



ESPELEO GRUPO DE BRASÍLIA – EGB

Fundado em 1977

MAPEAMENTO TRIDIMENSIONAL DE CAVERNAS COM CAVEATRON NA ESPELEOLOGIA BRASILEIRA

RELATÓRIO FINAL

Projeto financiado pela SOCIEDADE BRASILEIRA DE
ESPELEOLOGIA – SBE através do EDITAL 01/2020 -
FORTALECIMENTO DOS GRUPOS DE
ESPELEOLOGIA NO BRASIL.

Brasília DF

17 de abril de 2022



Espelelo Grupo de Brasília - EGB.

Mapeamento tridimensional de cavernas com Caveatron na espeleologia brasileira.
Relatório final, 2022.

1. Meio Ambiente 2. Espeleologia I. Relatório Técnico

CDU 551.44



Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE

CNPJ: 52.168.481/0001-42

Avenida Dr. Heitor Penteado, sem número

Portão 2 (frente 1.655) Parque Taquaral

Campinas/SP

Fone/Fax: (19) 3296.5421

secretaria@cavernas.org.br www.cavernas.org.br



Espelelo Grupo de Brasília - EGB

CNPJ: 03.495.223/0001-65

Setor SRPN, Centro Esportivo Presidente Medici

Complexo Aquático Cláudio Coutinho, Sala BA-06 -

Bairro: ASA NORTE - Brasília – DF - CEP: 70070-707

contato@egb.org.br www.egb.org.br



PREÂMBULO

Este documento constitui o relatório final da execução do projeto “Mapeamento tridimensional de cavernas com Caveatron na espeleologia brasileira”, financiado a “fundo perdido” pela Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), dentro da ação “Fortalecimento dos Grupos de Espeleologia no Brasil, executado pelo Espeleo Grupo de Brasília (EGB) no período de outubro de 2020 a abril de 2022.

O objetivo geral do projeto mirou montar e colocar em funcionamento nos trabalhos topográficos do EGB o sistema integrado 2D e 3D de topografia de cavernas denominado Caveatron, em sua Revisão B, disponibilizando a experiência adquirida aos demais grupos espeleológicos.

Os recursos oriundos do Edital SBE nº 01/2020 foram aplicados na compra dos componentes e insumos necessários e na contratação de serviços especializados, somando à expertise e dedicação dos sócios do EGB ao projeto.

Todas as horas de trabalho, bem como os dados primários, fotografias, imagens, infográficos e ilustrações deste relatório foram adquiridas e/ou elaboradas em esforço compartilhado entre os membros Grupo de Trabalho do Projeto Caveatron e foram integralmente cedidas ao EGB, para uso no projeto e na proteção do patrimônio espeleológico.

O EGB dedica este projeto a seu sócio Kleber Ramos Alves, falecido aos 58 anos, na madrugada de 27/06/2021, em decorrência de complicações da COVID-19.



SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	5
2.	GRUPO DE TRABALHO	6
2.1.	Ambientes de interação	6
3.	AVALIAÇÃO QUANTO AOS OBJETIVOS PROPOSTOS	7
4.	AVALIAÇÃO QUANTO AO DESENVOLVIMENTO PROPOSTO	11
5.	OBSERVAÇÕES AO CRONOGRAMA	13
5.1.	Período de suspensão da execução	13
5.2.	Adequação das atividades	14
5.3.	Cronograma executado.....	15
6.	ATIVIDADES EXECUTADAS	16
6.1.	Aquisição dos componentes e insumos	16
6.2.	Estudo, montagem e calibração	20
6.2.1.	Estudo dos materiais de referência	21
6.2.2.	Montagem do sistema e teste de componentes	23
6.2.3.	Configuração e calibração dos sensores.....	30
6.3.	Traduções dos materiais de referência	33
6.4.	Campo	34
6.5.	Pós processamento	38
6.6.	Divulgação	43
6.7.	Apresentação no 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia	44
6.8.	Participação de reuniões e acompanhamento da SBE.....	45
7.	CONCLUSÕES	46
8.	REFERÊNCIAS	47



1. INTRODUÇÃO

Em 05/06/2020 a Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE) abriu para a comunidade espeleol6gica o Edital n° 01/2020, visando o fortalecimento dos Grupos Espeleol6gicos do Brasil. Os Grupos foram, assim, convidados a “apresentarem propostas para obtenção de apoio financeiro para o desenvolvimento de projetos” espeleol6gicos, em conformidade com o referido Edital.

A SBE dimensionou o apoio a at6 sete entidades, com o valor m6ximo unit6rio de R\$ 5.000,00, voltados ao desenvolvimento de projetos para “a prospecção, cadastro, exploraç6o e/ou mapeamento de cavernas em 6reas do territ6rio brasileiro em qualquer estado, bioma ou litologia, fortalecendo a atividade espeleol6gica e estimulando a ampliaç6o do conhecimento do patrim6nio espeleol6gico e sua proteç6o”. [grifo nosso]

Vislumbrando a pertin6ncia da iniciativa, sua oportunidade e tendo conhecimento das experi6ncias internacionais para a inovaç6o na topografia espeleol6gica, o EGB constituiu uma comiss6o de s6cios para elaboraç6o e proposiç6o de projeto a concorrer dentro do Edital SBE n° 01/20202, estruturando, na forma do Edital, a estrat6gia de construç6o do equipamento de mapeamento tridimensional Caveatron pelo corpo de s6cios do EGB, no contexto de fortalecer a espeleologia nacional pela experimentaç6o da montagem e compartilhamento da experi6ncia adquirida.

Nasce o projeto de pesquisa intitulado “Mapeamento tridimensional de cavernas com Caveatron na espeleologia brasileira”, contemplando os objetivos de alcance e crit6rios de pontuaç6o estabelecidos no Edital, principalmente quanto a sua pertin6ncia no mapeamento de cavernas, no fortalecimento da atividade espeleol6gica e na inovaç6o, buscando estimular a aquisiç6o de novas t6cnicas na pr6tica espeleol6gica e a conseqüente ampliaç6o do conhecimento do patrim6nio espeleol6gico.

O projeto foi ratificado pelo pleno do EGB, para submiss6o 6 SBE, em 30/06/2020. Em 15/09/2020, ap6s a an6lise de 12 candidaturas, a SBE divulgou sua aprovaç6o no Edital n° 01/2020, culminando na assinatura do Termo de Cooperaç6o entre as entidades em 05/10/2020, marcando o in6cio da execuç6o.

2. GRUPO DE TRABALHO

Inicialmente, uma comiss6o de elabora76o da propositura do EGB ao Edital n6 01/2022, foi formada pelos s6cios Edvard Dias Magalh6es, Rodrigo Severo, Bernardo Menegale Bianchetti e Adolpho Milhomem Janu6rio, sendo o s6cio Edvard indicado para a SBE como coordenador do projeto (Of6cio n6 02/2020/EGB de 13/08/2020). Esta comiss6o ficou ativa at6 a divulga76o pela SBE, em 15/09/2020, dos projetos selecionados para o referido apoio, entre eles a proposta do EGB.

Com a aprova76o, o EGB instituiu em 16/09/2020 um Grupo de Trabalho voltado 6 execu76o do projeto, inicialmente composto por 11 s6cios, sendo selecionado o ambiente do aplicativo de comunica76o WhatsApp como f6rum principal das discuss6es.



Sem prazo definido para encerramento de seus trabalhos, o grupo conta atualmente com 18 participantes (inclusive um s6cio do Grupo Espeleol6gico da Geologia da UnB (GREGEO-UnB):

Participante	
Adolpho Milhomem Janu6rio	Fabio Hideki Ono
Andr6 Cunha de Souza	Gabriel Costa Longa Chianelli Seraphin
Bernardo Menegale Bianchetti	Guilherme Villanova (Gregeo-UnB)
Carlos Roberto Aquino Caetano	Kariel Alexander Coelho de Ara6jo
Daniel Bruno Biagioni	Let6cia Lemos de Moraes
Edvard Dias Magalh6es (Coordenador)	Newton Castilho Lavoyer
Euler Paiva de Moraes	Nicolas Rodrigues de Oliveira
Fabiana Ganen	Paulo Henrique Ara6jo Dias
	Rafael Henrique Grudka Barroso
	Rodrigo Severo

2.1. Ambientes de intera76o

As atividades do Grupo de Trabalho s6o organizadas majoritariamente dentro do f6rum de discuss6o no aplicativo WhatsApp (Figura 1), onde se mesclam todos os assuntos pertinentes 6 aprendizagem e ao uso do Caveatron.

Complementarmente, o Grupo de Trabalho optou por utilizar o ambiente de armazenamento de arquivos atrav6s de um 'drive compartilhado' a partir do Google Drive institucional do EGB (Figura 2) para disponibiliza76o aos participantes dos conte6dos concernente 6 pesquisa e dos documentos em elabora76o.

Notadamente, encontram-se agrupados os arquivos textuais destinados às traduções, os artigos de referência conceitual, os dados de campo, e a cópia dos arquivos base do projeto internacional de montagem do Caveatron.

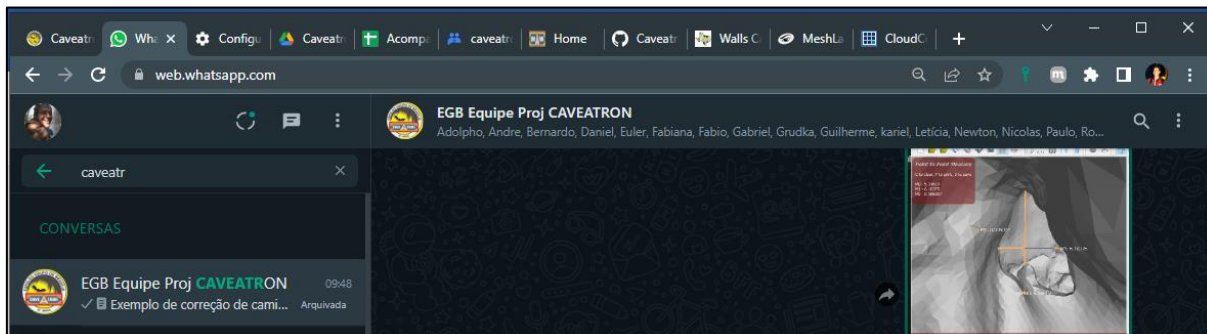


Figura 1 – Página específica do Grupo de Trabalho, interno ao EGB, para desenvolvimento do Projeto Caveatron. O GT utiliza o programa de comunicação em tempo real WhatsApp, possível de ser acessado por contas particulares autorizadas, através do telefone celular ou navegador WEB. Fonte: EGB, 2022.

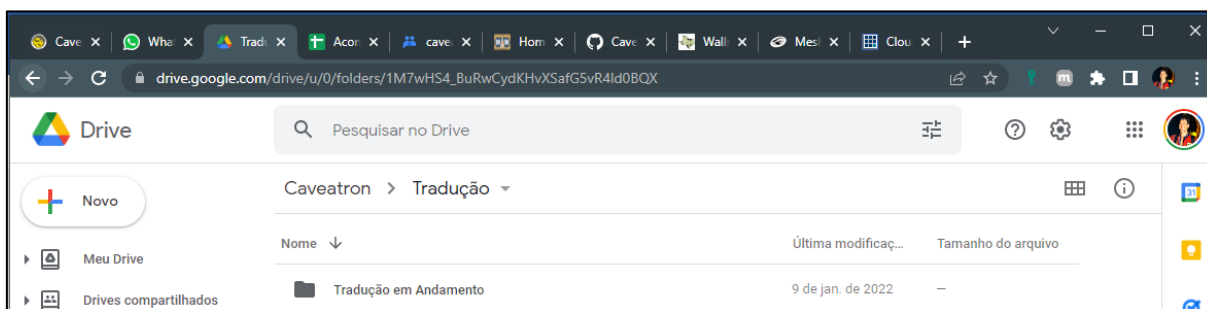


Figura 2 – Repositório de informações específico para os participantes do GT Caveatron, armazenado remotamente na nuvem de dados em 'drive compartilhado' a partir do Google Drive institucional do EGB. Fonte: EGB, 2022.

3. AVALIAÇÃO QUANTO AOS OBJETIVOS PROPOSTOS

O projeto propôs um Objetivo Geral e, complementarmente, dez Objetivos Específicos, dotados de diferentes graus de sensibilidade e interrelação com seu cerne, servindo de balizadores de metas desejáveis.

Avalia-se como integralmente alcançado o objetivo geral, que segue documentado no corpo deste relatório. É o Objetivo Geral proposto:

Montar e colocar em funcionamento nos trabalhos topográficos do EGB o sistema integrado 2D e 3D de topografia de cavernas denominado Caveatron, em sua Revisão B, disponibilizando a experiência adquirida aos demais grupos espeleológicos.



A avaliação dos Objetivos Específicos os situa em diferentes níveis de atingimento, sendo: realização integral; realização parcial ou como cancelados. Os cancelamentos ocorreram em consequência direta da desmobilização temporária do Grupo de Trabalho em função das restrições sanitárias impostas no Brasil, questão que será melhor tratada no tópico 5 - OBSERVAÇÕES AO CRONOGRAMA.

A consecução de cada um dos Objetivos Específicos, em seus diferentes níveis, não significou óbice ao alcance do objetivo central do projeto e, de mesma forma, não prejudicou sua execução. Tais objetivos integraram transversalmente as ações do projeto e assim são tratados no decorrer do presente relatório.

São os Objetivos Específicos propostos e as respectivas avaliações do atingimento de seus propósitos:

- a) Montar e inserir no uso do EGB um exemplar do Caveatron, em sua Revisão B;

Grau de consecução: Realizado integralmente.

Observação: Um aparelho Caveatron foi integralmente montado e encontra-se operacional e em uso pelo Grupo, na fase de conhecimento de suas funcionalidades e domínio das técnicas complementares necessárias ao melhor aproveitamento dos dados adquiridos.

- b) Traduzir os principais materiais de referência do Caveatron para o português;

Grau de consecução: Realizado parcialmente.

Observação: Os principais tutoriais relacionados à montagem, configuração e uso do Caveatron foram traduzidos para o português, carecendo da conclusão da revisão final.

- c) Verificar a viabilidade de traduzir a interface do Caveatron para o português;

Grau de consecução: Realizado integralmente.

Observação: Avaliado como impertinente nesta fase de conhecimento da ferramenta Caveatron, devendo ser reavaliada quando da adoção de seu uso por mais entidades espeleológicas lusófonas.



d) Testar o uso do Caveatron na topografia do sistema espeleológico de Cabeceira D'água, no município de Nova Roma, Goiás;

Grau de consecução: Objetivo cancelado.

Observação: As limitações de deslocamento e de interrelações pessoais impostas pela realidade sanitária no Brasil ao longo dos anos de 2020 e 2021, cuidados que ainda perduram, indicaram a necessidade de cautela na realização de viagens a regiões com menor impacto pela Covid-19, de forma que o EGB optou pela suspensão total de suas atividades presenciais no período.

e) Georreferenciar, para subsidiar futuras expedições de conexão de galerias no curso principal da caverna Cabeceira D'água às dezenas de cavernas existentes em seu platô superior;

Grau de consecução: Objetivo cancelado. Interdependente com o O.E. d).

Observação: As limitações de deslocamento e de interrelações pessoais impostas pela realidade sanitária no Brasil ao longo dos anos de 2020 e 2021, cuidados que ainda perduram, indicaram a necessidade de cuidado na realização de viagens a regiões com menor impacto pela Covid-19, de forma que o EGB optou pela suspensão total de suas atividades presenciais no período.

f) Cadastrar no CNC as cavernas contidas no sistema espeleológico Cabeceira D'água, notadamente aquelas localizadas no platô superior da Serra do Forte, dentro da bacia de captação da Gruta da Cabeceira D'água;

Grau de consecução: Objetivo cancelado. Interdependente com o O.E. d).

Observação: As limitações de deslocamento e de interrelações pessoais impostas pela realidade sanitária no Brasil ao longo dos anos de 2020 e 2021, cuidados que ainda perduram, indicaram a necessidade de cuidado na realização de viagens a regiões com menor impacto pela Covid-19, de forma que o EGB optou pela suspensão total de suas atividades presenciais no período.

g) Topografar, com uso do Caveatron e da Disto X, o maior número possível das cavernas existentes no sistema Cabeceira D'água;

Grau de consecução: Objetivo cancelado. Interdependente com o O.E. d).

Observação: As limitações de deslocamento e de interrelações pessoais impostas pela realidade sanitária no Brasil ao longo dos anos de 2020 e 2021,



cuidados que ainda perduram, indicaram a necessidade de cuidado na realização de viagens a regiões com menor impacto pela Covid-19, de forma que o EGB optou pela suspensão total de suas atividades presenciais no período.

h) Gerar mapas 3D por escaneamento laser, conforme características do levantamento com a tecnologia Caveatron;

Grau de consecução: Realizado parcialmente. Em andamento.

Observação: O uso em caverna do Caveatron só ocorreu recentemente, em 08/04/2020 e foi realizado na Gruta Volks Clube (CNC DF-007). O EGB iniciou a retomada de suas atividades presenciais em março deste ano. Os dados adquiridos no campo encontram-se em fase inicial de pós processamento pelo GT Caveatron para entendimento dos procedimentos necessários e dos produtos possíveis de serem gerados.

i) Apresentar no 36º CBE e 37º CBE os resultados parcial e final do projeto, respectivamente, discutindo a pertinência do uso do sistema Caveatron;

Grau de consecução: Realizado integralmente.

Observação: O EGB teve aprovada a apresentação oral, no 36 CBE, do trabalho intitulado “O uso do Caveatron na topografia 3D de cavernas na espeleologia do Brasil”, que ocorrerá no dia 22/04/2022, às 10h, no auditório Planalto. Esperamos apresentar, quando do 37 CBE, os futuros resultados alcançados com a implementação do uso desta ferramenta.

j) Apresentar informes do andamento dos trabalhos em seminários regionais de espeleologia ou meios virtuais de divulgação.

Grau de consecução: Realizado integralmente.

Observação: Os trabalhos do EGB no projeto Caveatron foram objeto de apresentação virtual, em tempo real, para toda a comunidade espeleológica quando da “live” promovida pela SBE para mostra dos projetos selecionados no Edital SBE nº 01/2020, realizada em 18/11/2020. Não houveram seminários ou eventos espeleológicos no período, onde fosse pertinente a apresentação do projeto.

4. AVALIAÇÃO QUANTO AO DESENVOLVIMENTO PROPOSTO

O plano de trabalho apresentado pelo EGB para o projeto Caveatron listou 28 atividades necessárias à consecução dos objetivos postos. Como rol não taxativo e não cronológico, a relação de ações buscou vincula-las organicamente, sugerindo seu provável fluxo, que segue esquematizado no infográfico da Figura 4.

Este fluxo demonstrou-se acertado, concatenando ações em eixos distintos, mas complementares e confluentes (Figura 3), permitindo que diferentes pessoas se dedicassem a uma ou mais atividades, não deixando de acompanhar o andamento geral do projeto. Avalia-se que as atividades previstas foram, em sua maioria, necessárias ao alcance do objetivo proposto, demonstrando a pertinência da proposição.

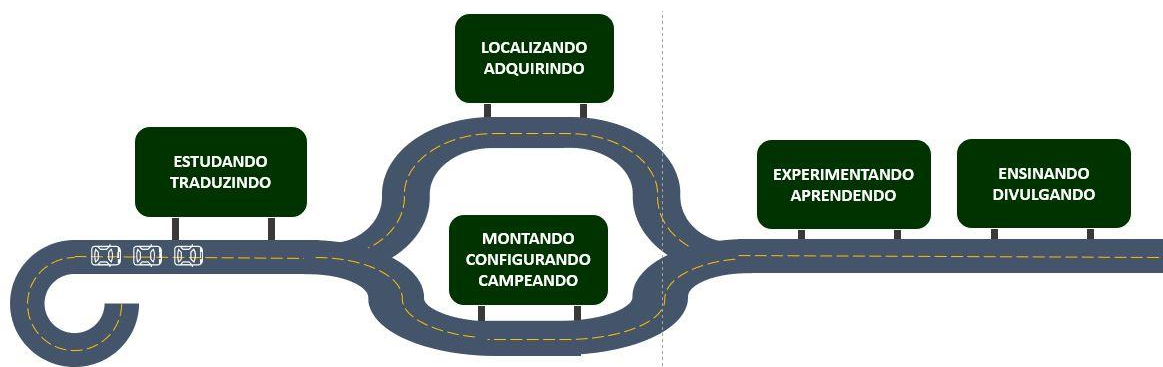


Figura 3 – Principais eixos de atividades encampados pelo projeto. Fonte: EGB, 2022.

A realização do projeto e a descentralização de suas atividades esbarrou nas dificuldades causadas pela desmobilização gerada pela suspensão das atividades presenciais do EGB em função dos cuidados sanitários necessários, conforme será detalhado no tópico 5 - OBSERVAÇÕES AO CRONOGRAMA.

O descompasso resultou no escasseamento dentro do Grupo de Trabalho das discussões sobre o projeto e na perda de foco de vários associados, significando o mal aproveitamento do prazo de execução (que teve tacitamente seu “dilatamento por prazo indeterminado”), suprimindo a sensação de urgência na conclusão do projeto e prejudicando a aprendizagem decorrente das oficinas de montagem e calibragem, estas limitadas a poucas pessoas, geralmente dois por vez e com pouca alternância.



Figura 4 – Fluxo de atividades previstas no projeto Caveatron. Fonte: EGB, 2022.



5. OBSERVAÇÕES AO CRONOGRAMA

O projeto Caveatron foi dimensionado para realização em 12 meses, efetivamente iniciado em 05/10/2020, ocasião da assinatura do Termo de Cooperação entre SBE e EGB.

As compras de componentes se concentraram no período de 15/10/2020 a 19/11/2020, embora tenha se estendido até recentemente, com aquisições pontuais de insumos e componentes para substituição de itens, necessários à conclusão da montagem.

Extraordinariamente, o cronograma do projeto foi descontinuado forçadamente a partir de março de 2021 quando o advento da emergência sanitária mundial, estabelecida pela pandemia de SARS-COV-2 (COVID-19), se encrudesceu no Brasil, com o efeito prático da interrupção total das atividades presenciais, ora por atos oficiais e ora por entendimento de grupos sociais específicos.

A disparidade de medidas sanitárias levadas (ou não) a cabo nas várias esferas dos poderes executivos brasileiros resultou em desastrosas consequências, com exorbitante perda de vidas e recursos materiais, contexto que também influenciou as atividades do EGB.

5.1. *Período de suspensão da execução*

O Espelelo Grupo de Brasília suspendeu suas atividades em 30/03/21, perdurando até 14/09 do mesmo ano, quando aprovou o retorno controlado de treinos, cursos e saídas presenciais, contudo sem regularidade.

No período de interrupção foram realizadas modestas ações virtuais, e houve o relaxamento o rigor na observação de qualquer prazo de entregas ora existentes, justamente pela falta de previsão, à época, de quando a normalidade das atividades poderia ser retomada sem negligenciar o contexto de pandemia.

Em outubro de 2021, mês em que o EGB festeja 44 anos de atividades, o Grupo de Trabalho do Caveatron começou a se reorganizar para a efetiva montagem do equipamento, realizando atividades, em sua maioria, individuais. Nesse contexto, realizou menos de uma dezena de oficinas de montagem e calibração, com



participação de duplas de associados (apenas um deles com três pessoas), momento em que se conseguiu avançar na montagem.

O primeiro campo de mapeamento para o projeto Caveatron, segundo campo do EGB após a retomada das atividades presenciais, foi realizado em 08/04/2022 com a presença de 5 espeleólogos e teve por destino uma gruta próxima.

5.2. Adequação das atividades

Pelo contexto exposto, as atividades programadas no âmbito do projeto foram flexibilizadas e avaliou-se como pertinente a mudança do local do "campo de provas" dos mapeamentos para uma região mais próxima de Brasília.

Inicialmente foi selecionada uma Unidade de Conservação dentro do Distrito Federal, por reunir todos os critérios e mesma pontuação da região originalmente proposta (Cabeceira d'Água, Nova Roma, GO). O novo local, seria o Monumento Natural Espeleológico Morro da Pedreira, localizado na área rural da Região Administrativa da Fercal, distante 40km de Brasília. Essa mudança traria agilidade aos campos e viabilizaria a finalização do projeto, com a realização de múltiplos campos em pouco espaço de tempo.

Contudo, apesar dos atos oficiais de incentivo à crescente retomada das atividades comerciais, o coordenador do projeto não viu sentido em incentivar atividades presenciais no contexto pandêmico ainda existente e por uma associação sem fins lucrativos, voltada a defesa de direitos sociais e ambientais, num cenário de setenas de mortes diárias e ausência total de monitoramento de novos casos de infecção.

Desta forma, abandonou-se completamente a intenção de realização de campos intensivos no contexto do projeto. Um campo de teste do equipamento em cavernas foi realizado e segue descrito neste relatório.

Todas as demais atividades associadas a consecução do projeto foram consideradas concluídas e, por seu caráter complementar, serão aprimoradas oportunamente ao longo das atividades de rotina do EGB.



5.3. Cronograma executado

CRONOGRAMA DE ATIVIDADES																	
Atividades	ano/mês	2020			2021				2022								
		Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Período de interrupção	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	
Assinatura do Termo de Cooperação SBE/EGB									Ações individuais e assíncronas de aquisições, estudo da tecnologia e dos parâmetros eletromecânicos associados ao projeto.								
Estudo da documentação original do projeto Caveatron																	
Identificação dos fornecedores nacionais e estrangeiros																	
Identificação dos fornecedores de serviços especializados																	
Aquisição dos componentes importados para montagem																	
Seleção da documentação técnica a ser traduzida																	
Tradução da documentação técnica																	
Revisão dos projetos eletrônicos e de impressão 3D com fornecedores																	
Revisão e sistematização dos estudos nas cavernas de Nova Roma.																	
Monitoramento da aquisição dos componentes importados																	
Aquisição dos componentes existentes no mercado nacional																	
Realização da impressão 3D das peças da caixa da unidade Caveatron																	
Recesso de fim de ano das atividades do EGB																	
Montagem da unidade Caveatron (em suas várias etapas)																	
Configurações e Calibrações prévias ao uso do Caveatron																	
Teste rápido de campo																	
Expedição ao sistema Cabeceira D'água																	
Topografia em caverna (Gruta Volks Clube)																	
Sistematização das informações dos levantamentos de campo																	
Divulgação																	
Elaboração do artigo para o 36º CBE																	
Apresentação de artigo no 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia																	
Planejamento do primeiro seminário interno ao EGB de treinamento																	
Curso de topografia com introdução ao uso do Caveatron																	
Elaboração do relatório final do Projeto																	
Apresentação do relatório final de atividades																	
Apresentação do relatório final financeiro																	

Atividades executadas

Atividades canceladas

Atividades a serem programadas



6. ATIVIDADES EXECUTADAS

As principais atividades levadas a cabo para realização do projeto seguem descritas abaixo e estiveram sob responsabilidade de todo o Grupo de Trabalho, centrando a supervisão no Coordenador do projeto, Edvard Dias Magalhães, e as análises de pertinência técnica no associado Rodrigo Severo, como merecido reconhecimento, também, à dedicação e esforços dos associados Roberto Aquino Caetano, Gabriel Seraphin, Fabiana Ganem, Adolpho Milhomem, Letícia Moraes, Rafael Grudka, Guilherme Vilanova e Bernardo Bianchetti.

6.1. *Aquisição dos componentes e insumos*

Com a disponibilização pela SBE dos recursos previstos no Edital nº 01/2020, R\$ 5.000,00 (cinco mil reais), o EGB iniciou em 15/10/2020 a compra dos componentes - que consumiram 85% deste recurso - conforme relatório financeiro a ser entregue à SBE. As compras foram precedidas pelas seguintes medidas:

- a) Análise crítica dos componentes listados para a Revisão B com Caveatron, distinguindo entre aqueles disponíveis no mercado brasileiro e aqueles necessariamente a serem adquiridos em outros países;
- b) Avaliação da possibilidade de reutilização de componentes usados provenientes de outros equipamentos eletrônicos;
- c) Checagem pormenorizada dos fornecedores dos componentes a serem importados, sua disponibilidade a pronta entrega e opções de preço e tempo para remessa ao Brasil;
- d) Seleção dos componentes a serem fabricados sob encomenda, melhores fornecedores, custo e prazo de entrega;
- e) Seleção dos componentes ordinariamente encontrados no mercado brasileiro, especificações mínimas e requisitos de qualidade exigidos pelo projeto;
- f) Identificação de colaboradores no estrangeiro passíveis de auxiliar na compra e remessa para o Brasil de componentes;
- g) Pesquisa de alternativas compatíveis com o projeto Rev.B para os modelos de componentes descontinuados ou fora de estoque.

A listagem geral dos componentes necessários à Revisão B do Caveatron encontram-se em planilha pormenorizada disponibilizada no repositório do GitHub do projeto Caveatron (Figura 5 e Figura 6). Esta listagem sofre frequentes atualizações,



de modo que a relação de peças adquiridas pelo EGB neste projeto pode ser vista no arquivo EN_Caveatron Bill of Materials - Rev B - 2021-03-24.pdf disponível no endereço https://drive.google.com/file/d/143HJvGkJB_S6Q4IBPPrkTi-ld3PlzNSS/view?usp=sharing.

Complementarmente, outros arquivos especificam componentes exclusivos para uso no projeto, a exemplo do chicotes elétricos e terminais, disponível no arquivo EN_Caveatron Wire Harness Assembly - Rev B 2020-05-28.pdf, em <https://drive.google.com/file/d/1uDdpuGcZAe1nEmZqhZFhwTFkf2-p8Vbs/view?usp=sharing>; das peças a serem produzidas em polímero PETG em impressora 3D, disponível no arquivo EN_3D Printed Parts Description.pdf, em <https://drive.google.com/file/d/1OBmo80BQAps92fg18WbFFCPEea5h2s70/view?usp=sharing>, as janelas acrílicas a serem manufaturadas, especificadas no arquivo EN_LIDAR Windows Drawing v1.pdf, disponível em <https://drive.google.com/file/d/1yVxrGJ68d9tz7mTP-9oX6QwUIWORaq-w/view?usp=sharing>; e a placa de circuitos (PCB), também a ser produzida sob encomenda, especificada no arquivo EN_Caveatron RevB_2 PCB_Schematic.pdf, disponível em <https://drive.google.com/file/d/1Wt3hGw9za0ySArw7BYPrGsyDUtEQD5qj/view?usp=sharing>.

Notadamente, o projeto do EGB foi montado com a placa PCB na versão Rev.B-2, contudo recomendamos que novas montagens utilizem a versão Rev.B-3 ou posterior, já que esta facilitou substancialmente a montagem.

Os principais componentes que caracterizam a construção do EGB são:

- Processador Teensy 3.6, with headers;
- Módulo Slamtec RPLIDAR A1M8 360 Degree 2D Laser Range Scanner Kit, 8000 Times Sample Rate and 12 Meters;
- Monitor resistivo BuyDisplay, LCD 3.5" 320x480 TFT, OPTL, Touch Screen w/Breakout Board, Resistive touch panel, 16-bit 8080 40-pin header, 3.3V supply e No font chip;
- Módulo gráfico NOYITO W25Q64, 64Mbit, 8Mb, Flash Memory Module DataFlash SPI Interface;
- Trena laser (LRF) Uni-T UT390B versão 2;
- Módulo IMU Pololu AltIMU-10 v3 Gyro, Accelerometer, Compass, and Altimeter LSM303D;

- Bateria recarregável Li-Ion, formato 18650, 3.7V, 5200mAh;
- Módulo de carga de bateria LiPo Sparkfun TOL-10617; e
- Cartão de memória SanDisk Ultra microSDHC 32GB.

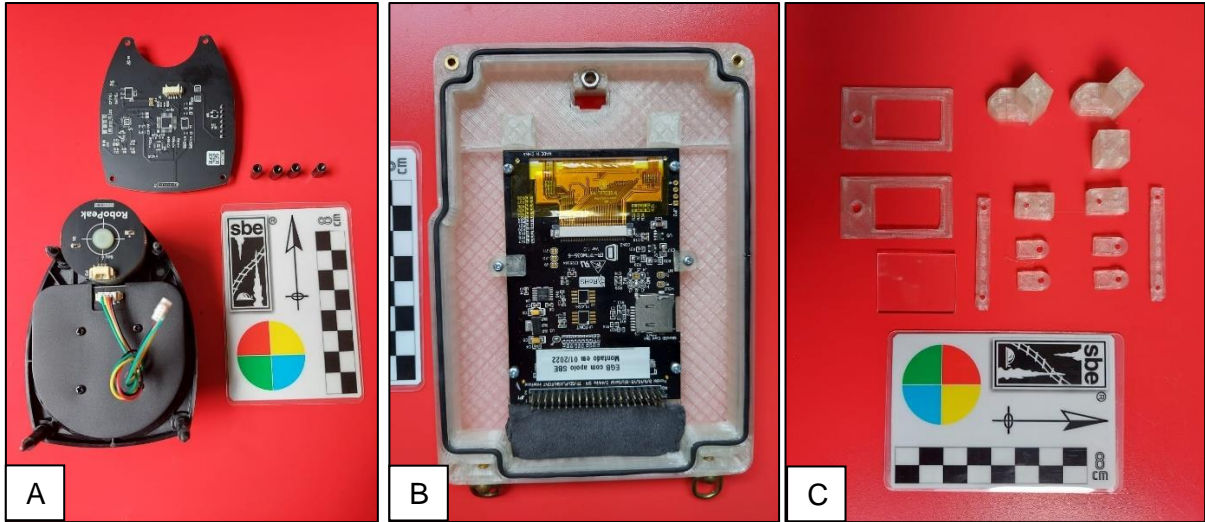


Figura 5 – Parte dos componentes do Caveatron. A) RPLidar A1M8. B) Monitor. C) Peças impressas.

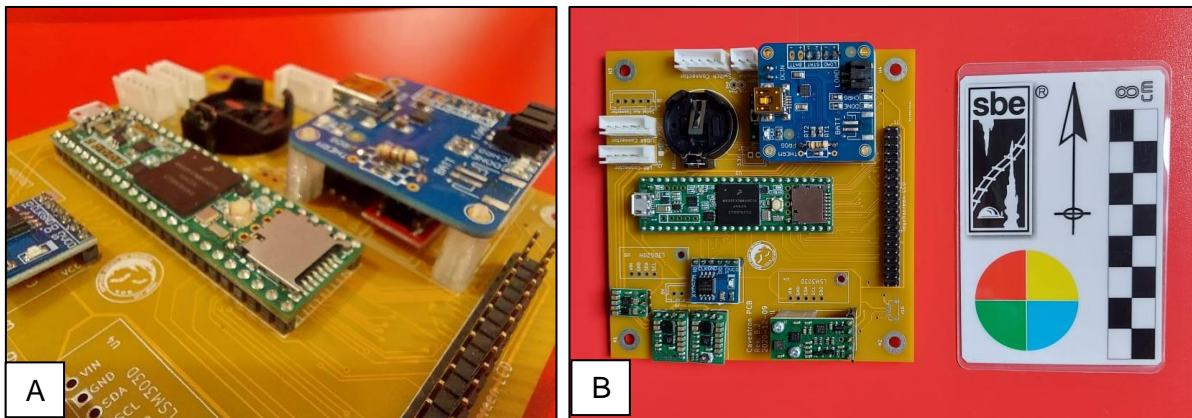


Figura 6 – A) Placa mãe com o processador Teensy 3,6 ao centro. B) Visão da placa mãe (PCB) com os principais componentes montados. Fonte: EGB, 2022.

	A	B	C	D	E	F	G	H
30	Adquirido USA	1,242.51	Pedido 11078	Seed Studio Oficial	LIDAR	1	recebido	Slamtec
31		-113.15	Devolução (226.30)					
32		236.45			Laser Rangefinder OPTION 1			
33	Adquirido CANADA	7.50	Taxa de Despacho post	Maddison Canada		1		Uni-T
34		199.83	FE204433373CA		remessa ressarcida ao Ledi, do Canadá a			

Figura 7 – Planilha de cálculos para controle da execução financeira do projeto, mantida *on line* através do serviço Google Sheets. Fonte: EGB, 2022.



As aquisições dos componentes demandaram grande parte do esforço inicial, já que vários deles são fabricados pelas próprias lojas que os comercializam e são confeccionados em baixa quantidade, ficando sem estoque por períodos não muito longos.

Avaliou-se não ser pertinente o reaproveitamento de componentes usados, considerando o pouco conhecimento à época da montagem quanto ao desempenho esperado e a influência de cada componente no funcionamento do projeto, optando pela compra de todos os itens novos e na exata especificação indicada no projeto.

Um dos itens críticos foi a trena laser Uni-T UT390B, modelo mais testado e para o qual os algoritmos do Caveatron foram escritos. Este modelo se encontra descontinuado e não pode ser confundido com o modelo UT390B+. Identificou-se estoque deste apenas no Canadá, na loja Maddison.com (<http://www.maddison.com>, christian@maddison.ca), que não remete ao Brasil. Alternativas a esta trena foram posteriormente adicionadas ao projeto, contudo a configuração montada pelo EGB requeria este modelo. O problema foi resolvido com o apoio de um ex-sócio do Gregeo-UnB que lá reside e realizou a compra e remessa ao Brasil.

Dos 42 itens adquiridos, 25 foram encontrados no exterior (23 nos EUA, 1 na China e 1 no Canadá). A maior parte dos itens entregues nos EUA foram trazidos para o Brasil através de uma apoiadora do Grupo, sendo alguns itens despachados pelo serviço de correios, fato que os encareceu substancialmente, em função do frete. O item adquirido no Canadá (a trena laser) foi enviada para o Brasil por Fedex.

A impressão 3D das peças que formam a caixa do Caveatron e as pequenas peças de apoio às placas internas, foram cotadas em lojas do ramo, a um custo acima de R\$ 1.250,00. Por fim, o EGB recebeu o apoio de um clube de robótica, que realizou a impressão gratuitamente.

Embora não seja objeto do projeto, foram adquiridos todos os componentes em dobro, pois dois sócios do EGB (Edvard e o Bernardo) decidiram por incrementar o esforço de aprendizagem e montagem do Caveatron e construir uma unidade em paralelo, rateando os valores de frete, taxas e impostos. Isso contribuiu para a diminuição do custo de compra e conferiu um melhor aproveitamento de alguns itens onde a quantidade mínima de compras era maior que a necessária para o projeto.

Oportunamente, mostrou-se fundamental a existência de componentes duplicados quando da montagem da primeira unidade, pois vários erros puderam ser resolvidos alternando componentes, o que nos permitiu descobrir, depois de muito trabalho, dois componentes defeituosos que inviabilizavam o funcionamento.

Um detalhe da compra foi que uma das placas, a Teensy 3.6, dependeu de uma comunicação de compra do lojista ao governo estadunidense, o que retardou a remessa por 3 dias para a declaração de intensão de uso da placa. Esse procedimento não teve outras culminâncias.

Após a chegada ao Brasil dos componentes adquiridos no exterior foi iniciada a aquisição dos itens disponíveis no mercado brasileiro, formando o rol de componentes necessários à montagem da unidade Caveatron (Figura 8).



Figura 8 – Rol de componentes e acessórios prontos para a montagem definitiva. Placa mãe com principais componentes com as soldas já realizadas.

6.2. Estudo, montagem e calibração

Um aspecto central do projeto Caveatron é a compreensão do universo particular da arquitetura de hardware e software envolvidos em seu desenvolvimento, bem como familiarização com as teorias que lastreiam o tratamento dos dados a serem adquiridos.

O EGB, pela diversidade de formação de seus sócios, em sua maioria pouco envolvidos em rotinas de geotecnologia, teve, desde o início, o desafio de se apropriar do conhecimento mínimo necessário à viabilização do projeto e ao efetivo uso do Caveatron com a melhor extração de resultados possíveis.

A iniciativa isolada da montagem da Revisão B do Caveatron no Brasil impôs dificuldades, pois muitos dos procedimentos de montagem e configuração foram por experimentação. Assim, para a construção do exemplar funcional do Caveatron, foi necessário: o estudo das referências disponíveis, a efetiva montagem e a calibração dos sensores embutidos.

6.2.1. Estudo dos materiais de referência

O projeto Caveatron é uma iniciativa em código aberto, capitaneada pela comunidade espeleológica do Texas (USA) sob coordenação do espeleólogo Joe Mitchell, que avalia e organiza os esforços de desenvolvimento, responsabilizando-se pelo compartilhamento de informações oficiais do projeto. Essa é a fonte da maior parte das informações necessárias à montagem.

A porta de entrada para a “comunidade do Caveatron” é a página WEB do projeto (Figura 9), que organiza e disponibiliza as primeiras informações e dá os caminhos para os entusiastas se aprofundarem no projeto. Além de informações esclarecedoras sobre esta saga, oferece os caminhos para o repositório de arquivos virtual GitHub e para o grupo de discussão Caveatron-Discuss, ambientes que centralizam as atenções de todos que atualmente montam o Caveatron em grupos espeleológicos de diferentes países.

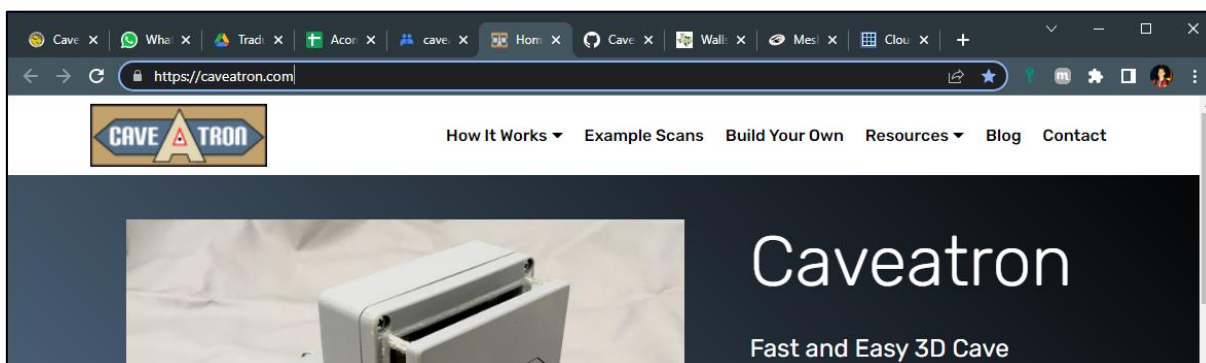


Figura 9 – Página WEB do projeto Caveatron. Endereço: <https://caveatron.com>. Fonte: EGB, 2022.

Ambiente WEB para o desenvolvimento de códigos computacionais, o Github abriga os códigos do Caveatron e os respectivos documentos do projeto, sendo o repositório para a totalidade de arquivos das várias atualizações e dos estudos e ensaios realizados (Figura 10).

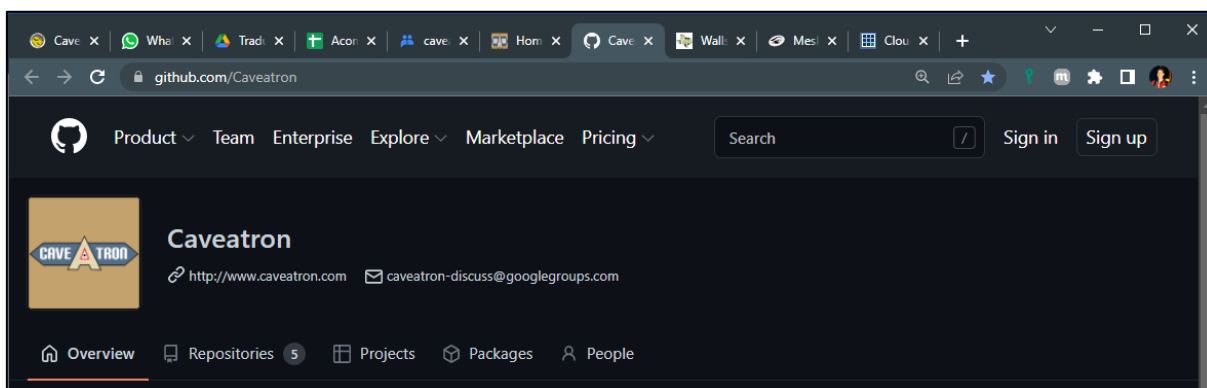


Figura 10 – Página do repositório centralizado das informações do projeto Caveatron, mantido no serviço GitHub. Endereço: <https://github.com/Caveatron>. Fonte: EGB, 2022.

O ambiente mais profícuo para esclarecimento quanto ao uso e a montagem do Caveatron é, certamente, o fórum de discussão Caveatron-Discuss, montado a partir do serviço Google Groups (Figura 11). A participação no fórum é aberta a qualquer interessado, mediante simples inscrição. Seu funcionamento se baseia no agrupamento de mensagens de e-mail sob um mesmo assunto. Todos os participantes recebem e podem responder às mensagens. Muito centrada no foco do grupo, o retorno da comunidade às diversas questões ocorre com rapidez.

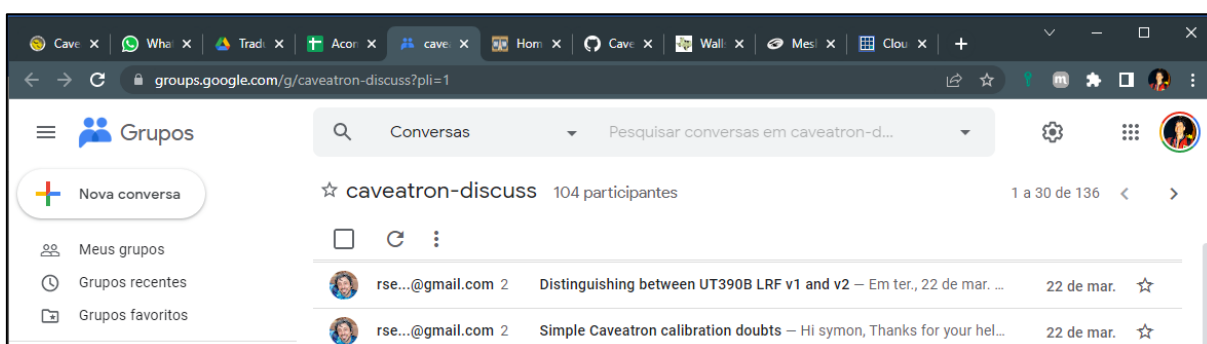


Figura 11 – Página do Grupo de Discussão do projeto internacional Caveatron, mantido no serviço Google Groups. Endereço: <https://groups.google.com/g/caveatron-discuss>. Fonte: EGB, 2022.

6.2.2. Montagem do sistema e teste de componentes

Adquiridos os componentes necessários e impressa a placa do sistema (PCB) inicia-se a montagem da unidade Caveatron, que pode ser sequenciada em alguns passos básicos:

- a) Soldagem dos componentes fixos (IMU, SPI, Teensy e terminais) na PCB;
- b) Confeção dos chicotes no LRF, Lidar, Plug, Bateria, USB e Bipe;
- c) Impressão 3D, em PETG, da caixa principal e do Lidar;
- d) Confeção das janelas acrílicas para o Lidar e LRF;
- e) Colagem e selagem das janelas acrílicas, do monitor LCD e da caixa;
- f) Fixação dos conjuntos montados nas caixas principal e do Lidar;
- g) Conexão dos cabos e início da configuração do LCD;
- h) Calibração dos sensores e carga do sistema operacional;
- i) Configurações iniciais e do usuário.

A soldagem dos componentes eletrônicos não oferece dificuldade a profissionais habituados e deve ser feita seguindo os tutoriais disponíveis no projeto. Todas as soldas são críticas, pois podem ocasionar o mal funcionamento do sistema e, como envolvem componentes pequenos, cabe cuidado para não os danificar. As soldas devem ser checadas após concluídas, para garantir que não se encontram isoladas. Essa checagem é uma das rotinas a ser empregada quando da ocorrência de insucesso no funcionamento do sistema.

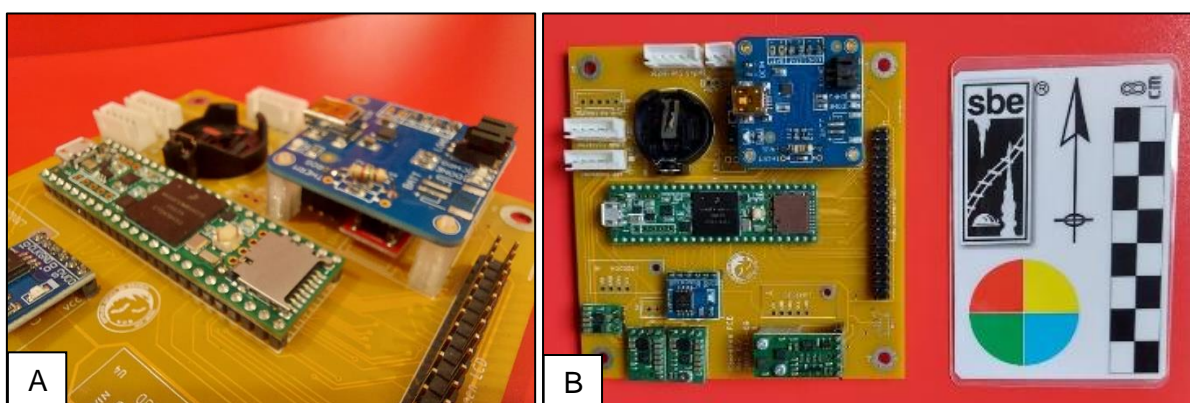


Figura 12 – A) Visão geral da PCB. B) Detalhe do processador Teensy, ao centro (verde). A placa PCB foi customizada com o logotipo do EGB. Fonte: EGB, 2022.

Outro ponto crítico da montagem é a qualidade dos chicotes de conexão entre os vários componentes e a PCB. O processador Teensy é fixo, soldado direto à PCB (Figura 12), de forma que a ausência de uma boa conexão entre os terminais e os componentes eletrônicos (Trena Laser, Lidar, Plug de partida, Bateria e Monitor) é um dos fatores mais comuns de erro (recomenda-se que a placa Teensy seja adquirida já com os pinos soldados).

Atenção redobrada deve ser dada ao esquema elétrico de cada chicote e à qualidade da soldagem nos terminais macho e fêmea. Todos os circuitos devem ser testados quando prontos (Figura 13) e quando colocados em ação.

A trena laser leva o chicote de fios soldados diretamente em sua placa, carecendo de cuidado especial ao ser desmontada para que não seja danificada (inclusive para reaproveitamento de parafusos e porcas) e nas desoldagens das conexões originais e soldagem do novo chicote.

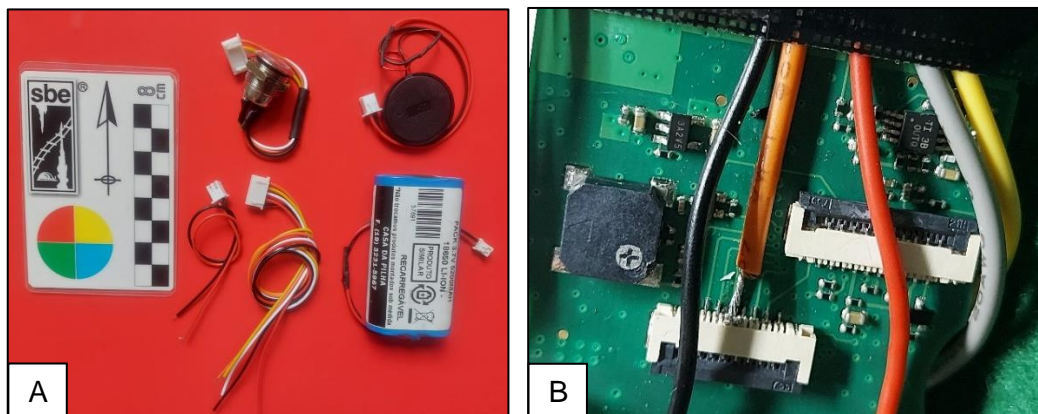


Figura 13 – Exemplos de chicotes. A) Botão de partida (on/off) com respectivo chicote. B) Detalhe de uma das soldas do chicote na placa da trena laser (LRF). Fonte: EGB, 2022.

Quanto a conexão do monitor LCD a construção do EGB possuiu uma particularidade. Por utilizar a versão 2 da PCB (Rev.B-2), versão incompatível com os cabos disponíveis no mercado, houve a necessidade de adaptações na conexão. Optamos por modificar um cabo PCI de 40 vias, invertendo forçadamente seus pares de contato e soldando-os diretamente na barra de pinos da PCB.

Um cartão plástico foi posicionado entre as duas linhas de polos de mundo a prevenir que uma eventual movimentação dos cabos ocasionasse um curto circuito,

prejudicando o funcionamento do Monitor LCD. Esta adaptação no cabo já não é mais necessária para a versão Rev.B-3.

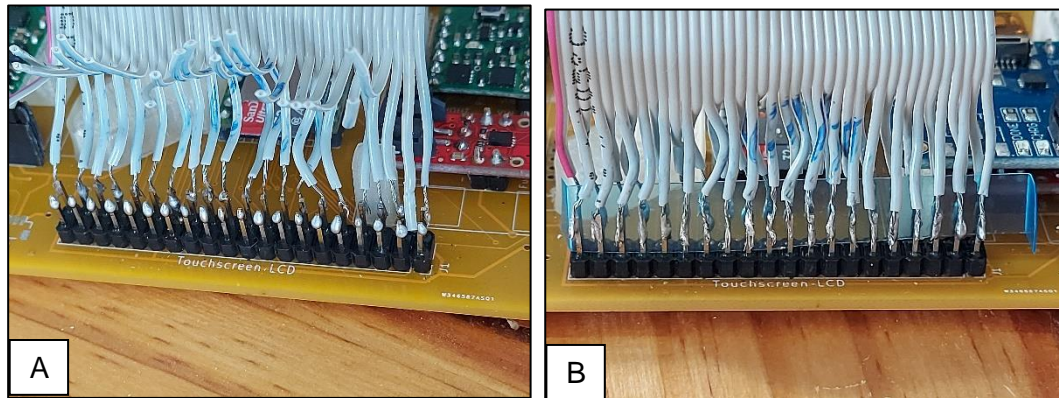


Figura 14 – A) e B) Soldagem com cabo aos terminais de conexão do LCD à PCB. Um cabo *flat* padrão teve seus pares de fios invertidos. Um cartão isolante foi colocado entre as linhas. Fonte: EGB, 2022.

Embora esteja cada vez mais comum a impressão 3D, a confecção dos consoles do Caveatron e do módulo Lidar é um dos itens mais trabalhosos e caros. O projeto de impressão inclui não só o estojo, mas também pinos e barretes que complementam a montagem, dando apoio aos componentes. A caixa possui, ainda, porcas metálicas (*insert*), de diferentes diâmetros, que são intrudidas a calor no console”. Estas porcas são difíceis de encontrar para compra em pequenas quantidades. Caso o fornecedor da impressão não as tenha, é possível reutilizar estas porcas retirando de carcaças de *notebooks* e outros eletrônicos. Para a porca do suporte do tripé (que é opcional) reaproveitamos de um suporte de *flash* fotográfico.

O projeto detalhado de impressão 3D, em polegadas (sempre verifique as escalas das peças), e as respectivas instruções de impressão possuem ótima qualidade e estão disponíveis junto às documentações do projeto. Deve-se ter atenção à versão da montagem, pois componentes fora das dimensões sugeridas podem complicar a montagem e exigir adaptações na caixa. As versões mais comuns possuem toda documentação atualizada, mas verifique isto antes da confecção. Neste projeto o EGB recebeu o apoio de um clube de robótica, que fez gratuitamente as impressões 3D necessárias (Figura 15).

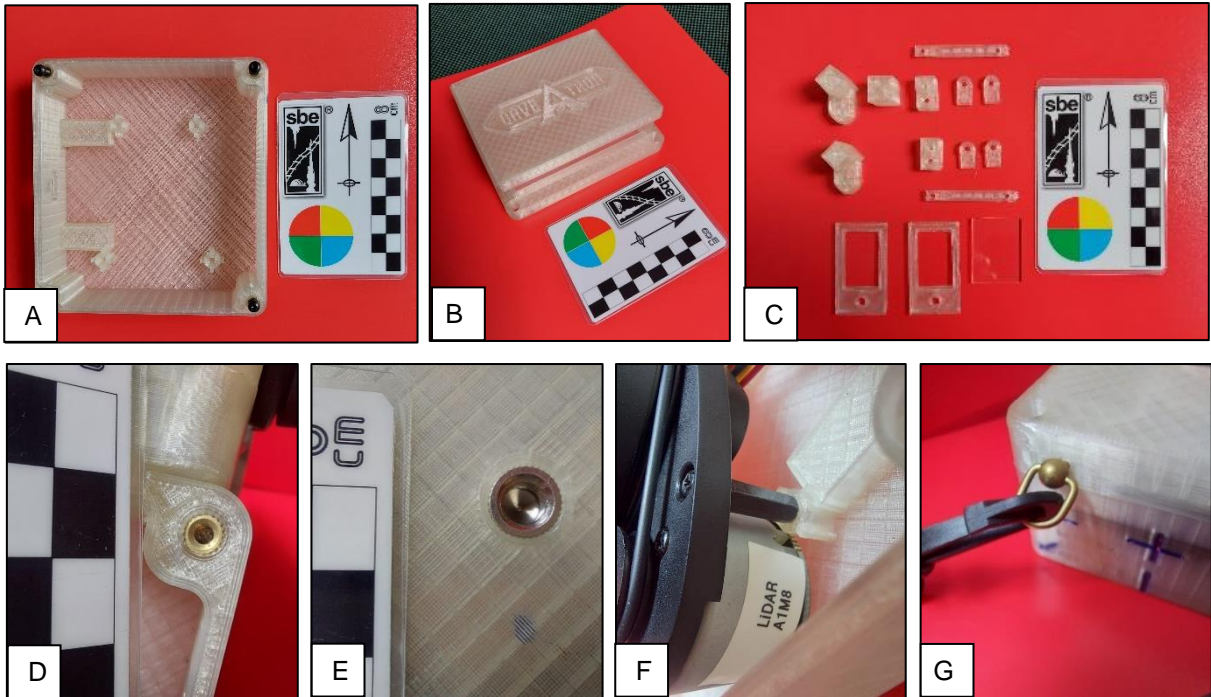


Figura 15 – A) Caixa principal do Caveatron. B) Tampa com janelas do módulo Lidar. C) Pinos e acessórios utilizados na fixação dos componentes à placa principal. D) Rosca para fixação do console. E) Rosca para tripé. F) Extensor original do Lidar, reutilizado na fixação do próprio. G) Argola para alça de pescoço, reutilizada do bussola Suunto. Fonte: EGB, 2022.

Quanto às peças em acrílico, o Caveatron possui duas diferentes janelas para emissão e leitura dos feixes laser do LRF e do Lidar, sendo que o formato e a qualidade destes itens foram objeto de análises específicas pelos desenvolvedores, devendo ser confeccionadas em acrílico conforme recomendado nos tutoriais.

Particularmente, o formato reto do acrílico das janelas do Lidar resultou nas menores distorções, tanto no desvio do sinal quanto na formação de ruídos em suas junções, sendo estas particularidades consideradas nos algoritmos de correção que fazem parte da rotina de calibração prévia do equipamento e do pós processamento das varreduras.

A confecção das janelas acrílicas para o Lidar e LRF são de fácil encomenda em lojas de manufatura em acrílico, a exemplo daquelas especializadas em brindes para eventos e/ou premiações esportivas (Figura 16).

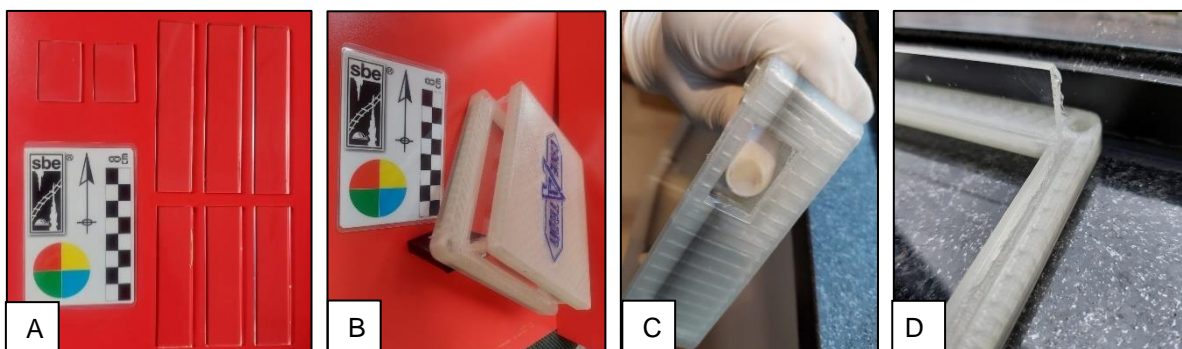


Figura 16 – Partes acrílicas. A) Tampa da caixa Lidar com respectivas janelas. B) Selagem da janela do LRF. C) e D) selagem das janelas do Lidar. Fonte: EGB, 2022.

Para garantia da estanqueidade do equipamento, alguns elementos da montagem devem ser colados e/ou selados ao console e na caixa do módulo, bem como todas as tampas devem receber anéis de vedação (*o-ring*).

Neste projeto o EGB utilizou adesivo em silicone para aquários para as fixações e selagem do monitor LCD, da janela do laser (LRF), fixação e selagem das janelas do lidar (Figura 16) e emenda dos anéis de vedação (*o-ring*) (Figura 17D). Todas as bordas de contato das peças encaixadas foram objeto da aplicação de uma segunda linha de vedante pelo lado externo, de forma a reforçar a vedação. Considerando o difícil alcance das quinas a serem vedadas, utilizou-se uma seringa de 20ml para a aplicação do silicone vedante (Figura 17). Todo o processo consumiu, aproximadamente, 15ml de silicone.

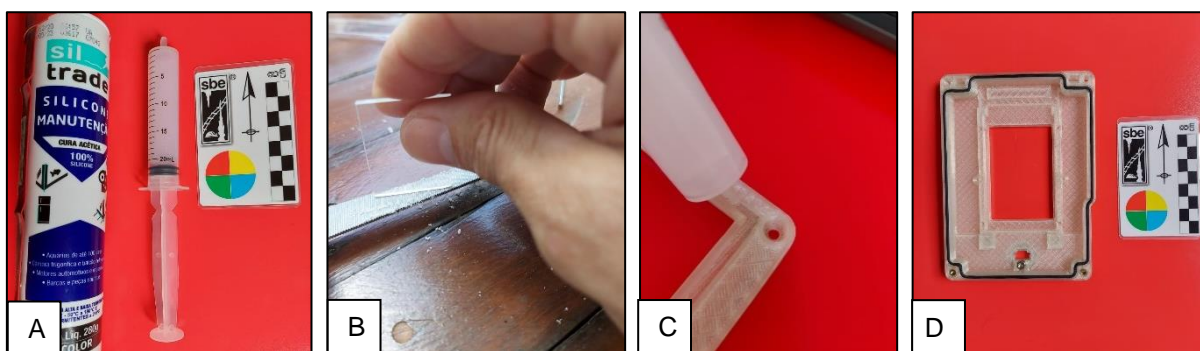


Figura 17 – Processo de vedação. A) uso de seringa para aplicação da cola de silicone. B) Polimento das bordas das peças. C) Aplicação de selante nos sulcos da janela Lidar. D) Anel de vedação fixado.

Antes da instalação do monitor LCD de 3,5” na respectiva janela na tampa do console do Caveatron, deve ser colocada uma película de proteção (adaptamos de uma película para celular, mas não recomendamos as películas de vidro que exigem frequentes trocas), só então é realizada a colagem de sua borda na janela da tampa do console (assim, é a película que vai colada). O monitor também recebe dois pinos laterais de fixação. Os pinos fazem parte dos itens impressos em PETG e um deles precisou ter uma de suas bordas escariada para que não forçasse um dos elementos soldados ao monitor, para isso usamos uma lima simples (Figura 18).

Após a fixação interna, o monitor recebe externamente uma linha de silicone, reforçando sua vedação no contato com o console. Esta vedação deve ser discreta, de forma a não invadir a área útil do monitor, já que este é sensível ao toque.

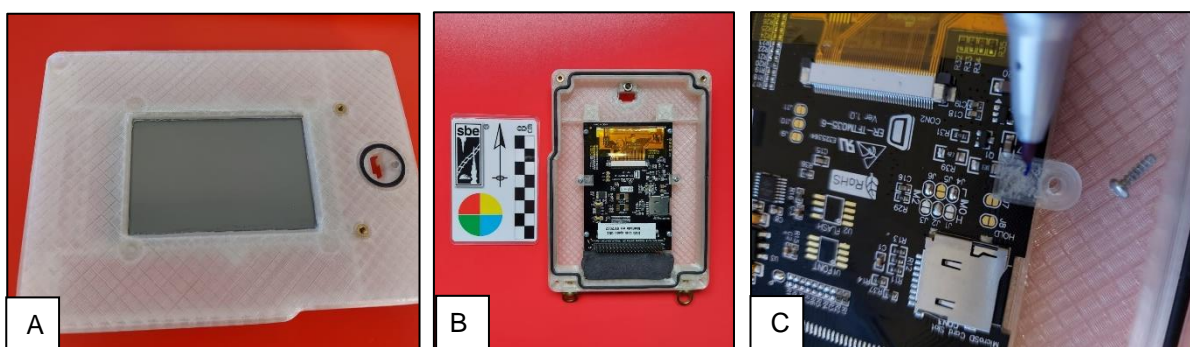


Figura 18 – A) Vista frontal do monitor instalado. As bordas também receberam uma linha externa de silicone. B) Vista interna da tampa com o monitor fixado. Além das presilhas laterais, o monitor foi colado com silicone. C) Marcação para corte da presilha lateral para evitar a compressão de componentes ao ser fixada.

Preparados o console principal e a caixa do Lidar para recebimento de seus respectivos componentes, a montagem destes é a parte mais tranquila.

Um cuidado interessante durante a preparação do console é a padronização, como possível, dos tamanhos e tipos de cabeças de parafusos utilizados para a fixação dos componentes, de forma que seja necessária uma variedade menor de chaves para o rosqueamento. Os parafusos deverão ser compatíveis com as porcas efetivamente instaladas no console. Embora o projeto especifique porcas de vários tamanhos, a padronização pode ser viável sem danos à estrutura do console.

Padronize, também, os parafusos de fechamento dos consoles principal e do Lidar, pois estes serão os mais manipulados após a finalização da construção e carecem de uma chave longa (a exemplo do padrão Allen) para dois deles.

A fixação dos conjuntos montados no console principal e do Lidar é bem simples. Pois a posição de cada componente é bem planejada e documentada (Figura 19).

Realizadas as conexões dos dispositivos, começa a fase de testes da funcionalidade do aparelho, através do carregamento do programa Caveatron Setup na memória do sistema (EEPROM), isso é feito através da conexão USB e do programa TyCommander.

O Caveatron Setup será utilizado para registrar os componentes especificamente utilizados na construção e testá-los.

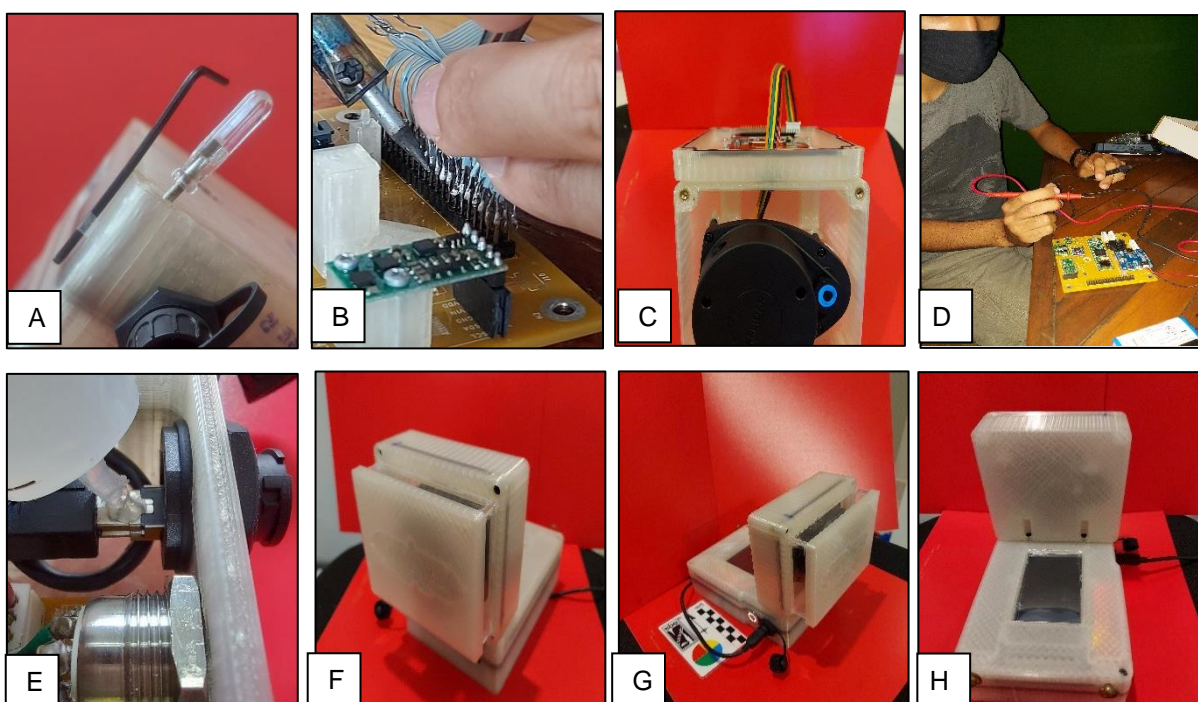


Figura 19 – Alguns aspectos da montagem. A) Dois parafusos do console são “profundos” requerendo chave longa para manipulação. B) Realização da solda de um dos cabos. C) Montagem das peças em seus lugares. D) Regulagem e teste de componentes e conexões. E) Fixação de plugs com silicone, para evitar desencaixe acidental. F), G) e H) Unidade Caveatron pronta para as configurações de hardware. Fonte: EGB, 2022.

6.2.3. Configuração e calibração dos sensores

A primeira configuração solicitada ao ligar o aparelho é do monitor, calibrando a tela de toque e realizando o carregamento do código das fontes compatíveis, o que permitirá a correta exibição gráfica dos menus no visor.

Instalado o Caveatron Setup e ligado o aparelho será exibida uma tela inicial, onde é realizada a identificação dos principais componentes instalados. Para isso, tenha em mãos as especificações do que comprou e montou e todos os sensores funcionarão adequadamente. Após esta configuração, começa a fase de calibração dos sensores, notadamente do giroscópio, acelerômetro, magnetômetro e altímetro (Figura 20).

Estas calibrações serão feitas ainda no Caveatron Setup e buscarão eliminar as interferências magnéticas internas (causada por componentes metálicos e campos magnéticos temporários) e externas (causadas por campos magnéticos ambientais), bem como aferir o alinhamento magnético e de nivelamento obtidos. Outro aspecto aferido é a efetiva interferência das janelas acrílicas nas emissões e retorno do Lidar, bem como das distorções ocasionadas por seus cantos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1	0	0	1		94	-254	18230		1	6.03562E-05	-1.083E-06	-8.4192E-07		54861342594	625752016	1023121443	
2	0	0	1		85	-598	18212		1	3.66193E-07	6.1942E-05	-1.249E-06		625752016	52106027182	-109556599	
3	0	0	1		29	-260	18291		1	-3.4962E-07	1.26879E-06	6.06896E-05		1023121443	-109556599	56563238846	
4	0	0	1		7	-410	18299		1	0.003374457	0.001817666	-0.11889619			-26488	-42122	1174218
5	0	0	1		67	-477	18291		1								

Figura 20 – Cálculo da calibração do acelerômetro e giroscópio. Fonte: EGB, 2022.

Estes ajustes significarão manobras físicas com o aparelho e a carga na memória, das correções matemáticas. Todos estes procedimentos estão bem documentados no projeto e, embora trabalhosos, geram um bom resultado.

Calibrados os sensores e documentadas as distorções, o sistema operacional Caveatron é carregado e o aparelho passa a estar operacional, quase pronto para ir para caverna. Dentro do sistema será realizada a calibração do giroscópio e o alinhamento magnético. Esta última, a calibração da bússola, guardará as

informações de interferências do ambiente, logo recomenda-se repeti-la antes de cada nova topografia. Seu procedimento é bem simples e feito no próprio menu do sistema.

Durante a montagem da unidade pelo EGB, dois componentes causaram erros e demandaram bastante tempo para descoberta de suas causas. O primeiro foi a placa controladora gráfica, que inibiu a exibição correta das fontes no monitor. Após checadas todas as conexões, soldas e cabos e após muita tentativa e erro, substituiu-se o módulo gráfico W25Q64 e obteve-se sucesso. Esse erro havia sido mencionado discretamente no fórum de discussão.

O segundo componente que demandou tempo para solução foi o módulo LRF, cujas leituras falhavam com muita frequência. Esse erro foi corrigido retirando o filtro de luz (Lee 299 – densidade neutra) da janela LRF. Como os filtros utilizados foram os indicados no projeto, está pendente a verificação da causa do erro e da existência de implicações negativas no uso do LRF sem o filtro indicado.

Por fim, tivemos problemas, também, com o interruptor de acionamento do Caveatron, que não respondia adequadamente às tentativas de ligar e desligar. A solução veio com a troca do botão.

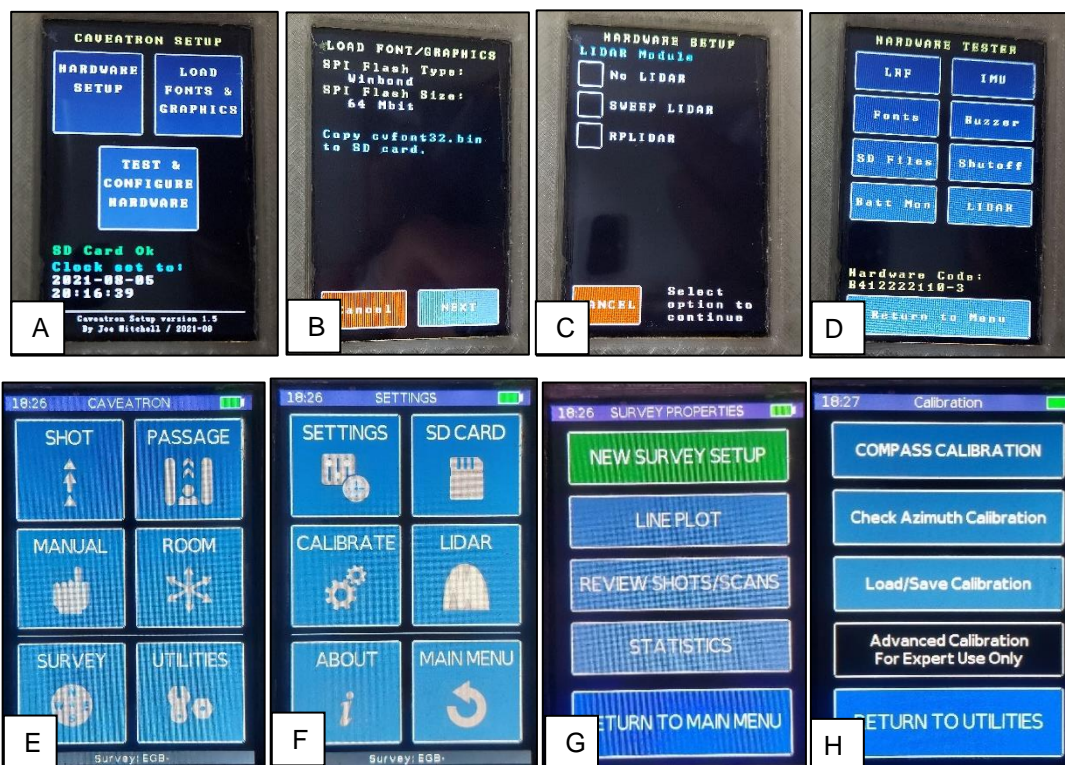


Figura 21 – A) a D) Telas do Caveatron Setup. E) a H) Telas do Caveatron. Fonte: EGB, 2022.



Figura 22 – Alguns dos vários momentos dedicados a montagem do Caveatron. A) Guilherme Vilanova. B) e C) Rodrigo Severo. D), E) e G) Gabriel Seraphin, F) Edvard Magalhaes, H) Sérgio NoteCity. I) Desmontagem e investigação e erros. J) Calibração do magnetômetro. K) Persistências de erros na exibição gráfica. L) Troca de componentes com falha. M) Tela inicial do Caveatron Setup. N) Sucesso na instalação dos componentes gráficos. O) Repetição de configuração e calibrações. P) Tela de verificação das varredura Lidar. Vários outros participantes e momentos de dedicação não se encontram aqui representados. Fonte: EGB, 2022.

6.3. Traduções dos materiais de referência

Com o intuito de facilitar o acesso aos materiais instrucionais do projeto Caveatron, foram selecionados entre os 18 arquivos de referência para a montagem e o uso do aparelho Caveatron, aqueles diretamente relacionados à apropriação da metodologia e procedimentos relacionados.

Assim, tendo como referência o repositório GitHub, disponível em <https://github.com/Caveatron>, foram selecionados para tradução quatro documentos que se mostraram essenciais, carecendo todos, ainda, de uma revisão final, já que a melhor compreensão de muitos procedimentos descritos só foi adquirida recentemente com a conclusão da montagem do aparelho e seu efetivo uso. São eles:

- Caveatron Rev B Assembly Instructions 2020-04-10.pdf (Caveatron/Caveatron/documentation/). Manual de instruções da montagem, passo a passo, dos componentes eletrônicos e mecânicos do Caveatron;
- Caveatron User Guide.pdf (Caveatron/Caveatron/user_guide/). Manual do usuário do aparelho Caveatron, demonstrando as rotinas do levantamento topográfico, do escaneamento lidar e configurações do usuário e dos registros de campo;
- Caveatron Setup & Calibration Instruction.pdf (Caveatron Setup & Calibration Instruction.pdf). Manual de calibração dos sensores embarcados no Caveatron, como procedimento prévio necessário ao correto funcionamento do Caveatron;
- 2021-08-02_PT_Caveatron Process User Manual.pdf (Caveatron/Software/PC Applications/). Manual de uso do programa de pós processamento Caveatron Process, necessário à correção dos parâmetros dos escaneamentos realizados e revisão das nuvens de pontos geradas.

Outros documentos tiveram sua tradução automática realizada com o uso do software de tradução *online* Google Translate e ainda não foram objeto de revisão e padronização de termos. Estes encontram-se no diretório Caveatron/Caveatron/documentation/, a saber:

Caveatron/Caveatron/documentation/
3D Printed Parts Description.pdf
BuyDisplay Pin Cross Reference.pdf
Caveatron Bill of Materials - Rev B - 2021-03-24.pdf
Caveatron Wire Harness Assembly - Rev B 2020-05-28.pdf
RPLidar_modification_alternative_ver_02.pdf

Os arquivos da pasta destinada aos programas computacionais (Caveatron/Software/) não foram objeto de traduções, dada a sua especificidade e seu uso restrito a desenvolvedores). Também não foram traduzidos os arquivos esquemáticos das peças acrílicas (Caveatron/Caveatron/mechanical/) e do esquema elétrico da PCB (Caveatron/Caveatron/PCB/), pois possuem uma função própria, onde a maior parte dos vocábulos necessitam ter preservada sua grafia em língua estrangeira.

Na pasta Calibration/Calibration Calculators/, as três planilhas de cálculo em formato .xlsx, embora possuam pequenos trechos de orientação de uso, não foram objeto de tradução pois repetem informações contidas nos tutoriais e possuem suas células bloqueadas, não permitindo as alterações.

6.4. Campo

O uso do Caveatron em ambiente de caverna ocorreu em 08/04/2022, quando uma equipe do EGB, composta por Edvard Dias Magalhães, Leticia Moraes, Adolpho Milhomem, Gabriel Chianelli Seraphin e Jane Oliveira dos Santos (Figura 24), realizaram o mapeamento da Gruta Volks Clube (CNC DF-007), localizada na Região Administrativa do Jardim Botânico, DF.



Figura 23 – Equipe topográfica.

A gruta Volks Clube (Figura 26) é atípica, compreendendo em um túnel de aproximadamente 100 metros de extensão escavado nos metarritmitos do Grupo Paranoá. Seu espaço interno amplo, com média de altura de teto em 6 metros e largura média dos condutos em 8 metros, aliado a um caminhar em piso inclinado a 30 graus, a configuraram como um ambiente adequado ao ensaio com o Caveatron (Figura 24).

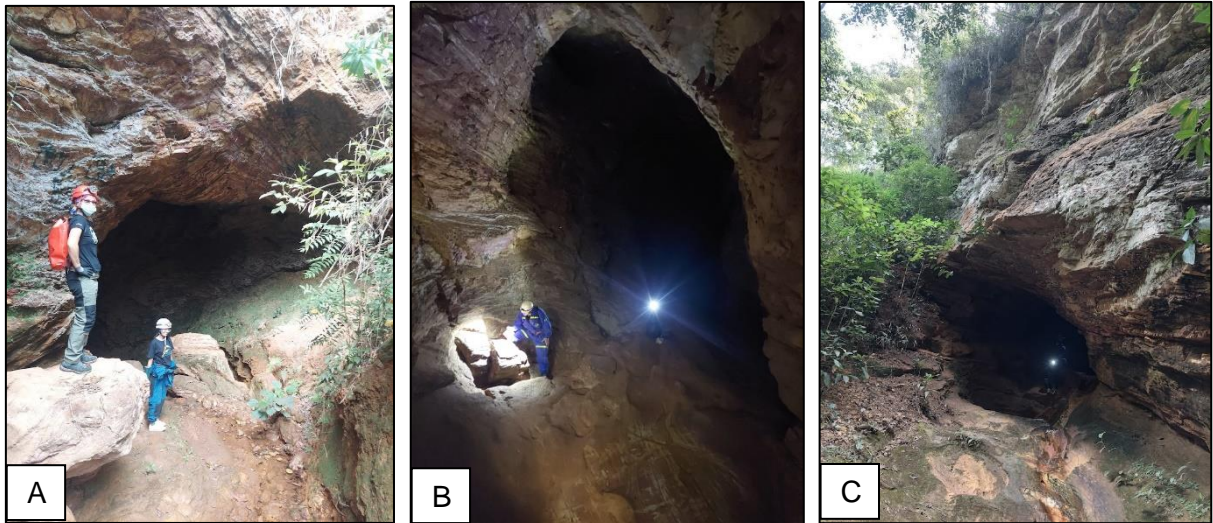


Figura 24 – Gruta Volks Clube. A) Boca principal – Sumidouro. B) Aspecto geral da galeria da caverna. C) Ressurgência.

O trabalho de campo foi dividido entre a aprendizagem do uso do Caveatron na varredura laser por caminamento ao longo da galeria (modo Passage) intercalado pelo detalhamento de reentrâncias (modo Room), de modo a habituar os participantes no uso da interface e no domínio das atividades complementares de ponta e ré de trena.

Complementarmente, como forma de gerar material atual para comparação dos dados, foi realizada a retopografia tradicional da gruta, com o uso de clinômetro e bussolo Suunto e trena laser, bem como refeito seus desenhos de detalhamento.

A topografia com o Caveatron possui procedimentos similares com a topografia tradicional, ofertando algumas alternativas de garantia de qualidade das tomadas.

O Caveatron constitui-se de uma estação total (suas leituras associam os dados de azimute, inclinação e distância em uma só tomada), aferindo em cada registro a média para 3 leituras válidas de distância e a média de 72 leituras válidas para cada ângulo de azimute e inclinação. A varredura Lidar, por sua vez, realiza leituras circulares à taxa de até 8.000 registros por segundo, podendo a velocidade do giro ser programada.



Figura 25 – Gruta Volks Clube. A) Uso do Caveatron e do cartão refletivo na base de destino. B) “Vazio” de varredura ocasionado pela diferença angular no desnível entre bases. Para prevenir o erro é necessário realizar a sobreposição, iniciando a varredura metros antes. Fonte: EGB, 2022.

Para o ensaio, a Gruta Volks Clube foi topografada iniciando de seu sumidouro e transcorrendo até a ressurgência. As visadas foram orientadas apenas a vante e mescladas com o caminhamento da varredura Lidar (travessia). No segundo momento, as mesmas bases topográficas foram utilizadas para a topografia a montante, buscando repetir as visadas, mas desta vez utilizando a opção tanto de leitura a vante quanto a ré, função essa ofertada pelo Caveatron, onde realiza a média das leituras e realiza as correções necessárias.

As travessias para as varreduras lidar, em modo Passage, foram realizadas apenas no sentido a vante e pouco se fez de recuos para forçar a sobreposição da varredura. O efeito disto pode ser visto no esquema da Figura 25-B, onde a mudança decrescente do ângulo de inclinação do terreno foi reproduzida no posicionamento do Caveatron, resultando num arco “em branco” pela ausência de varredura.

Atenção deve ser dada a todas as mudanças significativas nos eixos horizontal e vertical das varreduras. Quando a diferença de ângulo for vertical deve-se aplicar um recuo no caminhamento de modo a iniciar a travessia alguns metros antes da posição da base de origem, de modo a cobrir todas as superfícies. Para diferenças angulares horizontais significativas, pode-se realizar mais de uma travessia por intervalo, variando seu ponto de origem, de forma a propiciar boas varreduras laterais, que serão sobrepostas no pós processamento.

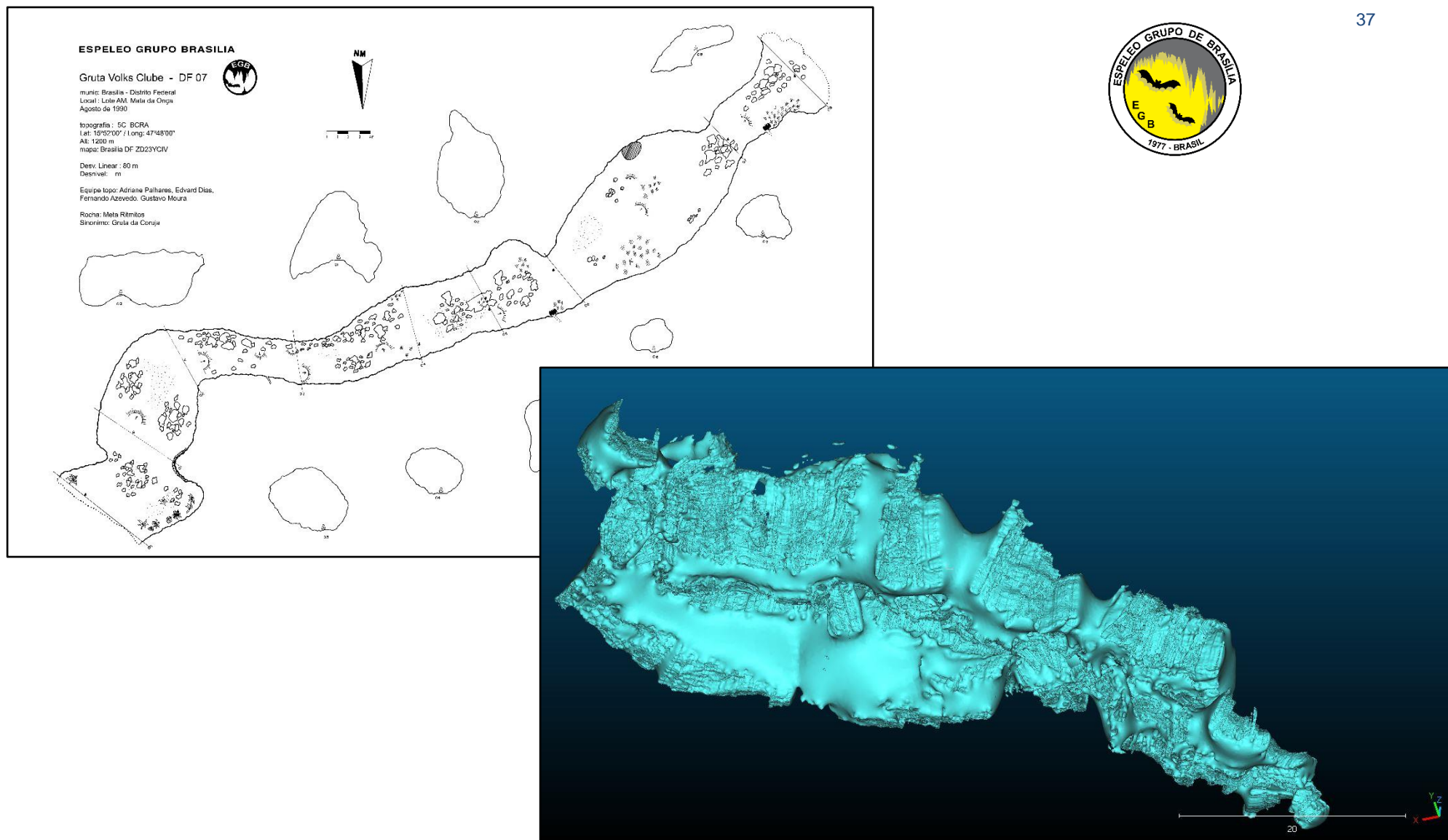


Figura 26 – Mapa espeleotopográfico da Gruta Volks Clube, elaborado em 1990 e a primeira aproximação da representação 3D com os dados adquiridos na varredura realizada com o Caveatron, em 08/04/2022.

Durante a prática topográfica foi testada, também, a resposta dada pelos cartões refletivos destinados à mira nas visadas e varreduras Lidar.

Testou-se a faixas refletivas branca e vermelha, com duas qualidades distintas de reflexão. Todas funcionaram muito bem, indicando que a qualidade do adesivo refletivo influenciará pouco na rotina com o Caveatron, desde que seja mediana.

O refletivo utilizado foi o das faixas refletivas automotivas “aprovadas pelo Denatran” (para carroceria), que são fáceis de encontrar e possuem um bom preço.

Os procedimentos foram considerados rápidos e os dados adquiridos no campo encontram-se em fase de pós processamento pelo GT Caveatron, para entendimento dos procedimentos necessários e dos produtos possíveis.



Figura 27 – Gruta Volks Clube. Uso do Caveatron e do cartão refletivo na base de destino. Fonte: EGB, 2022.

6.5. Pós processamento

O Caveatron gera, com seu uso, arquivos funcionais (extensão .imu) destinados a salvaguardar as informações de calibração utilizadas na caverna por seus componentes sensíveis (acelerômetro, magnetômetro, giroscópio, LRF), de modo a manter a memória útil de tais configurações, para eventuais restituições de dados e para o entendimento de possíveis distorções. Gera, ainda, as informações dos dados efetivamente coletados (Figura 20) nos levantamentos dos alinhamentos topográficos (extensões .cvi, .srv, .dat, e .log).

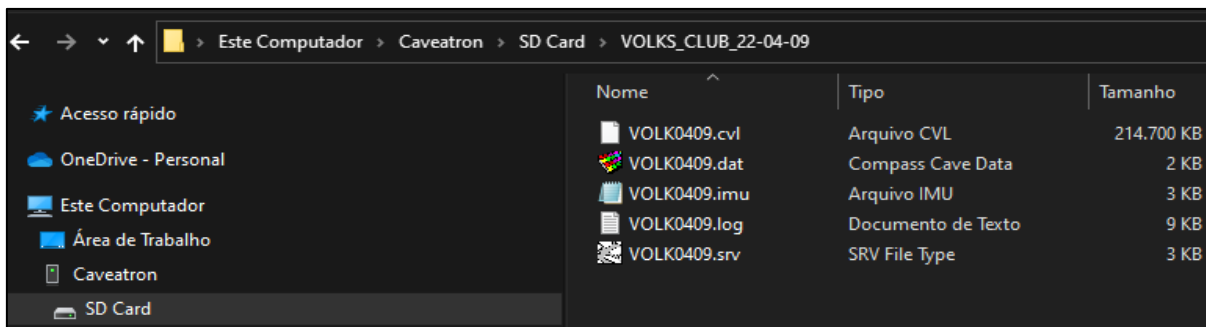


Figura 28 – Estrutura dos arquivos armazenados na memória interna do Caveatron após o levantamento topográfico e varreduras laser. O arquivo .CVL, com 224,7Mb de tamanho, armazenou dados de 41 visadas e 47 varreduras laser, realizadas ao longo de 225 metros lineares topografados, em 3 horas de trabalho. Fonte: EGB, 2022.

Os dados específicos do alinhamento topográfico (tomadas de azimute, inclinação e distância entre estações) podem, se necessário, ser tratados separadamente com softwares específicos ao mapeamento espeleológico, realizando o fechamento de poligonais, ajuste de bases, mesclagem como outros levantamentos topográficos anteriores etc. Os softwares suportados são o projeto opensource Walls Cave Survey (Figura 29), que utiliza o arquivo extensão .srv nativamente gerado pelo Caveatron, bem como o programa por assinatura Compass Cave Survey (Figura 30), este através da função de exportação contida no programa de pós processamento Caveatron Process.



Figura 29 – Página WEB oficial para informações e download do programa Walls Cave Survey, criado e mantido pela TSS. Endereço: <https://www.texaspeleologicalsurvey.org/software/walls/tswalls.php>. Fonte: EGB, 2022.

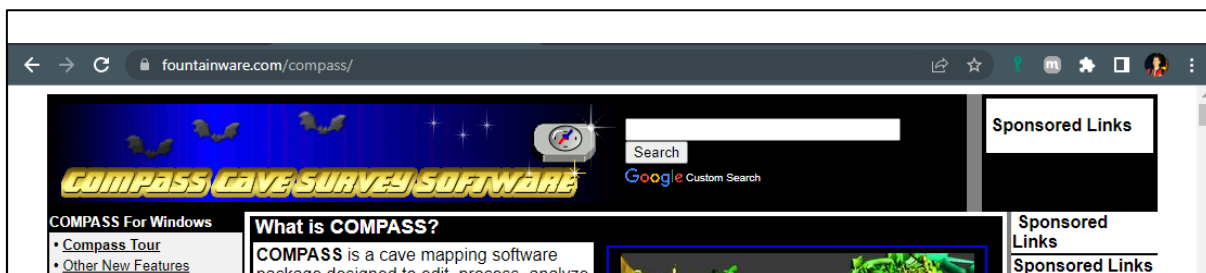
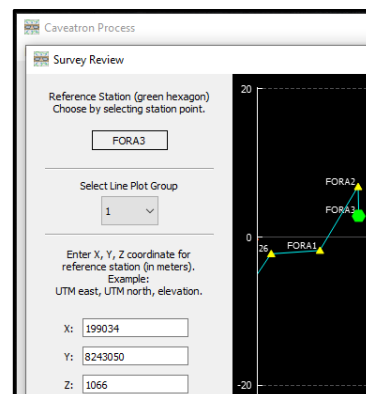


Figura 30 – Página WEB oficial para informações e assinatura do programa Compass Cave Survey Software. Endereço: <https://fountainware.com/compass/>. Fonte: EGB, 2022.

O primeiro programa de pós processamento a ser utilizado será o Caveatron Process (CP), software específico disponibilizado pelo projeto Caveatron. Sua função é preparar as informações que embasam a correta transformação das nuvens de pontos adquiridas em campo para o formato .txt, utilizáveis em qualquer software específico para processamento de malhas triangulares e criação de modelos sólidos.



O CP permite a entrada das informações de coordenadas geográficas e declividade magnética para determinada base topográfica, provocando que todas as coordenadas posteriormente calculadas já se encontrem georreferenciadas, bem como gera o arquivo .txt de coordenadas das bases topográficas.

O Caveatron armazena as nuvens de pontos geradas nas varreduras laser em arquivos de texto (sem formatação e na extensão .txt) e são nomeados distinguindo as varreduras em deslocamentos adquiridas no modo 'Passage' - chamadas de 'travessia', e salvas no formato: base_T#.txt, das varreduras em giro sobre eixo fixo propiciadas pelo modo "Room" - salvas no formato: #-base_S#.txt (Figura 31).

Nome	Data de modificação	Tipo	Tamanho
1_S1.txt	10/04/2022 15:05	Documento de Te...	2.824 KB
1_T2.txt	10/04/2022 15:05	Documento de Te...	21.326 KB
2_S1.txt	10/04/2022 15:05	Documento de Te...	3.660 KB
2_S2.txt	10/04/2022 15:07	Documento de Te...	3.172 KB
2_T1.txt	10/04/2022 15:06	Documento de Te...	29.195 KB
2_T2.txt	10/04/2022 15:06	Documento de Te...	12.709 KB
3_T2.txt	10/04/2022 15:07	Documento de Te...	53.295 KB

Figura 31 – Estrutura dos arquivos das nuvens de pontos gerados no pós processamento para cada intervalo de rastreamento laser realizado durante o procedimento topográfico. Fonte: EGB, 2022.

Embora qualquer programa de tratamento de malhas triangulares, nuvens de ponto e modelos sólidos possa ser utilizado, são sugeridos os programas em arquitetura aberta CloudCompare (prático para a mesclagem das várias nuvens de pontos) e MeshLab (prático para a renderização).

Para a visualização do modelo 3D da caverna topografada será necessário a transformação das nuvens de pontos em malhas triangulares e então a atribuição de efeitos de textura que simulem, o melhor possível, o ambiente natural. A este processo chamaremos, genericamente, de renderização ou reconstrução.

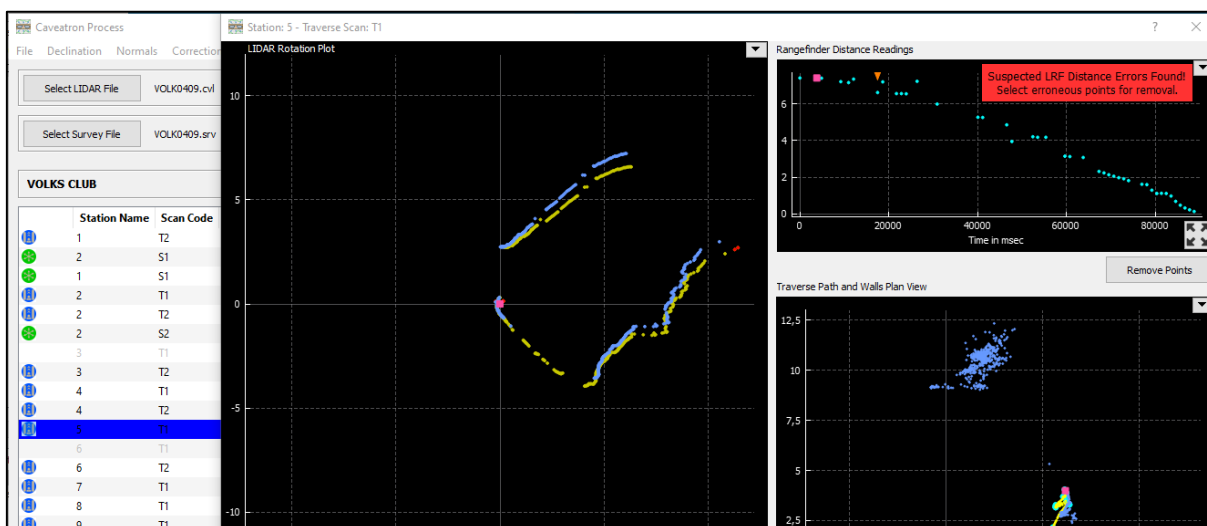


Figura 32 – Uso do Caveatron Process no pós processamento dos dados de seguimento de varredura laser durante travessia. Fonte: EGB, 2022.

Cada ponto adquirido no escaneamento laser possui uma coordenada que o geoespacializa e, assim, é tratado como um vértice para formação da malha triangular que é preenchida (Figura 33). Vários são os métodos estatísticos possíveis de aplicação para as aproximações matemáticas necessárias à simulação do modelo sólido do ambiente escaneado, sendo recomendado, inicialmente o uso dos filtros de reconstrução de superfície baseados em vértices, a exemplo do modelo de Poisson.

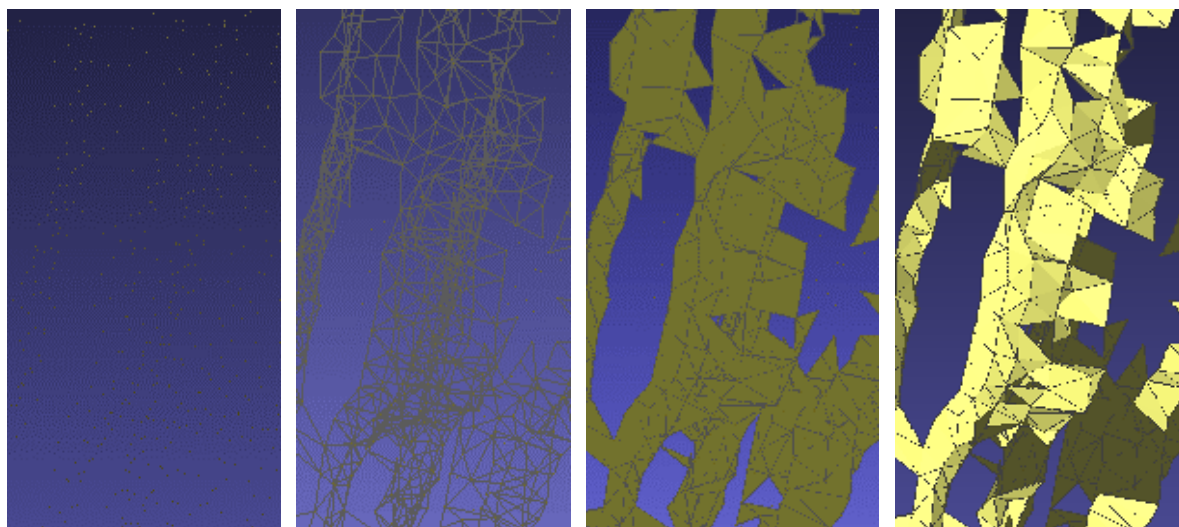


Figura 33 – Diferentes formas de apresentação da nuvem de pontos, as três últimas demonstrando as formas iniciais de renderização. Fonte: EGB, 2022.

Após o ensaio realizado conclui-se que a densidade e distribuição da rede de nuvens de pontos geradas nas varreduras do Caveatron, com até 8.000 pontos/segundo, distribuídos em circunferência transversais ao eixo Z do aparelho são suficientemente densas para que se gerem bons produtos cartográficos. Contudo o “segredo” do sucesso em seu uso estará no domínio dos operadores do pós processamento sobre as ferramentas de geração dos modelos renderizados.

De maneira sucinta, os passos necessários aos pós processamento dos dados escaneados pelo Caveatron são:

- a) Correção de poligonais e/ou integração a levantamentos anteriores, do alinhamento topográfico feito. Programas: Walls ou Compass.
- b) Limpeza e processamento de cada seguimento das varreduras laser realizadas e geração das nuvens de ponto normalizadas. Programa: Caveatron Process.
- c) Limpeza das nuvens de ponto, alinhamento com sobreposição de seguimentos, corte de sobras e mesclagem do conjunto de nuvens. Programa: CloudCompare.
- d) Renderização, eliminação de ruídos/artefatos e extração de dados. Programa: MeshLab.

O CloudCompare é um software de processamento de nuvem de pontos 3D e subsidiariamente de malha triangular, possuindo ferramentas comuns a este tipo de tratamento, incluindo muitos algoritmos para comparação de nuvens de pontos, reamostragem, manipulação de campos de cor/normal/escalar, computação estatística, segmentação interativa ou automática e aprimoramento da exibição do modelo etc. Embora sua interface não esteja com todos as áreas traduzidas, oferece opção de menus, e boa parte das janelas, em diversos idiomas (Figura 34).

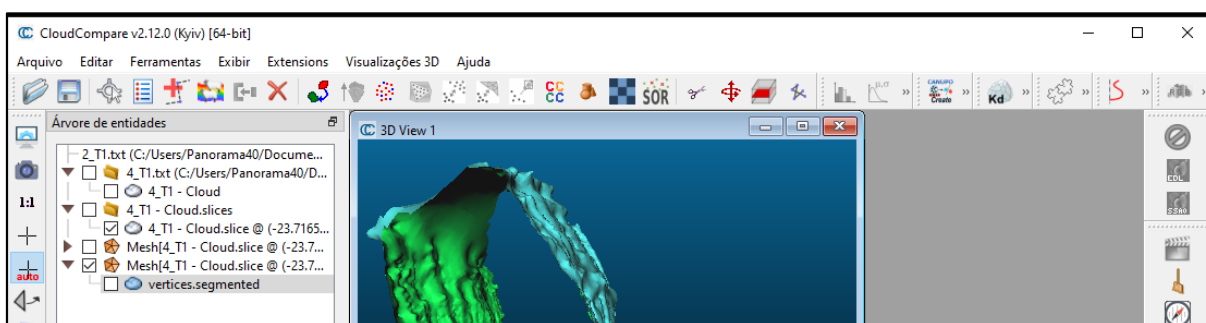


Figura 34 – Visualização do ambiente de trabalho do CloudCompare, Sua página WEB oficial deste projeto aberto encontra-se no endereço: <https://www.danielgm.net/cc/>. Fonte: EGB, 2022.

O sistema de código aberto MeshLab destina-se ao processamento e edição de malhas triangulares 3D. Ele fornece um conjunto de ferramentas para edição, limpeza, tratamento, inspeção, renderização, texturização e conversão das malhas. Oferece recursos para processamento de dados brutos produzidos por dispositivos de digitalização 3D e para preparação de modelos para impressão 3D.

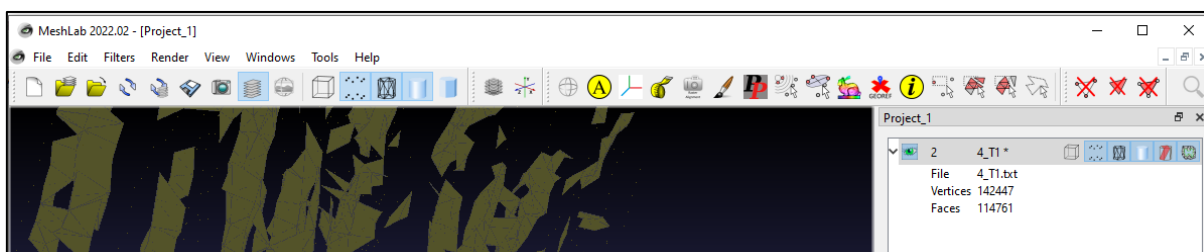


Figura 35 – Ambiente de trabalho do MeshLab. A página WEB oficial do projeto aberto está no endereço: <https://www.meshlab.net/>. Fonte: EGB, 2022.

6.6. Divulgação

O projeto foi, inicialmente, apresentado para a comunidade espeleológica através da “webinar” (apresentação virtual remota, aberta e em tempo real) “Fortalecimento dos grupos espeleológicos – Apresentação dos projetos do SPEC, GAPE e EGB” promovida pela SBE para mostra de três dos sete projetos selecionados no Edital nº 01/2020.

A apresentação foi realizada em 18/11/2020, teve a duração de 46 minutos (intervalo de 53’30” a 1h40’10”) e encontra-se integralmente disponível no youtube da SBE, endereço <https://www.youtube.com/watch?v=RZwVKxhvdog>.



Complementarmente, o EGB mantém em sua página WEB (Figura 36) informações sobre o Projeto Caveatron, onde figuram as informações iniciais de apresentação desta ferramenta. Esta página será oportunamente complementada com informações adicionais, relativas a consecução do projeto. A página encontra-se no endereço <https://www.egb.org.br/caveatron/>.

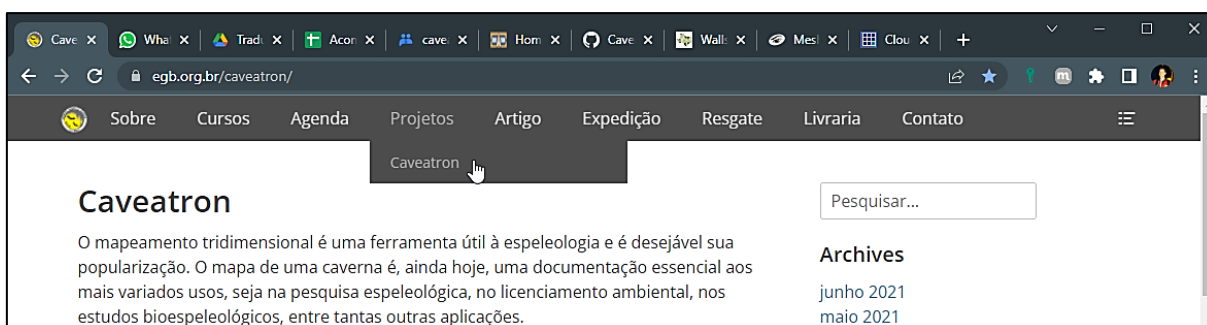


Figura 36 – A página WEB do EGB, endereço <https://egb.org.br>, incrementou uma seção de Projetos, figurando em seu conteúdo uma subpágina específica para o Projeto Caveatron desenvolvido pelo grupo. Fonte: EGB, 2022.

6.7. Apresentação no 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Conforme projeto e previsão do Edital, foi inscrito e selecionado para apresentação oral no 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia o trabalho: “O uso do Caveatron na topografia 3D de cavernas na espeleologia brasileira”.

Este trabalho tem por autores Edvard Dias Magalhaes, Rodrigo Severo e Bernardo Menegale e encontra-se agendado para exposição às 10h do dia 22/04/2022, no auditório Planalto.

O USO DO CAVEATRON NA TOPOGRAFIA 3D DE CAVERNAS NA ESPELEOLOGIA BRASILEIRA	
Data sexta-feira, 22 de abril de 2022	Horário 10:00 - 10:20
Trilha Auditório Planalto - Apresentação Oral	Forma de Apresentação Apresentação Oral
Modalidade Resumo expandido	Área Temática Espeleometria, técnicas de exploração e documentação de cavernas
Autores Edvard Dias Magalhães, Rodrigo Severo, Bernardo Menegale Bianchetti	

Em sua abordagem, a apresentação abordará o breve histórico do projeto Caveatron no mundo e os esforços da comunidade internacional em sua viabilização; a experiência do EGB na aquisição e montagem do equipamento; o processo de aprendizagem de seu uso; as principais características da técnica de levantamento de campo; suas características distintivas; e, sobretudo as possibilidades de uso no mapeamento espeleológico de rotina.

6.8. Participação de reuniões e acompanhamento da SBE

Para acompanhamento da execução dos projetos aprovados no Edital nº 01/2020 a SBE disponibilizou dois canais principais de comunicação: o e-mail editais@sbe.com.br e o grupo de discussão em tempo real WhatsApp (Figura 37), criado em 02/11/2020 sob coordenação da Comissão de Projetos Especiais e Editais da SBE. Pelo Grupo de Trabalho do EGB compuseram este grupo Edvard Magalhães, Rodrigo Severo e Rafael Grudka.

Ao longo da execução dos projetos foram demandas ações e informações específicas aos grupos participantes, sendo as principais:

- a) Chamada de participação à webinar de divulgação das propostas selecionadas no Edital. Divididas em três dias, o EGB participou na noite de 18/11/2020, com uma apresentação realizada pelo coordenador do projeto;
- b) Reunião virtual de prestação de contas à SBE, realizada em 23/12/2020;
- c) Elaboração de resumo sobre a execução do projeto para compor o Relatório Anual da SBE;
- d) Elaboração de resumo atualizando sobre o andamento dos projetos, entregue em 30/10/21;
- e) Participação em reunião de nivelamento quanto ao andamento dos projetos e efetiva retomada após período de interrupção, realizada virtualmente em 10/11/2021;
- f) Elaboração de resumo atualizando sobre o andamento dos projetos, entregue em 24/03/21; e
- g) Comunicações diversas sobre prazos, padrões e procedimentos.

Concluindo os projetos, a SBE estabeleceu-se o cronograma abaixo, que vem sendo atendido pelo presente relatório (com um breve atraso no primeiro produto), sendo até 15/04/2022 a entrega do Relatório de Atividades Final e até 30/04/2022 a entrega da Prestação de Contas Final.

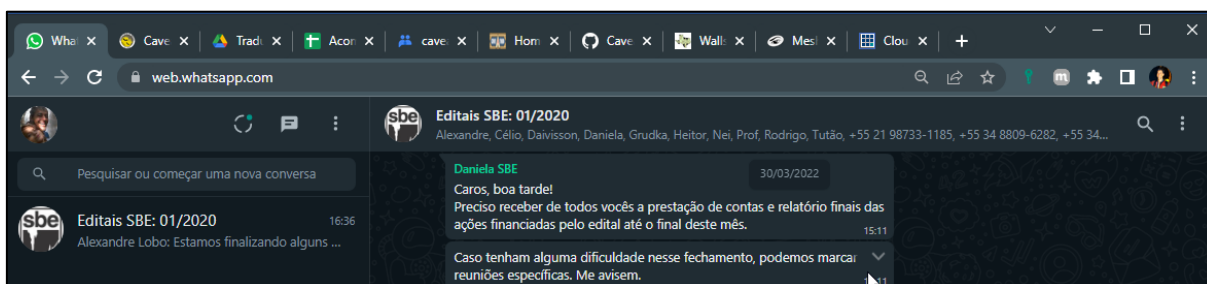


Figura 37 – Grupo específico, criada pela SBE, para o Edital nº 01/2020. Fonte: EGB, 2022.



7. CONCLUSÕES

O Espeleo Grupo de Brasília (EGB) ratifica, após a execução do presente projeto, a pertinência do tema proposto, como elemento de aprendizagem, substancialmente por seu caráter de inovação na prática e na técnica espeleológica, e elevado potencial para incrementar ganhos significativos na documentação do patrimônio espeleológico rotineiro às associações espeleológicas sem fins lucrativos.

Seu baixo custo em componentes e insumos se contrapõe, porém, ao grande esforço de aprendizagem e de persistência para a montagem e configuração do equipamento, demandando comprometimento e disponibilidade da equipe envolvida. Esta dificuldade, certamente, será minimizada quanto existir uma frequência de replicação da experiência, com mais unidades sendo construídas.

O apoio da SBE com o Edital nº 01/2022, tanto no incentivo à proposição do EGB desta atividade inovadora, quanto no síncrono apoio financeiro para sua execução, afastando do grupo o risco de perdas financeiras, que por si inviabilizavam a iniciativa de montagem do Caveatron, foi fundamental e, constitui um dos resultados exitosos deste projeto.

Por fim, no que concerne à opinião do EGB quanto a viabilidade do uso do Caveatron para a varredura tridimensional de cavernas, avalia-se que a densidade e distribuição da rede de nuvens de pontos geradas nas varreduras do Caveatron, são suficientemente densas para que se gerem ótimos produtos cartográficos. Contudo o “segredo” do sucesso em seu uso estará no domínio da técnicas de pós processamento e suas ferramentas de análise, tratamento e geração dos modelos renderizados, bem como na familiarização dos procedimentos de campo para garantir uma malha de pontos contínua.

Assim, conclui-se por viável e válido o esforço e o investimento na construção e adoção do Caveatron nas rotinas espeleotopográficas das entidades espeleológicas.

Brasília, DF em 17/04/2022.

Daniel Biagioni
Presidente do EGB

Edvard Dias Magalhaes
Coordenador do Projeto



8. REFERÊNCIAS

- BUECHER, BOB, 2016. Do It Yourself LiDAR for Caves, Presented at 2016 NSS Convention, Ely, NV.
- DISTOX 2017. Disponível em: <http://paperless.bheeb.ch> Acessado em: 08/01/2021.
- GALLAY M., KANUK J., HOCHMUTH Z., MENEELY J.D., HOFIERKA J., SEDLAK V., 2015. Large-scale and high-resolution 3-D cave mapping by terrestrial laser scanning: a case study of the Domica Cave, Slovakia. International Journal of Speleology, 44, 277-291, 2015. Disponível em: https://pureadmin.qub.ac.uk/ws/portalfiles/portal/131816701/Large_scale_and_high_resolution_3_D_cave_mapping.pdf . Acessado em: 26/02/2022.
- GALLAY M., KANUK J., HOCHMUTH Z., MENEELY J.D., HOFIERKA J., SEDLAK V., MESHLAB 2020. Disponível em <https://www.meshlab.net> Acessado em: 08/01/2021.
- MITCHELL, J., GUTTING, S. 2017. The Caveatron: an Integrated Cave Survey and LiDAR Scanning Instrument. UIS, Proceedings of the 17th International Congress of Speleology, Sidney, 2017. Vol. 2, pp.126-130. Disponível em: <http://uis-speleo.org/> . Acessado em: 26/02/2022.
- MITCHELL, JOE. 2020. Caveatron Project. 2020. Disponível em: www.caveatron.com . Acessado em: 26/02/2022.
- MITCHELL, JOE. 2022. Caveatron Repositório GitHub. Disponível em: <https://github.com/Caveatron> . Acessado em: 26/02/2022.
- P. CIGNONI, M. CALLIERI, M. CORSINI, M. DELLEPIANE, F. GANOVELLI, G. RANZUGLIA, 2008. MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool Sixth Eurographics Italian Chapter Conference, page 129-136, 2008. Disponível em: <https://www.meshlab.net/> . Acessado em: 26/02/2022.
- TSS, 2016. WALLS PROJECT EDITOR, 2016. Disponível em <https://texasspeleologicalsurvey.org/software/walls>. Acessado em 26/02/2022.
- WALLS PROJECT EDITOR, 2016. Disponível em <https://texasspeleologicalsurvey.org/software/walls>. Acessado em 08/01/2021.