. These two high-pressure polymorphs of SiO₂, were previously not known from natural occurrences.*”

- 3) Zona de Megablocos, área anelar com raio entre 6 e 13km;
- 4) borda estrutural, com raio entre 13 e 14km;
- 5) Cobertor de material ejetado externo contínuo, com raio entre 13 e 45km.

Para além destas áreas, há ainda uma grande quantidade de corpos rochosos distais que foram arremessados para fora da cratera. Um bloco ejetado por conta do impacto, com aproximadamente uma tonelada de massa, foi encontrado a 150km de distância a leste do centro da cratera. (HORN, 1972) Outros corpos rochosos foram encontrados ainda mais longe, com distâncias do centro do astroblema que podem alcançar até 450km como foi o caso dos moldavitos encontrados na República Tcheca. (STÖFFLER et al., 2013)

Esta cratera meteorítica é uma feição singular pois, segundo Stöffler et al. (2013), mantém muito bem conservados até os dias de hoje tanto materiais distais quanto proximais de um impacto meteorítico a hipervelocidade. O impacto ocorreu em uma rocha-alvo de um embasamento cristalino que sustentava acima dele uma estratificação já previamente conhecida e estudada de rochas sedimentares do Triássico e acima destas, uma camada de rochas sedimentares do Jurássico. Todas estas rochas foram alteradas, fragmentadas, arremessadas e/ou derretidas pelo impacto meteorítico (HORN, 1972). Por conta de toda essa Geodiversidade e por muito desse material ainda estar ali disponível para análise, estudo e ensino in loco, considera-se esta uma área que merece ações diretas em prol de sua Geoconservação.

Criação do Geopark: Geoconservação na Alemanha

Na Alemanha, assim como no Brasil, não há (e nunca houve) uma legislação ambiental federal que contemple os Geoparques. Apesar disso, o primeiro monumento natural geológico do mundo foi implementado lá, a sudeste de Bonn na área de Siebengebirge em 1836. (ZAFEIROPOULOS et al., 2021) Mais recentemente, uma preocupação com trilhas as quais apresentassem uma temática geológica já eram pensadas neste país desde os anos 70 do século XX. Alguns anos mais tarde no início da década de 90, geotusiastas alemães da região de Eifel perceberam que seria necessário algo mais do que apenas trilhas temáticas para

apresentar todo um arcabouço geológico que ocupava áreas bem maiores do que a área ocupada por uma trilha. É criado então o primeiro Geoparque alemão, no município de Gerolstein. (ELLGER, 2022)

Enquanto isso, em outras partes do mundo nesta mesma década, outros países iniciam movimentos similares, de forma não-organizada até que cria-se a EGN (*European Geopark Network*) em 2000 e quatro anos mais tarde, a fusão entre a EGN, a China e com a anuência da UNESCO dá-se forma à GGN (*Global Geopark Network*), como já explicitado neste trabalho.

Ao perceber grandes dificuldades para algumas destas novas experiências alemãs de geoparques em adequarem-se rapidamente às muitas exigências da EGN (e posteriormente, de forma ainda mais severa com a GGN/UNESCO), o BLA-GEO¹²⁸ cria, em 2001, o programa “Geoparque Nacional”¹²⁹. Fica a cargo da GeoUnion Alfred-Wegener-Stiftung (Fundação GeoUnion Alfred-Wegener) a certificação dos candidatos a Geoparques Nacionais. Este selo tem validade de 5 anos, quando uma nova verificação deve ser implementada. (RÖHLING & SCHMIDT-THOMÉ, 2004; ELLGER, 2022)

Segundo Ellger (2002), esta verificação consiste em um grande passo para que o Geoparque em questão busque o selo da rede UNESCO Global Geoparks e quando o mesmo tem êxito passando a possuir os dois selos, esta dupla certificação atesta ainda mais que a organização que administra o Geoparque continuamente busca um nível de excelência tanto no âmbito da geoconservação, quanto no do geoturismo, no da geoeducação e no do desenvolvimento sustentável da região.

Em 2003 já haviam quatro Geoparques Nacionais atestados (RÖHLING & SCHMIDT-THOMÉ, 2004) e, passados 20 anos deste início, ao final de 2022 são dezoito Geoparques que possuem, em território alemão, o selo de Geoparques Nacionais. Destes, oito possuem atualmente também o selo da rede UNESCO Global Geoparks, ou seja, a dupla certificação. Dentre estes últimos, encontram-se o Swabian Alb UNESCO Global Geopark e o Ries UNESCO Global Geopark. (ELLGER, 2022)

¹²⁸ BLA-GEO: Bund-Länder-Ausschuss Bodenforschung (órgão federal do Poder Executivo alemão para o qual todos os Serviços Geológicos Estaduais alemães devem reportar-se). https://www.bgr.bund.de/Infogeo/DE/Gremien/BLA_GEO/bla_geo_node.html, acessado em dezembro/2022.

¹²⁹ “Geoparques Nacionais”, ou “*Nationaler Geopark*”. <http://www.nationaler-geopark.de/startseite.html>, acessado em dezembro/2022.



Figura 6.2 - Mapa “Geoparks in Deutschland” (Geoparques na Alemanha), atualizado (2022), contendo o território alemão e cercanias, os 18 Geoparques Nacionais e suas áreas (o Geoparque de Bayern-Böhmen é o único transnacional), além de outros Geoparques que não obtiveram ainda nenhum dos dois certificados (estes, ainda sem as respectivas áreas, mas já com seus devidos nomes em suas respectivas localizações).

Fonte: <http://www.nationaler-geopark.de/geopark/nationale-geoparks/uebersichtskarte.html>, acessado em dezembro/2022.

O Ries UNESCO Global Geopark recebe em 2006 a primeira certificação de *Nationaler Geopark* concedida no Estado da Baviera (NIKLAS, 2011) e em 2022, a segunda certificação integrando a partir daí a rede UNESCO Global Geoparks. (ELLGER, 2022)

Uma das exigências da UNESCO para que um Geoparque integre a sua rede global é a de que o mesmo possua um compromisso com a Geoeducação (ZOUROS, 2005). Não basta haver uma área de raro valor geológico-geomorfológico, caso esse valor não possa ser compreendido (inclusive e principalmente por não-especialistas do campo das Geociências), e assim compartilhado. Desta forma, uma boa Geocomunicação é um grande passo para uma boa Geoeducação.

O site oficial do Ries UNESCO Global Geopark (<https://www.geopark-ries.de/>) cumpre bem este papel e fornece valiosas informações sobre aspectos geológicos, meteoríticos, arqueológicos, históricos e culturais da região como uma ótima plataforma para explorar-se o Geoturismo in loco no Geoparque.

Esta é a interface inicial do site oficial do Ries UNESCO Global Geopark (em dezembro de 2022):



Figura 6.3: interface inicial do site oficial do Ries UNESCO Global Geopark (em dezembro de 2022). A língua original na qual abre-se o site pela primeira vez – e que se vê na imagem – é a língua pátria, o alemão formal, embora haja a opção também de acessá-lo, por enquanto, em inglês ou italiano.

Ao primeiro contato com a página inicial do site, apresentam-se várias possibilidades de navegação por diferentes mundos para o usuário. Da mesma forma, é muito instantânea a sensação (acertada) de que lida-se com informações interdisciplinares. Os cards¹³⁰ que aparecem de forma rotativa na parte inferior do site assim como os links clicáveis estáticos na parte superior abrem diferentes universos que conversam de forma harmônica através da complexidade multifacetada que a paisagem e as interrelações multitemporais da região nos apresentam.

No link clicável “UNESCO GLOBAL GEOPARK” há um submenu que oferece diversas opções para que o usuário possa aprender mais sobre o evento meteorítico que hoje é o astroblema de Ries, sua geologia, a história da ocupação humana deste território, uma breve explanação sobre a paisagem atual e a vida animal presente. Para além dessa explicação escrita, há um link para vídeos (em alemão e inglês) sobre o evento meteorítico que gerou a cratera de Ries e sobre o Geoparque, fotos de diversos geossítios que compõem o mesmo, link para um web app de celular que pode também auxiliar geoturistas in loco, em trilhas propostas dentro do Geoparque, flyers diversos sobre o Ries UNESCO Global Geopark (com a opção de download *free* em *pdf* ou postagem da mídia impressa por correio), uma

¹³⁰ Estes cards são, na verdade, *highlights*: todos eles se encontram também em sub-menus dos links clicáveis estáticos que se encontram na parte superior do site, em conjunto com outros itens destes sub-menus que não foram escolhidos para integrar os cards rotativos.

pequena loja online com produtos que levam a logo do Geoparque e as Notícias mais recentes que contemplam o Geoparque.



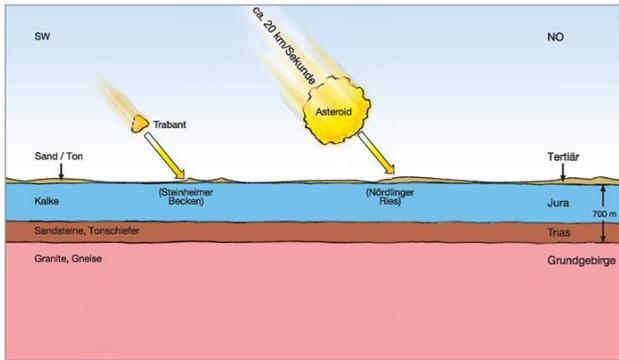
Figura 6.4 - Destaque para os submenus (clicáveis) que aparecem em janela ao clicar-se no link superior estático “UNESCO GLOBAL GEOPARK RIES”. Neste detalhe, a página acessada apresenta-se no idioma inglês, para melhor compreensão do conteúdo dos submenus. Repara-se que o último (e apenas ele) não se encontra em inglês, e sim alemão. “Aktuelles” significa “Notícias” em alemão.

Os quatro primeiros submenus, do topo para baixo, apresentam informações científicas mas de forma acessível e atrativa, ao utilizar diversas imagens – fotografias, mapas, figuras, quadrinhos – e buscar o lúdico, mas que não deixa de informar o público receptor. Os textos são reduzidos, diretos e buscam informações científicas relevantes e ao mesmo tempo que sejam interessantes para o grande público.

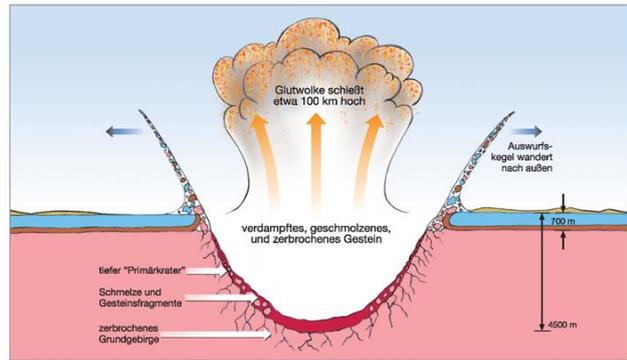
No submenu “Formação da Cratera de Ries” apresenta, por exemplo, o tamanho estimado do asteroide impactante, sua velocidade e a data do evento

meteorítico. Em seis quadrinhos sequenciais, as imagens comunicam muito bem o processo de formação da cratera logo após o impacto¹³¹.

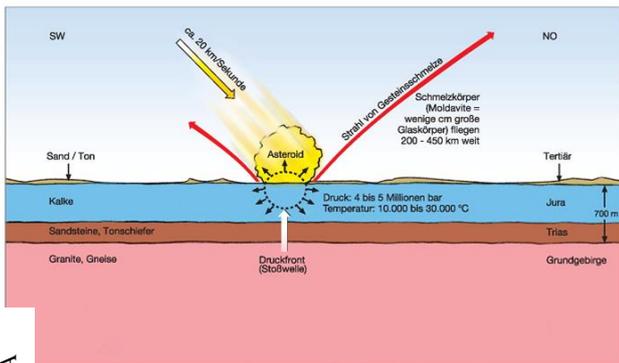
¹³¹ Cabe notar que nesta explicação, apresenta-se a teoria de que os impactos de Ries e Steinheim aconteceram em um único evento. Esta teoria sofre atualmente críticas científicas de uma corrente de pesquisadores que propõe dois impactos em eventos distintos para a formação das duas crateras, conforme já acusamos neste trabalho. Esse é um caso interessante para abrir uma discussão muito pertinente com o público geral que frequenta o Geoparque, as vezes pouco explorada em escolas: a de que a Ciência é dinâmica e que, diferente dos dogmas, as explicações científicas podem ser (e em diversos casos serão) modificadas – quando uma nova evidência científica pende para uma nova e mais acertada explicação. Aliás, muitas das feições que hoje chamamos de astroblemas, criadas por impactos meteoríticos a hipervelocidade nunca experimentados (até que se prove o contrário) pelo ser humano em tempos históricos, foram atribuídas inicialmente ao vulcanismo, dadas algumas similaridades entre os produtos destes tipos de eventos. As crateras de Ries, Barringer e **Serra da Cangalha** inclusive.



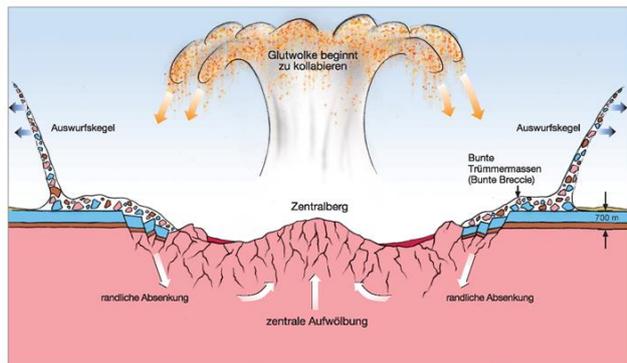
1 35 Millisekunden vor dem Einschlag



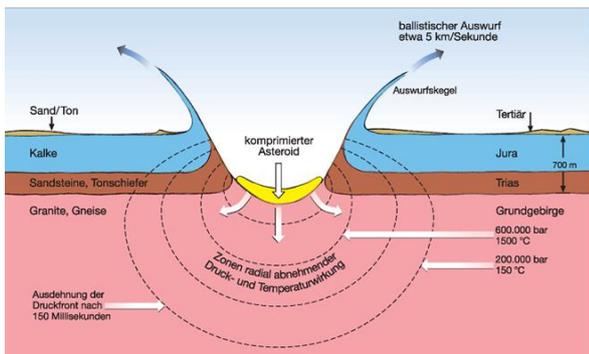
4 Entstehung des tiefen „Primärkraters“ nach etwa 10 Sekunden



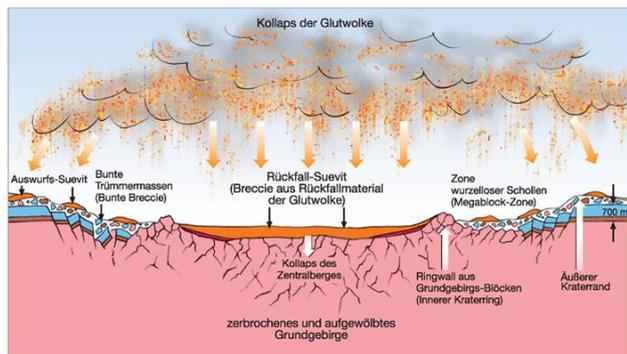
10 Millisekunden nach dem Einschlag



5 Kollaps des „Primärkraters“ und Ablagerung der Auswurfsmassen nach 1 Minute



3 Beginn der Kraterbildung nach 60 Millisekunden



6 Ende der Kraterbildung und Ablagerung des Suevits nach 10 Minuten

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1821016/CA

Zeichnungen: D. Stöffler, W.-U. Reimold, T. Kenkmann und K. Wünnemann, Museum für Naturkunde Berlin

Figura 6.5 - Seis quadrinhos sequenciais que explicam o processo da criação da cratera de Ries, durante e após o impacto meteorítico e suas consequências. Esta figura faz parte da webpage que explica a formação da cratera e também é oferecida em uma resolução mais alta para download. Esse arquivo é o utilizado aqui. Originalmente retirada do Museum für Naturkunde Berlin e criada pelos pesquisadores D. Stöffler, W.-U. Reimold, T. Kenkmann e K. Wünnemann. Os três últimos pesquisadores possuem também publicações que investigaram o Astroblema da Serra da Cangalha, em conjunto com os prof.Drs. Álvaro Crósta e Marcos Vasconcelos, quando da caracterização geológico-meteorítica da mesma. (KENKMANN et al., 2011; VASCONCELOS et al., 2012; VASCONCELOS et al., 2013)

Na seção destinada à Geologia, observa-se a apresentação de elementos geológicos fundamentais para o reconhecimento do impacto meteorítico em Ries, ainda nos anos 70, assim como fotografias de Eugene Shoemaker e Edward Chao, responsáveis por esta descoberta. Apresenta-se o suevito, o diamante meteorítico e as *bunte breccias*, em alemão ou brechas coloridas em português. Suevito advém de *Suevia*, do latim, que significa Swabia – a região alemã na qual se encontra o Geoparque. Convém lembrar que a alguns quilômetros de distância localiza-se a Cratera (de impacto) de Steinheim, a qual se encontra no Swabian Alb UNESCO Global Geopark.

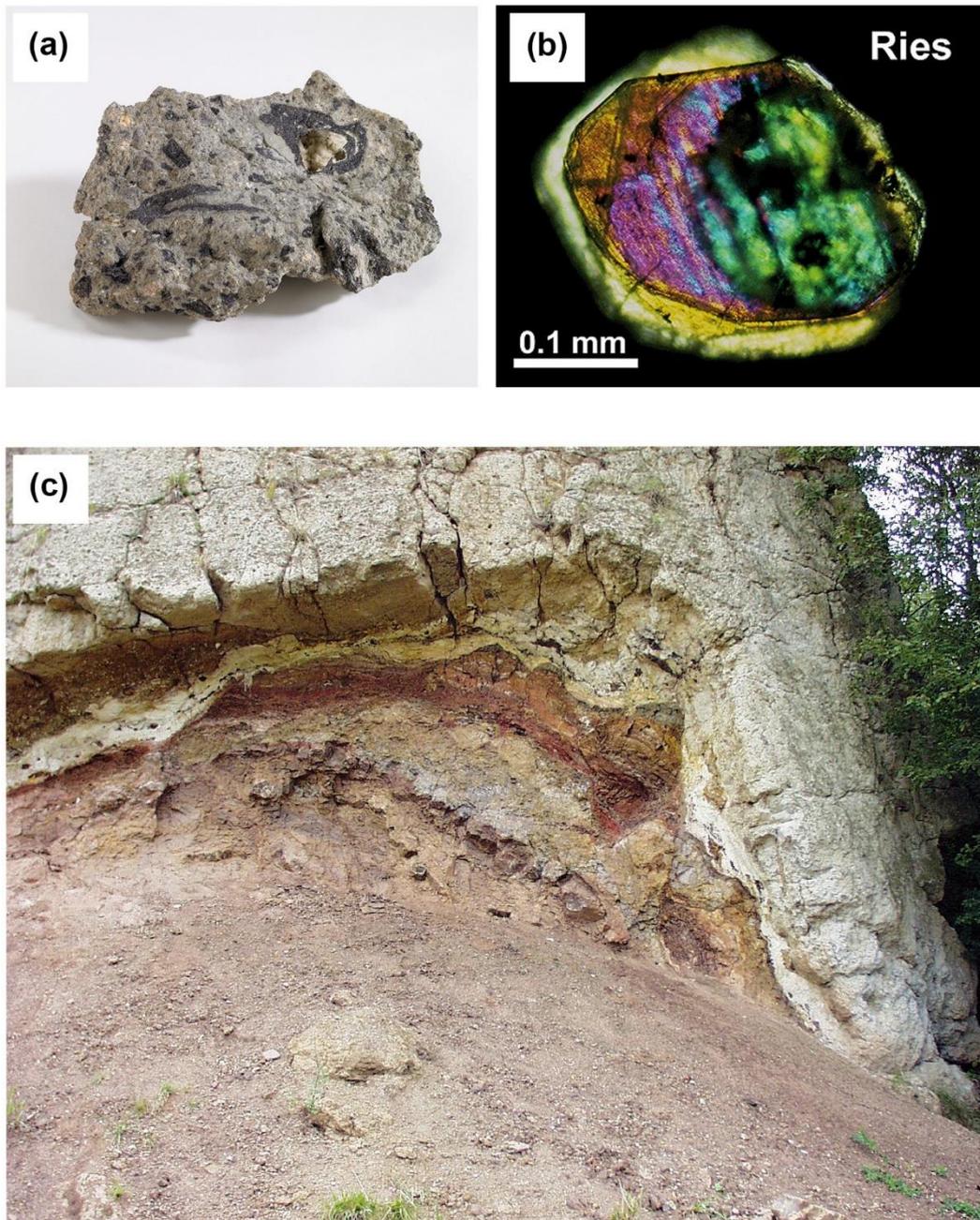


Figura 6.6 - a) Suevito advindo da Cratera de Ries. b) Diamantes de impacto advindos da Cratera de Ries. c) Suevito em contato com *bunte breccia* na pedreira Aumühle, perto de Öttingen. Fonte: Submenu ‘Geologia’ do site oficial do Ries UNESCO Global Geopark, em <https://www.geopark-ries.de/en/geologie/> (acessado em dezembro/2022). Créditos das três fotos inexistem no site.

O submenu ‘Geologia’ apresenta ainda conteúdos que relacionam a Geologia com:

- a Ciência Espacial e a Meteorítica: em 1970, a NASA utilizou afloramentos da Cratera de Ries para treinar seus astronautas das Missões Apollo 14 e 17. Em contrapartida, um dos *highlights* do Museu da Cratera de Ries (que se encontra dentro do Geoparque) é uma rocha lunar trazida da Lua por esta missão americana. O site apresenta esta história interessante e fotos da rocha lunar e dos astronautas in situ em Ries; (<https://www.geopark-ries.de/en/wissenschaft/>, acessado em dezembro/2022);

- a Arquitetura: principalmente na cidade de Nördlingen, uma cidade murada medieval que se encontra dentro da cratera e do Geoparque. Algumas de suas construções usaram como matéria-prima o suevito. O site aponta onde encontrar essas construções e quais as propriedades especiais do suevito enquanto material de construção; (<https://www.geopark-ries.de/en/geologie-und-architektur/>, acessado em dezembro/2022);

- a Agricultura e a Indústria: o solo que advém dessas rochas criadas no impacto é extremamente fértil. Acredita-se que este solo foi cultivado pelo menos desde o século VI d.C. O site mostra exemplos e figuras ilustrativas. (<https://www.geopark-ries.de/en/landwirtschaft-und-industrie/>, acessado em dezembro/2022) A areia que advém também dessas rochas possui características físicas especiais. Uma de suas aplicações é servir de base orgânica para o gramado do novo estádio de futebol do Bayern de Munique, como mostra um dos vídeos apresentados no submenu *Videos, Pictures, Web App, 360 Panoramas*.

(<https://www.youtube.com/watch?v=YluiJvDMudw>, a partir de 21min:21seg, acessado em dezembro/2022);

- a lugares com características geológicas especiais, chamados de Geossítios (na Alemanha, Geotope). São listados e apresentados 149 diferentes geossítios previamente inventariados, dos quais cinco destes encontram-se também na lista dos 100 mais bonitos Geossítios da Baviera¹³². (<https://www.geopark->

¹³² Esta lista, originalmente “*Hundert Meisterwerke – Die schönsten Geotope Bayerns*” faz parte do projeto *Bayerns Schönste Geotope*, levada a cabo pelo *Bayerisches Geologisches Landesamt* (Serviço Geológico do Estado da Baviera) a partir de 2001. (LAGALLY & LOTH, 2017)

ries.de/en/geotope/ e <https://www.geopark-ries.de/en/geologische-besonderheiten/>, ambos acessados em dezembro/2022)



Figura 6.7 - a) e b) retiradas da seção “Ciência” do submenu “Geologia”, as duas fotografias mostram respectivamente a ida dos astronautas da NASA para a cratera de Ries nos anos 70 e a rocha lunar cedida ao Museu do Geoparque pela NASA. c) Coluna de Suevita do Museu da Cidade de Nördlingen e d) a torre da igreja de de St. George em Nördlingen, também feita de Suevita. e) Carruagem antiga utilizada para transportar grãos, exposta no “Museum KulturLand Ries”, em Maihingen – povoado localizado no interior do Ries UNESCO Global Geopark; f) exemplo de Geossítio com placa informativa. Geossítio “Erlebnis-Geotop Lindle”, situado em Nördlingen-Holheim, também no interior do Ries UNESCO Global Geopark.

O Submenu “História da Ocupação Humana” apresenta algumas das culturas que já povoaram a região (tais quais os Celtas e os Romanos) e os respectivos indícios arquitetônicos que resistem ao tempo até hoje: ruínas, mosteiros, castelos e fortes.

O Submenu “Natureza e Paisagem” é mais sucinto, apresentando de forma bem superficial a biodiversidade da região.

Os três Submenus restantes destinam-se a apresentar outras mídias que complementam a Geocomunicação do Ries UNESCO Global Geopark. Vídeos educacionais em alemão e inglês, fotografias da paisagem da cratera, flyers (em versões digitais em pdf e impressas) e um Web App com diversas trilhas sugeridas são o que de mais relevante pode-se encontrar neste espaço virtual. (<https://www.geopark-ries.de/videos-bilder-webapp/>, acessado em dezembro/2022 e https://www.geopark-ries.de/infomaterial_onlineshop/, acessado na mesma data do link acima)

O próximo link clicável, “Experience” (“*Erleben*”, na versão original alemã) foca em informações para orientar o usuário-visitante do Geoparque. Aqui concentram-se informações para quem pretende de fato visitar o astroblema e cada Submenu é uma sugestão para melhor aproveitar a experiência. Aqui, dialoga-se com Humboldt e a sua convicção de que estar, sentir e experimentar de fato in loco no mundo concreto e real é fundamental para o entendimento completo do *complexus* da natureza e da dinâmica do planeta. (WULF, 2016)

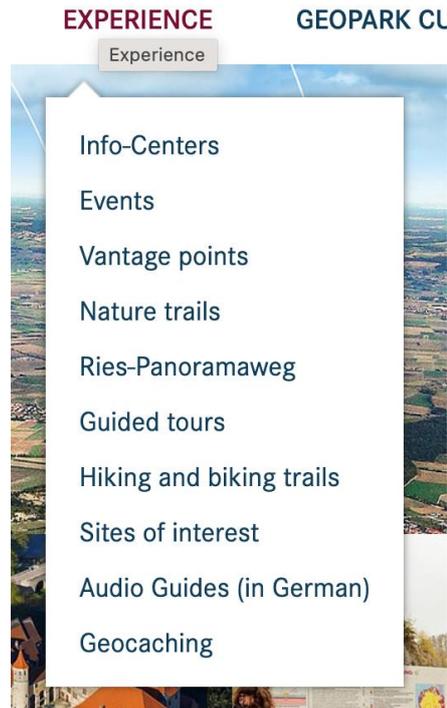


Figura 6.8 - Destaque para os submenus (clicáveis) que aparecem em janela ao clicar-se no link superior estático “Experience”. Neste detalhe, a página acessada apresenta-se no idioma inglês, para melhor compreensão do conteúdo dos submenus.

No Submenu “Info-Centers”, destaca-se uma estrutura de recebimento para o geoturista em vilarejos e pequenas cidades que compõem a área do Geoparque. Na versão em original da página, o Submenu chama-se “*Infozentrum/-stellen*”. Ao entrarmos no link em inglês, o título da página muda para “*Infocenters and Infopoints*”. No Ries UNESCO Global Geopark há dois tipos de central de informações: o Infocentro ou Centro de Informações e o Infoponto ou Ponto de Informações.

O Infocentro tem como características principais ser afiliado ao centro de informações turísticas daquele município, oferecer atendimento presencial e cada qual possuir também um diferente foco temático local. Há um total de três infocentros no Geoparque. Estão localizados em Nördlingen, Oettingen e Treuchtlingen. (<https://www.geopark-ries.de/infozentrum/>, acessado em dezembro/2022)

Já o infoponto são lugares que concentram informações da área de uma forma mais direta, através de painéis e outros recursos, sem oferecer atendimento presencial. Há um total de seis infopontos no Geoparque. Encontra-se Infoponto em Nördlingen, Harburg, Wending, Monheim, Deiningen e Kirchheim. (<https://www.geopark-ries.de/infozentren/>, acessado em dezembro/2022)



Figura 6.9 - Infoponto localizado no município de Harburg. Foto retirada do Site Oficial Ries UNESCO Global Geopark. (https://www.geopark-ries.de/freizeit/a-z/geopark_infostelle_harburg-35084/, acessado em dezembro/2022).



Figura 6.10 - Interior do Infocentro de Nördlingen. Foto retirada do Site Oficial Ries UNESCO Global Geopark (https://www.geopark-ries.de/freizeit/az/geopark_infozentrum_noerdlinge-21874/ , acessado em dezembro/2022).

Outros tipos de experiências *in loco* são oferecidos pelo site:

- no Submenu “*Events*”, há um calendário com visitas guiadas, workshops e excursões pré-programadas disponíveis. (<https://www.geopark-ries.de/en/veranstaltungen/>, acessado em dezembro/2022)
- no Submenu “*Vantage Points*” (no original encontra-se “*Aussichtpunkte*” e em tradução livre para o português, “Pontos de Observação”) o Geoparque sugere lugares de contemplação no interior e cercanias do astroblema. Estão aí listados 40 diferentes pontos para este propósito, com a devida localização em mapa e endereço.



Figura 6.11 - Como exemplo, um dos pontos de observação listados no Submenu “*Vantage Points*” é Rollenberg: um ponto localizado na Zona de Megablocos. Estes blocos de rochas (de dimensões na ordem de grandeza do metro) são enormes corpos rochosos que foram despedaçados com o impacto meteorítico e imediatamente atirados violentamente para fora da cratera como resultado deste impacto. A imagem mostra a beleza da paisagem atual e a distribuição destes blocos na superfície mas peca ao não inserir um elemento visual claro para dar escala. Um ser humano ao lado de um dos blocos resolveria a questão. Fonte: Fotografia retirada do site oficial Ries UNESCO Global Geopark

(<https://www.geopark-ries.de/en/freizeit/a-z/rollenberg-21846/>, acessado em dezembro/ 2022)

- no Submenu “*Nature Trails*” (no original encontra-se “*GeoTop Lehrpfade*” e em tradução livre para o português, “Trilhas Temáticas em Geossítios”) o Geoparque oferece não mais apenas pontos e sim opções de percursos unindo diferentes geossítios para percursos em trilha. São sete trilhas disponíveis. Para cada uma das opções listadas, há um link que oferece mais informações, como distância a se percorrer, tempo aproximado total, um mapa com o percurso e um arquivo para download da trilha (em formato .gpx, para GPS). (<https://www.geopark-ries.de/en/lehrpfade/>, acessado em dezembro/2022)

- no Submenu “Ries-Panoramaweg” observa-se que é o mesmo título para a versão em inglês. Este Submenu oferece uma trilha de longa distância: são 128km a se percorrer, perfazendo a totalidade do perímetro da borda da cratera em sete dias: no dia 1 percorrem-se 18km em um tempo médio de 5h; nos dias 2, 3 e 4 percorrem-se 21km em um tempo médio de 5,5h; no dia 5 percorrem-se 15km em um tempo médio de 4h, no dia 6 percorrem-se novamente 21km em um tempo médio de 5,5h terminando com o último dia, em que percorrem-se os 11km restantes em um tempo médio de 3h. Inicia-se e termina-se em Harburg. (<https://www.geopark-ries.de/en/wege/riespanoramaweg/>, acessado em dezembro/2022)

- no Submenu “Guided Tours” (“Führungen”, na versão original), uma séries de ofertas de atividades pagas com o acompanhamento de um(a) guia credenciado(a) são oferecidas. Há a possibilidade de se encaixar em passeios que já estão previamente marcados, assim como escolher um passeio temático e marca-lo diretamente com o(a) guia ou ainda escolher a possibilidade de entrar em contato diretamente com um(a) guia credenciado(a) e montar um passeio exclusivo direcionado para os seus interesses. São vinte e oito guias cadastrados, quatorze homens e quatorze mulheres das mais variadas idades. Há um link para cada um(a) com foto, contato, formação acadêmica, e conhecimentos específicos relacionados com as temáticas que abrangem o Geopark. (<https://www.geopark-ries.de/en/fuehrungen/>, acessado em dezembro/2022)

- no Submenu “Hiking and Biking Tours” (“Wander-Radwege”, na versão original), mais uma vez o Geoparque oferece trilhas diversas para serem percorridas a pé, mas outras especialmente para bicicleta – e em especial, a trilha para bicicleta chamada de “Von Krater zu Krater”, na qual percorre-se um caminho que liga a Cratera de Ries com a Cratera de Steinheim (esta localizada já em outro Geoparque vizinho, o Schwäbische Alb UNESCO Global Geopark), ida e volta – perfazendo um percurso total de 190km. (<https://www.geopark-ries.de/en/wander-und-radwege/>, acessado em dezembro/2022)

- no Submenu “Sites of Interest” (“Sehenswürdigkeiten”, na versão original, com tradução livre para “Pontos Turísticos”) volta-se a oferecer não mais caminhos, trilhas, rotas, e sim lugares, pontos fixos no espaço. Há uma miríade de opções: são

75 pontos cadastrados como sítios arqueológicos, 8 como fortes, 11 como castelos, 9 como ruínas, 3 como igrejas, 3 como monastérios, 24 como museus e 3 como antigos campos de batalha. Note-se: uma atração turística pode encaixar-se em mais de uma dessas classificações ao mesmo tempo.

(<https://www.geopark-ries.de/en/sehenswuerdigkeiten/>, acessado em dezembro/2022)



Figura 6.12 - Ruína Niederhaus, uma das listadas no Submenu “*Sites of Interest*”. Ruína de um castelo medieval construído no séc. XII e pertencente aos senhores de Hürnheim. Foi parcialmente destruído por ataque de uma cavalaria sueca em 1634. Encontra-se no interior do Geoparque. Fonte: https://www.geopark-ries.de/en/sehenswertes/ruine_niederhaus-20401/, acessado em dezembro/2022.



Figura 6.13 - Castelo Baldern, um dos listados no conteúdo do Submenu “*Sites of Interest*”. Datado do período dos Hohenstaufen, no século XVIII está aberto para visitação, inclusive noturna. Encontra-se no entorno de Bopfingen, no interior do Geoparque a noroeste de N rdlingen. Fonte: https://www.geopark-ries.de/en/sehenswertes/schloss_baldern-9002/, acessado em dezembro/2022.

- no Submenu “*Audio Guides (in German)*” explica-se que   possível fazer o download de guias de áudio para alguns dos passeios disponíveis no Geoparque. Caso o visitante prefira, há também a possibilidade de alugar iPhones que já contém esse aplicativo (de nome “*Lauschtour*”) no Ries Crater Museum em N rdlingen ou no Centro de Informa es Turísticas de N rdlingen. (<https://www.geopark-ries.de/en/lauschtour/>, acessado em dezembro/2022)

- no Submenu “*Geocaching*” encontra-se o link para os quatro Geocaches que estão localizados no interior do Geoparque. <https://www.geopark-ries.de/en/geocaching/>, acessado em 2022.

O próximo link clicável, “*Geopark Culinary*”, demonstra a preocupação do Geoparque em “preservar a culinária local da região de Ries e resistir à perda gradual dos alimentos regionais através da padronização (que vem de fora). A cozinha caseira regional assim como sua identidade permanecem presentes sobretudo nas panelas e cardápios dos restaurantes locais.” (texto retirado de: <https://www.geopark-ries.de/en/geopark-ries-kulinarisch/>, acessado em dezembro/2022).



Figura 6.14 - Destaque para os submenus (clicáveis) que aparecem em janela ao clicar-se no link superior estático “*Geopark Culinary*”. Neste detalhe, a página acessada apresenta-se no idioma inglês, para melhor compreensão do conteúdo dos submenus.

Em seus Submenus, apresenta produtores e restaurantes locais que aceitaram abrir esta parceria com o Ries UNESCO Global Geopark e receber o selo do Geoparque em seus produtos/estabelecimentos, assim como o código de ética que é condição *sine qua non* para sacramentar o acordo entre estes entes privados e

o Geoparque. (<https://www.geopark-ries.de/en/geopark-ries-kulinarisch/>, acessado em dezembro/2022)

O último link clicável, “*Geopark and Schools*”, apresenta opções voltadas diretamente à Geoeeducação.

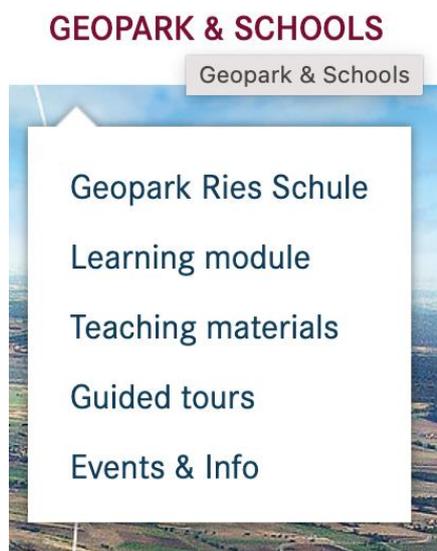


Figura 6.15 - Destaque para os submenus (clicáveis) que aparecem em janela ao clicar-se no link superior estático “*Geopark & Schools*”. Neste detalhe, a página acessada apresenta-se no idioma inglês, para melhor compreensão do conteúdo dos submenus.

A associação que administra o Geoparque possui, desde março de 2021¹³³, convênio com a escola Grundschule Alemannenschule, localizada em Kirchheim am Ries (a noroeste de Nördlingen, nas bordas do astroblema). Esta parceria é apresentada no Submenu “*Geopark Ries Schule*” (em tradução livre, “Escola Geoparque Ries”). A ideia é a de envolver uma instituição de ensino local não só com os conceitos de sustentabilidade mas também trabalhar com os alunos a história da região e os valores da Geodiversidade que estão presentes na mesma,

¹³³ Fonte: Site oficial da escola. <https://www.alemannenschule-kirchheim.de/index.php/ueberuns/geo-park-ries-schule> acessado em dezembro/2022.

fomentando uma relação de orgulho e pertencimento ainda maior nos jovens nativos (<https://www.geopark-ries.de/en/geopark-ries-schule/>, acessado em dezembro/2022)

Os próximos dois Submenus apresentam material didático disponível para profissionais da Educação que visitam o site. Em “*Learning module*”, há uma série de aulas programadas para um nível de aprendizado compatível ao Fundamental I no Brasil, disponíveis em DVD. Este conjunto de aulas em audiovisual foi verificado pelo núcleo de Didática do Instituto de Geografia da Universidade de Augsburg e contempla uma rede de conhecimento interdisciplinar abordando o “Evento de Ries” (o impacto meteorítico que cria a cratera de Ries), o qual dialoga com as cadeiras de Geografia, Física, Química, Natureza e Tecnologia. (<https://www.geopark-ries.de/en/lertheke/>, acessado em dezembro/2022) Já no outro Submenu, “*Teaching materials*”, o Geoparque disponibiliza apostila com um conteúdo de atividades didáticas a serem implementadas em um lugar específico da cratera, o Geotope Lindle. Lá, o professor orientará seus alunos nestas atividades multisensoriais, como fotografar, sentir a floresta, procurar plantas, observar diferentes amostras de solo, analisar diferentes tipos de rochas, usar uma bússola, esboçar mapas. A ideia é a de estimular os cinco sentidos dos alunos em uma aula de campo orientada a partir desta apostila detalhada, criada pelo professor Martin Müller também do núcleo de Didática do Instituto de Geografia da Universidade de Augsburg em parceria com o Geoparque. file:///Users/humbolt/Downloads/lhr-arbeitsexkursion-ws-201617_final_26.pdf, acessado em dezembro/2022)

No próximo Submenu, “*Guided Tours*”, o Geoparque oferece a possibilidade de visitas guiadas escolares com agendamento prévio. Estas visitas foram especialmente criadas pelos guias credenciados do Geoparque para o público infantil-escolar e podem ser utilizadas como complemento aos materiais disponíveis nesta mesma seção “*Geopark and Schools*”.

No último Submenu, “*Events & Info*”, há ainda uma listagem extra de material didático preparado pelo Serviço Geológico da Bavária sobre solos, rochas, tectonismo e História da Terra.

Como pudemos perceber através do site oficial, o Ries UNESCO Global Geopark trabalha de forma ativa a Geoeducação in loco e à distância, o Geoturismo e ao mesmo tempo estimula o produtor local incentivando a cultura regional e trazendo parcerias que alimentam o desenvolvimento dos povoados e pequenas

concentrações urbanas que se encerram dentro do perímetro do Geoparque. Se pensarmos que o Geoparque incentiva o desenvolvimento econômico da região ao mesmo tempo em que estimula de diversas maneiras a compreensão do ambiente através da vivência e do conhecimento científico, pode-se dizer que as ações do Ries UNESCO Global Geopark encontram ressonância nas ideias de Carcavilla et al. (2008) quando o mesmo analisa o Geoturismo.

As opções variadas de passeios oferecidas pelo Geoparque tornam-no um destino interessante para todas as idades e condicionamentos físicos: é possível fruir do Geoparque e dos conhecimentos compartilhados (principalmente sobre a temática do impacto meteorítico e suas consequências) tanto com uma visita à cidade murada medieval de Nördlingen, visitando o Ries Krater Museum e observando os limites da cratera de cima da torre da igreja de St. George, em um prático e panorâmico ponto de visada 360 graus sem obstruções visuais quanto fazendo os mais longos passeios, visitando vários geossítios ou até percorrendo de bicicleta os 190km do trajeto de ida e volta que une a cratera de Nördlingen com a cratera de Steinheim, no Geoparque vizinho caracterizando-se como um Geoparque que oferece uma ampla gama de atividades que fomentam o Geoturismo na região.

O lúdico está presente tanto nas atividades indoor (animações que, por exemplo, recriam o que pode ter sido este impacto descomunal no Ries Krater Museum) quanto nas atividades outdoor, por conta dos quatro *Geocaches* que podem ser procurados como uma caça ao tesouro dentro do Geoparque – assim como nas programações escolares que contam com uma experiência *in situ* explorando os cinco sentidos dos alunos em confluência com um conhecimento interdisciplinar que ensina de forma leve e divertida.

Todas as possibilidades de atividades (tanto *in loco* quanto à distância) que se relacionam com o Ries UNESCO Global Geopark encontram-se no *site* como ótimo exemplo de Geocomunicação - e muitas delas organizam-se em um mapa interativo no mesmo, no qual os usuários determinam seus interesses principais e o mapa mostra em quais locais eles estão disponíveis para visitação.

Por fim, pode-se dizer que instiga-se a imaginação quando se descobre que por ali já passaram romanos, celtas e civilizações humanas ainda mais antigas – cada qual com seu geossítio mapeado e disponível para visitação. Esta viagem para o passado se completa com a História do planeta que precede a existência humana, através da arqueologia dos fósseis encontrados na cratera, testemunhos de tempos

em que um lago no seu interior criou um ecossistema próprio já inexistente nos dias atuais. Além de tudo (e principalmente) há de se sublinhar que compreender o evento meteorítico catastrófico que gerou esta cratera e a matéria-prima lítica posteriormente usada pelo ser humano das mais diversas formas nos mostra ao mesmo tempo como é interessante entender o planeta como um sistema interligado e como a qualquer momento um corpo de origem extraterrestre pode alterar de forma drástica e efetiva os caminhos de determinada região e, em última escala, os caminhos do próprio planeta.

O Ries UNESCO Global Geopark é, desta maneira, um ótimo exemplo de Geoparque cujo foco principal é um astroblema e que promove os conceitos fundamentais que um Geopark UNESCO deve conter – portanto, um ótimo norte quando pensamos em Geoconservação e na popularização de astroblemas no mundo e no Brasil.

6.4 Desenvolvimento Sustentável, Poluição Luminosa e os Astroparques

Conforme já discutido anteriormente, um Geoparque UNESCO possui, no desenvolvimento sustentável social e econômico, um de seus principais pilares buscando trazer benefícios reais às comunidades locais. (ZOUROS, 2004; HENRIQUE & BRILHA, 2017) Para além da questão econômica, pesa também nesta balança sustentável outro de seus três pilares¹³⁴, segundo Keiner (2005), a questão do bem-estar social. Neste caminho, um fenômeno ainda pouco discutido e criado artificialmente pelo ser humano influencia negativamente a vida de milhões de pessoas e outros seres vivos: a poluição luminosa.

A partir da Revolução Científica, nos últimos cinco séculos (e em especial a partir do século XX) observamos um desenvolvimento técnico-científico em proporções exponenciais. Como pontua Edgar Morin, a questão é que em contrapartida desenvolvemos o que ele chama de *inteligência cega*. Ou seja, apesar de a Ciência expandir seus conhecimentos em todas as áreas comuns de pesquisa a

¹³⁴ De acordo com Keiner (2005), o sucesso da sustentabilidade se deve também ao modelo simples utilizado para a compreensão do termo, denominado modelo de “três pilares” ou “três círculos”. Nesse, a sustentabilidade ou, de forma mais aplicada, o desenvolvimento sustentável, seria uma interseção entre as políticas com ênfase nas dimensões ambiental (conservação), econômica (crescimento) e social (equidade).

olhos nunca dantes vistos, na grande maioria das vezes os mesmos eram utilizados de forma pontual e simplista gerando e utilizando novas tecnologias sem levar em consideração as consequências futuras destas novas aplicações para a sociedade como um todo. (MORIN, 2015)

Morin argumenta que este movimento se inicia em Descartes, quando ele separa o sujeito pensante e a coisa entendida, ou em outras palavras, quando a Academia separa Ciência de Filosofia. Assim a Ciência passa a pensar menos sobre ela mesma, seus atos e consequências como algo que desenvolve tecnologia para ações humanas, centrando de outra maneira na hiperespecialização. A Ciência separa o estudo dos fenômenos do estudo do Homem e cada qual segue por uma estrada cada vez mais divergente.

Outro ponto interessante destacado por Morin é que “uma hiperespecialização devia, além disso, despedaçar e fragmentar o tecido complexo das realidades, e fazer crer que o corte arbitrário operado no real era o próprio real.” (MORIN, 2015: pg 12) Assim reduz-se a complexidade do mundo. Assim matematizam-se os fenômenos quantificáveis e põe-se de lado todo um espaço real que não dialoga de forma satisfatória com a métrica das valorações quantitativas. Mas assim também desenvolveu-se uma tecnologia em tempo recorde e que, a princípio, parecia trazer ao ser humano, na média, mais conforto e qualidade de vida. Nunca, em tão pouco tempo, as ciências dos materiais ou as tecnologias de transporte e/ou comunicações evoluíram tanto.

Com o desenvolvimento dos motores a combustão e posteriormente da eletricidade a expansão territorial humana cresceu a olhos vistos. Da mesma forma, com o advento do rádio, cinema e da televisão a comunicação passou a viajar literalmente na velocidade da luz, utilizando-se das ondas eletromagnéticas como meio transmissor.

Mas o desenvolvimento desenfreado de novas tecnologias em todos os campos sem o acompanhamento do devido pensamento crítico cobrou seu preço. E segue Morin: “Assim chega-se à inteligência cega. A inteligência cega destrói os conjuntos e as totalidades, isola todos os seus objetos do seu meio ambiente. (...) Infelizmente, pela visão mutiladora e unidimensional, paga-se bem caro nos fenômenos humanos: a mutilação corta na carne, verte o sangue, expande o sofrimento. A incapacidade de conceber a complexidade da realidade antropossocial em sua microdimensão (o ser individual) e em sua macrodimensão

(o conjunto da humanidade planetária) conduz a infinitas tragédias e nos conduz à tragédia suprema.” (MORIN, 2015: pg 13)

Apesar deste cenário apocalíptico pintado pelo filósofo, há um movimento de contra- resposta à inteligência cega. E esse movimento perpassa pela aceitação e utilização do pensamento complexo; pela ruptura com as metodologias da hiperespecialização que ao olhar apenas e sempre para frente, esquece dos flancos. Morin mesmo indica este caminho, ao apontar para os novos campos do saber e a interdisciplinaridade. (MORIN, 2002) Portanto é neste tecido inter cruzado de conhecimento que repousa o combate à inteligência cega. Não por acaso, justo navegando neste prisma que afloram com força os trabalhos relacionados com o desenvolvimento sustentável.

Observe-se, por exemplo, a questão da poluição luminosa. Na natureza, pode-se dizer que as fontes de luz que iluminam a Terra e até mesmo o céu, praticamente todas elas advém de corpos extraterrestres: o sol, a Lua e em menor escala, as estrelas e planetas. Quantificando essa iluminância¹³⁵ da superfície terrestre para um dia sem nebulosidade, ela recebe em média uma carga máxima de 120.000 lx durante o dia e diminui para 800 lx no pôr-do-sol, quando o mesmo atinge o horizonte. A noite, a iluminância da superfície terrestre pode receber de 0,3 a 0,001 lx para situações de Lua cheia e nova, respectivamente podendo então chegar a uma iluminância que é nove ordens de grandeza menor do que a luz mais potente durante o dia. Em áreas urbanas com grande incidência de luz artificial noturna, registrou-se uma iluminância de 150 lx – uma intensidade luminosa cerca de 1.000x mais potente do que a fornecida pela Lua cheia. (GRUBISIC et al., 2019) Essa invasão luminosa na noite outrora escura, por conseguinte trouxe alterações das mais variadas formas para os moradores do planeta.

A primeira e mais aparente alteração é da ordem estética-contemplativa.

“De acordo com a *International Dark-Sky Association* baseada no Arizona/USA, o brilho noturno no céu da cidade de Los Angeles é visível a cerca de 320km de distância para quem se encontra em um avião. Na maioria dos grandes centros

¹³⁵ A iluminância é a densidade superficial (2-D) de intensidade luminosa. Em outras palavras, é o quanto de intensidade luminosa atravessa uma unidade de área. Utilizando unidades do SI, temos respectivamente que a unidade de iluminância de 1 lux é igual ao fluxo luminoso de 1 lúmen (que advém de uma fonte pontual de luz, se espalha de forma cônica em um ângulo sólido de 1 esferorradiano) e atravessa uma área de 1 metro quadrado ($lx = lm / m^2$). A intensidade luminosa que dispõe 1 lúmen é igual a 1 candela (1 cd), que equivale a intensidade luminosa de uma chama de vela padrão.

urbanos do mundo, contemplar as estrelas no céu é algo que acontece dentro de um planetário. Quando um terremoto abalou Los Angeles em 1994 e interrompeu toda a sua distribuição de energia elétrica, muitos moradores aflitos ligaram para as centrais de emergência reportando terem visto uma estranha nuvem, gigante e prateada, no céu escuro da noite. O que eles estavam vendo na verdade – pela primeira vez – era a Via Láctea, que há muito tempo é obliterada pelo brilho das luzes da cidade no céu noturno.”¹³⁶ (CHEPESIUK, 2009)

O ser humano urbano das metrópoles perdeu um grande espetáculo diário: em torno de 10.000 pequenos pontos luminosos de diferentes cores e intensidade de brilho que cintilam e se movimentam na esfera celeste se mostram para quem possui um céu sem poluição luminosa. Um céu noturno 1.000 vezes mais claro (GRUBISIC et al., 2019) apaga a maioria dessas estrelas, a Via Láctea e outras galáxias que ainda podem, em recantos de céu noturno verdadeiramente escuro, serem vistas a olho nu – como é o caso da Pequena e da Grande Nuvem de Magalhães e até a galáxia de Andrômeda, nossa maior vizinha. Mas nas cidades grandemente iluminadas a noite, apenas as mais brilhantes estrelas sobram. (KYBA et al., 2023)

Além de ser uma preocupação para quem gosta de simplesmente observar o céu a olho nu, isso também é um problema para os astrônomos, obviamente. Justamente por isso os grandes observatórios usados por cientistas do mundo todo se encontram em lugares ermos como o Deserto do Atacama (um dos desertos mais secos e altos do planeta) ou a *Big Island*, do Havaí (que se encontra no meio do Oceano Pacífico, a literalmente milhares de quilômetros do continente mais próximo.

A poluição luminosa muitas vezes vem das ruas, mas pode também vir do próprio céu. (LAWLER, BOLEY & REIN, 2021); (HALFERTY et al., 2022) A taxa de lançamentos de satélites é cada vez maior e essa rede de corpos metálicos (que eventualmente recebem e refletem a luz solar que chega até eles) orbita nosso planeta e já interfere na observação celeste que é feita aqui da superfície: não iluminando o céu diretamente, mas aparecendo na abóboda celeste e atrapalhando observações noturnas. Segundo Lawler, Boley & Rein (2021):

¹³⁶ Tradução livre do original em inglês: “According to the Tucson, Arizona–based International Dark-Sky Association (IDA), the sky glow of Los Angeles is visible from an airplane 200 miles away. In most of the world’s large urban centers, stargazing is something that happens at a planetarium. Indeed, when a 1994 earthquake knocked out the power in Los Angeles, many anxious residents called local emergency centers to report seeing a strange “giant, silvery cloud” in the dark sky. What they were really seeing—for the first time—was the Milky Way, long obliterated by the urban sky glow.” (CHEPESIUK, 2009)

“Nós temos ciência de que há um esforço crescente pela SpaceX e outras operadoras de satélites de comunicação, tais quais a OneWeb e a Amazon para travar discussões sadias em relação a esta questão. A empresa SpaceX sinalizou que eles montarão seus satélites Starlink de modo que seu brilho no céu seja mais baixo do que a magnitude visual 7¹³⁷. Nós aplaudimos seus esforços, mas note que eles ainda precisam atingir esse resultado.”¹³⁸

Ou seja, a *SpaceX* sinaliza para um ajuste no brilho de seus satélites que ajuda a observação do céu a olho nu, mas não neutraliza os efeitos maléficos de seus satélites para observações por instrumentos e astrofotografia.

Esta é uma discussão que se alimenta de múltiplos interesses – inclusive e principalmente comerciais – com poderosos atores globais atuais – e que está longe de terminar. É também uma discussão sobre sustentabilidade espacial e lixo espacial. O que será feito com os milhares de satélites que já orbitam nosso planeta?

Voltando para as mazelas da poluição luminosa produzida pelas cidades, há ainda outros problemas que acometem o ser humano de forma sutil mas efetiva. Por exemplo, um céu mais claro e luzes artificiais noturnas que chegam até nossas pupilas interferem na nossa produção de melatonina, o que pode acarretar em uma

¹³⁷ ‘Magnitude visual’ (‘visual magnitude’, no original) é um conceito similar mas diferente do que os astrônomos chamam em português de ‘brilho aparente’ (‘apparent magnitude’, em inglês). O ‘brilho aparente’ é uma escala numérica muito utilizada na astronomia amadora para observação do céu. Ela mede quão intenso é o brilho de uma estrela, sob a perspectiva de quem a vê da Terra. A escala é invertida, no sentido de que um valor de brilho aparente = 1 demonstra uma estrela de mais forte brilho do que outra de brilho aparente = 2. Originalmente cunhado por Hiparcus na Grécia antiga, os números representavam 6 classes de brilho, sendo o 1 referente à classe de estrelas com um brilho de 1^a magnitude, ou as mais brilhantes e 6 a classe das estrelas menos brilhantes observáveis a olho nu. (HUGHES, 2004) Hoje em dia abandonou-se as classes e trabalha-se com uma escala de números racionais – parecida com a de Hiparcus mas ligeiramente ajustada de forma mais matematizada: uma estrela de brilho aparente 1 é hoje 100 vezes mais brilhante do que uma outra, de brilho aparente igual a 6. Mas hoje há objetos celestes que possuem ‘magnitude aparente’ menor que 1 e outros ainda com magnitude aparente (MagAp) negativa – e estes são os mais brilhantes de céu: por exemplo, Sirius (a mais brilhante das estrelas), com MagAp = -1,5; a lua cheia, com MagAp = -12,5 e o sol com MagAp = -26,8. A olho nu, nas melhores condições possíveis (incluindo-se a questão da poluição luminosa e das particularidades do sistema visual de cada indivíduo), observa-se no limite, estrelas e corpos celestes de até magnitude 7. Mas com o uso de telescópios, este limite se amplia muito, podendo chegar a corpos celestes de MagAp = 30. (KARTTUNEN et al., 2016)

A ‘magnitude visual’ difere do ‘brilho aparente’ pelo simples fato de que a primeira é mensurada para a sensibilidade especial do olho humano, já que o mesmo percebe de forma diferente a intensidade luminosa dependendo da cor da luz (ou, em termos físicos, de seu comprimento de onda). O comprimento de onda melhor ajustado para o olho humano é o de 550nm. Portanto, calcula-se a ‘magnitude visual’ para este comprimento de onda específico.

¹³⁸ Tradução livre do texto original em inglês: “We acknowledge the broader engagement by SpaceX other satcom operators, such as OneWeb and Amazon (as in SATCON2), in entering discussions with astronomers concerning this issue. SpaceX have stated that they will engineer their Starlink satellites to be fainter than visual magnitude 7. We applaud their efforts, but note that they have yet to achieve this goal.” (LAWLER, BOLEY & REIN, 2021)

alteração de nosso ciclo circadiano. Outros animais que também possuem estrita relação com a luz visível e vivem nas sombras das cidades grandes podem sofrer com a poluição luminosa. É o caso, por exemplo, dos insetos noturnos que são atraídos pela luz. Schroer et al. (2021) descrevem um projeto de *light design* para autoestradas alemãs posto em prática para mitigar a ação maléfica das postes de luz das estradas para a população de insetos que são atravessados pelas mesmas:

"'Tatort Streetlight', nomeado em homenagem ao seriado policial alemão de nome 'Tatort', que significa em português 'cena do crime', é um projeto que observa e investiga a noite crimes perpetrados contra insetos voadores noturnos em ruas iluminadas. Este estudo leva uma nova perspectiva sobre o projeto de sistemas de iluminação viária através do envolvimento das diversas partes interessadas. A abordagem adotada envolve ciência cidadã transdisciplinar, educação, e convida as partes interessadas a contribuir para um melhor entendimento de um projeto de *lighting design* otimizado para benefício humano e bem-estar dos insetos."¹³⁹

Assim como este, vários outros projetos estão em curso para combater a poluição luminosa e a *inteligência cega* diagnosticada por Edgar Morin no séc XX.

Esta necessidade criou alguns coletivos de cientistas e pessoas interessadas no tema em volta do mundo. A *International Dark-Sky Association* (IDA) é uma das mais antigas no gênero, tendo sido fundada em 1988 nos EUA. Sua missão é proteger o céu escuro, promovendo a conscientização sobre uma iluminação noturna artificial de qualidade, que possa mitigar os efeitos da poluição luminosa. (ZIELINSKA-DABKOWSKA, XAVIA & BOBKOWSKA, 2020) Para isso, implementa uma série de atividades que incluem a criação de categorias de espaços públicos inspiradores neste sentido. A IDA possui hoje uma rede de localidades que são premiadas com um selo outorgado pela mesma que atestam pouca poluição luminosa para a prática da observação do céu, em cinco categorias. São elas: *International Dark Sky Communities* (IDSC); *International Dark Sky Parks* (IDSP); *International Dark Sky Reserves* (IDSR); *International Dark Sky Sanctuaries* (IDSS); *Urban Night Sky Places* (UNSP). As IDSCs são cidades que

¹³⁹ Tradução livre de texto em original no inglês: "Tatort Streetlight", named in honor of the German crime series "Tatort", meaning "crime scene", is a project that observes and investigates the night-time crimes perpetrated against nocturnal flying insects on illuminated streets. This study takes a new perspective on the design of road lighting systems via the involvement of diverse stakeholders. The approach taken involves transdisciplinary citizen science, education, and awareness and invites stakeholders to contribute to a better understanding of an improved luminaire and lighting design for both human benefit and insect welfare." (SCHROER et al., 2021)

utilizam um *lighting design* eficiente e otimizado para mitigar os efeitos da poluição luminosa, além de atuarem na conscientização de sua população para o tema; os IDSPs são espaços públicos ou privados voltados pra preservação do meio ambiente que implementam um *lighting design* adequado para mitigar os efeitos da poluição luminosa e que disponham de programação voltada para atividades que envolvam o céu escuro; IDSRs são áreas que possuem uma zona central escura e são cercadas por uma população urbana que aplica políticas públicas para manter o céu escuro nesta zona central; IDSSs são as mais remotas áreas escuras do planeta cujo estado de conservação é frágil; e as UNSPs são áreas urbanas próximas ou dentro de metrópoles que possuem ótimos programas de combate à poluição luminosa e oferecem experiências únicas para a fruição de seu céu noturno.

(<https://www.darksky.org/our-work/conservation/idsp/>, acessado em dezembro/2022)

Estes selos e certificações concedidos por uma organização respeitada mundialmente como é a IDA pode ser um diferencial para localidades espalhadas pelo mundo e, além de atestarem esforços no sentido do combate à poluição luminosa também agregam valor em um novo campo que vem surgindo com força: o astroturismo.

Segundo Iwanicki (2022), astroturismo é toda viagem que possui motivação relacionada à Astronomia e/ou à objetos/elementos que dialogam com esse grande campo. E isso é bem amplo.

Abaixo alguns exemplos:

- sítios astronômicos tais quais observatórios (como o ALMA, no deserto do Atacama/Chile), museus aeroespaciais (como o *Memorial Museum of Cosmonautics*, em Moscou/Russia), plataformas de lançamentos de foguetes espaciais e/ou satélites (como o *Kennedy Space Center* no Cabo Canaveral/EUA);
- crateras de impacto meteorítico (como o Astroblema da Serra da Cangalha, em Campos Lindos/TO aqui no Brasil – ainda sem qualquer infraestrutura para visitação ou as crateras de Ries, no Estado da Baviera/Alemanha e a *Barringer Crater*, no Arizona/EUA – ambas contando com um - museu dedicado in loco e bastante divulgação científica associada);

- exposições/museus de temática meteorítica (como a visita ao museu de Ensisheim/França, que expõe o mais antigo meteorito ocidental a ser visto caindo dos céus e que permanece preservado até os dias de hoje);
- sítios arqueoastronômicos¹⁴⁰: edifícios de cunho astronômico construídos por povos antigos (como o *Stonehenge World Heritage Site*, na Inglaterra ou o *Jantar Mantar* em Taipur/Índia);
- viagens espaciais orientadas a civis (como foi o caso de Dennis Tito, em 2001: o primeiro turista espacial a viajar, na companhia de astronautas experientes, para a estação espacial ISS (CHANG, 2015));
- viagens orientadas a observação de fenômenos raros celestes, tais como aurora boreal, eclipses solares ou lunares, passagem de cometas próximos à Terra;
- viagens orientadas a observação do céu noturno e tudo que o cerca;
- viagens orientadas à produção de astrofotografia.

Como pode-se ver, há uma multiplicidade de possibilidades completamente diferentes entre si, quando se aborda a temática do astroturismo. Inclusive atividades diurnas também se enquadram nesse nicho. Busca-se, aqui, a possibilidade menos onerosa e a que seria a mais simples, caso não vivêssemos em tempos de poluição luminosa: o astroturismo que, ao perseguir uma possibilidade de céu escuro para observação, contemplação e aprendizado ao mesmo tempo dialoga também com os valores da sustentabilidade. Portanto, neste trabalho, quando falarmos de astroturismo de agora em diante, estamos nos referindo àquele que se refere a viagens que buscam lugares de céu escuro para a observação, contemplação, trocas e aprendizado.

¹⁴⁰ Existe um projeto muito interessante de valorização e comunicação de Patrimônios Astronômicos e Paleoastronômicos gerenciado pela UNESCO em parceria com a *International Astronomical Union*, o “*Astronomy and World Heritage Thematic Initiative*”. Fonte: <https://www3.astronomicalheritage.net/>, acessado em dezembro/2022.

A UNESCO pontua que este tipo de astroturismo está bem colocado hoje, uma época em que cada vez mais observa-se a valorização do conhecimento científico, da ética científica e de como tudo isso é importante para o desenvolvimento das sociedades que enfrentam o aquecimento global e demais mazelas que o homem – e porque não dizer, a inteligência cega – trouxe para o equilíbrio do meio ambiente no planeta. (FAYOS-SOLA, MARIN & JAFARI, 2014)

Neste sentido, pode-se dizer que há uma ampla gama de lugares no mundo os quais já buscam estar preparados para receber o astroturismo. Como exemplo, citamos os *International Dark Sky Parks* e os *International Dark Sky Sanctuaries* cadastrados na IDA. Hoje há mais IDSPs do que IDSSs: são 115 IDSPs¹⁴¹ e apenas 16 IDSSs¹⁴². Dos 16 IDSSs, 9 estão nos EUA; 2 em ilhas do Pacífico; 3 na Oceania; 1 na América do Sul (Chile) e 1 na África – não há IDSSs na Europa, na Ásia nem na América Central. Já dos 115 IDSPs, 86 se encontram nos EUA e 17 na Europa. Não há nenhum na África nem na América Central. Na América do Sul, há por enquanto apenas um representante. Mas há. E este é o Parque Estadual do Desengano, que fica no Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

O Parque Estadual do Desengano (PED) enviou a proposta para a IDA em dezembro de 2020, com atualizações em fevereiro de 2021 e outubro de 2021 (INEA, 2021b). O estudo disponível para download enviado pelo INEA e que consta no site oficial da IDA intitulado “*Dark Sky Application – Parque Estadual do Desengano*” discorre sobre a baixa quantidade de poluição luminosa existente em pontos específicos do PED (INEA, 2021a) e recebe, após avaliação da IDA, o selo de *International Dark Sky Park* em dezembro de 2021.

O Parque Estadual do Desengano foi o primeiro Parque Estadual criado no Brasil, através do Decreto Estadual nº 250 de 13 de abril de 1970. Abrange áreas dos municípios fluminenses de Santa Maria Madalena, Campos dos Goytacazes e São Fidélis. (INEA, 2021b) A revisão do seu Plano de Manejo finalizada em 2021 (INEA, 2021b) inclui o atrativo celeste. Dentro da seção chamada de Significâncias, a qual aponta motivos para que a área em questão faça parte do SNUC, há um item intitulado “infinito paraíso – céu”: Diz o texto: “Considerando as características

¹⁴¹ Fonte: <https://www.darksky.org/our-work/conservation/idsp/parks/>, acessado em dezembro/2022.

¹⁴² Fonte: <https://www.darksky.org/our-work/conservation/idsp/sanctuaries/>, acessado em dezembro/2022.

físicas do Parque, que impedem sua ocupação, é gerado um vazio de pessoas e luzes artificiais, proporcionando um céu livre de poluição. Olhar que se perde, no “sem fim” das estrelas do céu.” (INEA, 2021b)

O novo Plano de Manejo de 2021 também elenca as ações com as quais o PDE se compromete a realizar caso a IDA conceda ao mesmo o título de *International Dark Sky Park* (o que, de fato, ocorreu em sequência):

“(i) monitoramento trimestral do céu escuro: medições nos pontos definidos no estudo (setores Morumbeca dos Marreiros, Rifa, Poço Parado e na sede do parque), a fim de monitorar a interferência da luz na poluição do céu escuro. Adicionalmente, serão realizadas pesquisas com a fauna noturna do parque, com foco na interferência de diferentes fontes de luz artificial da sede no comportamento natural. Os resultados serão comparados com os dados iniciais obtidos.” (INEA, 2021b)

“(ii) educação ambiental com foco na redução da poluição luminosa: desenvolvimento de um calendário de eventos anuais para trabalhar os conceitos associados ao céu escuro, contendo datas e atividades que serão realizadas com os visitantes e apresentadas nas escolas; produção de materiais informativos, a serem disponibilizados no centro de visitantes do parque.” (INEA, 2021b)

“(iii) restauração de céu escuro: avaliação das especificações técnicas das lâmpadas da sede, promovendo substituições, conforme recomendações da IDA; busca de parcerias junto aos municípios abrangidos para tratar de medidas preventivas ao aumento da poluição luminosa.” (INEA, 2021b)

“(iv) e ações de divulgação: produção de material bilíngue que subsidiará as postagens nas redes sociais do PED e do Inea sobre o processo de nomeação da UC como Parque *Dark Sky*, reconhecido pelo IDA; projetos, ações e atividades desenvolvidas e os 04 eventos anuais que serão realizados para divulgar conceitos e práticas sobre o céu escuro. Essas ações serão realizadas em parceria com o Clube de Astronomia Louis Cruls (CALC) e, eventualmente, com outros futuros parceiros.” (INEA, 2021b)

Portanto, percebe-se uma série de ações acordadas as quais podemos analisar dentro de dois caminhos:

- no caminho técnico-científico direto: observam-se ações no sentido em que haja uma continuidade de pesquisas científicas relativas à questão da poluição luminosa nas dependências do PED, ao mesmo tempo em que se almeja uma solução prática-técnica de repensar e substituir o antigo *lighting design* do Parque por um novo – que demonstre e incampe as devidas preocupações com as mazelas que a iluminação noturna artificial impensada promove ao meio ambiente;

- no caminho do astroturismo, da divulgação científica e da responsabilidade social: observam-se ações no sentido de envolver possíveis visitantes em atividades que dialoguem com a contemplação do céu e conceitos astronômicos; para que o visitante conheça essa faceta do PED também há um comprometimento com ações de divulgação tanto por material impresso distribuído na área do Parque quanto por material online a preencher as redes sociais do mesmo e em paralelo, a busca pelo diálogo com as escolas da região sobre a poluição luminosa e a importância da observação de um céu noturno ímpar em termos de visibilidade e astros disponíveis para apreciação e contemplação.

Por conta da extensa área do PDE e de haver áreas mais e menos propícias para a observação do céu – por conta da poluição luminosa das áreas povoadas circundantes ao Parque – o estudo “*Dark Sky Application – Parque Estadual do Desengano*” propõe que a Morumbeca dos Marreiros, no município de Santa Maria Madalena seja a área indicada para as atividades de observação do céu noturno. Neste local já uma infraestrutura particular de hospedagem que comporta até 10 hóspedes por vez, o que garante um astroturismo controlado. Há acessos de carro para se chegar a esse local mas que apenas podem ser utilizados até as 17hrs. Após este horário, o acesso é permitido a pé. As luzes dos faróis dos carros a noite são indesejáveis tanto por atrapalhar a observação do céu escuro quanto por conta do início da movimentação da fauna noturna. (INEA, 2021a)

Logo após esta chancela internacional por parte da IDA no final do ano de 2021, o município de Santa Maria Madalena é agraciado também pelo Poder Público Fluminense nesta ocasião com o título de “Cidade das Estrelas”. Através

da Lei Estadual 9543/2022, de 10 de janeiro de 2022, de autoria da deputada estadual Adriana Balthazar (Novo):

“Art. 1º Fica declarado o Município de Santa Maria Madalena como "Cidade Das Estrelas" no Estado do Rio De Janeiro.

Art. 2º Fica o Poder Executivo autorizado a realização de campanhas de divulgação em seus sítios eletrônicos quanto ao título concedido por via desta Lei, bem como quanto aos potenciais turísticos do Município de Santa Maria Madalena.”

Esta nomeação oficial através do Poder Público tem um valor simbólico forte. Já que não há qualquer categoria de Astroparque como tipo de Unidade de Conservação elencável, este é um primeiro passo de um reconhecimento do Poder Público sobre a importância das questões e debates que podem ser levantados a partir deste novo título concebido de forma inédita ao PED pelo Governador Cláudio Castro do Estado do Rio de Janeiro.

Apesar disso, ainda há uma demora na melhor divulgação dessas nomeações. Até a data presente de 01 de janeiro de 2023 o site do PDE¹⁴³, gerenciado e hospedado pelo INEA, não dispõe de nenhuma comunicação tanto sobre o título concedido pela IDA quanto pela nomeação do município de Santa Maria Madalena como “Cidade das Estrelas”. Não há também maior menção direta ao potencial astroturístico do PED neste site.

Ao buscar-se a comunicação das pesquisas desenvolvidas no PED e registradas no site, observam-se as seguintes categorias: ‘Publicações’; ‘Pesquisas realizadas’ e ‘Pesquisas em andamento’.

Apenas no campo ‘Pesquisas em andamento’¹⁴⁴ encontramos duas menções de pesquisas voltadas para o campo do astroturismo, de um total de sessenta e nove

¹⁴³ Não foi encontrado nenhum site oficial do Parque Estadual do Desengano, com domínio de internet próprio. Em uma busca através da ferramenta de busca online Google, utilizando o verbete “Parque Estadual do Desengano”, encontra-se em primeiro lugar o site hospedado pelo domínio do INEA. Este site é o mais completo encontrado para o PED.

<http://www.inea.rj.gov.br/biodiversidade-territorio/conheca-as-unidades-de-conservacao/parque-estadual-do-desengano/>, acessado em janeiro/2023.

Além deste, aparece também nesta busca no Google um site alternativo dedicado ao PED no endereço www.madalenarj.com.br, acessado em janeiro/2023. Este site não aponta para nenhum órgão do Governo Estadual ou Municipal e tampouco aborda qualquer menção ao astroturismo e/ou aos títulos de *International Dark Sky Park* (concedido ao PED) e Cidade das Estrelas (concedido ao município de Santa Maria Madalena).

¹⁴⁴ Fonte: <http://www.inea.rj.gov.br/publicacoes/sobre-a-pesquisa-cientifica-nas-ucs/pesquisas-e-publicacoes/parque-estadual-do-desengano/>, acessado em janeiro/2023.

pesquisas em andamento catalogadas neste mesmo campo. São elas:

“Pesquisa: Potencial para atividades de turismo astronômico nas UCs do Estado do Rio de Janeiro Instituição: UFRJ

Responsável: Daniel Rodrigues costa Mello

Número de autorização: 032/2021”

“Pesquisa: Potencialidades do Astroturismo terrestre em parques do Brasil

Instituição: UFRRJ

Responsável: Ester de Pontes Silva

Número da autorização: 051/2021”

No campo ‘Pesquisas Encerradas’, das quarenta e quatro pesquisas listadas, nenhuma trata da temática do astroturismo ou de qualquer tópico relacionado à Astronomia; da mesma forma, no campo “Publicações”, de cento e vinte e quatro estudos científicos publicados, nenhum aborda a temática astronômica/astroturismo. Portanto este é um campo ainda em desenvolvimento inicial, com muita potencialidade de crescimento para os anos vindouros.

Em suma, é importante destacar que o Brasil portanto possui já este primeiro olhar voltado para o astroturismo, mesmo que ainda de forma tímida – representado tanto pela organização do próprio PED e dos diversos atores circundantes que assinam a “*Dark Sky Application* – Parque Estadual do Desengano” como pela Lei n.9543/2022 sancionada pelo Governador do Estado do Rio de Janeiro.

6.5

O Geoastroparque Astroblema da Serra da Cangalha: Discussão

O Astroblema da Serra da Cangalha é uma formação geológica e geomorfológica única. Há uma necessidade premente de não só buscar a preservação desta estrutura de impacto singular para posteriores pesquisas, dado seu grande valor científico, mas de se pensar também uma maneira de desenvolver uma atividade que possa agregar um ganho plural para a população que habita aquela área, assim como possíveis futuros visitantes. Para os habitantes de Campos Lindos, um ganho educacional, um ganho de valor de pertencimento e orgulho,

um ganho financeiro com possíveis atividades vinculadas ao Astrogeoturismo. Para os visitantes, a experiência de poder conhecer e estar em uma cratera de impacto meteorítica de extensão quilométrica encravada no interior desconhecido do país; ao mesmo tempo, de poder vivenciar a paz de um dia tranquilo ou de uma noite estrelada no cerrado. É o fantástico, o extraordinário conversando com o idílico. É a sinfonia de uma biofonia do crepúsculo da savana brasileira, enquanto os primeiros astros começam a acender no céu cada vez mais escuro. É um meteoro, não raro, um risco iluminado no firmamento, maravilhando quem não tem o costume de vê-los por conta da poluição luminosa estrondosa que infesta as cidades.

A proposta de um Geostroparque se baseia sobretudo nos valores dos Geoparks UNESCO: através de uma proposta de preservação ambiental, trazer de forma efetiva o desenvolvimento sustentável para dentro dos lares das pessoas mais afetadas por esse parque: os próprios moradores da área. De forma que seja sobremaneira vontade deles que isto aconteça. Já se aprendeu com experiências frustradas passadas recentes no local que quando o Poder Público decide impor suas vontades à população, muitas vezes o que era pra ser bom acaba não acontecendo. Aliás, o Poder Público, em teoria, deveria ser justamente o braço organizado da própria população, abarcando seus anseios e preocupações e trabalhando para o bem-estar social.

A vantagem de uma possível escolha por um modelo de Geostroparque como o proposto para os Geoparks UNESCO é que a sociedade civil organizada não precisa esperar a vontade política do Poder Público, que pode mudar significativamente de humor e vontades a cada quatro anos, para iniciar o projeto. Como diz Boggiani (2010), comparando o modelo da UNESCO com as Unidades de Conservação do Brasil: “O entendimento que se deve ter é a de que um geoparque não é uma unidade de conservação no sentido do SNUC e, por isso, não há necessidade de criação de categorias específicas e nem uma legislação para geoparques no Brasil, da mesma forma que não é necessário para reservas da biosfera, outra importante modalidade da UNESCO que também vem sendo implementada no Brasil em seus diferentes biomas.” (BOGGIANNI, 2010, p.1)

Ao mesmo tempo um projeto dessa envergadura, sabe-se que demanda muito tempo, anos e anos de estudo e dedicação de diversos atores interessados que juntos, poderiam administrar essa demanda. Atores que podem ser mais ou

menos participativos, mas que em uma estrutura menos rígida, podem cada qual deixar a contribuição justa e necessária, na medida de suas possibilidades. Como observa Boggiani: “Ao enquadrar o conceito de geoparque em uma lei iríamos justamente no sentido contrário do que se pretende para os geoparques. Ao enquadrar o conceito em uma lei específica, ou com uma alteração do SNUC, iríamos engessar o processo e tirar o caráter inovador e dinâmico que ele apresenta e o que o torna diferente de outras modalidades de conservação. (BOGGIANNI, 2010, p.2)”

Mas quando há a possibilidade real de que todos ganhem, pode ser que seja menos difícil a cooperação de um grupo plural de atores para um objetivo em comum. Apresento abaixo as justificativas para uma proposta de Geoparque na Serra da Cangalha/TO.

A parte GEO do Geoparque Astroblema da Serra da Cangalha: uma Discussão

A primeira justificativa para abrir-se um projeto de um Geoparque em Campos Lindos é a de que um Geoparque é visto. Simples e forte assim. Em muitos sentidos. Inclusive, a Geocomunicação é um pré-requisito da UNESCO para o fornecimento de seu selo *Geopark*. Colocar-se no mapa do turismo sustentável brasileiro pode ser uma ótima opção: abre-se uma frente nova de desenvolvimento da região movimentando diversos setores da economia local como o hospedeiro, o de transportes, o alimentício, etc. Há uma demanda do novo Governo Federal em incentivar o turismo e as atividades de cunho sustentável. Esta pode ser então uma boa hora para isso. Com visibilidade, atrai-se também a atenção de mais pesquisas e pesquisadores. Quanto mais se conhece a área, mais pode-se mitigar efeitos que possam ser nocivos aos moradores e ao meio ambiente.

Pelo fato de Campos Lindos ser um município que não conta ainda com instituições de ensino e pesquisa de nível superior, há uma dificuldade em trazer pesquisadores para a área. No campo da Geografia, há a graduação em Geografia da UFT (Universidade Federal de Tocantins) no campus de Araguaína/TO. Via rodovia TO-226 (passando inclusive pelo interior do astroblema no percurso) percorrem-se 243km de Campos Lindos até Araguaína (em viagem estimada pelo aplicativo Google Maps de cerca de 3h 15min em condições normais de tráfego).

Infelizmente, para o caso da Geologia não encontra-se nenhum curso de graduação em Geologia no Estado do Tocantins, tampouco nos Estados do Maranhão e Piauí¹⁴⁵, com os quais o Tocantins possui divisas. Apesar disso, conversas estão em andamento para que inaugure-se na UFT uma nova graduação em Geologia¹⁴⁶. Portanto, com a dificuldade atual de pesquisadores locais com estas qualidades acadêmicas, é ainda mais necessária a geocomunicação sobre a área, não só em termos de produção acadêmica mas também por outras vias, como o projeto de um Geostroparque e tudo o que isso engloba. A sugestão proposta advém do ótimo modelo analisado no Capítulo 5 desta tese, o site do Ries UNESCO Global Geopark. Através desse portal virtual é possível ter acesso a um conhecimento vinculado aos processos e fenômenos que formaram aquele astroblema, assim como às principais rochas e minerais que sustentam a confirmação do impacto meteorítico – Geoeducação; é possível ter acesso a diversas trilhas autoguiadas e seus respectivos arquivos de orientação .gpx para unidades de GPS pessoais assim como o contato de diversos guias cadastrados – Geoturismo e acesso às empresas locais parceiras, desenvolvendo os negócios de produtores da região – desenvolvimento sustentável regional.

Mas para chegar-se a esse nível de informação disponível à população, é necessária muita pesquisa. Há um longo percurso a se trilhar quanto à pesquisa na área do Astroblema da Serra da Cangalha/TO. O campo mais avançado neste aspecto é o da Geologia. Os avanços por hora obtidos já nos permitem apresentar alguns primeiros importantes resultados que podem ser transformados em

¹⁴⁵ Dado fornecido por site oficial da Sociedade Brasileira de Geologia na área Cursos de Graduação em Geologia e Engenharia Geológica, atualizado em junho/2022. (<http://www.sbgeo.org.br/home/pages/35>, acessado em janeiro/2023) São 32 cursos superiores de Geologia em 18 Estados da Federação. Apenas quatro em Universidades particulares. Não apresentam graduação em Geologia os Estados do Tocantins, Maranhão, Piauí e Mato Grosso do Sul. Das Universidades possíveis, a mais próxima de Campos Lindos é a Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. Seu campus de Geologia encontra-se no município de Marabá, a uma distância rodoviária de 512km a se percorrer de carro particular - o aplicativo Google Maps não identificou a possibilidade de viagem por ônibus entre os dois municípios. O tempo médio de viagem é, segundo este site, de 7h 36min para a viagem de carro. Todas as outras opções oferecidas mais próximas demandam uma viagem rodoviária de mais de 1.000km para alcançar-se o destino.

¹⁴⁶ Fonte: <https://conexaoto.com.br/2022/10/08/ameto-e-uft-definem-parceria-para-criacao-de-cursos-de-geologia-e-na-area-de-mineracao-no-tocantins>, acessado em janeiro/2023. Caso se confirme, tal fato pode alavancar as pesquisas geológicas no Astroblema da Serra da Cangalha. Até então, as pesquisas geológicas feitas no local partiram de pesquisadores filiados à UNICAMP, à Universidade Federal de Goiás, à Humboldt-Universität zu Berlin (Alemanha), à Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (Alemanha) e ao Museum für Naturkunde Berlin (Alemanha). Agora junta-se à elas a PUC-Rio.

informação científica degustável à população não-especialista e aos geoturistas em geral. O ponto de entrada do astroblema em questão é o núcleo urbano de Campos Lindos, assim como na cratera de Ries, ainda mais extensa do que a da Serra da Cangalha, apresenta-se lá a pequena cidade de Nördlingen como a principal parada para quem vai visitar o Geopark astroblêmico bávaro. Assim como Santa Maria Madalena abraçou a campanha de “Cidade das Estrelas”, Campos Lindos poderia abraçar a alcunha de “Cidade da Enorme Cratera Meteorítica” e nela, assim como em Nördlingen, criar-se um centro cultural ou um pequeno museu contando esta história. Assim como há em Nördlingen, para o museu da cratera de Ries – conforme visto no Capítulo 5 – mas também como vê-se em Ensisheim, pequena cidade da Alsácia com pouco mais de 7.000 habitantes, que hoje abriga um pequeno museu¹⁴⁷ guardando e contando a história de um pequeno meteorito achado na região, de cuja história discorreremos no Capítulo 2 desta tese.

Transformar dados científicos complexos em informação agradável e leve para um turista leigo não é tarefa fácil. Um caminho possível é o da economia nos nomes difíceis, centrando na explicação do processo e no fascínio que um evento destas proporções como é um impacto meteorítico a hipervelocidade pode causar. Os desenhos esquemáticos em layout de quadrinhos apresentado pelos painéis e no site do Ries UNESCO Global Geopark é uma boa saída: visual e utilizando a linguagem universal dos desenhos.

No caso do Astroblema da Serra da Cangalha, há um trabalho científico que aplica uma técnica de modelagem para simular, a partir de *inputs* pré-selecionados pelo pesquisador, o processo de formação da cratera quando do impacto, há milhões de anos atrás. Este seria um ponto de partida para o pretenso museu: dados científicos para um possível cenário de colisão/pós-colisão semelhante ao que ocorreu de fato. Este trabalho foi apresentado em 2012 no artigo “*Insights into the morphology of the Serra da Cangalha impact structure from geophysical modeling*”, de Vasconcelos, Wünnemann, Crósta, Molina, Reimold e Yokohama.

Para esta modelagem física, usou-se o iSALE: “um código de software para a área de física do choque com suporte a inputs de dados geológicos contendo informações de multi-materiais e multi-reologia para simular o fenômeno de

¹⁴⁷ O museu em questão chama-se Musée de la Regence. Fonte: <https://ensisheim.fr/loisirs-culture/culture/musee-de-la-regence/>, acessado em janeiro de 2023.

impacto meteorítico em duas e três dimensões”¹⁴⁸. (COLLINS et al., 2013: pg 1) Este código é desenvolvido a partir do código SALE (*Simplified Arbitrary Lagrangian-Eulerian model*), implementado e aprimorado desde a década de 80 (WÜNNEMANN et al., 2006) com diversas sofisticações e melhorias desde então, quando foram incorporados, dentre outros aspectos: o algoritmo de fragmentação Grady-Kipp, no qual analisa-se a dinâmica de fraturamento das partículas fragmentadas¹⁴⁹ (RAMESH, 2005); novas equações de estado para o impacto, como o uso de modelagem para fluidização acústica – quando o material sólido se comporta brevemente como um fluido (MELOSH, 2015); parâmetros relativos a acumulação de danos, enfraquecimento tensional e um modelo termodinâmico para equações de estado em diferentes materiais (ANEOS) que pode ser usado para determinar parâmetros de entrada de rochas-alvo (VASCONCELOS et al., 2012) e parâmetros para compactação porosa, muito importantes quando o impacto ocorre sobre uma rocha-alvo sedimentar – os vazios em uma rocha porosa impactada se mostraram um eficiente mecanismo de absorção das ondas de choque transduzindo-as em parte em energia térmica e elevando as temperaturas pós-choque. (WÜNNEMANN, COLLINS & MELOSH, 2005)

¹⁴⁸ Tradução livre do original em inglês: “*a multi-material, multi-rheology shock physics code for simulating impact phenomena in two and three dimensions*”.

¹⁴⁹ Fato este que ocorre quando da passagem da onda de choque pelo corpo-alvo logo após o impacto meteorítico, gerando a matéria-prima (rochas fragmentadas) das brechas tão características, encontradas no fundo da cratera e arredores após o processo de formação da cratera de impacto ter seu fim.

O uso do iSALE (*impact Simplified Arbitrary Lagrangian-Eulerian model*) para a modelagem da dinâmica de construção da cratera de impacto da Serra da Cangalha utilizou-se dos seguintes dados de entrada¹⁵⁰, simplificados e arrumados na tabela a seguir:

Table 2. Parameters used for the calculation of a best-fit numerical model of the Serra da Cangalha impact structure.

PARAMETERS	ASSUMPTIONS	
Impactor:		
Diameter	1400 m	
Impact velocity	12 km s ⁻¹	
Material/EOS	Granite/ANEOS	
Density	2.65 g/cm ³	
Top layer-sediments		
Material/EOS	Quartzite/ANEOS	
	Intact	Damaged
Cohesion C _s	1 MPa	10 KPa
Dry friction coefficient φ _s	2.0	0.6
Thickness	2800 m	
Basement		
Material/EOS	Granite/ANEOS	
	Intact	Damaged
Cohesion C _B	10 MPa	100 KPa
Dry friction coefficient φ _B	2.5	0.6
Model setup		
Number of cells nx x ny (radial, vertical)	300 x 330 cells (high res. zone)	
Spatial increment (high resolution area)	50 m	
Resolution in cells per projectile radius (CPPR)	14	
Acoustic fluidization parameters		
	Basement	Sediments
Acoustically fluidized viscosity η (dyn)	4.7x10 ⁸ kg m ⁻¹ s ⁻¹	9.5x10 ⁵ kg m ⁻¹ s ⁻¹
*Dimensionless acoustically fluidized viscosity γ _η	0.05	0.0001
Decay Time T _{dec} (s)	21 s	21 s
*Dimensionless acoustically fluidized decay time γ _η	150	150

* Dimensionless parameters were calculated according to Wünnemann and Ivanov (2003), assuming a speed of sound of 5000 m/s

Figura 6.16 - Tabela apresentando os parâmetros de entrada para uso na modelagem via iSALE do pretérito evento de impacto do Astroblema da Serra da Cangalha. Fonte: VASCONCELOS et al., 2012.

Dentre os parâmetros de entrada utilizados no código que são mais didáticos e fáceis de se comunicar, encontram-se os parâmetros do corpo extraterrestre impactante: 1.400m de diâmetro, com densidade de 2,65 g/cm³

¹⁵⁰ A escolha desses parâmetros de entrada dá-se de forma empírica, de modo a correlacioná-los da melhor forma com outros resultados já encontrados em estudos prévios. Ou seja, inferem-se dados de entrada, roda-se a modelagem e chega-se a um primeiro resultado. Então compara-se este resultado com estudos prévios que alcançaram determinados valores por outros métodos. Caso esta comparação apresente valores díspares, modificam-se os dados de entrada e roda-se de novo o modelo. Comparam-se os novos resultados com os estudos prévios, buscando uma convergência de valores numéricos até que se chegue a valores mais próximos possíveis. (VASCONCELOS et al., 2012) Aplicado este método, chegou-se aos valores de entrada da Figura 6.16.

(material: granito) a uma velocidade de 12 km/s, produzindo uma energia cinética de $2,74 \times 10^{20}$ J. (VASCONCELOS et al., 2012) A partir destes dados, pode-se utilizar uma física básica do ensino médio para obter-se outros parâmetros deste impacto: dado o diâmetro – considerando um corpo esférico, obtém-se o volume $= 1,437\text{km}^3$ e dada a densidade, calcula-se também a massa desse asteroide. No caso, $m = 3,808$ bilhões de toneladas. Em casos assim, de números muito grandes, costuma-se trabalhar com comparações para não se perder na grandiosidade do número em si. Números muito grandes ou muito pequenos dificultam nossa compreensão de sua magnitude. Segundo o site Wolfram Alpha, (do mesmo desenvolvedor do software Mathematica) este valor de massa equivale a 634,6 vezes a massa da Grande Pirâmide de Gizeh (estimada em 6 milhões de toneladas) e a 885,5 vezes a massa convertida atualmente em energia pelo sol em 1 segundo (estimada em 4,3 milhões de toneladas).

Segundo Vasconcelos et al. (2012), esta modelagem chegou ao seguinte resultado sobre o processo de formação da cratera de impacto da Serra da Cangalha:

- a 10s encontra-se o maior diâmetro da cratera transiente, com $D_T = 8,5\text{km}$ e uma profundidade de $H_T = 2,7\text{km}$. A profundidade de escavação exercida pelo impacto e seus desdobramentos neste momento é equivalente a um terço do valor de H_T : 0,9km;
- a partir dos 15s as rochas do embasamento que localizam-se abaixo do centro do ponto de impacto começam a se deformar, se curvando para cima por conta da decompressão em seu topo;
- a partir dos 35s inicia-se o colapso das paredes da cratera transiente preenchendo o fundo da cratera também com estas rochas que caem em seu interior;
- depois dos 45s as rochas sedimentares iniciam um deslocamento para cima gerando o núcleo soerguido em formato de um domo que cresce a partir do centro da cratera e atinge sua máxima expressão topográfica aos 80s quando então esta massa colapsa por conta de seu peso (no jogo de forças que atuam sobre esta massa, a ação gravitacional determina este colapso);
- após 150s (2min e 30s) este processo se estabiliza. A cratera da Serra da Cangalha possui então um diâmetro final, com o contínuo colapso de suas bordas até então, de 15km.

O formato final da cratera de impacto da Serra da Cangalha alcançado pela modelagem está de acordo com estudos prévios que determinaram seu diâmetro antes do início da erosão, assim como o diâmetro do núcleo soerguido, que alcança (também antes do processo de erosão) 6km de extensão, segundo o modelo final. Uma figura em estrutura de quadrinhos demonstrando snapshots de alguns dos momentos desta modelagem e alguns de seus devidos parâmetros encontram-se no artigo “*Insights into the morphology of the Serra da Cangalha impact structure from geophysical modeling*”, de Vasconcelos et. Al., 2012.

Igualmente satisfatório é o resultado que mostra que o embasamento cristalino ocorre a 2,5km de profundidade em relação à superfície, o que está de acordo com estudos geofísicos gravitacionais implementados previamente na região. (VASCONCELOS et al., 2012)

Outro resultado interessante do modelo mostra que, por conta do colapso do rápido crescimento central, muitas destas rochas encontram-se dobradas no interior do núcleo soerguido – fato este verificado *in loco*. (KENKMANN et al., 2011) Já na borda da cratera, as rochas permaneceram com pouca ou nenhuma deformação de sua estrutura – tanto no modelo quanto registrado *in loco*. (VASCONCELOS et al., 2012)

Um último resultado interessante desta modelagem matemática demonstra que as rochas do topo do núcleo soerguido receberam uma pressão de 25GPa. Descontada a erosão para os dias de hoje, o modelo indica que as rochas que hoje ocupam as reminiscências do núcleo soerguido teriam recebido, durante o evento de impacto e seus desdobramentos, uma carga de pressão de 10GPa – valor este, condizente com as microestruturas de deformação encontradas em campo no astroblema da Serra da Cangalha, tais quais PDFs com índice Miller-Bravais (0001). (VASCONCELOS et al., 2012; VASCONCELOS et al., 2010; KENKMANN et al., 2011; VASCONCELOS et al., 2013)

Para além da modelagem executada no código iSALE, existem também dados científicos referentes à validação dessa enorme estrutura geológica como proveniente de um impacto meteorítico a hipervelocidade os quais vale aqui pontuar: falamos da importância do registro sobretudo de micro e macro fraturas encontradas atualmente *in loco*, em rochas no interior da depressão central do astroblema.

Cones de estilhaçamento no Astroblema da Serra da Cangalha foram reportados inicialmente por McHone (1986). Mais recentemente Vasconcelos et al., (2010), Kenkmann et al. (2011) e Vasconcelos et al. (2013) mapeiam e apresentam a ocorrência desse padrão em pequenos exemplares¹⁵¹ (de 8 a 12 cm de diâmetro) na depressão central da Serra da Cangalha. Sua importância advém, para além de sua existência ali por si, no fato de que, como já visto no Capítulo 3, os cones de estilhaçamento são os únicos padrões litológicos macroscópicos que atestam a ocorrência do evento de impacto meteorítico a hipervelocidade. Por conta de sua importância, há de se reforçar sempre a preocupação com a sua integridade física e seu valor científico. Ou seja, preservando-os de maneira adequada *in situ*, passam a ser um ótimo geossítio e um ponto de visitação geoturística em um futuro Geoparque, com o devido cuidado de proteção dos mesmos. Um intercâmbio de políticas neste sentido poderiam ser úteis com os profissionais que manuseiam, estudam e preservam os eventuais cones de estilhaçamento e pequenos fósseis encontrados no Ries UNESCO Global Geopark, na Alemanha. Uma placa explicativa e/ou um audioguia georreferenciado ao local seriam muito úteis para um conteúdo de Geoeducação em campo, como ocorre lá. Outra opção de produto para Geoeducação e Geoturismo seria uma modelagem 3D dos cones e seus sub-produtos associados: desde a apresentação online deste modelo 3D virtual com livre interação via mouse, para que se possa contemplá-lo em sua complexidade e beleza tridimensional até a criação, em impressão 3D, de modelos concretos dos cones de estilhaçamento a serem vendidos em Campos Lindos como chaveiros, elementos de decoração, descanso de livros, etc. Todo museu possui uma lojinha.

¹⁵¹ Para mais detalhada descrição dos mesmos, ver Vasconcelos et al. (2013).



Figura 6.17 - Registro fotográfico dos cones de estilhaçamento encontrados no interior do Astroblema da Serra da Cangalha. Fonte: Kenkmann et al., 2011.

Assim como as macro fraturas encontradas *in situ*, há também a ocorrência de microestruturas planares produzidas por choque, encontradas em grãos de quartzo provenientes de arenitos do interior do astroblema. Estas microestruturas estão apresentadas em detalhes no artigo “*The Serra da Cangalha impact structure, Brazil: Geological, stratigraphic and petrographic aspects of a recently confirmed impact structure*”, de Vasconcelos et al., 2013 e em menor escala em (VASCONCELOS et al., 2010) assim como em (KENKMANN et al., 2011) e na tese de doutorado (VASCONCELOS, 2012).

Pensando em termos de materiais de Geoeducação para um futuro Geoparque do Astroblema da Serra da Cangalha não se pode falar em geossítios para estas ocorrências, dado que não são visíveis a olho nu. Por outro lado, tanto a explicação científica simplificada que determina a importância dessas microfieções como características provenientes diretamente de um impacto meteorítico a hipervelocidade quanto a materialidade visual das lâminas microscópicas que evidenciam suas existências em grãos de quartzo de rochas do astroblema podem ser utilizadas como matéria-prima para painéis ou projeções de cunho científico-educacional e ao mesmo tempo artístico aproveitando-se da estética e da textura singular e colorida dessas imagens, a povoar tanto um site oficial quanto o pretense museu do Geoparque.

Pensando em termos de uma construção audiovisual com esta matéria-prima que não apresenta alternativa para a banda sonora, especificamente, ficam aqui algumas provocações para um produto geoartístico que contemple o visual e o sonoro. Qual seria o mais interessante *soundscape* a preencher sonoramente

estas exposições?¹⁵² Como é a história sonora que se segue ao impacto meteorítico a hipervelocidade? Como seria a recriação do *soundscape* do processo de formação da cratera da Serra da Cangalha ao longo dos, por exemplo, modelados dois minutos e trinta segundos nos quais aparentemente tanta coisa diferente aconteceu ao mesmo tempo - até que apenas a ação da gravidade continue por dar forma, mais lentamente, ao final da terceira Etapa do processo de construção da cratera meteorítica complexa?

Digna de citação é também a ocorrência de fósseis vegetais *Psaronius brasiliensis* do Permiano em rochas da Formação Pedra de Fogo, que aflora dentro dos domínios do Astroblema da Serra da Cangalha. Figura 6.16(d). Mais trabalhos de procura e caracterização paleontológica dessas amostras fósseis seriam de suma importância para agregar valor científico ao Geoparque.

¹⁵² Caso se escolha uma composição sonora menos descritiva em termos de efeitos sonoros e mais abstrata, ao mesmo tempo mais musical, a *Geomusic* pode ser uma opção válida. (EZQUERRO & SIMON, 2019)

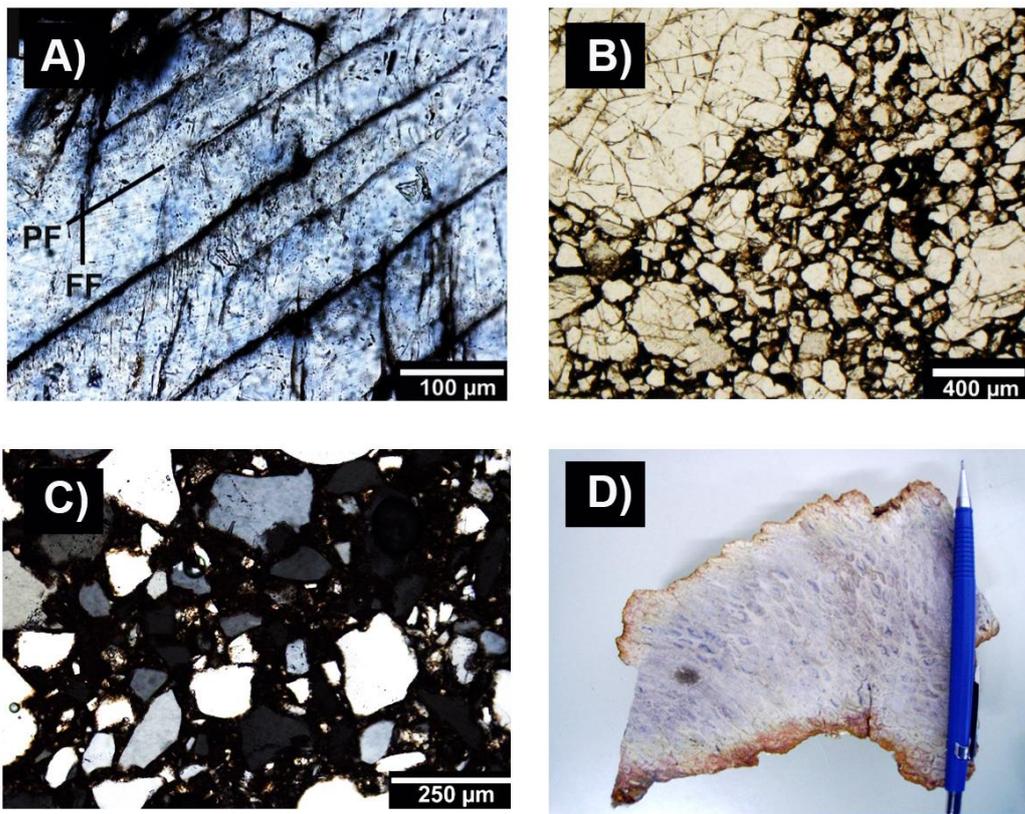


Figura 6.18 - Três exemplos de lâminas microscópicas de feições planares (A, B e C) e uma fotografia macroscópica da ocorrência fóssil (*Psaronius Brasiliensis*) em rochas oriundas do Astroblema da Serra da Cangalha. (A) Fraturas planares (ou *planar features* – PF) acompanhadas de feições tipo pena (FF) encontradas em grãos de quartzo de rochas do interior da depressão central do Astroblema da Serra da Cangalha; (B) Amostra de brecha polimítica da Formação Poti. Observa-se grande teor de fragmentação microscópica (grãos de quartzo com menos de 50 micrometros de diâmetro), um grão de quartzo maior e cimento de óxido de ferro. (C) baixa ocorrência de grãos de quartzo (como possível consequência da total desagregação dos mesmos) em amostra também da Formação Poti. (D) Exemplar macroscópico de um fóssil de *Psaronius Brasiliensis*, encontrado em afloramento da Formação Pedra de Fogo dentro do astroblema. Fonte: todas as quatro imagens que compõem esta Figura advém de Vasconcelos et al., 2013.

O material fotográfico recolhido em trabalho de campo realizado in loco na área da cratera em 2019 está anexado no Apêndice desta tese. Ele é composto de fotografias inéditas da paisagem de cerrado do colar serrano visto de fora, tiradas a partir do solo, e do seu interior, tiradas da crista da serra crateriforme tendo como visada a parte de dentro do colar – evidenciando algumas das dobras em escala decamétrica (previamente estudadas em Kenkmann et al., 2011 e que são posteriormente citadas por Vasconcelos et al., 2013 quando da validação da modelagem via iSALE do processo de craterização a partir do impacto meteorítico

a hipervelocidade na pretérita região da Serra da Cangalha).

Segundo a hipótese do modelo proposto por Vasconcelos et Al (2013), estas dobras estão relacionadas com o colapso de um rápido e agudo levantamento de material rochoso causado pela descompressão das rochas que estavam em subsuperfície. Ao desabarem sobre seu próprio peso, criam-se estas rochas dobradas as quais permaneceram enterradas até serem expostas na superfície depois de milhões de anos de um processo erosivo contínuo. Pontos de observação dessas rochas dobradas, tanto na crista do colar serrano ou mais próximas das mesmas, poderiam ser candidatos a futuros geossítios do Geoparque.

Como último tópico desta justificativa sobre um possível futuro projeto que tem como norte as prerrogativas dos Geoparks UNESCO, procura-se material paleoastronômico sobre a cosmogonia dos indígenas Krahô. Busca-se assim conhecimento sobre a cultura deste povo originário que, desde o primeiro contato com o europeu/seus descendentes há aproximadamente 200 anos atrás, vem sendo sistematicamente empurrado para o interior do Estado a partir de conflitos com pecuaristas desde o séc. XIX, ocupando hoje faixa de terra destinada à reserva indígena de nome Krahôlândia, criada em 1944.

Este povo mantém atualmente um esforço de manutenção de sua cultura, ao mesmo tempo em que ocupa cadeiras de cursos acadêmicos da UFT, sobretudo na graduação em Educação e Línguas, no campus Araguaína. (COSTA & LIMA, 2018)

Pode ser interessante para a comunidade Krahô que haja um projeto colaborativo com pesquisadores e eventuais administradores de um futuro Geoparque para que a sua cultura – sobretudo a astronômica – seja difundida, conhecida, apreciada e principalmente respeitada.

A parte ASTRO do Geoparque Astroblema da Serra da Cangalha: uma Discussão

É impossível falar em divulgação científica de um impacto meteorítico com os olhos apenas e sempre grudados na superfície terrestre. Um lugar de diálogo meteorítico não deve se furtar a olhar para o céu noturno. Destarte apresenta-se a ideia de buscar, no povo Krahô, a sua cosmogonia ancestral. Quando eles olham para as estrelas a noite, o que eles vêem? Quando um meteoro

risca os céus, o que isso significa?

Interessante notar que o fato de o interior do Brasil ter recebido até então menos movimentos de urbanização do que os territórios litorâneos pode ter seu lado positivo. Os céus noturnos que o povo Krahô tem a possibilidade de observar hoje no Tocantins difere bem menos do céu que seus ancestrais viam há 300 anos atrás antes da chegada da luz elétrica e do homem europeu do que o céu que nós, nas metrópoles, estamos acostumados a ver. A poluição luminosa no interior do Brasil é bem menor do que a poluição luminosa na Europa e isto hoje é inclusive quantificável.

Existem três formas mais comuns de se analisar a quantidade de brilho de um céu noturno: 1) medição empírica visual direta; 3) medição empírica por instrumentos; 4) medição indireta através de dados de satélite.

A medição empírica visual direta é pouco precisa. Ela demanda que o medidor esteja *in loco* observando o céu desejado e sua metodologia consiste em que se identifique a estrela de menor *brilho aparente* visível no céu a olho nu. Dá-se então o valor dessa magnitude para o céu daquela noite. O problema deste método é que diferentes pessoas possuem diferentes qualidades de visão. Uma pessoa pode conseguir enxergar estrelas que outra já não consegue mais, portanto o mesmo céu pode acabar tendo valores de magnitude aparente diferentes.

Para tentar regular melhor os parâmetros de um céu observado a olho nu, utiliza-se o auxílio da escala Bortle¹⁵³. Essa escala foi criada por John Bortle e possui valores discretos que vão de 1 a 9, sendo 1 o sítio de céu mais escuro e 9 o sítio com a maior poluição luminosa possível. Tipicamente os grandes centros urbanos encontram-se em uma área Bortle 9. John Bortle lista, para cada um dos nove valores de sua escala, características celestes que o observador vai encontrar e também nomeia cada um desses valores. Por exemplo: Bortle 4 é chamado por ele de “*Rural/Suburban Transition*”.

Na medição empírica por instrumentos, além da presença física em si, demanda-se também um aparelho de medição do céu, como um SQM (*Sky Quality Meter*)¹⁵⁴. Neste caso, haverá uma medição direta mais precisa em escala contínua

¹⁵³ Para maior detalhamento da escala Bortle: <https://skyandtelescope.org/astronomy-resources/light-pollution-and-astronomy-the-bortle-dark-sky-scale/>, acessado em janeiro/2023.

¹⁵⁴ SQM muitas vezes é associado a uma grandeza física de medição de qualidade luminosa do céu, embora na verdade seja o nome dado por uma empresa ao seu produto para este fim. <http://www.unihedron.com/projects/darksky/>, acessado em janeiro/2023.

de valores. A unidade utilizada é a ‘magnitude / arco-segundo’^{2,155}. Os pontos negativos desse método são a falta de praticidade e economia, já que é necessária a aquisição do aparelho e seu transporte e manuseio ao campo para executar as medições.

O último método, a medição indireta através de dados de satélite se mostra fácil, grátis e é possível através de uma leitura imagética primária, com a possibilidade de também acessar valores numéricos tanto na escala Bortle quanto em ‘magnitudes/arco-segundo’². Sites *online* disponibilizam um mapeamento global de medição de poluição luminosa como uma camada em escala de cores sobre uma base cartográfica. Neste caso, ao clicar-se sobre um ponto específico qualquer do mapa, o site indica valores de brilho de céu noturno para aquele lugar – inclusive com mais de uma unidade de medida fornecendo dados tanto na escala Bortle quanto em magnitudes / arco-segundo².

O ponto positivo desse método é a praticidade e a economia. É o único método possível para um trabalho de gabinete, por exemplo; ou para planejamento antes de estar fisicamente no local desejado. Basta um celular e uma conexão à internet para que os dados de qualquer lugar do planeta estejam, grátis, na tua mão sem a necessidade de nenhum outro aparelho de medida específico ou que você tenha que se deslocar até o lugar desejado e executar você mesmo uma medição. A desvantagem está no fato de que os valores recebidos são calculados de forma indireta¹⁵⁶ e por isso tornam-se mais imprecisos.

Dado o teor de gabinete (para os parâmetros de medição de brilho e poluição luminosa do céu noturno do Astroblema da Serra da Cangalha) desta discussão vigente, seguiremos com o método *online*, utilizando os dados

¹⁵⁵ Esta unidade apresenta um valor de quantidade de brilho por unidade de área do céu. Como o céu apresenta uma geometria curva, não há a possibilidade de medirmos sua área através de unidades planas, como o m² ou cm². O arco-segundo é uma subdivisão do grau. A medição de uma linha curva que faz um caminho específico pelo céu, por exemplo desde o horizonte no norte até o horizonte no sul passando por sobre a sua cabeça faz um arco total de 180 graus – ou seja, medem-se distâncias no céu a partir de uma unidade de graus. A menor quantidade nessa escala seria 1 grau, ou seja, 1/180 desse arco inteiro de horizonte a horizonte passando por sobre a cabeça do observador. Mas há elementos no céu tão próximos um dos outros que 1 grau é ainda um valor grande demais. Convencionou-se então utilizar-se as subdivisões do grau, que são o minuto e o segundo. 1 grau subdivide-se em 60 minutos de arco e 1 minuto de arco ou 1 arco-minuto subdivide-se em 60 arco-segundos.

¹⁵⁶ Estes sites não fazem a leitura do brilho do céu a partir de uma estação de medição na Terra. Eles usam dados de satélite como fonte primária. Estes dados são, na verdade, a leitura de uma estação de medição que está em órbita a muitos quilômetros de distância do solo (o satélite) recebendo a irradiação luminosa de nosso planeta. Então eles tentam estimar o céu noturno que você consegue ver aqui debaixo a partir da poluição luminosa que o satélite mede lá em cima.

fornecidos pelo site *Light Pollution Map*¹⁵⁷. A base de dados de poluição luminosa utilizada pelo site advém do “World Atlas 2015” de poluição luminosa (Flachi et al., 2016) Buscamos entender, de forma introdutória, se o céu noturno da Serra da Cangalha tem um bom nível de poluição luminosa que justifique a intenção de um astroturismo nos seus domínios. A análise se dará em duas etapas: analisando os valores de poluição luminosa do local em questão (a partir dos dados disponíveis no site) e em segundo momento, comparando esses valores com os do Parque Estadual do Desengano (PED).

O valor para poluição luminosa na região do Astroblema da Serra da Cangalha é Bortle 1; 21,99 mag/arcsec², segundo o World Atlas 2015, via site *Light Pollution Map*. Para a região do PED, o valor encontrado é de Bortle 3; 21,84 mag/arc/sec². A análise do valor absoluto da poluição luminosa no Astroblema da Serra da Cangalha demonstra um índice muito baixo da mesma, incorrendo em um céu muito escuro, extremamente propício para a observação do céu noturno e para o astroturismo.

Ao comparar-se com os valores encontrados para o PED, observa-se que o céu no astroblema é mais escuro e possui menos poluição luminosa do que o céu observável no Parque Estadual do Desengano. Essa comparação se faz necessária pois o PED é o primeiro e único *Dark Sky Park* da América do Sul cancelado pela *International Dark Sky Association* (IDA). A classificação como Bortle 1; 21,99 mag/arcsec² dá aos céus do Astroblema da Serra da Cangalha um status de excelência em relação à sua poluição luminosa, justificando¹⁵⁸ uma busca por práticas e atividades noturnas relacionadas à observação do céu em um futuro Geoparque.

Dada essa condição propícia a implementação de um Geoparque no Astroblema da Serra da Cangalha, discutem-se medidas que dialoguem com esse projeto. Apresentam-se a seguir medidas possíveis a serem tomadas sob o prisma do desenvolvimento sustentável e da preservação de céus escuros; e atividades propostas sob o prisma do Astroturismo em um lugar que se pretende um

¹⁵⁷ Fonte: <https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=1.70&lat=21.1655&lon=-22.0133&layers=B0FFFFFFFTFFFFFFFFFFFFF>, acessado em janeiro/2023.

¹⁵⁸ Estudos feitos in loco utilizando aparelhos SQM e o método da medição empírica por instrumentos poderão identificar de forma mais precisa regiões específicas do céu noturno do astroblema que sejam mais ou menos atrapalhadas para observação estelar-astronômica pela pouca poluição luminosa existente no local.

astro(geo)parque.

Sob o prisma da sustentabilidade, conforme já discutido nessa tese, entende-se que um adequado projeto de light design urbano ajuda a mitigar os efeitos da poluição luminosa, maléfica para a saúde de seres humanos e para o ecossistema em geral. Portanto, sugere-se que o Poder Público municipal de Campos Lindos tome medidas neste sentido. A *International Dark Sky Association* indica algumas medidas simples como a troca de lâmpadas de vias públicas, o uso de rebatedores evitando que a luz espalhe-se sobretudo para cima, otimizando o funcionamento de um sistema de iluminação pública (para iluminar o solo e as casas, e não os céus) e o uso de sensores para ligar e desligar as mesmas.

Outro projeto possível é envolver as escolas do município em projetos de Ciência Cidadã de monitoramento do brilho do céu através de aparelhos simples. Um exemplo é o projeto *Globe at Night*¹⁵⁹, também indicado pela IDA, em que com um simples smartphone qualquer pessoa pode participar. Inculcar no jovem desde cedo a importância dos conceitos da sustentabilidade, da preservação ambiental e da mitigação dos diversos tipos de poluição que o ser humano produz hoje é fundamental para que novas gerações cresçam mais conscientes.

Sob o prisma do astroturismo, a ideia é promover novas formas de capitalização desse potencial astroturístico agregado ao valor geoturístico que a região apresenta. Se durante o dia um trabalho de guias credenciados e devidamente preparados pode fazer esse papel, levando o geoturista a conhecer os melhores geossítios do astroblema com cuidado e responsabilidade, passando conceitos científicos pertinentes e promovendo a Geoeducação para pessoas que vem de longe, à noite nova sessão de atividades podem ser propostas: guias noturnos para astroturistas apreciarem os céus limpos e livres de poluição luminosa da Serra da Cangalha. Assim, ativa-se ainda mais a atividade econômica da região em dois turnos movimentando ainda mais a cidade. Os guias noturnos devem ser especialmente treinados para não só reconhecer as constelações e astros daquele céu naquela noite mas também poder falar um pouco sobre os conceitos astronômicos relativos à meteorítica, tal qual apresentamos no Capítulo 2 e 3 desta tese.

A grande singularidade deste local é sempre lembrar que, quando observa-

¹⁵⁹ Site oficial do projeto Globe at Night: <https://globeatnight.org/>, acessado em janeiro/2023.

se in loco um céu estrelado do tipo Bortle 1, neste mesmo local há milhões de anos atrás um objeto que veio dos céus mudou a paisagem, a história geológica e a história geomorfológica dali para sempre – a ponto de o curso dos rios que hoje refrescam quem passa por ali serem afetados até hoje diretamente por aquele evento gerado por um impacto impressionante de um enorme corpo extraterrestre ao solo da Terra.

Portanto, ao pensar atividades noturnas específicas para astrogeoturistas no Astroblema da Serra da Cangalha, convém haver um foco especial em promover, quando possível, a observação de chuvas de meteoros. Quão simbólico não é ver (ou fotografar) uma chuva de meteoros dentro de um lugar que é uma cratera de um impacto meteorítico com quilômetros de diâmetro?

Meteoros individuais não são previsíveis, mas chuvas de meteoros são. Um meteoro, quando ocorre de forma isolada, é a manifestação luminosa de qualquer corpo extraterrestre que, atraído pela força gravitacional do planeta, entra na atmosfera e é percebido como um risco no céu, principalmente a noite. Podem ser meteoróides, asteróides ou partes de cometas que vagam pelo espaço. Já as chuvas de meteoros ocorrem quando um cometa cruza a órbita terrestre e, ao passar, deixa um rastro de poeira cósmica – partículas de seu corpo que se soltam e ficam à deriva no espaço. Elas passam a ocupar um lugar fixo no espaço. Se esse ponto faz parte da órbita da Terra, pode-se dizer que uma vez por ano nosso planeta passa por essas partículas. A gravidade do planeta atrai-nas e assim, observa-se a chamada “chuva de meteoros”, quando uma quantidade significativa de meteoros riscam os céus, todos surgindo num ponto específico da abóboda celeste, chamado então de radiante. Pode-se dizer que uma chuva de meteoros possui uma alta taxa de ocorrência de meteoros por hora, muito maior do que o normal.

As chuvas de meteoros mais conhecidas e que acontecem anualmente levam o nome da constelação em que situa-se seu devido radiante. Por exemplo: as Geminídeas tem como radiante a constelação de Gêmeos; as Leonídeas, a constelação de Leão – e assim por diante. Portanto ao longo de cada ano já existe uma tabela pronta que indica quando e onde – qual radiante – as principais chuvas de meteoros ocorrerão para cada latitude e longitude do planeta.

Dado que chuvas de meteoros são previsíveis e interessantes se vistas de dentro de uma cratera (mesmo que erodida) meteorítica, com todo o seu simbolismo especial, sugere-se que esta listagem conste na programação anual do

pretensão Geoparque com atividades especiais nas noites de pico de cada chuva de meteoro.

Outra forma de engajar a população de Campos Lindos em mais um projeto de Ciência Cidadã que dialoga com a temática do Geoparque é abrir uma parceria – que pode ser através da prefeitura, das escolas e/ou da organização do parque ou demais interessados – com o sistema coletivo de monitoramento meteorítico da BRAMON (*Brazilian Meteor Observation Network*).

Segundo o site oficial¹⁶⁰, a rede define-se:

“A **Rede Brasileira de Monitoramento de Meteoros** é uma organização aberta e colaborativa, mantida por voluntários e colaboradores e sem fins lucrativos. A **BRAMON** tem como missão desenvolver e operar uma rede para o monitoramento de meteoros, produzindo e fornecendo dados científicos à comunidade através da análise de suas capturas, que são realizadas por estações de monitoramento mantidas por seus membros.”

O grande diferencial deste projeto é abrir a possibilidade de o cidadão participar a partir de um investimento baixo, já que a tecnologia necessária para a montagem de uma estação da BRAMON é de baixo custo. Apesar disso, com a colaboração conjunta dos membros da rede, ótimos resultados podem ser atingidos. A BRAMON já descobriu 126¹⁶¹ novos raios de chuvas de meteoros internacionalmente agora reconhecidas e que até então eram desconhecidas.

Os dados de cada meteoro observado pela BRAMON fica em um repositório público. Esses dados podem ser acessados e usados, por exemplo, por escolas de Campos Lindos para trabalhar conceitos de Física básica como os da Cinemática e instigar os alunos a não só traçarem a trajetória real de um bólido que apareceu nos céus do país recentemente como definir aonde ele caiu, quanto tempo levou a queda, qual energia cinética ele tinha no momento da queda, etc. (OLIVEIRA, TEIXEIRA & SILVA, 2022)

Como última atividade proposta para o Geoparque do Astroblema da Serra da Cangalha, propõe-se algo vinculado ao valor artístico e estético dessa feição singular. Baseada na experiência documentada do Slovak-Hungarian transnational Novohrad-Nógrád UNESCO Global Geopark (EGN, 2021), seria

¹⁶⁰ Site Oficial da BRAMON, página de apresentação: <http://www.bramonmeteor.org/bramon/a-bramon/sobre/>, acessada em janeiro/2023.

¹⁶¹ <http://www.bramonmeteor.org/bramon/producao/radianes-descobertos/>, acessada em janeiro/2023.

uma forma interessante de atrair foco para a região a realização de um concurso de fotografias que se utilizasse da estética e da paisagem das dependências do Geoparque. O concurso do geoparque eslovaco-húngaro é patrocinado pela Olympus, marca de equipamentos fotográficos. Fazer uma parceria do tipo levaria uma ótima visibilidade para a região e, com um controle ambientalmente responsável, pode ser uma atividade que movimenta a região em diversos sentidos.

Todas estas ideias para um Geoparque Astroblema da Serra da Cangalha são por enquanto apenas propostas. Há muito o que se fazer em muitos sentidos para que um dia isso se torne realidade. Acreditamos que o investimento na Ciência e no desenvolvimento sustentável é benéfico para todos os atores diretamente envolvidos.

Exemplos como os dos Geoparques UNESCO Araripe, Seridó e Cânions do Sul nos mostram que é possível. A força e a determinação do grupo que administra o aspirante a Geoparque UNESCO Costões e Lagunas do Rio de Janeiro nos mostra que durante o processo árduo e demorado para a obtenção do selo em questão já muita coisa pode ser feita em prol da população local, da Geodiversidade, da Geoeducação, do Geopatrimônio e da Geocomunicação.

A Ciência não para. Em 2022 uma nova cratera de impacto meteorítico a hipervelocidade foi confirmada no Brasil, no Estado do Maranhão, em um artigo congregando pesquisadores do Brasil, Alemanha, Áustria, França, Austrália e Costa do Marfim. (REIMOLD et al., 2022) Não muito distante da Serra da Cangalha. Ainda menos distante do astroblema de Riachão. Quem sabe, articulando os dois Estados, um dia não surja uma rota astrogeoturística chamada “Caminhos Meteoríticos do Cerrado Brasileiro” envolvendo ainda mais a conscientização de proteção desse geopatrimônio e visitas aos astroblemas da Serra da Cangalha, Riachão e Novas Colinas? Um tour astroblêmico. Pois é. Mas bem, este trabalho termina por aqui. É noite e o céu está estrelado.

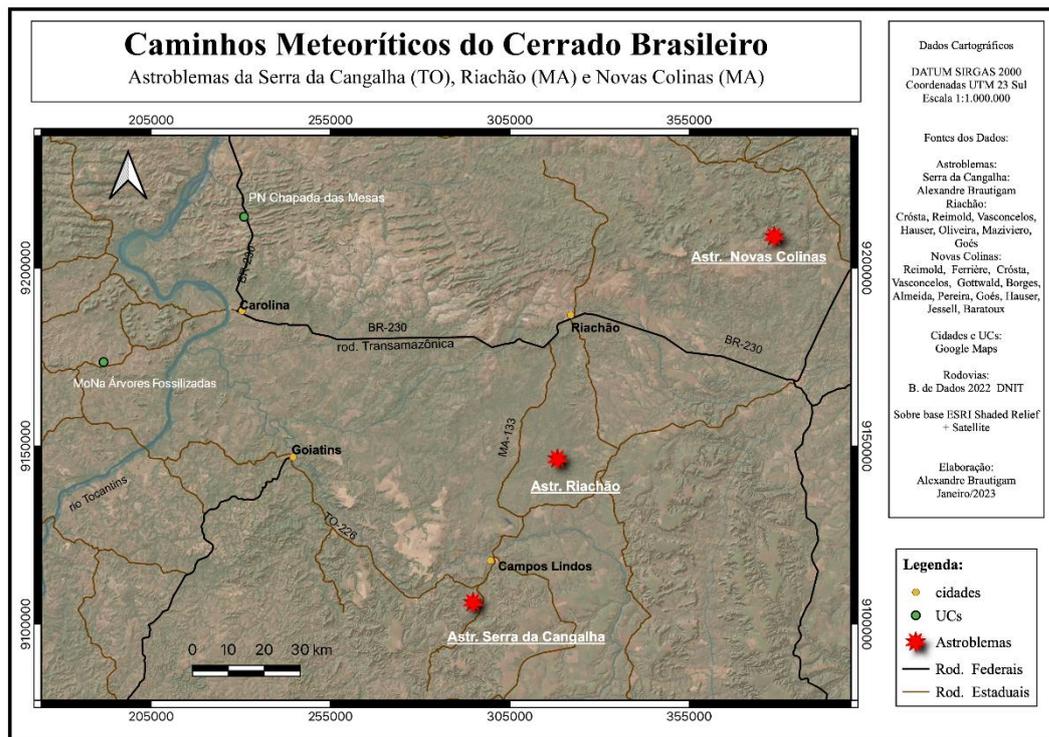


Figura 6.19 – Mapa de localização para os astroblemas da Serra da Cangalha (TO), Riachão (MA) e Novas Colinas; para as UCs Monumento Natural das Árvores Fossilizadas (TO) e Parque Nacional da Chapada das Mesas (MA) e maiores cidades no entorno. Sugestão nossa para futuro roteiro astrogeoturístico.

7 Considerações Finais

Os astroblemas são feições geológicas-geomorfológicas especiais. Tudo se inicia com o evento responsável pela sua criação: o impacto meteorítico a hipervelocidade. A energia envolvida neste evento natural é grandiosa (conforme explicitado para casos gerais no subcapítulo 2.4 – em especial com o gráfico da Figura 2.3 e especificamente para o estudo de caso do Astroblema da Serra da Cangalha, nos subcapítulos 6.3.2 e 6.5), o que faz com que um metamorfismo especial se apresente gerando rochas únicas e feições microplanares características.

Conforme demonstrado no Capítulo 1 através de uma revisão bibliométrica, o estudo das estruturas de impacto é ainda insipiente dado a sua enorme relevância científica. Através desta revisão bibliométrica constatamos que há três núcleos principais de estudo acadêmico dos astroblemas brasileiros, em sua enorme maioria na área da Geologia. Em especial para o Astroblema da Serra da Cangalha, esta revisão aponta para uma colaboração de pesquisadores alemães (prof.Dr. Thomas Kenkmann e prof.Dr. Uwe Reimold) com os pesquisadores brasileiros (em especial, o prof.Dr. Alvaro Penteado Crósta e também o prof.Dr. Marcos Vasconcelos). Estas pesquisas geológicas-meteoríticas que se concentraram ao longo dos últimos 20 anos foram de vital importância para o desenvolvimento desta tese e proporcionam hoje grande visibilidade na comunidade científica internacional que estuda a temática das estruturas de impacto meteorítico a hipervelocidade.

Ao longo da investigação geomorfológica apresentada no Capítulo 4, pudemos conjugar de que modo uma grande estrutura de impacto meteorítico influencia a paisagem, mesmo passados milhões de anos do evento que a gerou. Demonstra-se que o tipo de rede de drenagem se transforma subitamente de um padrão dendrítico (observado ao longo de grande parte da bacia hidrográfica do rio Manoel Alves Grande no município de Campos Lindos) para um padrão anelar especificamente na área do Astroblema da Serra da Cangalha. O que condiciona este padrão anelar neste ponto é a forma de relevo daquela área específica - e quem, por sua vez, condicionou aquela geomorfologia foi justamente o impacto meteorítico.

Ainda dentro da discussão geomorfológica do Capítulo 4, apresentamos uma proposta de compartimentação do relevo para o Astroblema da Serra da Cangalha, subdividindo-o em baixos platôs ao longo da borda do astroblema, uma planície anelar entre os limites externos da Serra da Cangalha e a borda do astroblema, um colar serrano – que é uma feição singular em território brasileiro, pois se trata de uma serra em formato crateriforme, arredondada e, por fim, uma depressão central que se encontra no centro e no interior deste colar serrano, preenchida por uma vegetação de cerrado. Uma sugestão para um próximo estudo na área seria a de tentar compreender como a erosão diferencial modelou a Serra da Cangalha dentro do astroblema que leva o mesmo nome. Já a abordagem fenomenológica para descrição desta paisagem busca trazer a vivência de se experimentar *in loco* a mesma com o conhecimento prévio do evento natural catastrófico que a gerou.

Através do mesmo trabalho de campo (realizado em 2019) que nos deu subsídio para a análise fenomenológica, foi possível também apontar de forma qualitativa diferentes valores da geodiversidade do Astroblema da Serra da Cangalha (subcapítulo 5.1). Também como sugestão para um próximo trabalho nesta área, seria importante haver um inventário com os principais geossítios contidos no mesmo.

Entretanto, para além dos valores de geodiversidade observamos que a região possui também um baixo índice de poluição luminosa (subcapítulo 6.5) e por conta disto, sugerimos (Capítulo 6) a criação de um parque nos moldes dos Geoparks UNESCO mas que conjugue não só um olhar atento à sua geodiversidade, quanto também à preservação de seu céu escuro e à mitigação de sua poluição luminosa noturna abrindo espaço tanto para um geoturismo quanto para um astroturismo que, de forma sustentável, possa auxiliar no desenvolvimento da região como um todo e em especial de sua comunidade local.

Concluimos este trabalho constatando a importância de mais estudos científicos direcionados aos astroblemas brasileiros – por sua riqueza científica, educacional, estética; por sua raridade; por sua singularidade e pelo encantamento que os grandes processos do Universo podem gerar em cada ser humano que vislumbra e vivencia aquele pouquinho que nos é apresentado ao longo de nossa tão curta existência.

Referências Bibliográficas

AB' SABER, A. **O Domínio dos Cerrados**: Introdução ao Conhecimento. in. Revista do Serviço Público (RSP), ano 40, volume 111, Out-Dez 1983. Original de 1963.

ALMEIDA-FILHO, R., MOREIRA, F.R.S.; BEISL, C.H. **The Serra da Cangalha astrobleme as revealed by ASTER and SRTM orbital data**. In: International Journal of Remote Sensing, Volume 26, Issue 5, pgs 833-838, março/2005.

ANDRADE, L. S. de; NOGUEIRA, A. **As origens das “pedras de fogo” no Estado do Piauí**. In: Revista da Academia de Ciências do Piauí. Volume 3, Número 3, p. 266-284. 2022.

ALBANI, R.A.; MANSUR, K.L. & SANTOS, W. F. **New Approach on the Quantitative Assessment of Geotouristic Potential**: A Case Study in the Northern Area of the Rio De Janeiro Cliffs and Lagoons Geopark Project. In: Geoheritage, 14: 72. p. 1-20. 2022.

AVELAR, S.; MANSUR, K.L.; ANJOS, S. C. **Community perceptions for Geoconservation of a Coastal Area in Rio de Janeiro, Brazil**. In: Geoheritage, #7: p. 275-283. 2015.

BESSE, J.M. **As cinco portas da paisagem**: ensaio de uma cartografia das problemáticas paisagísticas contemporâneas. In: O gosto do mundo: exercícios de paisagem. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2014.

BIZZI, L.A. et al. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**: Textos, Mapas e SIG. CPRM. Brasília, 2003.

BOGGIANI, P.C. **A aplicação do conceito de Geoparque da UNESCO no Brasil e relação com o SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação**. Revista Patrimônio Geológico e Cultura V. 1 #1, p1-4, 2010.

BOTELHO, R.G.M.; PELECH, A.S. **Do mapeamento geomorfológico do IBGE a um Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo**. In: Revista Brasileira de Geografia. Vol. 64 n.1, pgs 183-201, 2019.

BRAMON. Site Oficial. Disponível em: <<http://www.bramonmeteor.org/bramon/a-bramon/sobre/>>. Acesso em: dezembro/2022.

BRASIL. **Constituição Federal da República Federativa do Brasil / 1988**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui caocompilado.htm>. Acesso em: março/2022.

_____. **Decreto n.º 4.297, DE 10 DE JULHO DE 2002**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm>. Acesso em: março/2022.

_____. **Lei n.º 6.938/1981** (Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm#art9ii>. Acesso em: março/2022.

_____. **Lei n.º 9.985/2000** (Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC) Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm>. Acesso em: março/2022.

_____. **Lei n.º 12.651/2012** (Código Florestal). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm> . Acesso em: março/2022.

BRITANNICA Encyclopedia, **Verbetes Seth: Egyptian God**. Disponível em: <<https://www.britannica.com/topic/Seth-Egyptian-god>>. Acesso em: janeiro/2021.

BUCHNER, E.; SACH, V.J.; SCHMIEDER, M. **Event- and biostratigraphic evidence for two independent Ries and Steinheim asteroid impacts in the Middle Miocene**. In: Nature. Scientific Reports. 12: 18603. 2022.

BUNDLANDER AUSSCHUSS BODENFORSCHUNG (BLA-GEO) **Startseite**. Disponível em: <https://www.bgr.bund.de/Infogeo/DE/Gremien/BLA_GEO/bla_geo_node.html>. Acesso em: dezembro/2022.

CAFE, L.; BRASCHER, M. **Organização da Informação e Bibliometria**. In: Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação. Número Especial, pgs 54-75, 1o semestre de 2008.

CARCAVILLA, L. et al. **Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico**. In: Geo-Temas, n. 10, p. 1299-1303, 2008.

CARVALHO, W. P. de. **O Meteorito Bendegó: História, Mineralogia e Classificação Química**. Dissertação de Mestrado/ Departamento de Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 2010.

CHANG, Y.-W. **The first decade of commercial space tourism**. In: Acta Astronautica. Vol. 108, pgs 79-91, 2015.

CHLADNI, E. **Ueber den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ihr ähnlicher Eisenmassen, und über einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen.** Texto original de 1794. Disponível no site da Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden: <<https://digital.slub-dresden.de/werkansicht/dlf/79533/5/0/>>. Acesso em: janeiro/2021.

CLAVAL, P. **A Paisagem dos geógrafos.** In. Paisagens, Textos e Identidade. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2004.

CHANDRAN, S.R. et al. **Lonar Impact Crater, India: the Best Preserved Terrestrial Hypervelocity Impact Crater in a Basaltic Terrain as a Potential Global Geopark.** In: *Geoheritage*, 14:130, 2022.

CHEPESIUK, R. **Missing the Dark: Health effects of Light Pollution.** In: *Environmental Health Perspectives*, Vol. 117 n.1, 2009.

CHERMAN, A.; VIEIRA, F. **O Céu: Histórias e Estrelas.** Rio de Janeiro: Ed. Planetário do Rio, 2012.

COLLINS, G.S. et al. - **iSALE: a multi-material, multi-rheology shock physics code for simulating impact phenomena in two and three dimensions.** Manual da suíte de softwares iSALE. 2013.

CONEXÃO TOCANTINS JORNAL ELETRÔNICO. Ameto e UFT definem parceria para criação de cursos de Geologia e na área de Mineração no Tocantins. Matéria de 08/10/2022, assinada pela Redação. Disponível em: <<https://conexaoto.com.br/2022/10/08/ameto-e-uft-definem-parceria-para-criacao-de-cursos-de-geologia-e-na-area-de-mineracao-no-tocantins>>. Acesso em dezembro/2022.

CONNORS et al. **Earth's Trojan asteroid.** In: *Nature*. N.º 475, pgs 481-483. 2011.

COSTA, K.G.; LIMA, M.P. **Acadêmicas indígenas do campus de Araguaína-UFT: da aldeia a Universidade.** Anais do XIX Encontro Nacional de Geógrafos. João Pessoa, Paraíba. Julho de 2018.

CRÓSTA, A. **Estruturas de Impacto e Astroblemas Brasileiros.** In: HASUI et All. *Geologia do Brasil*. São Paulo: Ed Beca, 2012.

_____. **Parte 3: Crateras de impacto meteorítico no Brasil** In: *História da Astronomia no Brasil - Volume I*. Recife: Companhia Editora de Pernambuco, 2013.

CPRM. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil – Volume I.** Brasília, 2002. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/SIGEP_Vol_I.pdf> Acesso em: novembro/2022.

_____. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil – Volume II.** Brasília, 2009. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/SIGEP_Vol_II.pdf> Acesso em: novembro/2022.

_____. **Geoparques do Brasil – Propostas. Volume 1.** Rio de Janeiro: CPRM, 2012.

_____. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil – Volume III.** Brasília, 2013. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/SIGEP_Vol_III_bx_resol.pdf>. Acesso em: novembro/2022.

DA SILVA, S. **Poéticas da Paisagem:** do sublime ao pitoresco no Movimento Land Art. In: Revista Estética e Semiótica. Brasília, V. 6, n.º 1, pgs.175-195. Edição de janeiro/junho de 2016.

DARDEL, E. **O Homem e a Terra:** Natureza da Realidade Geográfica. Ed. Perspectiva, 2011.

DAUM, A. **Wissenschaftspopularisierung im 19. Jahrhundert:** Bürgerliche Kultur, naturwissenschaftliche Bildung und die deutsche Öffentlichkeit. 1848-1914. Oldenbourg, München. 1998 *Apud*. Wikipedia, verbete “Bernhardt von Cotta”. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Bernhard_von_Cotta>. Acesso em: dezembro/2022.

DAVIES, J.K. et al. **The Early Development of Ideas Concerning the Transneptunian Region.** In: The Solar System beyond Neptune. University of Arizona Press, Tucson/USA, 2008.

DAVIS, W.M. **The geographical cycle.** In: Geography Journal, n.º 14. 1899.

DU, Y.; GIRAULT, Y. **A Genealogy of UNESCO Global Geopark:** Emergence and Evolution. In: International Journal of Geoheritage and Parks. V.6, n.º 2, pgs 1-17. 2018.

DUMYAHN, S. L.; PIJANOWSKI, B. C. **Soundscape Conservation.** In: Landscape Ecology, Vol. 26, pgs 1327-1344. 2011.

EARTH IMPACT DATABASE. Site gerenciado pelo Planetary and Space Science Centre, da University of New Brunswick, Canada. Disponível em: <http://passc.net/EarthImpactDatabase/New%20website_052018/Index.html>. Acesso em: dezembro/2022.

EGN (European Geoparks Network). European Geoparks Magazine N° 7, pgs. 14-17. 2005.

_____. **The transnational Photo Marathon during the Covid-19 Pandemic.** In European Geoparks Magazine. N° 18, pg. 11. 2021.

ELLGER, C. **Von der Bottom-up-Bewegung zum UNESCO-Programm: Geoparks in Deutschland.** In: *Angewandte Geografie*. N.º 46, p.171-178, 2022.

EMELIANENKO et. al. **Astronomical and Physical Aspects of the Chelyabinsk Event (February 15, 2013)** In: *Revista Solar System Research*, Vol. 47 n.º 04, Editora Pleiades Publishing Inc., 2013.

EZQUERRO, L.; SIMON, J.L. **Geomusic as a New Pedagogical and Outreach Resource:** Interpreting Geoheritage with all the senses. *Geoheritage*, Vol. 11, pgs. 1187-1198. 2019.

FAYOS-SOLA, E.; MARIN, C.; JAFARI, J. **Astrotourism: No Requiem for Meaningful Travel.** In: *Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*. Vol. 12 n.4, pgs 663-671. 2014.

FLACHI et al. - **The new world atlas of artificial night sky brightness.** In: *Science Advances*, pgs. 1-25, junho/2016.

FONDATION CARTIER POUR L'ART CONTEMPORAIN. Link para artigo sobre a exposição "The Great Animal Orchestra", de Bernie Krause em associação com a United Visual Artists de Londres. Disponível em: <<https://www.fondationcartier.com/en/exhibitions/international/le-grand-orchestre-des-animaux>>. Acesso em: dezembro/2022.

FRENCH, B. **Traces of Catastrophe:** A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures. Houston: LPI Contribution No. 954, Lunar and Planetary Institute, 1998.

FRENCH, B. & KOEBERL, C. **The convincing identification of terrestrial meteorite impact structures:** What works, what doesn't, and why. In: *Earth-Science Reviews*. Vol. 98 n.º 1, pgs. 123-170. 2010.

GEOPARQUE SERIDÓ. Site Oficial. Disponível em: <<https://geoparque-serido.com.br/>>. Acesso em: dezembro/2022.

GEOPARQUE CAMINHOS DOS CÂNIONS DO SUL. Site Oficial. Disponível em: <<https://canionsdosul.org/>>. Acesso em: dezembro/2022.

GEOPARQUE COSTÕES E LAGUNAS DO RIO DE JANEIRO. Site Oficial: <<https://www.geoparquecostoeselagunas.com/>>. Acesso em: dezembro/2022.

_____. Site Oficial. Área destinada às Entidades Parceiras. Disponível em: <<https://www.geoparquecostoeselagunas.com/entidades-parceiras/>>. Acesso em: dezembro/2022.

GLOBAL GEOPARKS NETWORK (GGN). Geodiversity in UNESCO Global Geoparks – 2022. Site oficial. Disponível em: <https://globalgeoparksnetwork.org/?page_id=7127>. Acesso em: dezembro/2022.

SIGEP. **Glossário Geológico Dinâmico Ilustrado da SIGEP** – verbete “vidro de impacto”. Site Oficial. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/vidro_impacto.htm>. Acesso em: dezembro/2022.

GOES, A.M., FEIJO, F.J. **Bacia do Parnaíba**. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro, 8(1):57-67. 1994.

GOETHE, W. **Maximen und Reflexionen, Aus Kunst und Altertum**. Original de 1826. Disponível em: <<http://www.zeno.org/Literatur/M/Goethe,+Johann+Wolfgang/Aphorismen+und+Aufzeichnungen/Maximen+und+Reflexionen/Aus+%C2%BBKunst+und+Altertum%C2%AB>>. Acesso em: dezembro/2022.

GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. John Wiley & Sons Editora, West Sussex/England, 2004.

GRIEVE, R.; LANGENHORST, F. ; STÖFFLER, D. **Shock metamorphism of quartz in nature and experiment**: II. Significance in Geoscience. In: Meteoritics and Planetary Science, Vol. 31, pgs. 6-35. 1996.

GRUBISIC, M. et al. **Light Pollution, Circadian Photoreception and Melatonin in Vertebrates**. In: Sustainability, Vol. 11, 2019.

GRUNDSCHULE ALEMANNENSCHULE KIRCHHEIM AM RIES. Site Oficial (parceria com o Ries UNESCO Global Geopark). Disponível em: <<https://www.alemannenschule-kirchheim.de/index.php/ueber-uns/geo-park-ries-schule>>. Acesso em: dezembro/2022.

GUERRA, A.; CUNHA, S. **Geomorfologia**: Uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Ed Bertrand Brasil, 1995.

HALFERTY, G. et al. **Photometric characterization and trajectory accuracy of Starlink satellites**: implications for ground-based astronomical surveys. In: Montly Notices of the Royal Astronomical Society. n.º 516, pgs 1502-1508, 2022.

HENRIQUE, M. H.; J BRILHA. **UNESCO Global Geoparks**: a strategy towards global understanding and sustainability. In: Episodes, 40(4), 2017.

HILDEBRAND et al. **Chicxulub Crater**: A possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatán Peninsula, México. In: Geology, 19 p. 867-871. 1991.

HORN, P. **The Ries Kessel, Germany**: An Example of Meteorite Impact as a Terrestrial Geological Process. In: Geoforum, n.º 12, pgs 91-95. 1972.

HOWARD, C. **Experiments and observations on certain stony and metalline substances, which at different times are said to have fallen on the earth; also on various kinds of native iron.** In: Philosophical Transactions from the Royal Society. Vol. 92 pgs. 168–212. Texto original de 1802. Disponível em: <<http://doi.org/10.1098/rstl.1802.0009>>. Acesso em: janeiro/2021.

HUGUES, D.W. **Bright Stars and the History of Stellar Astronomy.** In: Journal of Astronomical History and Heritage. Vol. 7 n.º 2, pgs 103-114. 2004.

HUMBOLDT, A. von. **Quadros da Natureza.** Tradução de Assis Carvalho, 2a Edição. São Paulo: Gráfica Editora Brasileira, 1950.

_____. eBook “COSMOS: A Sketch of the Physical Description of the Universe, Vol. 1”. Traduzido para o inglês por E. C. Otte da edição de 1858 da Editora Harper & Brothers e hospedada no Projeto Gutenberg. Disponível em: <<http://www.gutenberg.org/ebooks/14565>>. Acesso em: janeiro/2021.

INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION (IAU). Artigo **IAU 2006 General Assembly: Result of the IAU Resolution.** Site Oficial da IAU. Disponível em: <<https://www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau0603/>>. Acesso em: dezembro/2020.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Macrocaracterização dos Recursos Naturais do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

_____. **1o Workshop sobre o Sistema Brasileiro de Classificação de Relevô: Relatório Técnico.** IBGE, Rio de Janeiro. 2020.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA-RJ). **Dark Sky Application – Parque Estadual do Desengano (Desengano State Park).** 2021a. Disponível em: <<https://darksky.app.box.com/s/6vyauduaxr8lqrqf8rv3r7pmirb31w4s>>. Acesso em: dezembro/2022.

_____. **Revisão do Plano de Manejo – Parque Estadual do Desengano.** 2021b. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/biodiversidade-territorio/conheca-as-unidades-de-conservacao/parque-estadual-do-desengano/>>. Acesso em: dezembro/2022.

INTERNATIONAL DARK SKY ASSOCIATION (IDA). **International Dark Sky Places.** Site Oficial da IDA. Disponível em: <<https://www.darksky.org/our-work/conservation/idsp/>>. Acesso em: dezembro/2022.

INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES (IUGS). Site Oficial – Celebração 60 anos e Hospedagem do Projeto-Livro “The First 100

IUGS Geological Heritage Sites”. Disponível em: <<https://iugs60.org/first100geosites/>>. Acesso em: dezembro/2022.

JANETE EL-HAOULI (compositora). Ciranda das Mulheres – obra radiofônica disponível no site *Soundcloud* em: <<https://soundcloud.com/janete-el-haouli/ciranda-das-mulheres>>. Acesso em: dezembro/2022.

_____. Memórias – uma reinvenção da cidade jardim – obra radiofônica disponível no site *Soundcloud* em <<https://soundcloud.com/janete-el-haouli/ciranda-das-mulheres>>. Acesso em: dezembro/2022.

KARTTUNEN, H. et al. **Fundamental Astronomy**. Helsinki: Springer, 2016.

KEINER, M. **History, definition(s) and models of sustainable development**. Disponível em: <<https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/53025/eth-2794301.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: agosto/2020.

KENKMANN, T. et al. **The complex impact structure Serra da Cangalha, Tocantins State, Brazil**. In: Meteoritics and Planetary Science. Vol. 46, pgs 875-889. 2011.

KENKMANN, T.; POELCHAU, M.; WULF, G. **Structural Geology of Impact Craters**. In: Journal of Structural Geology Vol.62, pgs 156-182. 2014.

KYBA, C.C.M. et al. **Citizen Scientists report global rapid reductions in the visibility of the stars from 2011 to 2022**. In: Nature. Vol 379, pgs. 265-268. 2023.

KRAUSE, B.; FARINA, A. **Using ecoacoustic methods to survey the impacts of climate change on biodiversity**. In: Biological Conservation. Vol. 195, pgs 245-254. 2016.

LAMEGO, A. R. **Setores da Evolução Fluminense IV: O Homem e a serra**. (2a Edição) IBGE - Edição da Divisão Cultural, 1963.

LAGALLY, U.; LOTH, G. **Experiencing Bavarias Geological Heritage: The Project “Hundred Masterpieces”**. In: Geoheritage, Vol. 9, p. 519–531, 2017.

LAGRANGE, J.L. **Essai sur le Problème des Trois Corps**. Versão original de 1772 em formato .pdf, disponível em: <http://www.ltas-vis.ulg.ac.be/cmsms/uploads/File/Lagrange_essai_3corps.pdf>. Acesso em: outubro/2022.

LAWLER, S.; BOLEY, A.; REIN, H. **Visibility Predictions for Near-future Satellite Megaconstellations: Latitudes near 50° Will Experience the Worst Light Pollution**. In: The Astronomical Journey, Vol. 163, n.º 1. 2021.

LUCY MISSION. Overview. Disponível em: <<http://lucy.swri.edu/mission/Overview.htm>>. Acesso em: dezembro/2022.

_____. Timeline. Disponível em: <<http://lucy.swri.edu/timeline.html>>. Acesso em: dezembro/2022.

MAN-TO HUI et al. **The Second Earth Trojan 2020 XL5**. In: *Astrophysical Journal Letters*. 922 (2): L25. *ArXiv:2111.05058* Edição de novembro, 2021.

MARVIN, B. **Meteorites in History**: an Overview from the Renaissance to the 20th Century. In: *The History of Meteoritics and Key Meteorite Colletions: Fireballs, Falls and Finds*. Geological Society, Special Publications, 256, 15-71. London, 2006.

McHONE, J. F. **Terrestrial Impact Structures**: Their Detection and Verification with Two New Exemples in Brazil. PhD Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1986.

MEIRA, S. A. **Folheto interpretativo como ferramenta de valorização de Geossítios da Ponta de Jericoacoara, Ceará, Brasil**. In: *Revista do Regne*. Vol. 2, número especial, pgs. 1168-1178. 2016.

MEDEIROS, R. et al. **Contribuição das Unidades de Conservação brasileiras para a economia nacional**. Brasília: Editora do Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2011.

MELOSH, H. J. **Acoustic Fluidization**: What is it, and is not. Capítulo do livro "Bridging the Gap III: Impact Cratering in Nature, Experiments, and Modeling". LPI Editorial Board. 2015.

MOBIUS, M.; ALI, U. **ESG in Emerging Markets**: The Value of Fundamental Research and Constructive Engagement in Looking beyond ESG Ratings. In: *Journal of Applied Corporate Finance*. Vol. 33, n.º 2, pgs 112-120. 2021.

MONACCHI, D. **Fragments of Extinction**: Acoustic Biodiversity of Primary Rainforest Ecosystems. In: *Leonardo Music Journal*, Vol. 23 - Sound Art. pgs. 23-25. 2013.

MONACCHI, D. & FARINA, A. **A Multiscale Approach to Investigate the Biosemiotic Complexity of Two Acoustic Communities in Primary Forests with High Ecosystem Integrity Recorded with 3D Sound Technologies**. In: *Biosemiotics*. Vol. 12, pgs. 329-347. 2019.

MONTUORI, A. **Edgar Morin, a partial introduction**. In: *World Futures the Journal of General Evolution*. pgs. 349-355. Edição julho/Setembro de 2004.

MORIN, E. **A cabeça bem-feita**: repensar a reforma, reformar o pensamento. 6a Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

_____. **Introdução ao Pensamento Complexo**. 5ª edição. Porto Alegre: Editora Sulina, 2015.

MUSÉE DE LA RÉGENCE – ENSISHEIM. Site Oficial, disponível em: <<https://ensisheim.fr/loisirs-culture/culture/musee-de-la-regence/>>. Acesso em: dezembro/2022.

NASA. NEO Basics. Disponível em: <https://cneos.jpl.nasa.gov/about/neo_groups.html>. Acesso em: dezembro/2022.

NASCIMENTO, M.A.L.; RUCHKYS, U.; MANTESSO-NETO, V. **Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo**: Trinômio importante para a proteção do patrimônio geológico. UFRN/SBG, 2008.

NATIONALER GEOPARK (projeto alemão de Geoparques nacionais) – Site Oficial disponível em: <<http://www.nationaler-geopark.de/startseite.html>>. Acesso em: dezembro/2022.

OLIVEIRA, A.; TEIXEIRA, J.; SILVA, C. **Modelagem Matemática e Astronomia – o estudo de um meteoro**. Anais do IX Congresso Ibero-Americano de Educação Matemática. Dezembro, 2022.

OLIVEIRA, J. E. de; AGUIAR, R. L. S. de. **Do megalitismo às gravuras rupestres**: contribuições para a arqueologia da Região do Jalapão, Tocantins, Brasil. In: Revista Maracanan (UERJ), Vol. VII, n.º 7, 2011.

OORT, J. **The structure of the cloud of comets surrounding the solar system, and a hypothesis concerning its origin**. In: Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands, Vol. XI, n.º 408, edição de janeiro de 1950.

OSINSKI, G.R. et al. **A Review of the Terrestrial Impact Record**. In: Earth-Science Reviews. n.º 232, 2022.

PARQUE ESTADUAL DO DESENGANO/RJ. Site hospedado e contruído pelo INEA-RJ, disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/biodiversidade-territorio/conheca-as-unidades-de-conservacao/parque-estadual-do-desengano/>>. Acesso em: dezembro/2022.

PARQUE ESTADUAL DO DESENGANO/RJ. Site privado: <www.madalenarj.com.br>. Acesso em: dezembro/2022.

PEDERSEN, L. H. et. al. **Responsible investing**: The ESG-efficient frontier. In: Journal of Financial Economics, n.º 142, pgs. 572-597. 2020.

PITJEVA, E.; PITJEV, N. **Masses of the Main Asteroid Belt and the Kuiper Belt from the Motions of Planets and Spacecraft**. Astronomy Letters, 2018.

PLINIO, O VELHO. **The Natural History of Pliny, Volume 1 (of 6) by the Elder Pliny**. Versão ebook produzida em 2008 e hospedada no Projeto Gutenberg a partir da tradução para o inglês por John Bostock, M.D., F.R.S. H.T. Riley, Esq., B.A. Londres. Taylor and Francis, Red Lion Court, Fleet Street, de 1855. (O original “Historia Naturalis” de Plínio, o Velho (Gaius Plinius Secundus) foi escrito no ano de 77 d.C. em latim). Disponível em: <<http://www.gutenberg.org/ebooks/57493>>. Acesso em: janeiro/2021.

POLAND, M.P. et al. **Characteristics of Hawaiian volcanoes: U.S. Geological Survey Professional Paper 1801**. Washington: USGS, 2014.

REIMOLD et al. **Nova Colinas, Maranhão State: A newly confirmed, complex impact structure in Brazil**. In: Meteoritics and Planetary Science, Vol. 57, n.º 8, pgs. 1519-1541, 2022.

RIES UNESCO GLOBAL GEOPARK. Site Oficial, disponível em: <<https://www.geopark-ries.de/>>. Acesso em: dezembro/2022.

_____. Video Educativo “Das Nördlinger Ries – Geo-Tour”, Planet Schule. Canal Planet Schule, no YouTube. Sugerido pelo Site Oficial do Geoparque, disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=YlujvDMudw>>. Acesso em: dezembro/2022.

RIO DE JANEIRO (Estado). **Lei Estadual n.º 9543/2022** “Cidade das Estrelas”. Disponível em <<https://leisestaduais.com.br/rj/lei-ordinaria-n-9543-2022-rio-de-janeiro-declara-o-municipio-de-santa-maria>>. Acesso em: janeiro/2023.

ROCHA, L.; FERREIRA, A.; FIGUEIREDO, M. **A Rede Global de Geoparques e os desafios da integração dos Geoparques Brasileiros**. In: Caderno de Geografia, v.27, Número Especial 2, 2017.

ROCHA, M. **Geodiversidade do Estado do Tocantins**. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Goiânia: CPRM, 2019.

RODOLFO CAESAR (compositor). – “Bio-acústica” – obra eletroacústica hospedada no site Soundcloud, disponível em: <<https://soundcloud.com/rodolfo-caesar/bioacustica>>. Acesso em: dezembro/2022.

_____. – “Tinnitus” – obra eletroacústica hospedada no site Soundcloud, disponível em: <<https://soundcloud.com/rodolfo-caesar/tinnitus>>. Acesso em: dezembro/2022.

RÖHLING, H.-G.; SCHMIDT-THOMÉ, M. **Geoscience for the Public:**

Geotopes and National GeoParks in Germany. In: Episodes, Vol. 27(4): pgs. 279-283. 2004.

ROSENBERG, G. D. **The Revolution in Geology from the Renaissance to the Enlightenment.** Boulder: The Geological Society of America. 2009.

SANCHEZ, J. **Mapeamento 1:25.000 do núcleo do Astroblema Domo de Araguinha (MT) e aspectos geoturísticos da região.** Monografia para conclusão de Graduação em Geologia – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro/SP. 2006.

SANCHEZ, J. & GARCIA, M.G.M. **A cratera de impacto do Cerro do Jarau-RS, Brasil:** uma abordagem geoturística. In: Geonomos, Vol. 21 n.º 2, pgs 102-110. 2012.

SANCHEZ, J. & BRILHA, J.B.R. **Terrestrial impact structures as geoheritage:** an assessment method of their scientific value and its application to Brazil. In: Anais da Academia Brasileira de Ciências, Vol. 89 n.º 2, pgs 825-834. 2017.

SALMONA, Y. B.; RIBEIRO, F. F.; MATRICARDI, E. A. T. **Parques “no papel” conservam? O caso do parque dos Pireneus em Goiás.** Boletim Goiano de Geografia, Vol. 34, n.º 2. 2014.

SANTOS, D. S.; MANSUR, K.L.; SEOANE, J.C. **Classification Scheme for Geomorphosites’ GIS Database:** Application to the Proposed Geopark Costões e Lagunas, Rio de Janeiro, Brazil. In: Geoheritage, 14:96. 2022.

SCHAFER, M. **A afinação do mundo.** 2a Ed. São Paulo: Editora Unesp, 2011 do original *The Tuning of the World*, 1977.

SCHMIEDER, M.; KRING, D.A. **Earth impact events through geologic time:** A List of Recommended Ages for Terrestrial Impact Structures and Deposits. In: Astrobiology. Vol. 20: pgs 91-141. 2020.

SCHOBENHAUS, C. **A geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana.** In: Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG[S.I: s.n.], 2003.

SEMADES – Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Tocantins. **Monumento Natural Estadual Serra da Cangalha: Justificativa Técnica.** Palmas, 2013.

SEMADES – Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Tocantins. **Relatório de Consulta Pública: Monumento Natural Estadual Serra da Cangalha / Campos Lindos/TO.** Palmas, 2013.

SHARPLES, C. **A Methodology for the Identification of Significant Landforms and Geological Sites for Geoconservation Purposes**. Technical Report to The Forestr, Comission, Tasmania, 1993.

SHOEMAKER, E. M. & CHAO, E.C.T. **New Evidence for the Impact Origin of the Ries Basin, Bavaria, Germany**. In: Journal of Geophysical Research, Vol. 66 n.º 10, pgs 3371-3378, 1961.

SIGEP – Site Oficial, disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/index.html>>. Acesso em: dezembro/2022.

SILVA, C. R. da. **Geodiversidade do Brasil: Conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

SKY AND TELESCOPE MAGAZINE. Bortle Scale Article. Disponível em: <<https://skyandtelescope.org/astronomy-resources/light-pollution-and-astronomy-the-bortle-dark-sky-scale/>>. Acesso em: dezembro/2022.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA. Site Oficial – Faculdades de Geologia no Brasil, disponível em: <<http://www.sbgeo.org.br/home/pages/35>>. Acesso em: dezembro/2022.

SQM. Site Oficial da Unihedron. Disponível em: <<http://www.unihedron.com/projects/darksky/>>. Acesso em: dezembro/2022.

STÖFFLER, D. et al. **Ries Crater and Suevite Revisited – Observations and Modeling**. Part I : Observations. In: Meteoritics and Planetary Science. Vol. 48, n.º 4, pgs 515-589. 2013.

STOTT, C. et al. **Space: From Earth to the Edge of the Universe**. London: DK Editors, 2010.

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

TOCANTINS (Estado). **Decreto nº 5.562/1992**. Disponível em: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/568888/>>. Acesso em: maio/2022.

_____. **Decreto nº 5.559/2017**. Disponível em: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/568886/>>. Acesso em: maio/2022.

_____. **Lei Estadual nº 1.560/2005** (Sistema Estadual de Unidades de Conservação - SEUC). Disponível em: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/225866/>>. Acesso em: maio/2022.

_____. **Lei Estadual 1.917/2008** (Mudanças Climáticas). Disponível em: <<https://www.al.to.leg.br/arquivos/9165.pdf>>. Acesso em: maio/2022.

_____. **Lei Estadual no 2.656/2012** (Institui o Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins). Disponível em: <<https://www.portaldocodigo.org/pratocantins/Lei265606dezembro2012-TO.pdf>>. Acesso em: maio/2022.

_____. Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins – Síntese da Compartimentação da Paisagem. Secretaria do Planejamento e Orçamento do Governo do Estado do Tocantins. Palmas, 2017b. Disponível em: <<https://zee.seplan.to.gov.br/produtos-zee-to/>>. Acesso em: outubro/2022.

_____. Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins – Diagnóstico do Meio Natural. Secretaria do Planejamento e Orçamento do Governo do Estado do Tocantins. Palmas, 2017c. Disponível em: <<https://zee.seplan.to.gov.br/produtos-zee-to/>>. Acesso em: outubro/2022.

_____. Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins – Diagnóstico do Meio Antrópico. Secretaria do Planejamento e Orçamento do Governo do Estado do Tocantins. Palmas, 2017d. Disponível em: <<https://zee.seplan.to.gov.br/produtos-zee-to/>>. Acesso em: outubro/2022.

_____. Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins – Prognóstico Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins. Secretaria do Planejamento e Orçamento do Governo do Estado do Tocantins. Palmas, 2017e. Disponível em: <<https://zee.seplan.to.gov.br/produtos-zee-to/>>. Acesso em: outubro/2022.

_____. Relatório Final Tomo I – Plano de Paisagem do Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins. Secretaria do Planejamento e Orçamento do Governo do Estado do Tocantins. Palmas, 2020a. Disponível em: <<https://zee.seplan.to.gov.br/produtos-zee-to/>>. Acesso em: outubro/2022.

UNESCO. Portal to Astronomy and World Heritage Thematic Initiative. Disponível no site oficial, em: <<https://www3.astronomicalheritage.net/index.php/astronomy-and-world-heritage-initiative>>. Acesso em: dezembro/2022.

_____. How to became a Geopark. Disponível no site oficial, em: <<https://en.unesco.org/global-geoparks/how-to-become-geopark>>. Acesso em: dezembro/2022.

_____. 2022's new designated Geoparks. Disponível no site oficial, em: <<https://www.unesco.org/en/articles/unesco-designates-8-new-global-geo-parks>>. Acesso em: dezembro/2022.

USNO. **Discovery of the Asteroids**. Original de 2010. Disponível como *WebCitation*, do site da *U.S. Naval Meteorology and Oceanography Command*, em: <<https://www.webcitation.org/5msUtFmJu?url=http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/minorplanets.php>>. Acesso em: dezembro/2020.

VASCONCELOS, M.A. et al. **Microscopic Impact Features in the Central Uplift of Serra da Cangalha**. Resumo impresso nos anais do Congresso “Nördlingen 2010: The Ries Crater, the Moon, and the Future of Human Space Exploration”, organizado pelo Lunar and Planetary Institute em Nördlingen, Alemanha, em junho de 2010.

VASCONCELOS, M.A. et al. **Insights into the morphology of the Serra da Cangalha impact structure from geophysical modeling**. In: Meteoritics and Planetary Science. Vol. 47 n.º 10, pgs 1659-1670. 2012.

VASCONCELOS, M.A. **Estudo Geofísico de quatro prováveis estruturas de impacto localizadas na Bacia do Parnaíba e detalhamento geológico/geofísico da estrutura de Serra da Cangalha/TO**. Tese de Doutorado, Unicamp. 2012.

VASCONCELOS, M.A.; LEITE, E.P.; CRÓSTA, A.P. **Contributions of gamma-ray spectrometry to terrestrial impact crater studies: The example of Serra da Cangalha, northeastern Brazil**. In: Geophysical Research Letters, Vol.39, pgs 1-7. 2012.

VASCONCELOS et al. **The Serra da Cangalha impact structure, Brazil: Geological, stratigraphic and petrographic aspects of a recently confirmed impact structure**. In: Journal of South American Earth Sciences. Vol. 45, pgs 316-330. 2013.

VAZ, P. T. et al. **Bacia do Parnaíba**. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v.15, n.º 2, p.253-263. 2007.

VITTE, A.C. **A Ciência Humboldtiana e a Geografia Física**. Mercator, Fortaleza, Vol. 10, n.º 23, pgs. 71-82. Edição set./dez. 2011.

_____. **A Physische Geographie de Immanuel Kant: descrição, história da natureza**. Terr@Plural, Ponta Grossa, Vol.10, n.º 2, pgs. 285-299, Edição jul/dez. 2016.

WEBERLY. **Domo de Araguainha**: um marco na história da vida na Terra. Artigo em site oficial da Prefeitura de Araguainha. Disponível em:<<https://www.araguainha.mt.gov.br/index.php/navegacao/domo-de-araguainha>>. Acesso em: dezembro/2022.

WEISSTEIN, E. **Apollo Asteroid**. Wolfram Research, 2013. Disponível em: <<https://scienceworld.wolfram.com/astronomy/ApolloAsteroid.html>>. Acesso em: outubro/2022.

WULF, A. **A Invenção da Natureza**: A vida e as descobertas de Alexander Von Humboldt. São Paulo: Planeta, 2016.

WÜNNEMANN, K.; COLLINS, G.S.; MELOSH, H.J. **A strain-based porosity model for use in hydrocode simulations of impacts and**

implications for transient crater growth in porous targets. In: Icarus. Vol. 180, n.º 2, pgs. 514-527. 2005.

ZAFEIROPOULOS et al. **From Geoheritage to Geoeducation, Geoethics and Geotourism: A Critical Evaluation of the Greek Region.** In: Geosciences, Vol.11, n.º 9. Pg. 381. 2021.

ZHOU, F.; RAMESH, K.T.; MOLINARI, J.-F. **A cohesive model based fragmentation analysis:** effects of strain rate and initial defects distribution, In: International Journal of Solids and Structures. Vol 42, n.º 18, pgs 5181-5207. 2005.

ZIELINSKA-DABKOWSKA, K.; XAVIA, K.; BOBKOWSKA, K. **Assessment of Citizens Actions against Light Pollution with Guidelines for Future Initiatives.** In: Sustainability, Vol. 12. 2020.

ZOUROS, N. **The European Geoparks Network:** Geological heritage protection and local development. In: Episodes – Journal of International Geoscience (IUGS), Volume 27, n.º 3, pgs 165-171. Edição de setembro/2004.

_____. **Geoparks:** Celebrating Earth Heritage, sustaining local communities. In: Episodes – Journal of International Geoscience (IUGS), Volume 28, n.º 4, pgs. 274 – 278. Edição de dezembro/2005.

Apêndice

Produto fotográfico realizado durante o trabalho de campo para esta tese no Astroblema da Serra da Cangalha e arredores. Todas as fotos de autoria de Alexandre Baliú Brautigam.



Figura 1 – Fotografia realizada ao nível do solo no acostamento da TO-226, entre a sede do Município de Campos Lindos e a Serra da Cangalha, retratando a paisagem de cerrado circundante ao astroblema ao por do sol. Fonte: Alexandre Brautigam (2019)



Figura 2 – Fotografia aérea realizada por drone, orientada sentido Campos Lindos – Serra da Cangalha. A direita, a rodovia de mão dupla asfaltada TO-266 em bom estado de conservação; a esquerda, os baixos platôs de topo aplainado e vegetação nativa – aqui sem ocupação antrópica – que circundam o astroblema da Serra da Cangalha. Fonte: Alexandre Brautigam (2019)



Figura 3 – Fotografia aérea realizada por drone. Destaque para a ocupação rural de pastagem e em background, os baixos platôs que circundam o astroblema. Fonte: Alexandre Brautigam (2019)

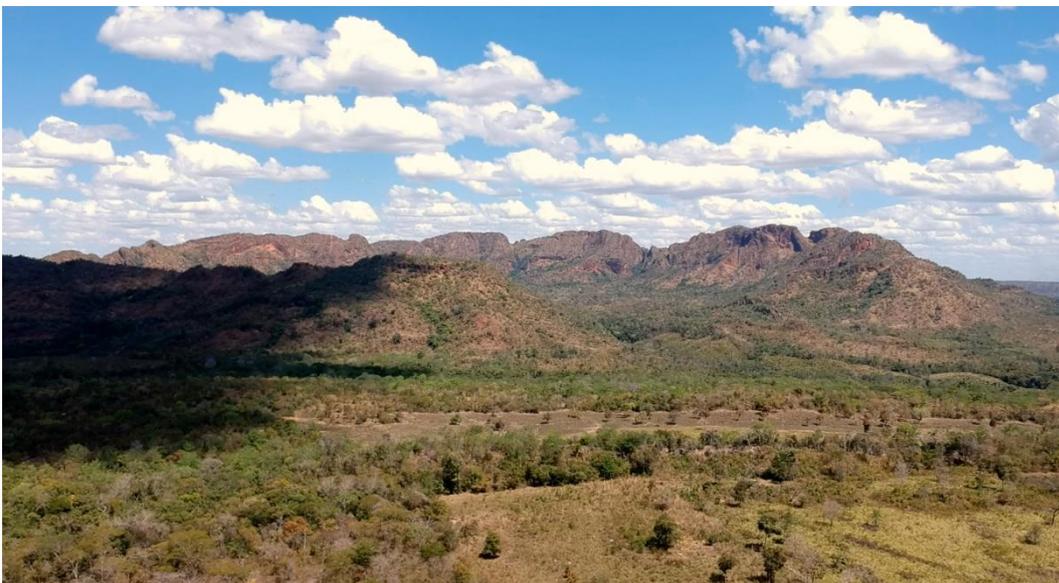


Figura 4 – Fotografia aérea realizada por drone. Observa-se a Serra da Cangalha em seu formato de colar crateriforme. Destaque para a abertura do colar, situado a NNW por onde escoam a drenagem de toda a captura superficial das precipitações que desaguam na parte interna da serra e sua depressão central através da sub-bacia do rio da Solta. Observa-se também a ocupação rural no entorno da serra. Fonte: Alexandre Brautigam (2019)



Figura 5 – Fotografia aérea realizada por drone. Observa-se a rodovia não-asfaltada TO-428, que corta lateralmente (pelo seu flanco leste) a planície anelar do astroblema direção norte-sul indetectável a partir da porção esquerda inferior desta imagem. Fonte: Alexandre Brautigam (2019)



Figura 6 – Fotografia realizada ao nível do solo. Observa-se o flanco oeste da Serra da Cangalha, de dentro da planície anelar, fora das remanescências do núcleo soerguido. Observa-se a preservação do cerrado circundante e o característico formato de sela da Serra da Cangalha quando vista de fora da estrutura crateriforme. Fonte: Alexandre Brautigam (2019)



Figura 7 – Fotografia aérea realizada com drone a partir do divisor de drenagem da Serra da Cangalha. Observa-se a parede leste interna da estrutura crateriforme e a mata fechada de cerrado no interior da depressão central do astroblema. Observa-se também, ao fundo, os baixos platôs que perfazem a parte da borda externa leste do astroblema. Fonte: Alexandre Brautigam (2019)



Figura 8 – Fotografia aérea realizada com drone, a partir da depressão central. Observa-se em primeiro plano uma distribuição florestal de alta densidade sem clareiras ou qualquer outro sinal de ocupação antrópica na depressão central. Em segundo plano, observa-se a parede interna do flanco E-SE da Serra da Cangalha. Fonte: Alexandre Brautigam (2019)

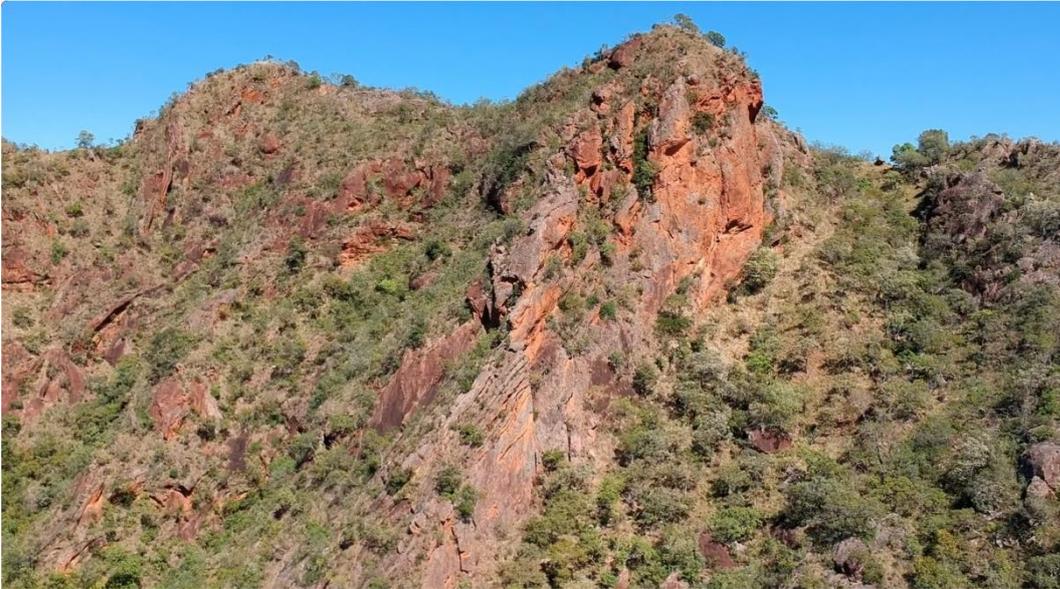


Figura 9 – Fotografia aérea realizada com drone. Destaque para estrutura denudada da parede interna da Serra da Cangalha em seu flanco S-SW apresentando dobras em escala decamétrica. Fonte: Alexandre Brautigam (2019)

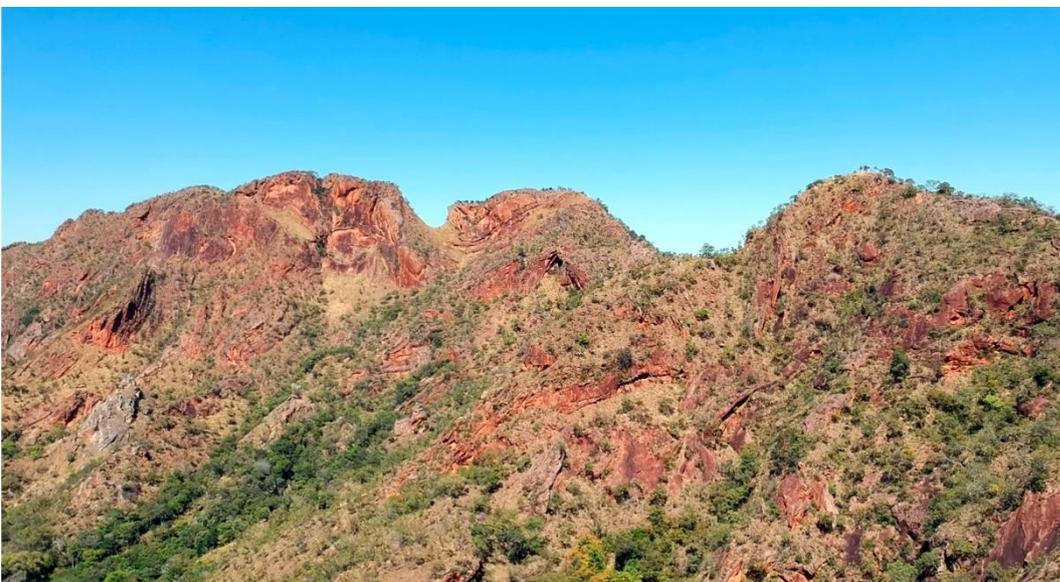


Figura 10 – Fotografia aérea realizada com drone. Destaque para estrutura denudada da parede interna da Serra da Cangalha em seu flanco sul apresentando dobras em escala decamétrica. Fonte: Alexandre Brautigam (2019)



Figura 11 – Fotografia aérea realizada com drone. Destaque para estrutura denudada da parede interna da Serra da Cangalha em seu flanco S-SW apresentando dobras em escala decamétrica. Fonte: Alexandre Brautigam (2019)



Figura 12 – Fotografia realizada ao nível do solo na TO-266 entre a sede administrativa de Campos Lindos e a Serra da Cangalha. Paisagem de cerrado ao pôr-do-sol. Fonte: Alexandre Brautigam (2019)



Figura 13 – Exemplo de astrofotografia possível de ser feita nos domínios do Astroblema da Serra da Cangalha. Mosaico de seis fotografias em sequência de um céu Bortle 2. Observa-se a Via Láctea, região central de nossa galáxia densamente povoada de estrelas - atravessando horizontalmente a fotografia da esquerda para a direita. Observa-se também o planeta Júpiter, que por seu brilho intenso acaba produzindo um ponto mais avolumado de luz branca na fotografia. Fonte: Alexandre Brautigam (2019)