



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**UTILIZAÇÃO DE AERONAVE PILOTADA REMOTAMENTE (RPA) PARA
MAPEAMENTO DO ATERRO CONTROLADO DO JOCKEY CLUB DE BRASÍLIA**

FELIPE RIBEIRO DE TOLEDO CAMARGO

ORIENTADOR: PROF. ANDRÉ LUÍS BRASIL CAVALCANTE, DSc

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO DE 2018

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**UTILIZAÇÃO DE AERONAVE PILOTADA REMOTAMENTE (RPA) PARA
MAPEAMENTO DO ATERRO CONTROLADO DO JOCKEY CLUBE DE BRASÍLIA**

FELIPE RIBEIRO DE TOLEDO CAMARGO

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA
CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS
REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA
AMBIENTAL.**

APROVADA POR:

**Prof. André Luís Brasil Cavalcante, DSc (ENC/FT/UnB)
(Orientador)**

**Prof. Luis Fernando Martins Ribeiro, DSc (ENC/FT/UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof. Luciano Soares da Cunha, DSc (GEO/IG/UnB)
(Examinador Externo)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 03 de dezembro de 2018.

FICHA CATALOGRÁFICA

RF315u	Ribeiro de Toledo Camargo, Felipe UTILIZAÇÃO DE AERONAVE PILOTADA REMOTAMENTE (RPA) PARA MAPEAMENTO DO ATERRO CONTROLADO DO JOCKEY CLUBE DE BRASÍLIA / Felipe Ribeiro de Toledo Camargo; orientador André Luis Brasil Cavalcante. -- Brasília, 2018. 105 p.
	Monografia (Graduação - Engenharia Ambiental) -- Universidade de Brasília, 2018.
	1. Aerofotografia. 2. Disposição de Resíduos sólidos. 3. Geração de energia. 4. Modelo digital de Terreno. 5. Remediação. I. Brasil Cavalcante, André Luis, orient. II. Titulo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CAMARGO, F. R. (2018) Utilização de aeronave pilotada remotamente (RPA) para mapeamento do aterro controlado do Jockey clube de Brasília. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 105 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Felipe Ribeiro de Toledo Camargo

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Utilização de aeronave pilotada remotamente (RPA) para mapeamento do aterro controlado do Jockey clube de Brasília.

GRAU/ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental /2018.

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito dos autores.

Felipe Ribeiro de Toledo Camargo
SQS 309 Bloco F apt 404
Asa Sul
70362-060 – Brasília/DF – Brasil

Aos meus queridos sobrinhos: João, Lucas, Sofia e ao afilhado Luca. Que o desenvolvimento atenda às necessidades presentes, sem comprometer as condições de sustentabilidade das gerações futuras.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ivan e Gisele. Pai, obrigado pela cultura do exemplo e por ter me ensinado que para conseguir algo, você precisa de três coisas: dedicação, dedicação e dedicação. Mãe, obrigado por sempre me lembrar que eu sou mais do que um menino engraçado e se estou sempre com um sorriso no rosto é graças a você.

Às minhas irmãs, Natalie e Laura, por sempre estarem presentes e disponíveis para me ajudar.

À minha família por momentos de descontração e amor. Em especial ao meu primo André pela parceria de sempre.

Aos meus avôs, Doutor Renault e General Camargo, e às minhas avós Rosely e Isis.

Aos meus padrinhos, José Renato e Maria Cristina.

À dona Lúcia, por todo carinho.

À querida Flora, pelo companheirismo e zelo.

A todos meus amigos e amigas, em especial, os do EPSA (Escola Paroquial Santo Antônio), da Ambiental, do Ruregs, do Basquete, dos Primos e do Apartamento G.

Ao meu orientador, André Brasil, por acreditar neste projeto e me ajudar, sempre que possível. Ao Felipe, Mariana e Natalia pela parceira em campo e pela grande ajuda para que este projeto fosse realizado.

Aos técnicos do Serviço de Limpeza Urbano, pela incrível ajuda em campo.

Aos meus companheiros da Adasa, pela ajuda e compreensão com meu projeto.

A Deus, por sempre, em hora difíceis, estar comigo e me acalmar na oração.

A todos que contribuíram para a realização deste projeto, seja de forma direta ou indireta, fica registrado aqui, o meu muito obrigado.

Resumo

A busca pelo equilíbrio entre um modelo econômico capitalista e a preservação do meio ambiente é um grande desafio para a sociedade atual. O modelo atual de produção nitidamente não está de acordo com a resiliência dos biomas mundiais. Cada ano que passa a população cresce e com esse crescimento ocorre uma maior demanda energética. Além do aumento da demanda de energia o crescimento da população causa um aumento na geração de resíduo o que necessita de um maior cuidado com a disposição desses resíduos. A atual forma de produção segue uma tendência linear e isso foge de uma economia sustentável. Entendendo que os grandes problemas do mundo num futuro próximo serão a disponibilidade hídrica, armazenamento e geração de energia e disposição de resíduos esse trabalho faz um estudo de caso do aterro controlado do Jockey que foi fechado em janeiro de 2018. Um aterro que recebeu resíduo de forma inadequada por quase 50 anos causando uma poluição das águas subterrâneas, além de outros impactos ambientais e sociais negativos. Diante desse passivo ambiental criando na capital do país, realizou um mapeamento aero fotográfico dos 170 hectares que receberam os resíduos da população do Distrito Federal e com o software *Arcgis* fez-se uma estimativa do volume de resíduo que se encontra atualmente no aterro. Esse mapeamento foi realizado com o auxílio de uma aeronave remotamente pilotada (RPA) e será gerado um modelo digital do terreno, um modelo digital da superfície, curvas de nível respectivas ao modelo do terreno a ao de superfície e uma ortofoto georreferenciada com uma precisão de exatidão cartográfica classe A. Com o volume final estimado deseja-se propor possíveis cenários para a área de estudo. Cenários que abordem técnicas de remediação para a região que vise tratar a água subterrânea, tratar o biogás gerado, recuperar a área impactada e valorizar economicamente o resíduo. Dois cenários focaram no conceito de autorremediação e de sistemas híbridos de energia, enquanto o último cenário é a opção de apenas continuar aterrando a área e deixar o meio ambiente remediar a área.

Palavras-chaves: Disposição de resíduos, aterro controlado do Jockey, mapeamento, geoprocessamento, aerofotografia, Arcmap, energia, remediação, sistema híbrido.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. MOTIVAÇÃO	12
1.2. OBJETIVOS	13
1.3. NARRATIVAS DOS CAPÍTULOS	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	15
2.1.2. INCINERAÇÃO	17
2.1.1. ATERROS SANITÁRIOS	20
2.1.2. LIXÃO	21
2.1.3. RESÍDUOS SÓLIDOS	21
2.1.4. REJEITO	22
2.1.5. BIOGÁS	22
2.1.6. LIXIVIADO	23
2.2. TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO	24
2.2.1. BOMBEAMENTO E TRATAMENTO DA ÁGUA	25
2.2.2. CAPTURA E TRATAMENTO DO BIOGÁS	25
2.2.3. MINERAÇÃO DE ATERRO	27
2.2.3.1. MINERAÇÃO DE ATERRO APRIMORADA	28
2.2.3.2. COMBUSTÍVEL DERIVADO DE RESÍDUO	29
2.2.3.3. RESÍDUO EM ENERGIA	29
2.3. ENERGIA	31
2.3.1. ENERGIA ELÉTRICA	31
2.3.2. ENERGIA SOLAR	32
2.3.2.1. HELIOTÉRMICA	33
2.3.2.2. TERMOELÉTRICA	36
2.4. SISTEMAS HÍBRIDOS	38
2.5. GEOPROCESSAMENTO	38
2.5.1. AEROFOTOGRAFIA	38
2.5.2. ORTOFOTO	39

2.5.3. REDE TRIANGULAR IRREGULAR (TIN)	39
2.5.4. VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT).....	39
<u>3. METODOLOGIA</u>	<u>41</u>
3.1. MATERIAIS:	41
3.1.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	41
3.1.2. MATERIAIS UTILIZADOS EM CAMPO	44
3.2. MÉTODO:	45
<u>4. RESULTADOS</u>	<u>77</u>
<u>5. CENÁRIOS</u>	<u>90</u>
5.1. GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO BIOGÁS:	90
5.2. GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE COMBUSTÍVEL DERIVADO DE RESÍDUO:	91
5.3. ATENUAÇÃO NATURAL:	92
<u>6. CONCLUSÃO</u>	<u>93</u>

Lista de Figura

Figura 2-1 - Destinação final de RSU no Brasil. Fonte: (Intituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2008).....	15
Figura 2-2 - Ciclo de geração de energia através do resíduo derivado do combustível. Fonte: (DeltaWay).....	30
Figura 2-3 - Tipos de painés de uma usina Heliotérmica	35
Figura 3-1 - Mapa delimitado do Aterro Controlado do Jockey. Fonte: Autoria própria.....	42
Figura 3-2 - Disposição do lixo nas células do aterro controlado do Jockey ao longo dos anos. Fonte: (CAVALCANTI, 2013).....	44
Figura 3-3 – Fluxograma do processamento das fotos do sobrevoo.....	45
Figura 3-4 - Mapa da localização dos alvos artificiais	46
Figura 3-5 - alvo de ponto de controle confeccionado	47
Figura 3-6 - Alvo confeccionado por cal	48
Figura 3-7 - Piquete de madeira produzido para fixação dos alvos.....	48
Figura 3-8 - RPA Phantom 4 utilizado para o mapeamento	49
Figura 3-9 - Plano de voo 1 na interface do software Drone deploy	50
Figura 3-10 - Plano de voo 2 na interface do software Drone deploy	50
Figura 3-11 - Plano de voo 3 na interface do software Drone deploy	51
Figura 3-12 - Plano de voo 4 na interface do software Drone deploy	51
Figura 3-13 - Plano de voo 5 na interface do software Drone deploy	52
Figura 3-14 - GNSS receptor base no 15º Batalhão da polícia militar.....	53
Figura 3-15 - Base GNSS receptor no Aterro.....	54
Figura 3-16 - Visibilidade do primeiro ponto de controle	55
Figura 3-17 - Segundo tipo de alvo confeccionado para servir de ponto de controle	56
Figura 3-18 - Visibilidade do segundo tipo alvo confeccionado	57
Figura 3-19 - visibilidade do segundo tipo de alvo confeccionado	57
Figura 3-20 – Fluxograma do processamento no Software <i>Agisoft PhotoScan</i>	59
Figura 3-21 - Importar arquivos com as fotos	59
Figura 3-22 - Interface do Model view após adicionar as imagens	60
Figura 3-23 - Alinhamento das imagens.....	61
Figura 3-24 - Interface do programa na opção Build Mesh.....	61

Figura 3-25 - Importar coordenadas dos pontos de controle	62
Figura 3-26 - Construir nuvem de pontos	63
Figura 3-27 - Construir malha.....	63
Figura 3-28 - Exportar Ortofoto.....	64
Figura 3-29 - Exportar o MDS.....	65
Figura 3-30 - Classificação automática da nuvem densa de pontos	66
Figura 3-31 - Classificação dos pontos da nuvem densa	67
Figura 3-32 - Seleção de classes	67
Figura 3-33 - Exportar MDT.....	68
Figura 3-34 – Fluxograma do cálculo do volume no Software ArcMap	69
Figura 3-35 - Interface do arcmap na opção de adicionar data	69
Figura 3-36 - Interface do arcmap na opção Contour	70
Figura 3-37 - Interface do arcmap com a visualização das curvas de nível	71
Figura 3-38 - Interface do arcmap na opção Create Tin	72
Figura 3-39 - Interface do arcmap na opção copy Tin.....	73
Figura 3-40 - Interface do <i>Arcmap</i> na opção criar polígono de corte.....	74
Figura 3-41 - Interface do <i>Arcmap</i> na opção Edit Tin	74
Figura 3-42 - Interface do <i>Arcmap</i> na opção Surface Volume	75
Figura 3-43 - Interface do <i>Arcmap</i> na opção Table	76
Figura 4-1 - Resultado da sobreposição das fotos	77
Figura 4-2 - Resultado do processamento dos pontos de controle.....	78
Figura 4-3 - Mapa do Modelo digital de Superfície (MDS)	79
Figura 4-4 - Mapa das curvas de nível produzidas a partir do MDS	80
Figura 4-5 - Mapa do Modelo digital do terreno (MDT).....	81
Figura 4-6 - Mapa das curvas de nível produzidas a partir do MDT	82
Figura 4-7 - Mapa da Ortofoto do aterro	83
Figura 4-8 - Zoom no mapa da Ortofoto produzida.....	84
Figura 4-9 - Mapa do Zoom na ortofoto produzida	85
Figura 4-10 - Tin produzido pelo MDS	86
Figura 4-11 - Mapa do Tin produzido pelo MDT.....	87
Figura 4-12 – Volume calculado para o terreno	88

Figura 4-13 - Tin produzido pelo MDT	89
--	----

Lista de Tabelas

Tabela 2-1 - Quantidade de unidades de processamento de RSU com informações atualizadas, por tipo de unidade e agente operador (Fonte - SNIS_RS, 2016).....	16
Tabela 2-2 - Massa total de resíduos recebidos pelas unidades de processamento dos municípios participantes, segundo tipo de unidade e região geográfica (Fonte - SNIS, RS 2016).....	17
Tabela 2-3 - Capacidade instalada por fonte de energia elétrica no Brasil. Fonte (CASTRO, 2015).	32
Tabela 2-4 - Capacidade instalada de usinas heliotérmicas em MW por país. Fonte: (ABENGOA, 2014)	34
Tabela 4-1 - Volume calculado para cada altitude.....	88

1. Introdução

1.1. Motivação

Equilibrar o modelo capitalista que predomina no globo terrestre com a resiliência do meio ambiente em aguentar os impactos gerados por esse mesmo modelo é o grande desafio da sociedade atual. Uma nova forma de crescimento que preserve nossos recursos naturais e preserve nossos biomas é uma demanda global. Atualmente a forma de produzir, dita linear, que seria “extrair, produzir e despejar” não está de acordo com a forma sustentável que o mundo necessita para se desenvolver para não entrar em colapso. Sinais desse crescimento descompromissado com o respeito à vulnerabilidade ambiental dos nossos ecossistemas já são perceptíveis à população em geral.

De acordo com Brendan Edgerton, Diretor do *WBCSD* (World Business Council for Sustainable Development, 2016), duas das grandes barreiras para a sustentabilidade são exatamente a economia linear e o nosso sistema de energia global. Brendan propõe o que ela chama de uma economia circular que é uma abordagem para a sustentabilidade ambiental, caracterizada pela criação de modelos econômicos onde nenhum, ou quase nenhum, impacto negativo seja gerado. Basicamente é concatenar no atual modelo de produção que o ciclo de produção não pode ser linear, mas sim circular. A economia circular é uma alavanca fundamental na transição para uma economia de baixo carbono.

A necessidade de mudar para uma economia de baixo carbono está diretamente ligada a três problemas globais que provavelmente se tornarão os maiores problemas no mundo num futuro próximo: armazenamento de energia, disposição e manejo de resíduos e disponibilidade hídrica. Esses três tópicos estão diretamente ligados e demandam uma atenção e cuidado gigantesco. O crescimento da população naturalmente exigirá uma maior demanda energética e isso demandará construções de novas usinas para gerar energia. Essas usinas podem ser hidrelétricas, termelétricas, nucleares, ou usinas de energia renovável. Proporcionalmente ao crescimento da população vem uma maior demanda energética e uma maior produção das indústrias. Com um consumo maior, conseqüentemente ocasionará uma maior geração de resíduos. Mais resíduos gerados aumentam a importância da destinação final desses mesmos. Aterros sanitários e controlados são a grande preferência de destinação de resíduos no Brasil, mas até quando enterrar

o lixo será ambientalmente e economicamente viável. Com a destinação inadequada desses resíduos a chance de contaminação de córregos e aquíferos aumenta também e isso afetará diretamente a disponibilidade hídrica.

Motivado pela necessidade de uma visão mais sustentável e junto com o encerramento das atividades do Aterro controlado do Jockey (ACJ) no dia 20 de janeiro de 2018 (Moll & Pádua, 2018). Esse trabalho visa estimar por meio da aerofotografia o volume do terreno onde se encontrava o Aterro controlado do Jockey e propor 3 cenários que podem vir a ser uma alternativa de remediação para a área do aterro ACJ. Dois dos cenários que vislumbra a geração de energia, a preservação dos aquíferos situados abaixo da área estudada e uma valorização econômica do resíduo disposto naquela área. O último cenário baseado na atenuação natural da área.

1.2. Objetivos

Esse trabalho tem o objetivo de realizar um sobrevoo de uma aeronave remotamente pilotada (RPA) na área do aterro controlado do Jockey e com isso gerar um modelo digital de terreno da região. Os objetivos específicos para esse trabalho são de calcular uma estimativa do volume da pilha de lixo, gerar um ortofoto da região, gerar curvas de nível e um modelo digital da superfície. Com esse volume calculado, propor três cenários futuros que poderiam ser implantados na região de estudo. Os dois primeiros cenários propostos se baseiam numa prática da “autorremediação” da área do aterro. O termo autorremediar vem com a ideia de que toda energia necessária para atenuar a situação do aterro do Jockey seja futuramente gerada pelo próprio aterro por meio de um sistema híbrido de energia. As técnicas de remediação propostas para esses dois primeiros cenários são revisadas no trabalho e são as técnicas de bombeamento e tratamento de lixiviado, captura e tratamento do gás biogás e a mineração de aterro aprimorada.

1.3. Narrativas dos capítulos

Esse trabalho está dividido em sete capítulos. O primeiro capítulo consiste na introdução onde se apresenta a motivação e os objetivos do trabalho aqui descrito, assim como a narrativa dos capítulos. O segundo capítulo é a revisão bibliográfica de conceitos importante para elaboração do projeto de pesquisa. Nele se encontra revisados conceitos como: área de disposição de resíduo, resíduos sólidos, biogás, técnicas de remediação, sistemas híbridos, geoprocessamento, modelo digital do terreno e aerofotografia. O terceiro capítulo é a metodologia abordada para a região

estudada, foi dividida a metodologia em materiais e métodos. O material seria a caracterização da área estudada e os materiais de fato utilizados em campo para coletar os dados necessários para a realização do trabalho enquanto o método são as etapas de processamento e modelagem para se calcular o volume do terreno do aterro controlado. No quarto capítulo encontram-se os resultados obtidos com o processamento das imagens. No quinto capítulo apresenta-se possíveis cenários que podem vir a ser instalados na região de estudos. Cenários que necessitam de um estudo mais aprofundado. O sexto capítulo é a conclusão do trabalho.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Área de disposição de resíduos sólidos

Devido ao crescimento populacional, à industrialização e ao aumento do poder de crédito da população, a geração de resíduos sólidos urbanos aumenta a cada ano que passa. Logo a importância da disposição adequadas desses resíduos é gigantesca. Segundo o IPEA (2012), no Brasil as formas conhecidas de disposição de resíduos sólidos são: Lixão ou Vazadouro, aterro sanitário, compostagem, triagem e incineração.

A Lei no 12.305/2010 instituiu a política nacional de resíduos sólidos e em seu Artigo 3º define área de disposição de resíduos sólidos como sendo:

“Destinação final ambientalmente adequada, a destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa), entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos” (Brasil, 2010).

O IPEA apresentou um relatório em 2008 sobre o diagnóstico dos resíduos sólidos Urbanos e realizou um levantamento da destinação final dos RSU no Brasil e chegaram ao seguinte resultado mostrado na Figura 2-1 (Intituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2008):

Destino final	2000		2008	
	Quantidade (t/d)	%	Quantidade (t/d)	%
Aterro sanitário	49.614,50	35,4	110.044,40	58,3
Aterro controlado	33.854,30	24,2	36.673,20	19,4
Vazadouros a céu aberto (lixão)	45.484,70	32,5	37.360,80	19,8
Unidade de compostagem	6.364,50	4,5	1.519,50	0,8
Unidade de triagem para reciclagem	2.158,10	1,5	2.592,00	1,4
Unidade de tratamento para incineração	483,10	0,3	64,80	<0,1
Vazadouro em áreas alagáveis	228,10	0,2	35,00	<0,1
Locais não fixos	877,30	0,6	-	-
Outra unidade	1.015,10	0,7	525,20	0,3
Total	140.080,70	-	188.814,90	-

Figura 2-1 - Destinação final de RSU no Brasil. Fonte: (Intituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2008)

Em 2016, o SNIS (Sistema nacional de informação sobre o saneamento), publicou o 15º relatório de diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos onde aborda vários temas ligados a resíduo sólido como por exemplo a quantidade e a destinação final dos resíduos sólidos urbanos dentro das empresas cadastradas no sistema federal. A tabela 1 apresenta a porcentagem do total de unidades de processamento destinada a RSU e percebe-se ainda soberania na quantidade de lixões no Brasil, obtendo um total de 30,3%.

Tabela 2-1 - Quantidade de unidades de processamento de RSU com informações atualizadas, por tipo de unidade e agente operador (Fonte - SNIS_RS, 2016)

Tipo de unidade de processamento (*)	Quantidade de unidade por tipo de operador						Total	
	Prefeitura	Empresa	Consórcio	Associação catadores	Outro operador	Total		
						Absoluto	Relativo	
Lixão	1.132	45	2	2	22	1.203	30,3%	
Aterro controlado	566	46	4	11	1	628	15,8%	
Aterro sanitário	458	192	22	1	14	687	17,3%	
Unidade de triagem (galpão ou usina)	247	105	5	484	55	896	22,6%	
Un. de compostagem (pátio ou usina)	50	10	0	7	0	67	1,7%	
Unidade de transbordo (RDO+RPU)	59	56	1	4	1	121	3,0%	
Un. de tratamento por incineração	0	19	0	0	0	19	0,5%	
Unidade de manejo de galhadas e podas	24	8	0	0	0	32	0,8%	
Vala específica de RSS (res. dos serv. saúde)	15	4	1	0	0	20	0,5%	
Un. de tratamento por micro-ondas ou autoclave	2	16	0	0	0	18	0,5%	
Queima em forno de qualquer tipo	1	2	0	0	0	3	0,1%	
Aterro industrial	2	2	0	0	0	4	0,1%	
Área de transbordo e triagem de RCC** e volumosos (ATT)	19	12	1	2	2	36	0,9%	
Área de reciclagem de RCC ** (antiga "estação de reciclagem entulho")	10	8	1	3	2	24	0,6%	
Aterro de RCC ** (antigo "at. inertes")	41	14	0	1	0	56	1,4%	
Outro	56	86	0	9	4	155	3,9%	
Total - 2016	2.682	625	37	524	101	3.969	100,0%	
	67,6%	15,7%	0,9%	13,2%	2,5%	100,0%	-	
Total - 2015	2.625	600	28	510	96	3.859	100,0%	
	68,0%	15,5%	0,7%	13,2%	2,5%	100,0%	-	
Total - 2014	2.702	621	27	277	86	3.713	-	
	72,8%	16,7%	0,7%	7,5%	2,3%	100,0%	-	

*Classificação segundo informação dos municípios.

Na tabela 2-1 há a massa total destinada para cada unidade de processamento recebida em 2016. Comparando o total de resíduos gerado e comparando com a quantidade destinada para aterros sanitários, chega-se a valores de 54,8% destinada para aterros sanitários e 9,7% destinados a lixões e aterros sanitários. Números que comparando com o levantamento feito pelo IPEA em 2008 mostra que a porcentagem destinada para aterros sanitários se manteve e a quantidade destinada para lixões e aterros controlados diminuiu.

Tabela 2-2 - Massa total de resíduos recebidos pelas unidades de processamento dos municípios participantes, segundo tipo de unidade e região geográfica (Fonte - SNIS, RS 2016)

Tipo de unidade de processamento (*)	Massa recebida nas unidades de processamento por região					
	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Massa total recebida (Up080)
	(toneladas)	(toneladas)	(toneladas)	(toneladas)	(toneladas)	(toneladas)
Lixão	1.099.358	3.981.519	603.342	87.944	1.051.779	6.823.942
Aterro controlado	714.707	1.162.005	3.066.530	363.919	1.348.777	6.655.938
Aterro sanitário	2.237.489	7.267.532	19.592.073	6.308.329	2.087.015	37.492.438
Unidade de triagem (galpão ou usina)	44.471	30.202	1.099.882	637.406	79.103	1.943.520
Un. de compostagem (pátio ou usina)	451	2.106	193.092	16.437	103.897	315.983
Unidade de transbordo (RDO+RPU)	0	706.941	8.022.340	754.761	403.849	9.887.890
Un. de tratamento por incineração	0	5.315	770	0	2.217	8.302
Unidade de manejo de galhadas e podas	0	31.552	18.949	26.542	0	77.043
Vala específica de RSS (res. dos serv. saúde)	1.150	22.009	7.079	0	312	30.550
Un. de tratamento por micro-ondas ou autoclave	302	826,6	53.544	2.265	0	56.937
Queima em forno de qualquer tipo	54	0	0	0	0	54
Aterro industrial	0	0	0	0	0	0
Área de transbordo e triagem de RCC** e volumosos (ATT)	0	138.240,00	62.507	274.097	0	474.844
Área de reciclagem de RCC ** (antiga "estação de reciclagem de entulho")	0	0	702.778	124.161	0	826.939
Aterro de RCC ** (antigo "at. inertes")	0	116.447,00	1.946.457	92.350	485.340	2.640.594
Outro	958	364.259	780.487	216.862	285	1.362.851
Total - 2016	4.098.939	13.828.953	35.957.159	8.905.074	5.562.575	68.352.699
	5,98%	20,17%	52,68%	13,06%	8,11%	100,00%
Total - 2015	5.273.582	15.438.013	40.234.871	8.834.015	8.216.544	77.997.025
	6,76%	19,79%	51,59%	11,33%	10,53%	100,00%
Total - 2014	4.856.199	16.916.205	34.894.224	8.369.034	8.478.935	73.514.597
	6,49%	23,51%	47,28%	11,37%	11,34%	100,00%

* Classificação segundo informação dos municípios.

** RCC: res. da construção civil (ou res. const. e demolição: RCD). Área de reciclagem de RCC = antiga denominação de estação de reciclagem de entulho.

2.1.2. Incineração

Incineração de resíduos emprega alta temperatura de fornos para queimar correntes de resíduos, que entram em combustão completa. Isso garante o tratamento sanitário e a destruição de componentes orgânicos e minimiza a presença de resíduos combustíveis nas cinzas resultantes

A incineração pode ser ambientalmente correta e aliada da proteção do meio ambiente, desde que estas plantas sejam operadas por equipes qualificadas e treinadas; sejam dotadas de equipamentos eficazes quanto ao controle de poluição, bem como, de técnicas adequadas de disposição final dos resíduos gerados; e sejam monitoradas e acompanhadas pela comunidade e pelos agentes ambientais, públicos e privados (Menezes, 2000).

O processo de incineração é definido por Morgado e Mendes (2006) basicamente consiste em dois estágios. Primeiramente, o resíduo é queimado na câmara primária, que é a receptora direta do resíduo, em uma temperatura alta o suficiente para que algumas substâncias presentes se tornem gases e outra assume a forma de pequenas partículas. Nessa etapa, a temperatura de operação varia tipicamente entre 500°C e 900°C. Em todas as configurações, a alimentação de oxigênio nessa câmara é sub-estequiométrica, evitando-se assim gradientes elevados de temperatura. Nessas condições controladas, evita-se a volatilização de grandes quantidades de metais presentes no lixo, como chumbo, cádmio, cromo, mercúrio, entre outros. Além disso, minimiza-se a formação de óxidos nitrosos, que surgem apenas sob temperaturas mais elevadas.

Já a fase gasosa gerada na câmara primária é encaminhada para a câmara secundária. Essa mistura de gases e partículas é então queimada a uma temperatura mais alta por um intervalo de tempo suficiente para que haja a combustão completa. Tempo de residência representativo para resíduos sólidos é de 30 minutos para o primeiro estágio e de 2 a 3 segundos para a combustão da fumaça no segundo estágio. Nesse caso, a atmosfera é altamente oxidante (excesso de oxigênio) e a temperatura de projeto varia normalmente entre 750°C -1250°C. Os diversos gases gerados na câmara anterior são oxidados a gás carbônico (CO_2), e água (H_2O). Nessa temperatura, a probabilidade de existência de moléculas com grande número de átomos como dioxinas e furanos, compostos altamente nocivos aos seres humanos, é praticamente zero.

Os gases provenientes desta segunda etapa passam por um sistema de abatimento de poluição, que consiste em muitos estágios (por exemplo, scrubber para a remoção de ácido no gás, precipitador eletrostático para a remoção de poeira e/ou filtros para a remoção de partículas finas), antes de serem enviadas para a atmosfera via uma chaminé. As restritas regulamentações de emissões algumas vezes requerem o uso de carvão ativo no sistema de abatimento, para que haja redução da emissão de mercúrio e dioxinas.

Após a incineração, a parte sólida é tirada da grelha. A quantidade deste material sólido após o processo de incineração varia de 12 a 30% em massa (de 4 a 10% em volume) do material original e tem o aspecto de cinza, sendo um material totalmente esterilizado e apto para ser aterrado ou mesmo aplicado à construção civil (tijolos, capeamento de estradas, etc.), mas frequentemente este é levado para aterros sanitários (embora possa ser utilizado na construção de aterros).

Assim que materiais combustíveis orgânicos forem removidos, este resíduo não se degrada para formar gás de aterro. O resíduo é normalmente tratado para que haja a recuperação de materiais ferrosos; não ferrosos, que podem também ser recuperados em certas circunstâncias. Uma pequena quantidade de finas partículas é carregada para fora da câmara de combustão pela exaustão dos gases (frequentemente leves cinzas aquecidas); isso é coletado no precipitador ou no filtro (Menezes, 2000).

No Brasil, a incineração se caracteriza ainda por incineradores de porte pequeno, instalados em hospitais, casas de saúde e aeroportos. Normalmente são equipamentos muito pequenos com capacidade inferior a 100kg/Hora. De acordo com uma nota de aula publicada pela Universidade Federal de Santa Maria, os resíduos adequados e não adequados para o processo podem ser divididos da seguinte maneira (USFM, 2016).

Os resíduos adequados ao processo são:

- Resíduos orgânicos, constituídos basicamente de Carbono, hidrogênio e/ou oxigênio;
- Resíduos que contém carbono, hidrogênio e Cloro com teores < 30% em peso;
- Resíduos que apresentam poder calorífico inferior (PCI) maior que 4700 kcal/kg

Os resíduos não adequados ao processo são:

- Resíduos que não apresentam uma quantidade significativa de orgânicos;
- Altamente explosivos ou radioativos (baixo teor radioativo pode ser incinerado desde que se controlem as emissões de isótopos);

2.1.1. Aterros Sanitários

De acordo com a Norma NBR 8419 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992) define aterro sanitário como sendo uma:

[...] “Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário”.

A obra de um aterro sanitário compreende um conjunto de componentes e técnicas operacionais tais como: Divisão de células, compactação dos resíduos, cobertura, sistema de impermeabilização do solo de fundação, sistema de coleta e drenagem de líquidos e gases, tratamento do chorume, monitoramento geotécnico e ambiental entre outros (Nascimento, 2007).

Quanto ao método de aterramento destacam-se:

- Método da trincheira: o lixo é disposto em valas escavadas no solo, compactado e recoberto;
- Método da rampa: empregado em área com talude natural ou construído, onde o lixo é compactado de encontro a esse talude. O material de cobertura da célula de lixo é obtido por escavação da próxima célula, em cota inferior;
- Método da área: nesse método as camadas de lixo se superpõem, preenchendo áreas baixas ou depressões (atualmente em desuso), ou então se elevando em forma de tronco piramidal acima do nível original do terreno.

No Brasil, a disposição final dos resíduos sólidos é de competência do poder público local. Os serviços de manejo dos resíduos sólidos compreendem a coleta, a limpeza pública bem como a destinação final desses resíduos. Vale ressaltar que boa parte dos resíduos urbanos não são coletados, e seu descarte ocorre em áreas de maior fragilidade a contaminações como descartes em rios, matas e áreas de recarga de aquíferos (Cavalcanti, 2013).

2.1.2. Lixão

Vazadouros a céu aberto, sem controle ambiental e nenhum tratamento ao lixo, onde pessoas têm livre acesso para vasculhar pelos resíduos e até montar moradias em cima deles. É ambiental e socialmente, a pior situação encontrada no estado quando se fala de disposição de resíduo. Antigamente o lixão era mascarado sendo denominando como aterro controlado com a proposta de considerar a área onde os resíduos são dispostos com algum tipo de controle, mas ainda assim contra as normas ambientais brasileiras. A ABNT desde de 2011 retirou a nomenclatura de aterro controlado pois tanto ele como os lixões não atendem as recomendações da política nacional de resíduos sólidos.

2.1.3. Resíduos Sólidos

Conforme a NBR 10.004 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004), a definição de resíduo sólido é:

[...] “Resíduos nos estados sólido e semissólido (Política Nacional de Resíduos Sólidos , 2010), que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Basicamente se estende a todo o material descartável de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviços de varrição. Os resíduos sólidos são classificados em classes conforme os seus riscos potenciais ao meio ambiente, a saúde pública e as formas de manuseio e destinação adequados. As classificações dos resíduos são:

- Classe I – Perigosos: apresentam periculosidade ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (lixo biológico e químico).
- Classe II – Não inertes: são os resíduos que não se enquadram como resíduos da Classe I e da Classe III, e podem ter as seguintes propriedades: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, como por exemplo, matéria orgânica e papel.

- Classe III – Inertes: não têm constituinte algum solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade de águas, como por exemplo: rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos facilmente.

Ao contrário dos resíduos líquidos e gasosos que podem ser tratados e filtrados, os resíduos sólidos têm se configurado em um grande desafio devido ao acréscimo em seu volume gerado e pelo aumento de seu potencial de contaminação (Cavalcanti, 2013).

2.1.4. Rejeito

Rejeito é definido na PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos, 2010) pela lei 12.305 de 2010 no artigo 3 inciso XV como sendo

“[...]Resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada”

2.1.5. Biogás

O biogás é uma mistura resultante da fermentação anaeróbica de material orgânico encontrado em resíduos animais e vegetais, lodo de esgoto, lixo ou efluentes industriais, como vinhaça, restos de matadouros, curtumes e fábricas de alimentos (Coelho, 2006). Começa a ser gerado em um aterro após alguns meses do início do depósito dos resíduos e continua por 15 anos após seu encerramento. De acordo com o Banco Mundial uma tonelada de resíduo disposto em um aterro sanitário gera em média 200 Nm³ de biogás. Para comercializar o biogás através da recuperação energética, o aterro sanitário deverá receber no mínimo 200 toneladas/dia de resíduos, com capacidade mínima de recepção da ordem de 500.000 toneladas em sua vida útil e altura mínima de carregamento de 10 metros (Banco Mundial, 2015)

O biogás gerado nos aterros sanitários é composto basicamente por metano (CH₄ – de 55 a 65%), dióxido de carbono (CO₂ – de 35 a 45%), nitrogênio (H₂ – de 0 a 1%), hidrogênio (H₂ – de 0 a 1%) e gás sulfídrico (H₂S - de 0 a 1%). Em um período de 100 anos, 1 grama de metano contribui 21 vezes mais para a formação do efeito estufa do que 1 grama de dióxido de carbono (Qasim & Chiang, 1994). A combustão completa do metano produz dióxido de carbono e vapor d'água.

O aterro sanitário e o lixão podem ser considerados reatores biológicos. Onde os materiais de entrada são os resíduos e a água e os materiais de saída são o chorume e o gases. Os fatores que podem influenciar na produção de biogás são: composição dos resíduos dispostos, umidade, tamanho das partículas, temperatura, pH, Idade dos resíduos, projeto do aterro e sua operação (Ministério do Meio Ambiente, S.d.).

2.1.6. Lixiviado

Lixiviados de aterro sanitário, também conhecidos por Chorume, são definidos como efluentes líquidos gerados como resultado da percolação de água de chuva através dos resíduos sólidos dispostos em aterros, bem como da umidade natural desses resíduos. Tais efluentes podem conter uma grande quantidade de matéria orgânica (biodegradáveis e não biodegradáveis – refratários), onde os compostos húmicos constituem um importante grupo, assim como os compostos nitrogenados, metais pesados e sais inorgânicos (Qasim & Chiang, 1994).

A presença desses constituintes no lixiviado, atrelado a inexistência de engenharias de controle na maioria dos aterros, combinado com o fato de que muitos aterros inadvertidamente podem ter recebido no passado, ou atualmente, resíduos perigosos e industriais, acabam por gerar a liberação de substâncias potencialmente tóxicas, às quais poderão infiltrar pelo solo até atingirem águas subterrâneas ou escoar para águas superficiais (Qasim & Chiang, 1994).

É interessante ressaltar que mesmo anos após ter-se exaurida a capacidade de recebimento de RSU para sua disposição final em aterros, o mesmo continua a gerar o lixiviado.

Os líquidos percolados de aterro podem ser classificados como novo ou estabilizado dependendo da demanda química de oxigênio (DQO) que possuem:

- Lixiviado novo: Elevada DQO ($>10.000\text{mgO}_2/\text{L}$), pH ácido, relação DBO/DQO > 0.3 , alta concentração de ácidos graxos e de compostos nitrogenados;
- Lixiviado estabilizado: Menor concentração de matéria orgânica biodegradável ($\text{DQO} < 4000\text{mgO}_2/\text{L}$) e elevada concentração de matéria orgânica refratária, pH alcalino, relação;

Ressalta-se que fatores como: taxa de precipitação anual, temperatura média, tipo de compactação, idade do aterro, entre outros, também influenciam na composição do lixiviado gerado. A norma

NBR 10.005/2014 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014) aborda os procedimentos para obtenção do lixiviado de resíduos sólidos.

2.2. Técnicas de Remediação

O processo de remediação de solos contaminados se refere à redução dos teores de contaminantes a níveis seguros e compatíveis com a proteção à saúde humana, seja impedindo ou dificultando a disseminação de substâncias nocivas ao ambiente. Seja qual for a tecnologia de remediação adotada para a descontaminação de uma determinada área, esta deve ser aplicada conforme as características intrínsecas de cada sítio contaminado, além de atender a legislação ambiental vigente, sendo compatível ao risco que a contaminação apresenta. A maioria dos solos apresenta alguma contaminação. A escolha da técnica de remediação deve ser baseada na avaliação da heterogeneidade física do solo, na extensão do contaminante, na localização das fontes primárias dos contaminantes, na existência de zonas de descarga, bem como na presença do contaminante em suas fases imiscível, residual ou adsorvida no meio geológico (Tavares, 2013.147 p).

Os métodos de remediação podem ser *Ex situ* ou *In situ*. O método *Ex situ* envolve a remoção do solo, enquanto o método *In situ* é a remediação sem a remoção do solo. O método *In situ* é preferível ao método *Ex situ*, pois não envolve o deslocamento de material contaminado.

O gerenciamento de uma área contaminada é regulamentado pela resolução Conama 420 de 2009 e no capítulo IV artigo 21 define os princípios básicos sendo (CONAMA, 2009):

I - A geração e a disponibilização de informações;

II - A articulação, a cooperação e integração interinstitucional entre os órgãos da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios, os proprietários, os usuários e demais beneficiados ou afetados;

III - A gradualidade na fixação de metas ambientais, como subsídio à definição de ações a serem cumpridas;

IV - A racionalidade e otimização de ações e custos;

V - A responsabilização do causador pelo dano e suas conseqüências; e,

VI - A comunicação de risco.

E também define no artigo 22 os procedimentos e ações voltadas ao atendimento dos seguintes objetivos:

I - Eliminar o perigo ou reduzir o risco à saúde humana;

II - Eliminar ou minimizar os riscos ao meio ambiente;

III - Evitar danos aos demais bens a proteger;

IV - Evitar danos ao bem-estar público durante a execução de ações para reabilitação; e

V - Possibilitar o uso declarado ou futuro da área, observando o planejamento de uso e ocupação do solo.

2.2.1. Bombeamento e tratamento da água

Mais conhecido pelo seu nome em inglês, *Pump and treat*, essa técnica tem como objetivo capturar a pluma de contaminação, tratando as águas subterrâneas, para depois descartá-las ou reintroduzi-las no aquífero. É o método mais comum para o tratamento de águas subterrâneas. O tipo de tratamento aplicado à água contaminada que foi bombeada para foro do solo depende das características dos contaminantes, como por exemplo:

- Composto orgânico: Oxidação ou adsorção em carvão granular ativado;
- Orgânicos voláteis: Captura com ar;
- Metais: precipitação por ajuste de pH;

O bombeamento em geral não precisa recuperar o solo ao seu estado natural. A remediação é considerada finalizada quando as concentrações atingem níveis aceitáveis pela legislação vigente do local (Ribeiro, 2017').

2.2.2. Captura e tratamento do Biogás

Primeiramente determina-se onde a central de extração de biogás ocorrerá no aterro, o local mais indicado é a região mais baixa do aterro sanitário devido ao condensado gerado pelo biogás percorrer em mesmo sentido de fluxo do biogás conduzido.

Sendo estabelecido o local da planta de extração de biogás, estuda-se o encaminhamento de tubulações principais na tentativa de implantá-la em regiões do aterro sanitário onde não haverá mais disposições de resíduos. Geralmente esta região é encontrada em taludes de periferias do aterro sanitário. Projetado o encaminhamento das tubulações principais, deve ser avaliada a implantação de estações de regulagens ou Manifold's. A forma mais conveniente de implantações destas estações seria no ponto mais baixo da região que seria capturada biogás por elas, pois assim como as tubulações principais o condensado de Biogás será conduzido no mesmo sentido de fluxo, evitando maiores probabilidades de obstrução de passagem de gás pela formação de sifão gerado pelo percolado nas tubulações secundárias (Faria, 2010. 108 f).

As vantagens de se implantar a estação reguladora ou Manifold em locais mais baixos e que não receberá deposição de resíduos são:

- A não desativação da estação durante a vida útil do sistema.
- Captura contínua de biogás nas regiões de taludes.

O aproveitamento do biogás, para geração de energia elétrica ocasiona uma redução no potencial de poluição do meio ambiente, uma vez que é composto por acentuada concentração de gás metano (CH_4), cerca de 24 vezes superior ao dióxido de carbono (CO_2), no que se refere ao efeito estufa. Para que o biogás possa ser utilizado como combustível, seja em motores, turbinas a gás ou microturbinas, é necessário identificar sua vazão, composição química e poder calorífico, parâmetros que determinam o real potencial de geração de energia elétrica, além de permitir dimensionar os processos de pré-tratamento do biogás, como a remoção de H_2S (ácido sulfídrico) e da umidade, com o propósito de evitar danos aos equipamentos da instalação e aumentar seu poder calorífico. (Coelho, 2006)

É importante frisar que a técnica de captura e tratamento de biogás é mais simples quando se trata de um aterro sanitário, pois é conhecida a forma e a maneira que foi realizada a disposição do resíduo ao longo dos anos de operação. A implementação dessa técnica num lixão é muito mais complexa, pois sem realizar diversos experimentos e testes na área do lixão desejado de se coletar o biogás gerado não há como saber ao certo como que a dispersão do gás ocorreu.

2.2.3. Mineração de aterro

O primeiro registro de mineração de aterro ocorreu num projeto em 1953 na cidade de Tel Aviv em Israel com o objetivo de obter fertilizante para pomares (Krook, Svensson, & Eklund, 2011). Existe pouca ou limitada informação sobre projetos de mineração de aterros implementados pelo mundo. Entretanto há registros de projetos planejados ou projetados em Bangkok no aterro de Non khaem na Tailândia e no aterro de Nanjido na Coreia do Sul. Apenas seis projetos foram executados nos Estados Unidos da América e basicamente todos tinham como objetivo a adequação do aterro às normas ambientais, como por exemplo, a instalação de geomembrana para evitar a percolação de lixiviado, ou instalação de dutos coletores de biogás. Além da adequação à novas normas ambientais a técnica de mineração de aterro é usada para recuperar a área de disposição de resíduo. Se determinada área que era para disposição de resíduos por algum motivo valoriza-se imobiliariamente a técnica pode ser aplicada para realocar os resíduos para outro aterro.

Tanto a técnica como os equipamentos necessários se assemelham com a mineração de minério. Basicamente consiste em escavar o resíduo depositado e após a triagem carregá-lo para outros lugares. Esse lugar pode ser outro aterro ou uma área de triagem ou até uma usina incineradora. A estabilidade dos resíduos aterrados é essencial para se aplicar a técnica de mineração. A escavação ocorrerá dependendo de como a disposição foi realizada no aterro.

Os principais elementos que se deve verificar antes de aplicar essa técnica são (Strange, S.d.):

- Composição dos resíduos inicialmente colocados no aterro;
- Procedimentos operacionais históricos;
- Extensão da degradação dos resíduos;
- Tipos de mercados e usos para os materiais recuperados da mineração;

As vantagens econômicas e ambientais relacionadas à aplicação da técnica de mineração de aterro são:

- Uso de fração recuperada do solo como material de cobertura de aterro;
- Recuperação de materiais secundários;
- Redução da pegada de carbono do aterro e, portanto, redução nos custos de fechamento e pós-fechamento;

- Recuperação do volume de aterro para reutilização.

No entanto, deve ser enfatizado, que as características dos materiais recuperados são substancialmente uma função da composição dos resíduos enterrados, incluindo concentrações de metais pesados e de outros compostos tóxicos. Os materiais orgânicos que podem ser recuperados podem ter um uso como combustível.

2.2.3.1. Mineração de Aterro Aprimorada

Recentemente o conceito de mineração de aterro aprimorada (MAP) (Passel, Dubois, & Eyckmans, 2012) foi proposta como sendo uma prática melhorada da mineração de aterro. Essencialmente é a mesma técnica de remediação de minerar o aterro que se iniciou em Israel em 1953, mas com o objetivo de valorizar o resíduo despejado no aterro. Respeitando rigorosamente o meio ambiente e a sociedade. Transformar o rejeito despejado em material para reciclagem, recuperação do solo usado para aterrar o rejeito, recuperação da área degradada e geração de energia por meio do rejeito minerado (Quaghebeur, Laenen, & Geysen, 2012).

O conceito de Mineração de aterro aprimorada está em desenvolvimento desde 2008 dentro do Consórcio Flamengo de MAP (EURELCO, 2015) Este consórcio de peritos foi estabelecido no norte da Bélgica em Flanders para integrar a deposição de aterros, envolvendo uma prática integrada e sistêmica de recuperação de recursos. Atualmente a definição de MAP é um aprimoramento seguro do aterro, envolvendo escavação e a valorização integrada dos resíduos desenterrados. Transformando esses resíduos em algo com valor financeiro, resíduos em materiais e em resíduos em energia. Respeitando rigorosamente as normas sociais e ecológicas (Jones, Geysen, & Tielemans, 2012).

A valorização integrada dos resíduos desenterrados encaixa perfeitamente no conceito de economia circular. Consiste em uma valorização máxima desses resíduos e gerar material por meio de reciclagem e gerar energia com a incineração do resíduo. Para isso é necessário um centro de triagem com a tecnologia disponível para separar o solo usado para aterramento, separar os resíduos que ainda possam ter algum valor econômico para reciclagem e os resíduos que possuem algum valor calorífico para combustão.

2.2.3.2. Combustível derivado de resíduo

O combustível derivado de resíduos (CDR) é produzido através dos resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais e resíduos comerciais. O *WBCSD* (World Business Council for Sustainable Development, 2016) define CDR como sendo resíduos selecionados com poder calorífico podem ser usados como combustível, substituindo uma parte dos combustíveis fósseis convencionais, como o carvão, se eles atenderem a especificações rigorosas. O CDR consiste basicamente de componentes combustíveis desses resíduos como plásticos não recicláveis (não incluindo o PVC), papelão, etiquetas e outros materiais corrugados. O PVC pode causar explosões dentro dos fornos de incineração, comprometendo as paredes internas e aumentando os custos de manutenção. Estas frações são separadas por etapas de processamento, tais como triagem, classificação de ar, separação balística, separação de materiais ferrosos e não ferrosos, vidro, pedra e outros materiais estranhos. Ocorre à trituração em um tamanho grão uniforme, a fim de produzir um material homogêneo que pode ser usado como substituto para combustíveis fósseis em usinas termoelétricas (Wikipedia, 2018).

2.2.3.3. Resíduo em Energia

Resíduo em energia é uma técnica que visa à valorização econômica do resíduo. Busca encerrar o sistema tradicional de produção que é linear e segue a base de extrair, produzir e despejar. É simplesmente realizar a triagem no resíduo coletado e separar aqueles com características favoráveis à combustão. Essa prática segue a ideia do modelo que vem crescendo mundialmente da economia circular. Que quebra esse padrão de produção linear e pensa em toda cadeia de produção. Desde a extração até um uso adequado para o resíduo final. A combustão do resíduo é usada para transformar água no estado líquido para o estado gasoso, esse vapor é usado para girar uma turbina que gera energia. Esse processo pode reduzir o volume de resíduo do aterro em até 90% e previne a liberação de uma tonelada de dióxido de carbono para cada tonelada de resíduo incinerado.

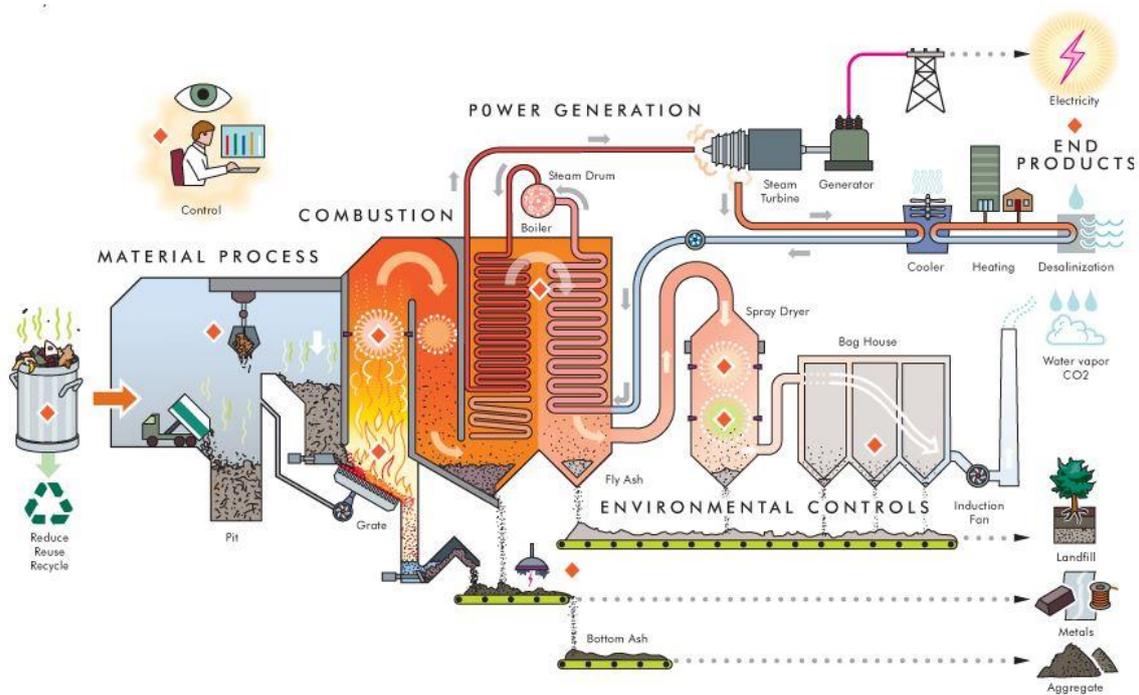


Figura 2-2 - Ciclo de geração de energia através do resíduo derivado do combustível. Fonte: (DeltaWay)

A triagem no resíduo é de extrema importância nesse processo de transformar resíduo em energia. Reciclar plásticos, vidro, papel, metais e madeira reduzem de maneira significativa a liberação de carbono e poluentes no processo de combustão do resíduo.

De acordo com a empresa *Delta Way Energy* (DeltaWay, 2017) todo o processo de combustão, desde a chegada do resíduo até a liberação de gases e o rejeito final pode ser controlado e garantir a eficiência nos processos de combustão, geração de calor e vapor, energia elétrica e controle ambiental.

Fontes de energia solar e eólica são exemplos de energias renováveis, já que sua matéria prima para geração de energia é a radiação do sol e os ventos, duas fontes que são naturalmente reabastecidos. A geração de energia através do resíduo não é considerada uma fonte de energia renovável, mas é inegável que é o “combustível” mais gerado e descartado do mundo. Disponível em todos os países na terra e causando impactos globais negativos em todos os lugares da terra. O crescimento populacional mundial aumenta a demanda por alimento, energia e bens de consumo próprio. Isso obviamente ocasionará no aumento da geração de resíduos, resíduos alimentícios, industriais e urbanos. As mudanças globais causadas pelo aumento da liberação do dióxido de

carbono é uma preocupação mundial e com a diminuição da disponibilidade de combustíveis fósseis e as reservas mundiais estando cada vez mais controlados por poucos países.

A demanda de energia mundial aumentará em seis vezes até o ano de 2100 (Kothari, Tyagi, & Pathak, 2010). A transformação de resíduo em energia pode vir a ser uma alternativa com a possibilidade de suprir essa demanda energética como de fechar o ciclo de produção agregando um valor financeiro ao resíduo e valorizando os processos de triagem, reciclagem, coleta e separação do lixo.

2.3. Energia

Etimologicamente, este termo deriva do grego “*ergos*”, cujo significado original é trabalho. Energia é a capacidade de algo de realizar trabalho, ou seja, gerar força num determinado corpo, substância ou sistema físico. Existem várias formas de energia: Potencial, mecânica, química, eletromagnética, elétrica, calorífica, etc. Essas diferentes formas de energia podem ser transformadas umas nas outras.

2.3.1. Energia Elétrica

O início do estudo da energia elétrica surgiu com o filósofo grego, Tales de Mileto, que viveu entre 624 e 546 antes de Cristo. Tales observou que ao arrastar um âmbar com a pele de um animal, esse âmbar passava a atrair objetos leves e secos após o atrito. Após isso ocorreram centenas de experimentos e teses que fizeram a energia elétrica ser o que ela é hoje. Muito se avançou desde o simples experimento do filósofo Tales de Mileto, atualmente, pode se obter energia elétrica de diversas maneiras como por meio de hidrelétricas, biomassa, óleo combustível, diesel, eólica, solar e nuclear.

Uma característica importante da eletricidade é o fato de não ser facilmente armazenada, devendo, portanto, ser consumida no mesmo momento em que é gerada. Como a demanda por eletricidade não é constante ao longo do ano nem ao longo do dia, o conjunto de usinas geradoras de um sistema elétrico deve alterar sua produção de energia a cada momento de forma a atender a demanda. (Castro, 2015)

A matriz elétrica brasileira é predominante hidrelétrica e a maior parte dos geradores e consumidores está interconectado num único sistema, O sistema Interligado nacional (SIN), o que

permite a complementariedade energética entre diferentes fontes e regiões. A instituição responsável por coordenar a operação eletro energética das usinas do SIN é o Operador Nacional do Sistema Elétrico (NOS) que decide a produção de energia nas diferentes usinas do sistema. Priorizando a minimização dos custos e evitar o risco de falta de energia no país. A tabela 2-3 da Agência Nacional de Energia Elétrica resume a porcentagem de produção de energia elétrica no Brasil. Confirmando o predomínio da geração por hidrelétrica (Castro, 2015).

Tabela 2-3 - Capacidade instalada por fonte de energia elétrica no Brasil. Fonte (CASTRO, 2015).

Fonte		Quantidade	Potência fiscalizada (MW)	%
Hídrica		1153	88.648,6	66,9%
Fóssil	Petróleo *	1232	8.931,5	6,7%
	Carvão Mineral	22	3.593,2	2,7%
	Gás Natural	122	12.590,0	9,5%
	Outros fósseis	2	149,3	0,1%
Biomassa	Floresta	77	2.302,1	1,7%
	Resíduos sólidos urbanos	11	67,0	0,1%
	Resíduos animais	12	1,4	0,0%
	Biocombustíveis líquidos	3	19,1	0,0%
	Agroindustriais	400	9.909,7	7,5%
Eólica		207	4.363,6	3,3%
Nuclear		2	1.990,0	1,5%
Solar		289	15,0	0,0%
Total		3532	132.580,3	100,0%
* Inclui óleo combustível, óleo diesel e gás de refinaria.				

2.3.2. Energia solar

A energia proveniente da luz e do calor é denominada energia solar. Essa radiação do sol é utilizada por meios diferentes que estão em constante evolução, como o aquecimento solar, a energia solar fotovoltaica, a energia heliotérmica, a arquitetura e a fotossíntese artificial (Royal Society of Chemistry, s.d.).

A energia solar pode ser aproveitada em diferentes níveis em todo o mundo. Consoante a localização geográfica, quanto mais perto do equador, mais radiação solar pode ser potencialmente captada para produção de energia solar (Acra, Jurdi, & Mu'Allem, S.d.).

A energia solar é a conversão de luz solar em eletricidade. Essa conversão pode ser direta utilizando energia fotovoltaica (PV - sigla em inglês), ou indiretamente, utiliza energia solar concentrada (CSP). Sistemas CSP usam lentes ou espelhos para focar uma grande área de luz solar em uma pequena viga, enquanto a PV converte a luz em corrente elétrica usando o efeito fotoelétrico (Wikipédia, 2018).

2.3.2.1. *Heliotérmica*

Usina heliotérmica, também chamada de solar térmica ou, em inglês, Concentrating Solar Power (CSP) e Solar Thermal Electricity (STE) é uma usina solar que converte a radiação proveniente do Sol em energia elétrica através da concentração dos raios em um foco, de forma a transformá-los em calor. Esse calor é transferido para uma máquina térmica, que o converte em energia elétrica. A tecnologia heliotérmica difere, portanto, da fotovoltaica que converte a luz solar diretamente em energia elétrica (Castro, 2015).

As usinas heliotérmicas podem ser projetadas com um sistema de armazenamento de energia na forma de calor e, assim, comportarem-se de forma bastante parecida com uma termelétrica convencional. É possível, inclusive, que a usina atue de modo a suprir os requisitos de reserva primária e secundária do sistema elétrico. Essas características diferenciam de forma positiva a tecnologia heliotérmica em relação a outras formas de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, como fotovoltaica e eólica, sem deixar de ter a vantagens dessas fontes, como baixa emissão de gases de efeito estufa e segurança energética. Outra vantagem dessas fontes renováveis é que, uma vez construída a usina, o preço da energia produzida por ela independe de variações da cotação do petróleo no mercado internacional (Castro, 2015).

As usinas em operação atualmente, como demonstrado tabela 2-4, concentram-se quase que exclusivamente em apenas dois países: Estados Unidos e Espanha. Apesar disso, observa-se, recentemente, o anúncio de construção de novas plantas em outros países, como África do Sul, Marrocos, Emirados Árabes Unidos, Índia e Chile (ABENGOA, 2014).

Tabela 2-4 - Capacidade instalada de usinas heliotérmicas em MW por país. Fonte: (ABENGOA, 2014)

País	Instalado até 2012	Instalado em 2013	Instalado até 2013
Espanha	1950	350	2300
Estados Unidos	507	375	882
Emirados Árabes Unidos	0	100	100
Índia	0	50	50
Argélia	25	0	25
Egito	20	0	20
Marrocos	20	0	20
Austrália	12	0	12
China	0	10	10
Tailândia	5	0	5
Total	2539	885	3424

Entre as usinas solares térmicas usadas para a geração de energia elétrica, há quatro tecnologias principais (Figura 2.3), a saber:

- Torre solar: Neste tipo de usina, o receptor localiza-se no alto de uma torre e vários espelhos, chamados de helióstatos, são controlados para refletirem os raios solares no receptor. Essa configuração também é baseada no princípio Fresnel, porém com foco pontual, em vez de linear. Em geral, obtêm-se temperaturas mais elevadas do que no caso da configuração cilindro-parabólico. Por outro lado, o sistema de controle é mais complexo, pois cada um dos helióstatos deve ser controlado em dois eixos para manter o foco no receptor. (Vogel & Kalb, 2010)
- Cilindro parabólico (parabolic trough): As usinas cilindro-parabólico consistem em calhas parabólicas espelhadas, cujo foco é em um receptor tubular, por onde passa o fluido de transferência de calor, que pode ser óleo sintético, sal fundido ou vapor (Castro, 2015).
- Fresnel linear: Assim como nas usinas cilindro-parabólico, nesta tecnologia os raios solares não são focados num ponto, e sim num receptor tubular. A diferença em relação à tecnologia anterior é que em vez de espelhos curvos, são usados vários espelhos planos (ou levemente curvados) com o mesmo princípio das lentes inventadas por Augustin Fresnel para uso em faróis de navegação (Castro, 2015).

- Disco parabólico (dish): Consiste em um disco em formato parabólico com uma máquina ciclo Stirling ou uma microturbina em seu foco. Dentre as tecnologias, esta é a que obtém a maior eficiência óptica, com fatores de concentração de 1000 a 3000 vezes. É a tecnologia mais propícia para uso em localidades remotas. Entretanto, possui algumas desvantagens, como a necessidade de controle de posição em dois eixos e limitações quanto ao tamanho. Além disso, as soluções para o armazenamento térmico de energia com esta tecnologia são mais complexas (Vogel & Kalb, 2010).

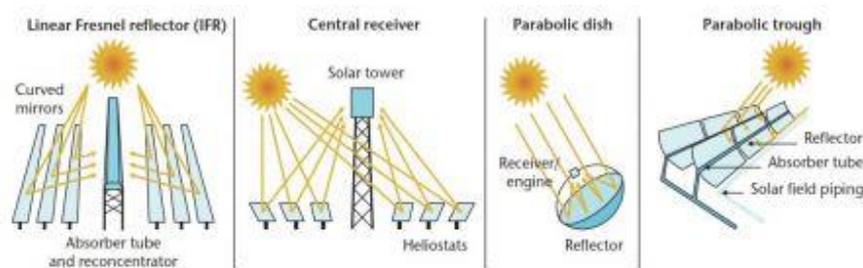


Figura 2-3 - Tipos de painéis de uma usina Heliotérmica

Por ser uma forma de geração de energia elétrica cujo desenvolvimento é bastante recente, ainda em estágio de amadurecimento, nenhuma dessas tecnologias se consolidou como o padrão definitivo de usinas heliotérmicas. Porém, em 22 usinas instaladas no mundo até o momento, as usinas com a configuração cilindro parabólicas predominam. Mais recentemente, as usinas do tipo torre solar vêm aumentando sua participação e mais de 70 % dos projetos de usinas heliotérmicas em fase de desenvolvimento são dessa tecnologia (Baharoon, Hasimah Abdul, Wan Zaidi Wan, & Saeed Obaid, 2015).

De modo geral, dividem-se os componentes da usina heliotérmica em três partes: o campo solar, o armazenamento térmico de energia e o bloco de potência. O campo solar consiste nos componentes que captam os raios solares e absorvem o calor no fluido de trabalho. O bloco de potência são os equipamentos que transformam energia térmica em eletricidade. Essa parte da usina é bastante similar a uma usina termelétrica convencional (Castro, 2015).

Já o armazenamento térmico de energia (Chamado em inglês de Thermal Energy Storage) guarda o calor de forma a possibilitar a geração de energia elétrica nos momentos em que não há recurso solar disponível. Nem toda usina heliotérmica possui armazenamento térmico, todavia esse

componente torna o despacho dessa fonte parcialmente controlável, o que é uma característica desejável e que traz um diferencial para a fonte heliotérmica em relação a outras fontes renováveis.

A forma mais comum para armazenar a energia térmica é por meio de um sistema de dois tanques de sal fundido. O sal usado, em geral, é uma mistura constituída de 60 % de nitrato de sódio e 40 % de nitrato de potássio (Vogel & Kalb, 2010). Outra forma de armazenamento é através do uso de tanque pressurizado para guardar vapor de água (CSP Alliance Report, 2014). Porém, essa forma é menos eficiente ao se trabalhar com grandes quantidades de energia e não é mais usada em projetos comerciais atualmente.

Relatórios elaborados pela *International Energy Agency* (IEA, 2014) preveem que a fonte solar, incluindo fotovoltaica e heliotérmica, serão responsáveis por 27% da geração de energia elétrica mundial em 2050, no cenário com alta penetração de fontes renováveis.

A heliotérmia pode ser combinada com fontes convencionais de energia. Nesse caso, a usina forma um sistema híbrido (Castro, 2015).

2.3.2.2. Termoelétrica

Usina termoelétrica, central termoelétrica ou simplesmente termoelétrica ou termelétrica é uma instalação industrial utilizada para a geração de energia elétrica, através de um processo no qual a energia é liberada a partir de produtos combustíveis, com bagaços, madeira, óleo combustível, óleo diesel, gás natural, combustível derivado de resíduos, carvão natural e urânio enriquecido, enfim, pela queima de algum tipo de combustível renovável ou não renovável.

As formas de produção de energia são praticamente iguais, variando apenas os combustíveis para as respectivas usinas, que podem ser: usina a óleo, usina a carvão, usina nuclear e usina a gás.

No Brasil, a energia termoelétrica é um recurso estratégico, pois supre as necessidades energéticas durante os períodos de seca, quando as hidroelétricas não atendem toda a demanda. Cerca de 50 usinas termoelétricas estão espalhadas por vários estados brasileiros, entretanto, mesmo quando operam em plena capacidade, geram cerca de 15 mil MW de energia (Megawatts), ou seja, 7,5% do total consumido no País (Toda Matéria, 2017).

Basicamente, nas termelétricas, a caldeira é aquecida com água e produz vapor, o qual, em alta pressão, move as pás da turbina do gerador. A energia nuclear, por meio de reações nucleares, também é uma fonte de calor para aquecer a água. Por sua vez, após ter movimentado as turbinas, o vapor é conduzido a um condensador que será resfriado para ser reutilizada em um novo ciclo.

Na realidade, a eletricidade é produzida a partir da energia cinética obtida pela passagem do vapor pela turbina, transformando a potência mecânica em potência elétrica. A energia gerada é transmitida através de cabos, que por sua vez é levada aos transformadores, onde tem sua tensão levada a níveis adequados para utilização pelos consumidores. Daí a energia é distribuída para consumo.

Um dos piores impactos ambientais possíveis ocorre quando os gases residuais do processo são emitidos para a atmosfera, onde a grande quantidade de poluentes causa o aquecimento global por meio do que chamamos “efeito estufa”, além das chuvas ácidas. As termoeletricas possuem um alto custo de manutenção, pois necessitam constantemente de combustível para ser queimado.

Por outro lado, elas podem ser edificadas praticamente em qualquer lugar, inclusive próximo de centros urbanos, diminuindo o desperdício nas linhas de distribuição. Além disso, podem ser construídas rapidamente para atender demandas emergenciais a médio e curto prazo. Por esse motivo, são opções para países carentes de outras fontes energéticas para gerar eletricidade. Ademais, subprodutos, como a palha de arroz e bagaços, lixões e aterros sanitários, podem ser utilizados enquanto fonte de calor (Toda Matéria, 2017).

Uma vantagem das usinas termoeletricas é que elas ocupam uma área relativamente pequena quando em comparação às usinas hidrelétricas. E no que diz respeito aos níveis de produção, eles são quase dobrados. Não é à toa, os custos para o desenvolvimento de usinas hidrelétricas são mais elevados, o que implica diretamente na alta da cobrança dos consumidores pelo uso de energia.

De modo geral, a fonte utilizada para a queima em usinas termoeletricas não é renovável, mas sim, do tipo fóssil. Deste modo, grande se torna a preocupação de especialistas na área sobre a disponibilidade de tais recursos naturais com o passar do tempo, sendo os prejuízos deste uso encontrados tanto no médio como no longo prazo.

Atualmente, o carvão mineral é a maior fonte de geração de energia em usinas termoelétricas, uma vez que seu custo é o mais em conta e tal recurso está disponível em abundância (principalmente em território brasileiro).

Em nosso território, as usinas termoelétricas são responsáveis por apenas 7,5% de toda a produção nacional de energia elétrica – o que ainda só é possível quando todas elas estão em funcionamento simultâneo (Resumo Escolar, S.d.).

2.4. Sistemas híbridos

Trata-se de um sistema no qual se associa ao campo solar de geração de energia elétrica outra fonte de geração de energia elétrica. Pode-se associar, por exemplo, uma caldeira movida a combustível derivado de resíduos para gerar energia em conjunto com o campo solar nos momentos em que o sol não é suficiente ou durante a noite (Energia Heliotérmica, 2015).

Sistemas híbridos de geração de energia elétrica são sistemas formados por duas ou mais fontes de produção de energia operando em conjunto para atender a demanda de um consumidor comum (Hauschild, 2006. 177 p).

2.5. Geoprocessamento

O geoprocessamento é o processamento informatizado de dados georreferenciados. É útil para monitorar áreas com maior necessidade de proteção ambiental, acompanhar a evolução da poluição da água e do ar, níveis de erosão do solo, disposição irregular de resíduos e para o gerenciamento dos serviços de limpeza pública.

Para Moreira (Moreira, 2003), o geoprocessamento pode ser compreendido como a utilização de técnicas matemáticas para o tratamento das informações captadas de objetos ou fenômenos geograficamente identificados ou de coleta de dados por um sistema de sensores.

2.5.1. Aerofotografia

Aerofotografia é atividade aérea que tem por objetivo realizar fotografias aéreas, sem o uso de equipamentos que caracterizem o aerolevanteamento, aereportagem ou aeropublicidade. O interessado em explorar a atividade de Aerofotografia deverá constituir uma empresa de serviço aéreo especializado na modalidade de Aerofotografia (ANAC, 2018).

2.5.2. Ortofoto

Uma ortofoto é uma fotografia mostrando imagens de objetos em suas verdadeiras posições ortográficas. Ortofotos são, portanto, geometricamente equivalentes às cartas planimétricas em linhas e símbolos convencionais que também mostram as verdadeiras posições ortográficas de objetos. Ortofotos são produzidas de fotos perspectivas (normalmente fotografias aéreas) através de um processo chamado retificação diferencial, que elimina deslocamentos da imagem devido à inclinação fotográfica e ao relevo. (Lopes, 2018)

2.5.3. Rede Triangular Irregular (TIN)

TIN são uma forma de dados geográficos digitais baseados em vetores e são construídos pela triangulação de um conjunto de vértices (pontos). Os vértices estão conectados com uma série de arestas para formar uma rede de triângulos. Existem diferentes métodos de interpolação para formar esses triângulos, como a triangulação de Delaunay ou a ordenação de distâncias. Os TIN são normalmente usados para modelagem de alta precisão de áreas menores, como em aplicações de engenharia, onde são úteis porque permitem cálculos de área planimétrica, área de superfície e volume. Mais conhecidos pelo seu nome em inglês triangular irregular network (TIN) (ESRI, 2018).

2.5.4. Veículo aéreo não tripulado (VANT)

Os veículos Aéreos não tripulados (VANT) são pequenas aeronaves, designação genérica dos aparelhos por meio dos quais se navega no ar. Segundo a ABA (Associação Brasileira de Aeromodelismo, 2005), a definição para Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é a de um veículo capaz de voar na atmosfera, fora do efeito de solo, que foi projetado ou modificado para não transportar um piloto humano e que é operado por controle remoto ou autônomo. O Sistema Aéreo Não Tripulado (SANT) significa o conjunto veículo não tripulado, seus controles de voo e seu sistema de operação, isto é, a união de todas as atividades que estão interligadas no plano de voo. De acordo com Sousa (Sousa, 2017), a história dos Veículos Aéreos Não Tripulados teve seu início em 1883, quando Douglas Archibald instalou um anemômetro a um fio em uma “pandorga” para poder medir a velocidade dos ventos em diferentes altitudes, atingindo uma altura de 1200ft. No dia 20 de junho de 1888, na França, Arthur Batat acoplou uma câmara fotográfica a uma “pandorga”; sendo, assim o primeiro voo aero-fotografado registrado. As vantagens desse modelo

de VANT são economia de energia requerida para voar e a suavidade de suas manobras, podendo, inclusive, pairar sobre uma determinada área.

Há dois tipos diferentes de VANT. O primeiro, mais conhecido, é RPA (Remotely-Piloted Aircraft) que em português significa Aeronave remotamente pilotada. Nessa condição, o piloto não está a bordo, mas controla aeronave remotamente de uma interface qualquer (computador, simulador, dispositivo digital, controle remoto, etc.). Diferente da outra subcategoria de VANT, a chamada “Aeronave Autônoma” que, uma vez programada, não permite intervenção externa durante a realização do voo. Como no Brasil a Aeronave Autônoma tem o seu uso proibido, tratemos a partir daqui apenas das RPA. A chamada RPA, enfim, é a terminologia correta quando nos referimos a aeronaves remotamente pilotadas de caráter não-recreativo (Galvão, 2017).

3. Metodologia

3.1. Materiais:

Os materiais foram divididos em dois temas. O primeiro é a caracterização da área, que basicamente revisa o histórico do uso da área do aterro controlado e o segundo tema são os materiais usados em campo para a obtenção dos dados necessários para a execução desse projeto.

3.1.1. Caracterização da área de estudo

Na porção centro-oeste do Distrito Federal, em um alto topográfico com altitude média de aproximadamente 1120 metros se encontra o antigo Aterro Controlado do Jockey (ACJ), que é a área de estudo desse projeto. Em funcionamento desde meados de 1968 o aterro finalmente fechou suas portas no dia 31 de janeiro de 2018. De acordo com a diretora geral do SLU, Heliana Kátia, estima-se que ao longo desses anos de operação, aterraram-se 35 milhões de toneladas de resíduo.

Um aterro controlado não é um meio de disposição de resíduo adequado já que não dispõe de nenhum dispositivo que efetue o controle dos percolados e nem a captação do biogás gerado pelo resíduo aterrado. A diferença de um aterro controlado para um lixão é basicamente que no primeiro efetua-se a cobertura do resíduo sólido urbano e eventualmente sua compactação com solo (Nisiyama, 2016).

Devido essa falta de dispositivo que garantisse a coleta do lixiviado e biogás produzido no aterro, essa área em meados dos anos 90 atraiu a atenção de pesquisadores visando estudar a emissão desses contaminantes.

A área exata do aterro diverge entre artigos e trabalhos revisados, sempre entre 130 a 180 hectares de extensão. Koide e Ricardo (1998) definem a área com uma extensão de 135 hectares. Entretanto utilizando a ferramenta do *Google Maps* obteve-se o valor de 175 hectares. Tem um formato trapezoidal, com o vértice do topo triangular apontando, aproximadamente, para o norte. A região situa-se entre o Plano Piloto e Taguatinga. A área é limitada a oeste pela nascente do Córrego Cabeceira do Valo, afluente do lago Paranoá, e a norte e leste pelo Parque Nacional de Brasília, área de preservação ambiental onde nasce o Córrego do acampamento, próximo à fronteira do Parque com o aterro. À oeste do aterro entre o córrego Cabeceira do Valo e o aterro, existe uma área de chácaras que produzem hortaliças e há criação de pequenos animais.



Figura 3-1 - Mapa delimitado do Aterro Controlado do Jockey. Fonte: Autoria própria.

A disposição do resíduo ao longo dos anos deu-se de maneiras diferentes. Variando os lugares de disposição e as técnicas. A primeira área a receber resíduo foi ao sul do aterro onde hoje se encontra

a cidade Estrutural, onde moradores usam água de poços escavados, muitas vezes atravessando a camada de lixo (Koide & Bernardes, 1998). Essa área não é mais controlada nem monitorada pelo serviço de limpeza urbana (SLU) que é responsável pela operação do aterro (Carneiro, 2002). Essa região recebeu resíduo até o ano de 1978 e a disposição era a céu aberto em trincheiras, onde o próprio solo retirado para abertura de uma célula era usado para cobrir a célula adjacente já utilizada. A profundidade das trincheiras era variada em 2 a 4 metros, e o resíduo depositado era compactado e recoberto com uma camada de solo de aproximadamente 50 centímetros de espessura (Cavalcanti, 2013).

A direção da disposição do resíduo se estendeu entre os anos de 1978 a 1995 no sentido nordeste e noroeste (próximo ao vale do córrego Cabeceira do Valo), sendo considerada a porção intermediária do aterro. O resíduo era depositado em valas com 20 a 30 metros de largura, 100 a 80 metros de comprimento e 2 a 3 metros de profundidade. No início de 1995, a disposição de resíduo no ACJ cobriu toda a área intermediária. Devido a isso ocorreu o prolongamento da área de deposição em direção a porção norte do aterro (Cavalcanti, 2013).

Em 1996 a porção norte já estava completamente coberta por resíduo e de acordo com Koide e Bernardes (Koide & Bernardes, 1998) a espessura das camadas de lixo nesta região eram superiores as porções mais antigas, devido à escassez de área disponível. De 1996 até o dia 20 de janeiro de 2018 partes da porção intermediária foi utilizada para a deposição do resíduo através do método da área.

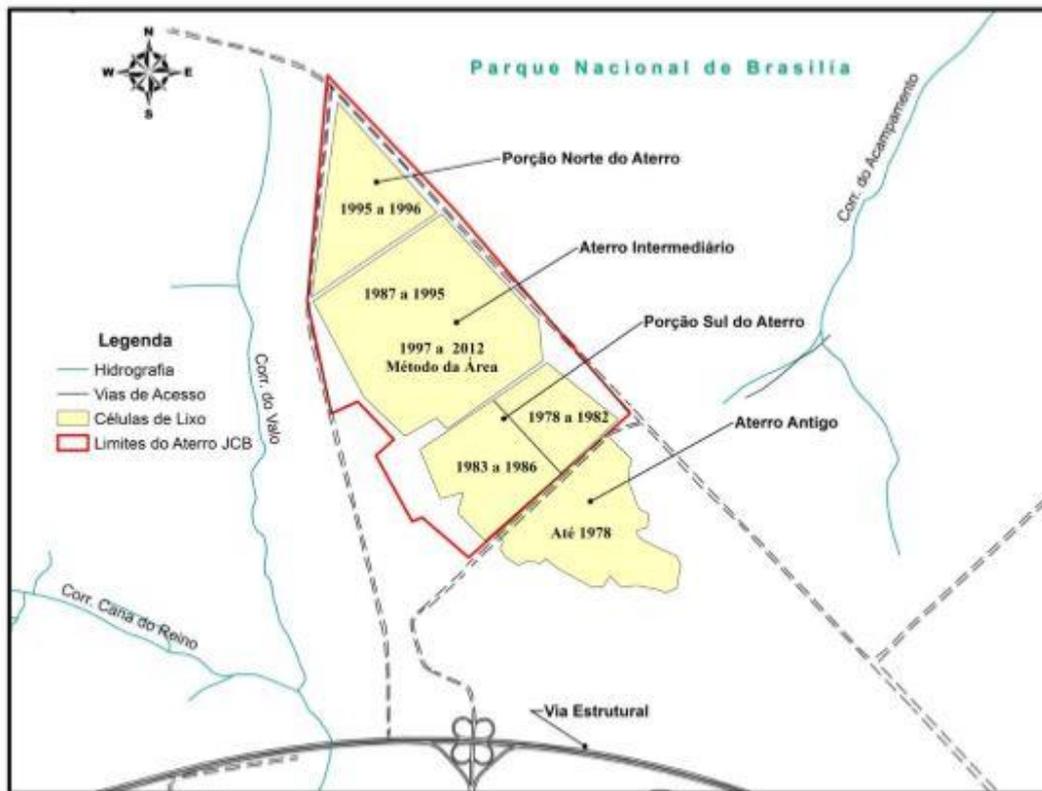


Figura 3-2 - Disposição do lixo nas células do aterro controlado do Jockey ao longo dos anos. Fonte: (CAVALCANTI, 2013).

3.1.2. Materiais utilizados em campo

Os materiais utilizados para o levantamento de dados da região estudada foram:

- 3 (Três) GNSS Geodésicos Ashtech promark 2;
- 1 saco de cal;
- 32 (trinta e dois) Folhas de papel tamanho A2 impressas com um quadrado de 32 centímetros de largura;
- 32 (Trinta e dois) piquetes de madeira com a ponta do mesmo pintado de azul;
- 1 aeronave remotamente pilotada (RPA) da marca DJI modelo Phantom 4;
- 100 cartolinas tamanho A1 de 480mm x 660mm da cor vermelha;
- 100 cartolinas tamanho A1 de 480mm x 660mm da cor azul;

3.2. Método:

O trabalho de campo foi dividido em três etapas: planejamento de voo, execução do voo e pos voo.

O fluxograma a seguir explica o passo a passo seguido para a execução do trabalho.

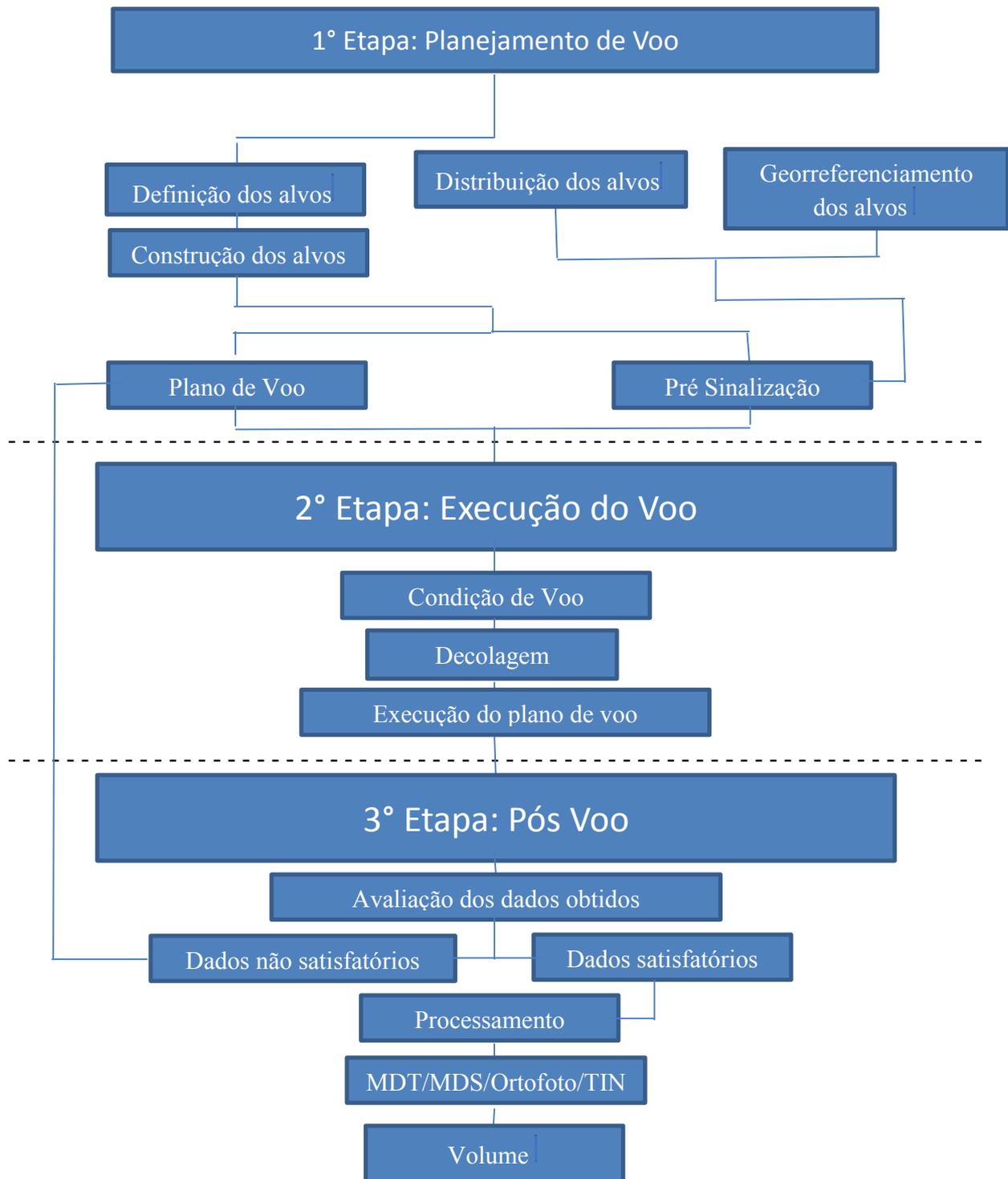


Figura 3-3 – Fluxograma do processamento das fotos do sobrevoo

A primeira etapa, denominada Planejamento de voo, inicia com a definição dos alvos. Esses alvos são marcações artificiais que serão inseridas na área que se deseja sobrevoar para servir como ponto de controle. Utilizando o software *ArcGis* marcou-se inicialmente 32 alvos. Entretanto após visita a campo reduziu-se o número de marcações para 29 alvos devido a questões de segurança e acessibilidade. A área de estudo é dividida praticamente ao meio por duas zonas geográficas. Metade da área fica na zona 22 sul e outra metade na zona 23 sul. É possível verificar a localização dos alvos e as diferenças das zonas pela Figura 3.3.

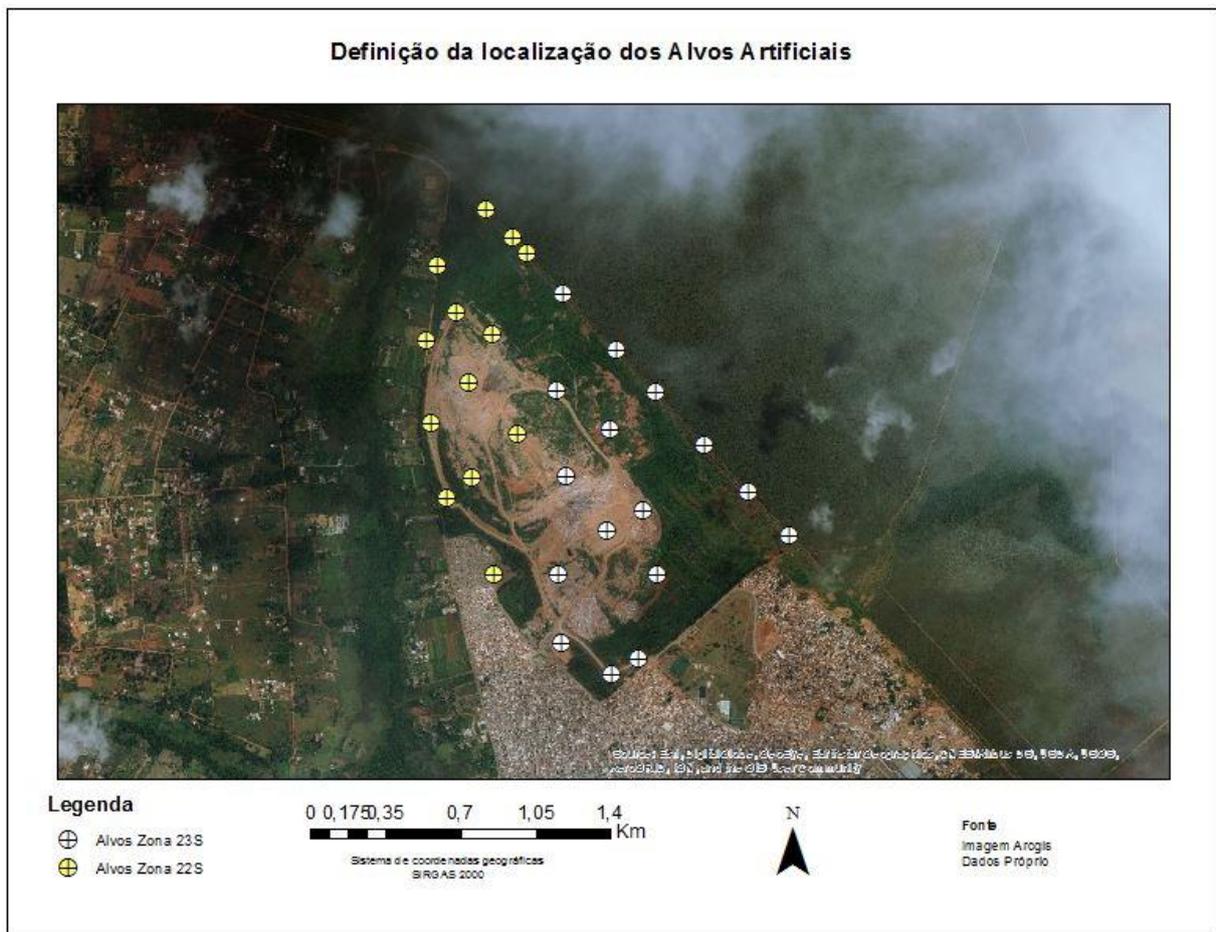


Figura 3-4 - Mapa da localização dos alvos artificiais

Com a localização dos alvos definidos, iniciou-se a confecção dos alvos. Foram impressos 32 alvos no papel A2 (420 mm x 594mm) com o desenho de um quadrado com 32 centímetros de lado, ver Figura L, além dos alvos impressos optou-se por fazer marcações no chão utilizando Cal, ver Figura 3.4 e 3.5. A opção de usar Cal se deu simplesmente para comparar se a marcação no chão

ficaria melhor que o alvo impresso. Há diversas opções de alvos possíveis de se confeccionar. O importante é que o centro do alvo fique visível nas fotos tiradas pelo RPA. Além dos alvos foram confeccionados piquetes de madeira com as dimensões de 2,3 por 3 centímetros para estaquear no chão nos pontos definidos e colocar os alvos por cima pregados a esses piquetes, ver Figura 3.6.

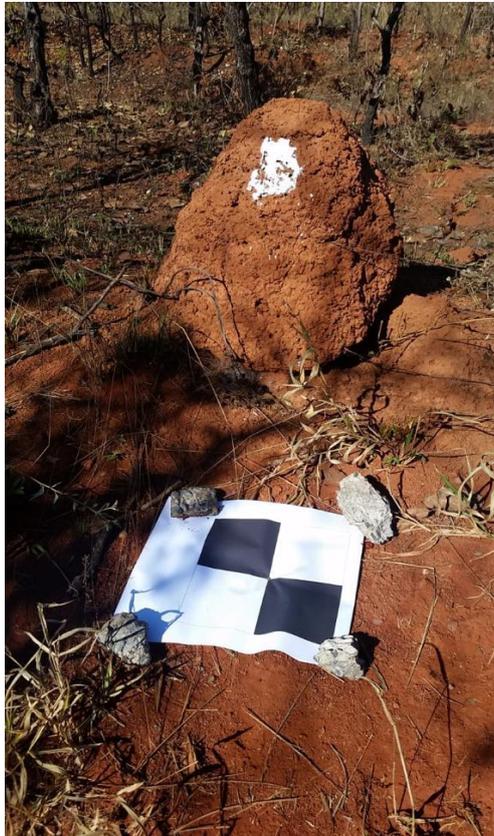


Figura 3-5 - alvo de ponto de controle confeccionado



Figura 3-6 - Alvo confeccionado por cal



Figura 3-7 - Piquete de madeira produzido para fixação dos alvos

Com os alvos construídos e definidos começa a parte do plano de voo e a pré sinalização. O plano de voo foi feito pelo aplicativo Drone Deploy. A altura de voo foi definida de acordo com a resolução da Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC) que RPA só teria liberdade para voar até 120 metros. (Luz, 2016). Com essa altura definida foi possível calcular o Ground Sample Distance (GSD) que em português significa a distância da amostra até o solo. O GSD é basicamente o tamanho da célula de pixel representada em um pixel na imagem. Logo quanto menor for o GSD, maior será a resolução da imagem e conseqüentemente mais definida será a imagem. O GSD é proporcional à altura de voo em relação ao solo, quanto menor for a altitude do voo maior será a resolução. Entretanto com o voo de menor altitude maior será o tempo de voo e mais fotos serão necessária para completar a área de mapeamento (Neto, 2016). Para esse trabalho o GSD foi calculado de 5,69 cm/pixel. Definiu-se uma sobreposição de 60% entre as imagens e a imposição de uma distância de voo com relação aos limites do aterro controlado de aproximadamente 175 m. Utilizou-se um RPA comercial modelo Phantom 4, da marca DJI, com câmera de 12.4 Mp acoplada, ver Figura 3.7.



Figura 3-8 - RPA Phantom 4 utilizado para o mapeamento

Foi necessário criar cinco planos de voo com o aplicativo *Drone Deploy* pois a área era muito extensa e dividindo o voo total em cinco diminuía o número de baterias necessárias para realizar o voo. As Figuras 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 e 3.12 representam os cinco planos de voo e mostra a interface do aplicativo Drone Deploy.



Figura 3-9 - Plano de voo 1 na interface do software Drone deploy



Figura 3-10 - Plano de voo 2 na interface do software Drone deploy



Figura 3-11 - Plano de voo 3 na interface do software Drone deploy

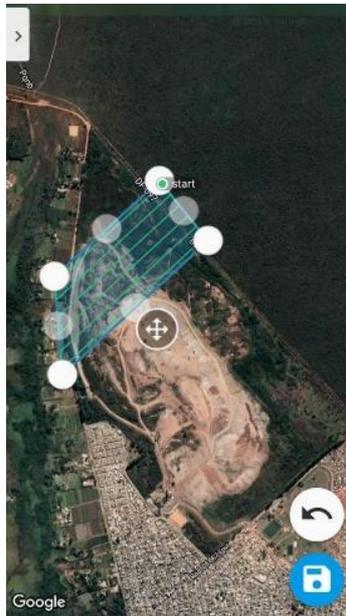


Figura 3-12 - Plano de voo 4 na interface do software Drone deploy

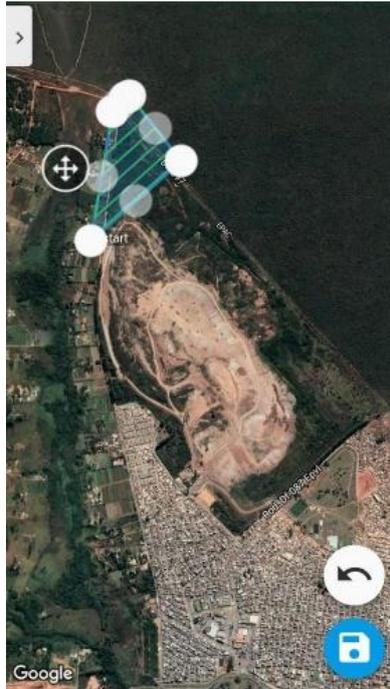


Figura 3-13 - Plano de voo 5 na interface do software Drone deploy

A parte da pré sinalização foi a parte que mais demandou esforço para ser realizada. Essa parte consiste na distribuição dos alvos e de georreferenciar os mesmos. No dia 20 de agosto de 2018 uma equipe de cinco pessoas iniciou a distribuição de pontos pela área externa ao aterro controlado. O georreferenciamento foi feito utilizando um receptor GNSS Ashtech® ProMark2™ de frequência simples (L1). Foi necessário escolher qual método de georreferenciamento se utilizaria. O receptor GNSS fornecia duas formas de coleta de pontos, uma dinâmica e outra cinemática. Optou-se pela opção cinemática por ser uma coleta de vários pontos como uma distância relativamente próxima entre eles que exigiria o descolamento prático para conseguir coletar toda a gama de pontos que foi proposta no trabalho. Dentro da opção de coleta de pontos pelo método cinemático, havia duas formas para se fazer essa coleta. Uma pelo método denominado Stop and Go ou cinemático e outro método denominado cinemático contínuo. O método Stop and go, que apresenta acurácias horizontal e vertical, respectivamente, de 0,012 m e 0,015 m, onde um dos receptores fica estático em determinado ponto escolhido como base e um segundo receptor realiza o caminhar entre os pontos, permanecendo estático em cada um dos pontos por um tempo de aquisição de 5 minutos. Enquanto no método cinemático contínuo a captação é contínua ao longo do percurso que o operador faz com o GNSS, obtendo uma precisão muito menor comparando

com o método Stop and go. Devido a isso optou-se pelo método Stop and go para a captação das coordenadas dos pontos de controle. No primeiro dia um dos receptores ficou estático, servindo como base, no 15º batalhão da polícia militar, localizado na cidade da Estrutural, ver Figura 3.13.



Figura 3-14 - GNSS receptor base no 15º Batalhão da polícia militar

Uma pessoa ficou responsável por manter o receptor sempre imóvel e em segurança enquanto o resto da equipe se dividiu em dois grupos e foram cada um com um receptor GNSS coletar os pontos externos ao aterro controlado.

O segundo dia de campo, 21 de agosto de 2018, iniciou-se já dentro do aterro controlado, onde instalou-se a base do receptor GNSS em uma das pilhas de lixo que foi recomendando pelos funcionários do serviço de limpeza urbano (SLU) que era um local seguro e que um técnico deles poderia ficar vigiando o equipamento e mantendo o imóvel, ver Figura 3.14.



Figura 3-15 - Base GNSS receptor no Aterro

O resto da equipe se dividiu e realizou a coleta dos pontos internos. Ao total foram 12 pontos internos e 17 pontos externos. Com isso a primeira etapa do fluxograma foi concluída e começa a segunda parte que é a execução do voo.

A execução do voo estava marcada para o dia 21 de agosto de 2018 as 11 horas da manhã. As condições climáticas eram as ideais a esse horário e não apresentava nenhum risco de chover nesse dia. Como dito anteriormente foi planejado cinco sobrevoos com o RPA. Cada voo demandaria 1 bateria e teria em média 17 minutos de duração. Com o objetivo de otimizar o tempo de voo e economizar ao máximo o número de baterias utilizadas, utilizou-se dois pontos de decolagem. As execuções dos voos foram um sucesso e a primeira decolagem teve início precisamente às 11 horas da manhã e o último pouso ocorreu por volta de quinze para uma da tarde. Foram obtidas 817 fotos no total desses cinco voos e elas foram salvas num pen drive para depois iniciar a 3ª etapa do fluxograma, o pos voo.

A terceira etapa inicia-se com a avaliação dos dados obtidos. Foram obtidas 817 fotos das quais a partir de uma varredura simples apagou-se 4 dessas fotos que eram fotos da decolagem do voo e não tinham necessidade para o processamento das imagens. Em suma 813 fotos foram processadas inicialmente sem georreferenciar com os pontos de controle obtidos em campo. O objetivo desse primeiro processamento era de verificar a qualidade das imagens e concluir se os alvos estavam

visíveis ou não pelas fotos. Observa-se pela Figura 3.15 que a visibilidade dos alvos não ficou tão nítida e que o centro deles não é possível de se localizar. Diante disso foi necessário voltar para primeira etapa do fluxograma e refazer os alvos para ponto de controle.



Figura 3-16 - Visibilidade do primeiro ponto de controle

Dessa vez utilizou-se 4 cartolinas com dimensões de 480mm x 660mm formando um grande quadrado intercalando as cores. Duas cartolinas da cor vermelha e duas cartolinas da cor cinza. Pela Figura 3.16 é possível ver o novo alvo.



Figura 3-17 - Segundo tipo de alvo confeccionado para servir de ponto de controle

Então no dia 25 de setembro de 2018 retornou-se ao aterro controlado para espalhar novos 27 alvos e refazer o sobrevoo com o RPA. O plano de voo foi rigorosamente o mesmo do primeiro dia de voo e manteve-se a divisão dos cinco sobrevoos da primeira tentativa. Refeita a primeira etapa e a segunda etapa, retornou-se a terceira etapa de avaliação dos dados. Dessa vez como o quadrado era maior e suas cores eram mais destacadas a visualização do centro dos alvos ficou mais nítida, como pode se observar pelas Figuras 3.16 e 3.17. Sendo assim a avaliação dos dados satisfatórios, iniciou-se a próxima parte que é a do processamento.



Figura 3-18 - Visibilidade do segundo tipo alvo confeccionado

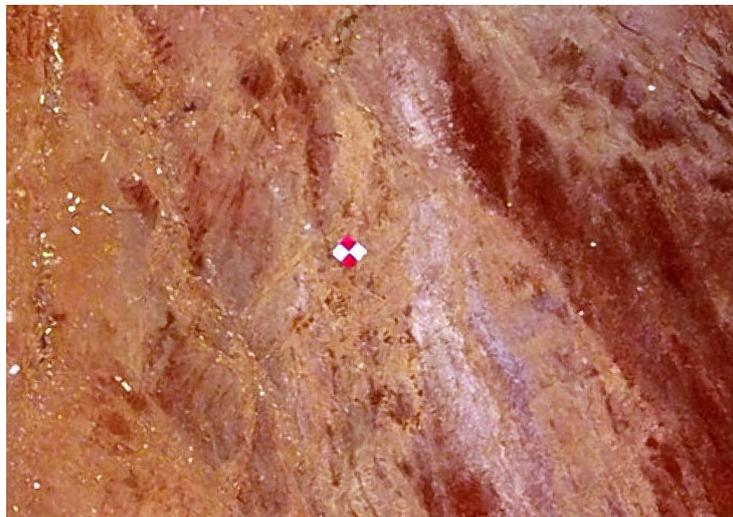


Figura 3-19 - visibilidade do segundo tipo de alvo confeccionado

O início do processamento foi com os dados brutos dos receptores GNSS. Eles foram descarregados em um computador e importados para o software GNSS Solutions 3.80. As coordenadas geodésicas dos pontos foram computadas por meio de posicionamento relativo, em uma sequência de duas análises. Na primeira, foram processadas as coordenadas das bases referentes aos dias de aquisição em relação às observações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A RBMC consiste em um conjunto de estações geodésicas, equipadas com receptores GNSS de

alto desempenho, e que proporcionam observações para a determinação de coordenadas. Em seguida, realizaram-se os ajustes das coordenadas destes últimos. De maneira similar, foram processadas as linhas de base entre os pontos com coordenadas ajustadas – nos quais as bases ficaram alocadas – e os pontos visitados, que por fim, tiveram suas coordenadas ajustadas. Paralelo a esse trabalho foi realizado uma pesquisa sobre a acurácia dos pontos coletados em campo. Utilizando uma metodologia proposta para verificação do padrão de exatidão cartográfica (PEC) atingiu-se um PEC da classe A, garantindo assim uma acurácia excepcional para os pontos de controle e tendendo a garantir um modelo digital de superfície e de terreno muito mais confiável para calcular o seu volume final.

O processamento das imagens com os pontos de controle foi realizado por intermédio do software *Agisoft PhotoScan* na versão 1.4.1. A partir da importação das imagens do voo, executou-se o alinhamento automático no modo highest, seguido pelo processo de demarcação dos pontos de controle amarrando suas coordenadas às imagens nas quais os alvos apareciam. Em seguida, foi realizada a otimização do posicionamento das imagens. De maneira subsequente, realizou-se a confecção da nuvem densa de pontos, que corresponde às posições 3D em uma amostra de superfície, no modo high filtro no modo aggressive. De posse desse produto, obteve-se o Modelo Digital de Superfície (MDS). A geração da ortofoto, por sua vez, se deu mediante a utilização do algoritmo para mosaico das imagens, Build Orthomosaic. A seguir há um fluxograma com o passo a passo para obter o MDS e a ortofoto.

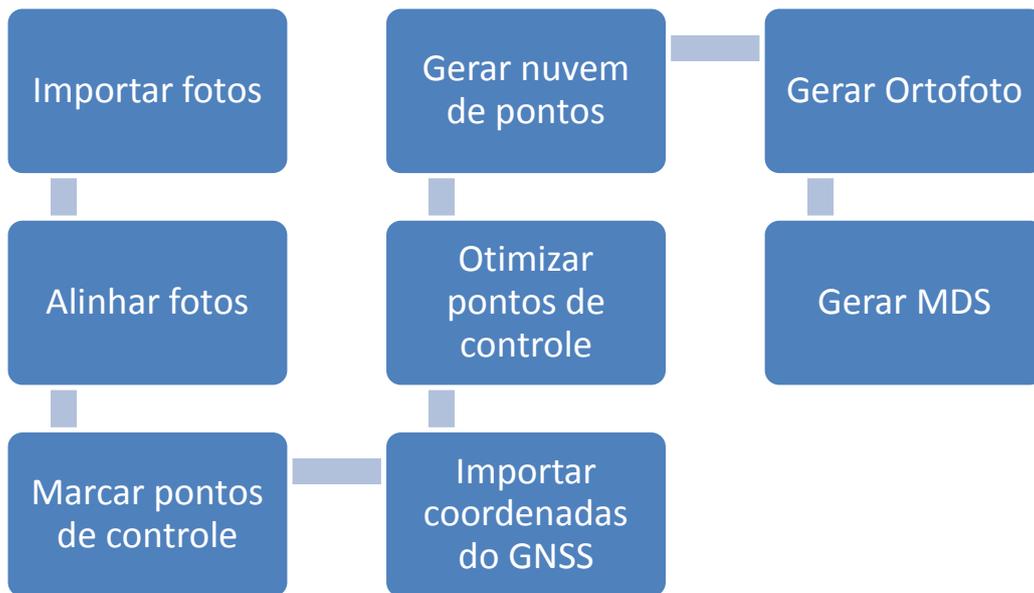


Figura 3-20 – Fluxograma do processamento no Software *Agisoft PhotoScan*

O primeiro passo é importar o arquivo com as 813 fotos registradas pelo RPA.

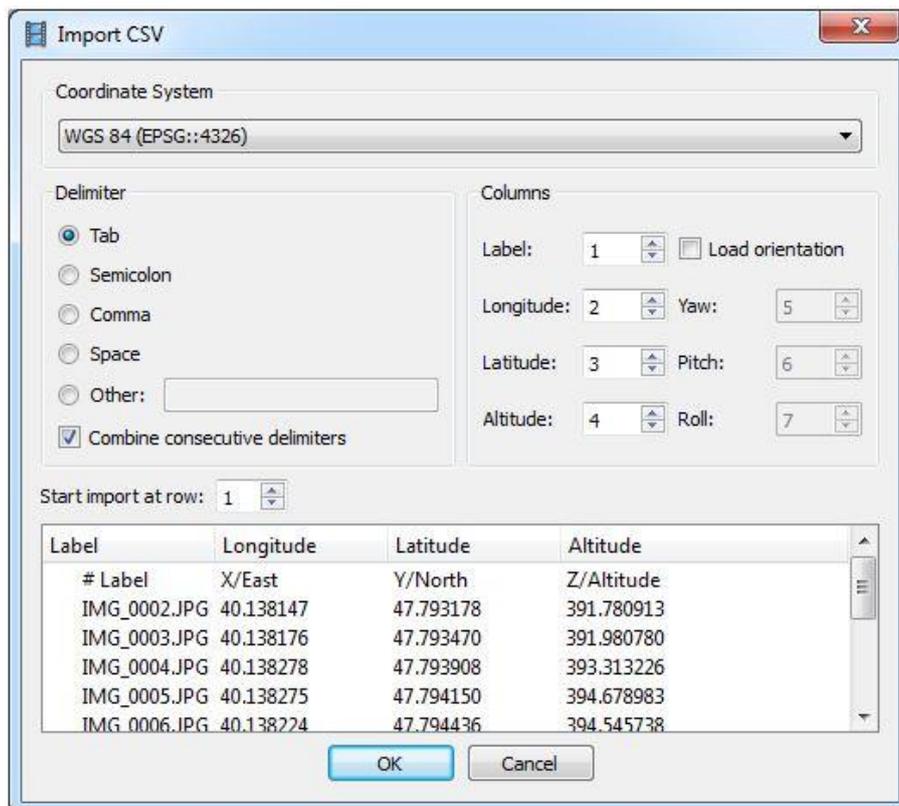


Figura 3-21 - Importar arquivos com as fotos

Após a importação as fotos apareceram na opção *Model View* em formas de pontos azuis como mostra a Figura 3.20:

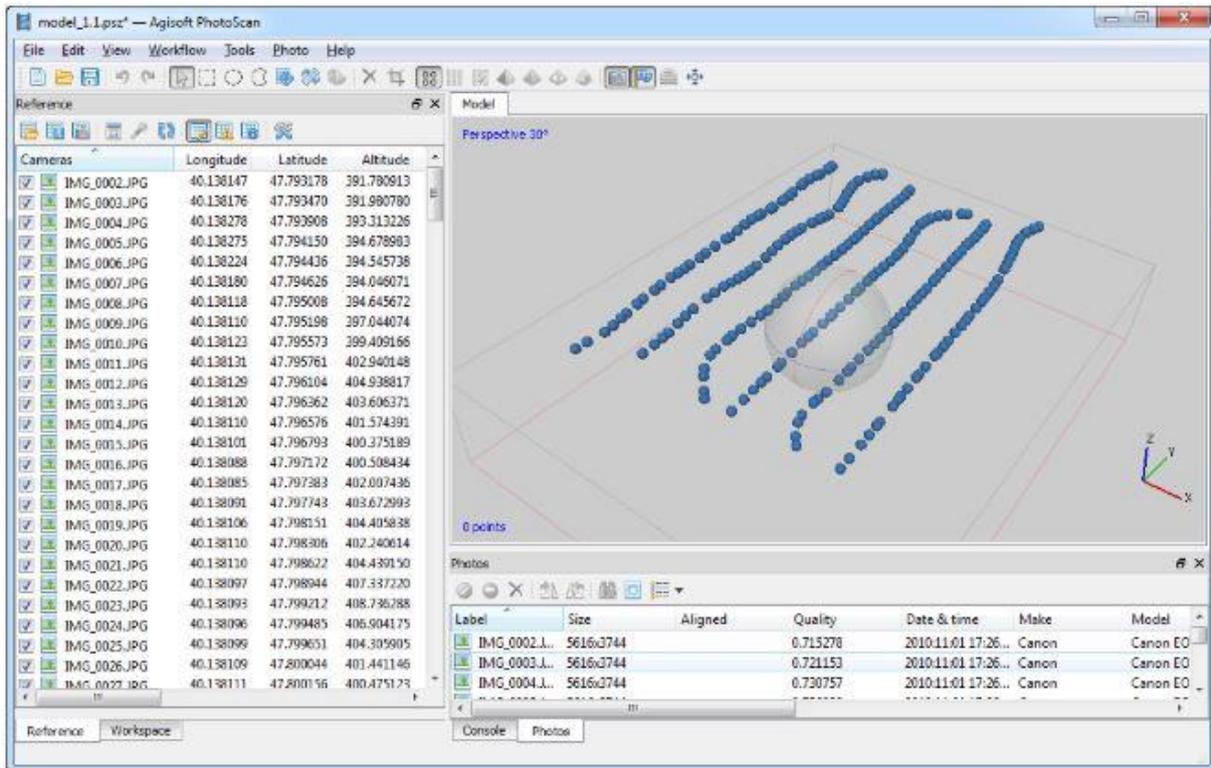


Figura 3-22 - Interface do Model view após adicionar as imagens

Com as imagens importadas o próximo passo é alinhar as fotos. O próprio programa encontra imagens sobrepostas e gera um modelo de nuvem de pontos com esse alinhamento, ver Figura 3.21.

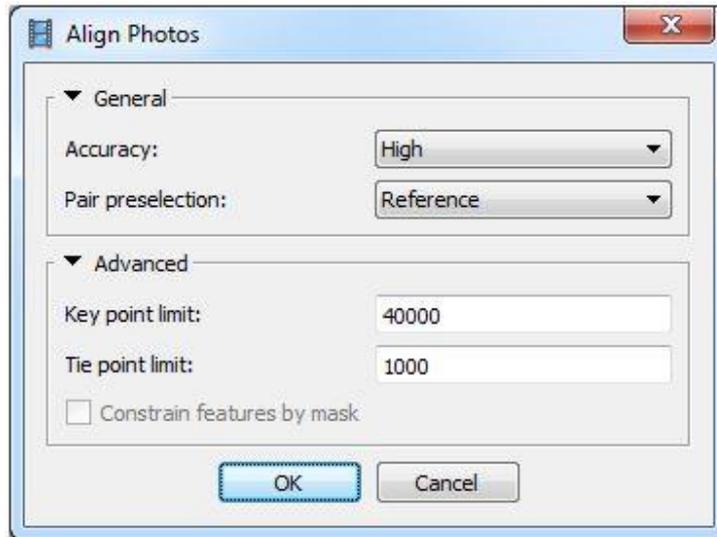


Figura 3-23 - Alinhamento das imagens

Com esse primeiro modelo de nuvem de pontos gerados inicia-se a parte de marcar manualmente os pontos de controle nessa nuvem de pontos. Entretanto para aparecer uma imagem é necessário criar uma malha. Logo abre-se a ferramenta *Build Mesh*, ver Figura 3.22.

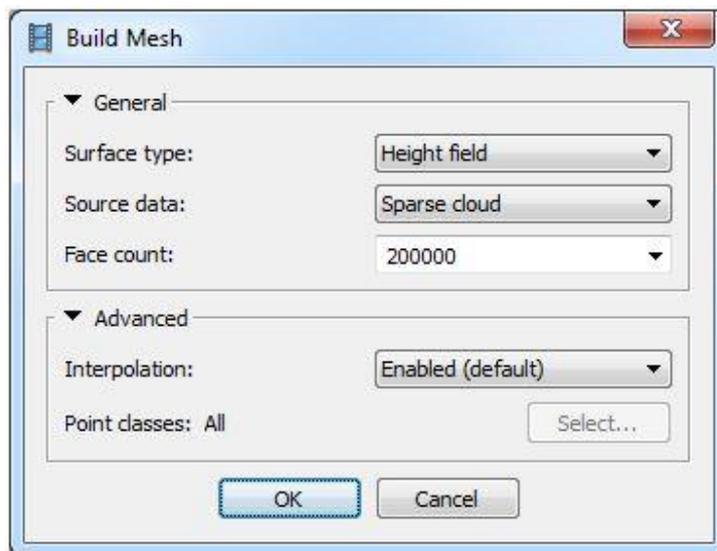


Figura 3-24 - Interface do programa na opção Build Mesh

Com a malha criada localiza-se na malha os 29 pontos de controle colocados no terreno e usando o botão direito do mouse seleciona a opção *Create Marker*. No mínimo 5 fotos sobrepostas com o ponto de controle têm que ser marcada para se obter um bom resultado.

Com os pontos de controle marcados na malha o próximo passo é importar o arquivo processado anteriormente com as coordenadas geográficas obtidas com o GNSS receptor, ver Figura 3.23.

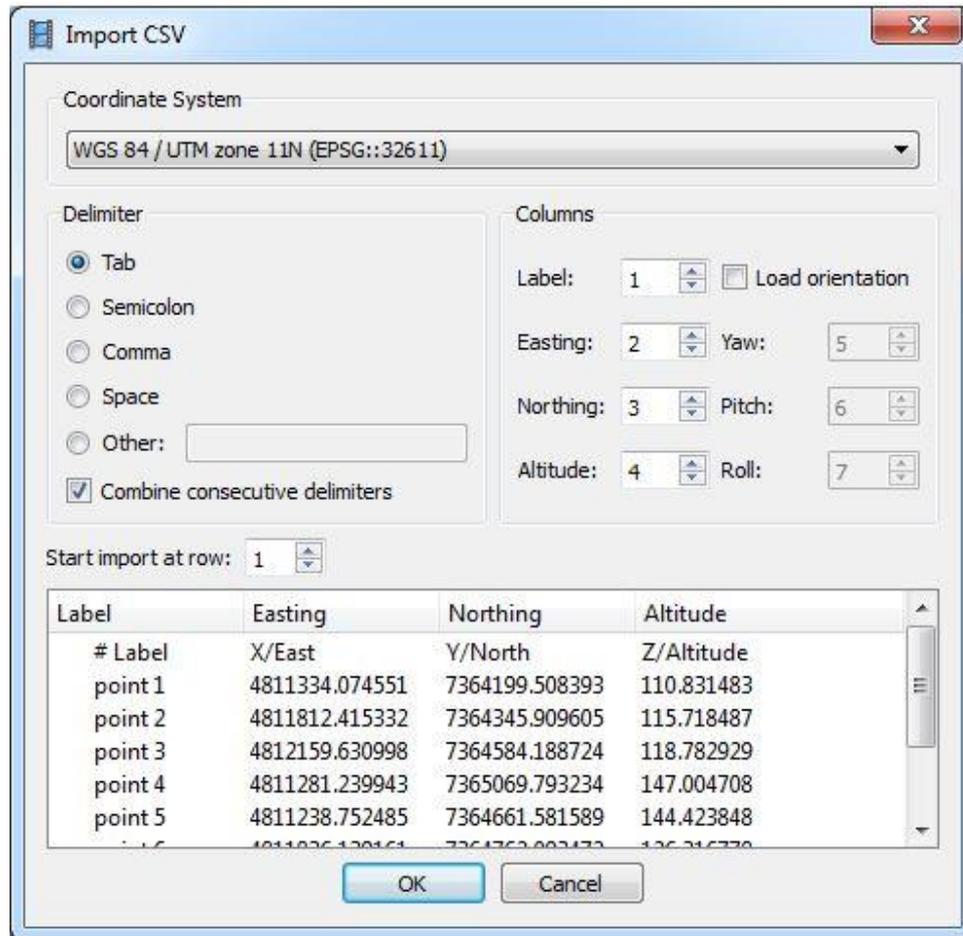


Figura 3-25 - Importar coordenadas dos pontos de controle

Com as coordenadas importadas, verificou se elas caíram nos pontos de controle marcados anteriormente. Como já foi mencionado aqui a precisão e acurácia dos pontos de controle atingiram uma classe A na PEC, logo todo os pontos caíram nos pontos de controle. Após essa verificação é necessário otimizar o modelo para amarrar essas coordenadas inseridas aos pontos de controle.

Com a otimização pronta o próximo passo é construir a nuvem densa de pontos, ver Figura 3.24.

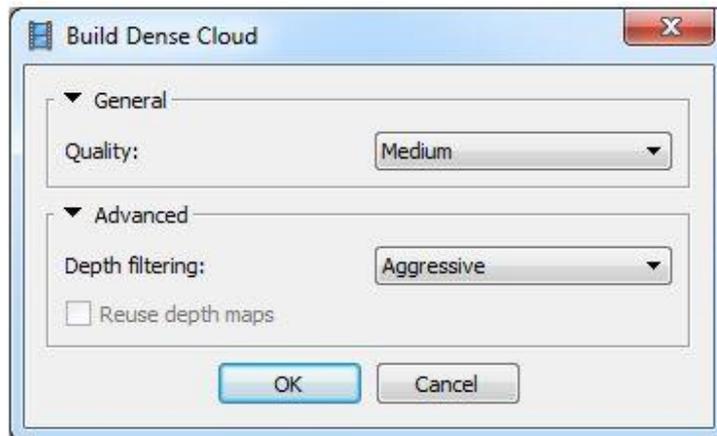


Figura 3-26 - Construir nuvem de pontos

Com base nas posições das imagens junto com a otimização feita com as coordenadas dos pontos de controle, o programa calcula as informações de profundidade para cada imagem a serem combinadas numa única nuvem densa de pontos.

A partir dessa nuvem densa de pontos gerou-se um novo modelo de malha poligonal. Utilizando a ferramenta *Build Mesh*, ver Figura 3.25.

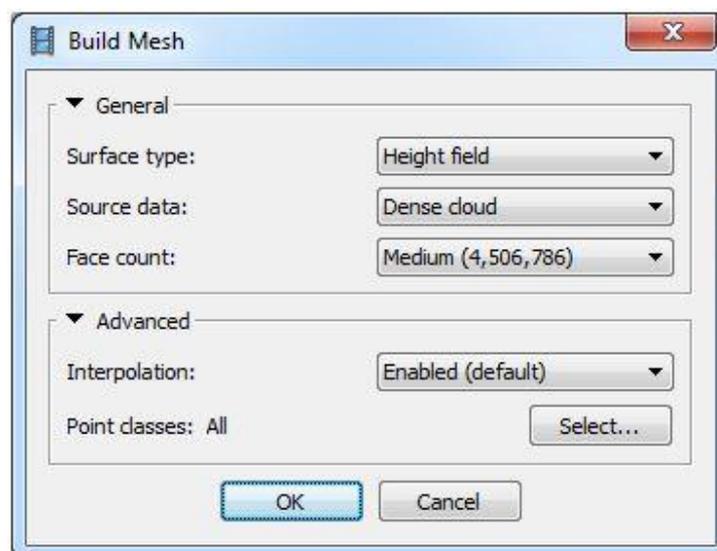


Figura 3-27 - Construir malha

Após a geração dessa nova malha o próximo passo é gerar a Ortofoto, ver Figura 3.26.

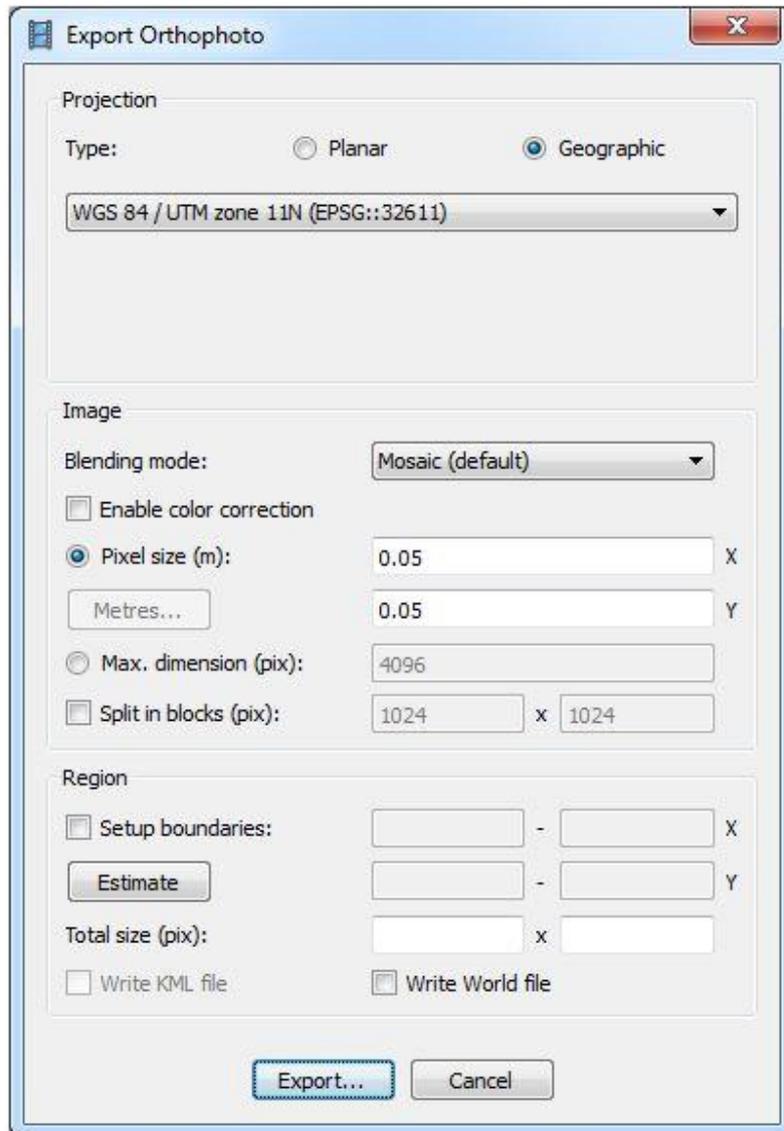


Figura 3-28 - Exportar Ortofoto

Com a ortofoto gerada, falta a geração apenas do MDS. Para isso seleciona-se a opção *Export DEM*, ver Figura 3.27.

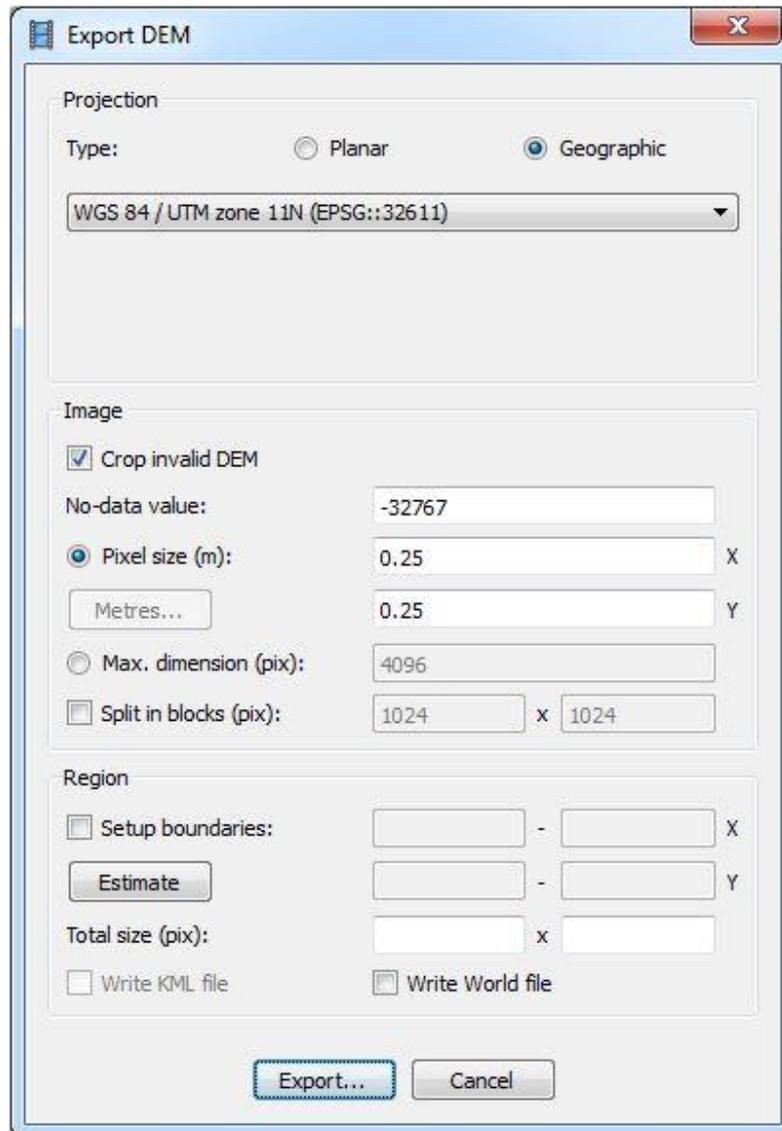


Figura 3-29 - Exportar o MDS

Após apertar o *Export* será gerado o MDS da área estudada. Com o MDS e a ortofoto geradas ainda falta gerar o modelo digital do terreno (MDT). Para esse processamento é necessário classificar a nuvem densa de pontos gerada do processamento anterior. A classificação pode ser feita tanto manualmente como automaticamente pelo software Agisoft Photoscan. Para esse projeto fez se primeiro uma classificação automática dos pontos e posteriormente fez uma filtragem com uma classificação manual dos pontos.

A classificação automática divide a nuvem densa de pontos em células. Celular com um maior tamanho ficam na cor branca e com menores tamanhos ficam na cor marrom e são classificados automaticamente como *Ground*, ver Figura 3.28.

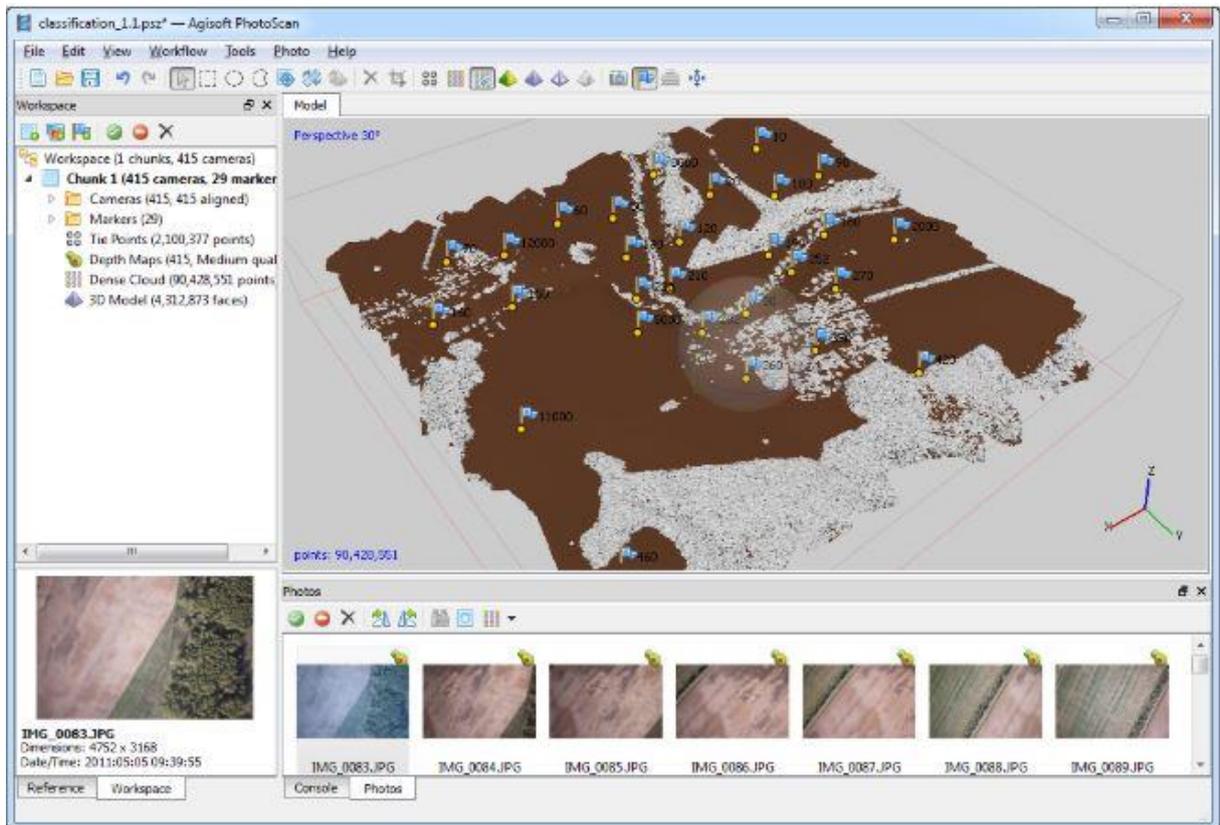


Figura 3-30 - Classificação automática da nuvem densa de pontos

Após essa primeira filtragem da nuvem de pontos foi feita uma classificação automática para garantir que o modelo digital do terreno representasse apenas a altitude do terreno. A classificação foi dividida nas opções *Ground* que seria o terreno propriamente dito, *low vegetation* que seria vegetação encontrada na nuvem e *unclassified* para objetos artificiais como caminhões, carros, prédios, casas e drenos, ver Figura 3.29.

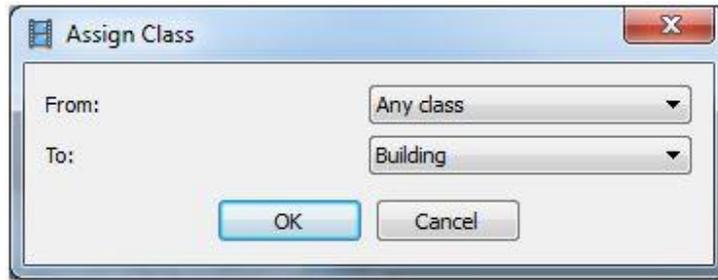


Figura 3-31 - Classificação dos pontos da nuvem densa

Após essa nova seleção e classificação gerou-se uma nova malha na opção *Build Mesh* mas dessa vez especificamos a partir de qual classe seria gerada essa malha, ver Figura 3.30

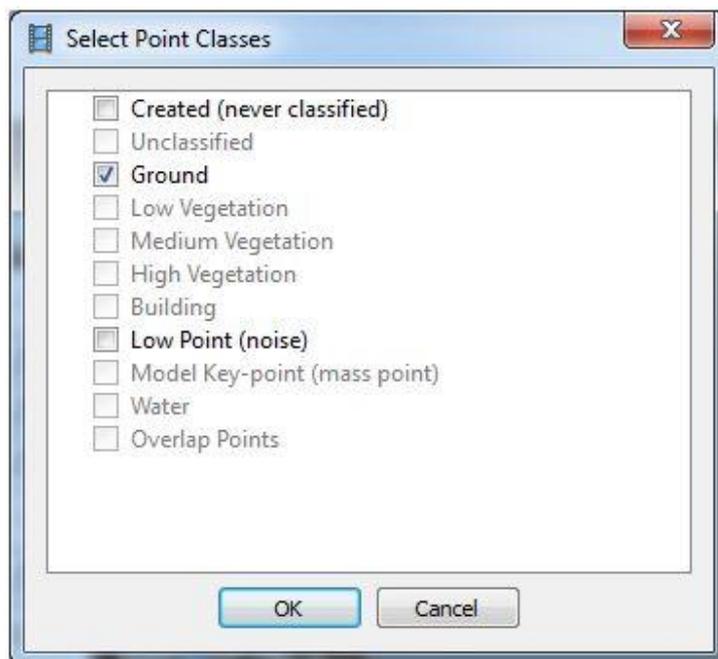


Figura 3-32 - Seleção de classes

Após esse último passo realizado o MDT foi criado e só é necessário exportar ele, ver Figura 3.31.

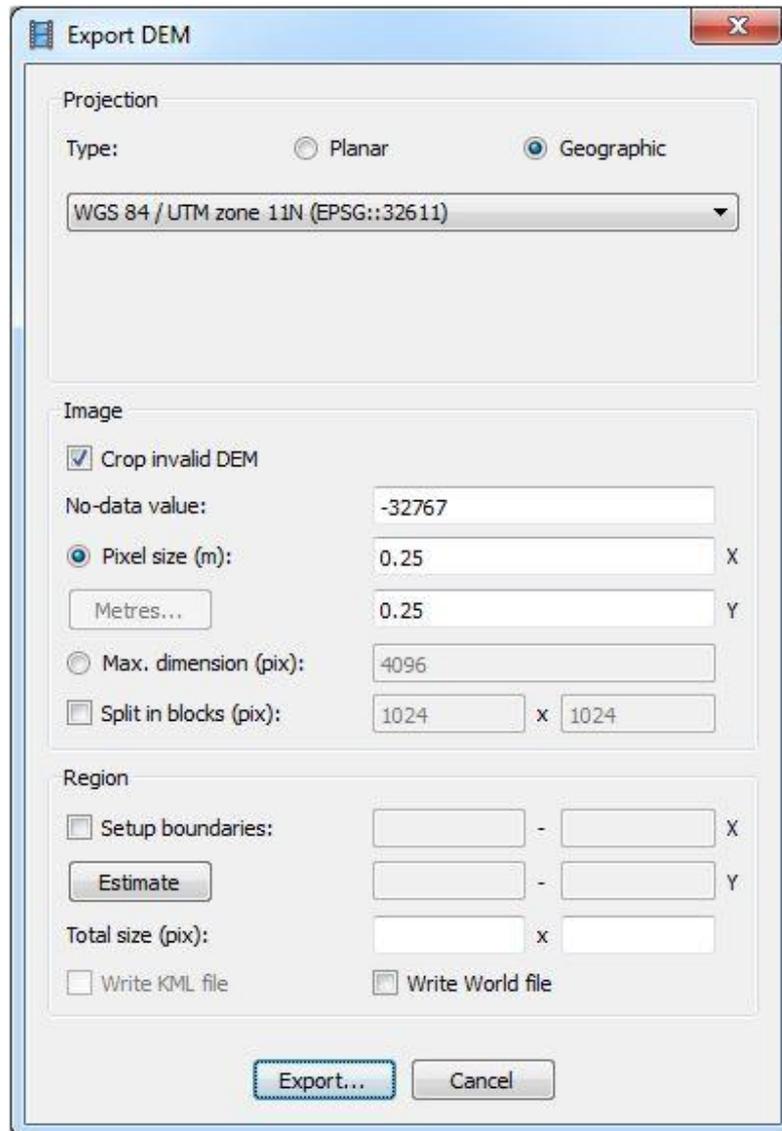


Figura 3-33 - Exportar MDT

Agora com esses três produtos gerados, MDS, Ortofoto e MDT procedeu a execução do cálculo do volume do terreno do aterro controlado estrutural.

O processamento para o cálculo do volume pode ser executado em seis etapas. Entretanto é importante frisar que para realizar esse procedimento é necessário ter as licenças 3D Analyst e Spatial Analysis Tools do Software ArcMap.

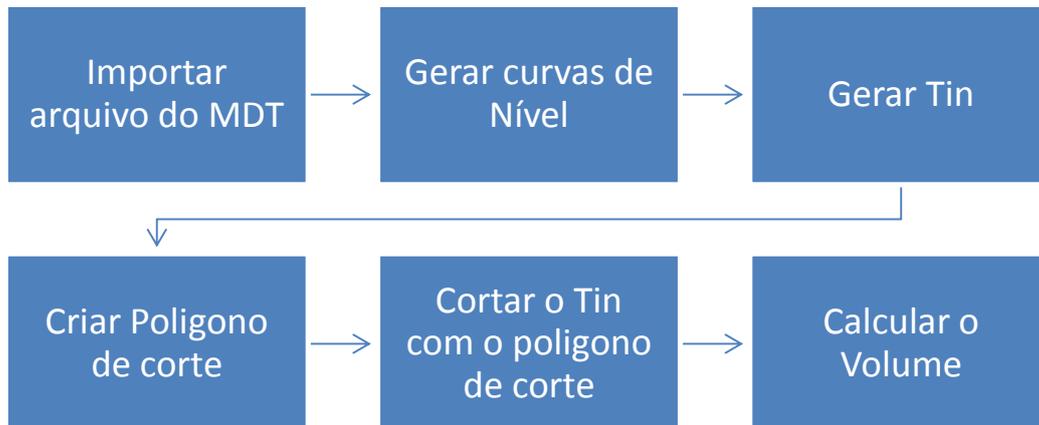


Figura 3-34 – Fluxograma do cálculo do volume no Software ArcMap

O primeiro passo é importar o arquivo do modelo digital do terreno, gerado no processamento passado no software *Agisoft PhotoScan*. Simplesmente adiciona o arquivo no programa, ver Figura 3.32. É possível tanto adicionar o arquivo pela opção *Add Data*, como arrastando o arquivo para dentro do programa.

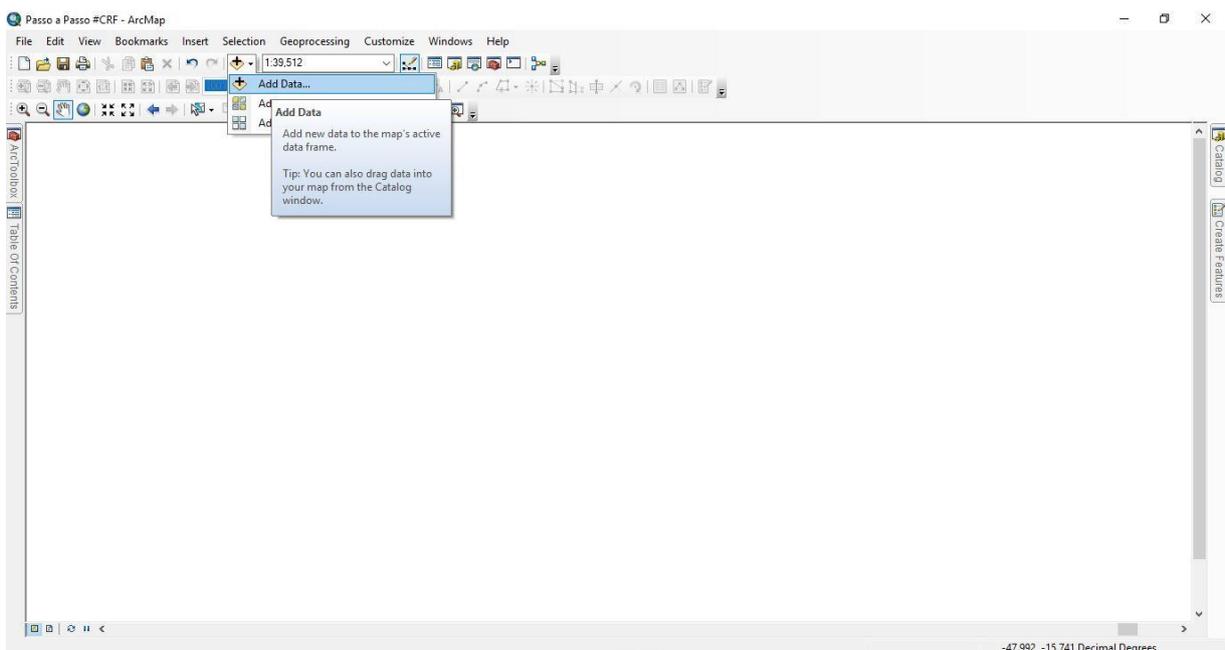


Figura 3-35 - Interface do arcmap na opção de adicionar data

Com o arquivo dentro do programa inicia-se o segundo passo que é a geração das curvas de nível. Utilizando a ferramenta Spatial Analyst Tools, na opção Surface utilizou-se a ferramenta Contour, ver Figura 3.33.

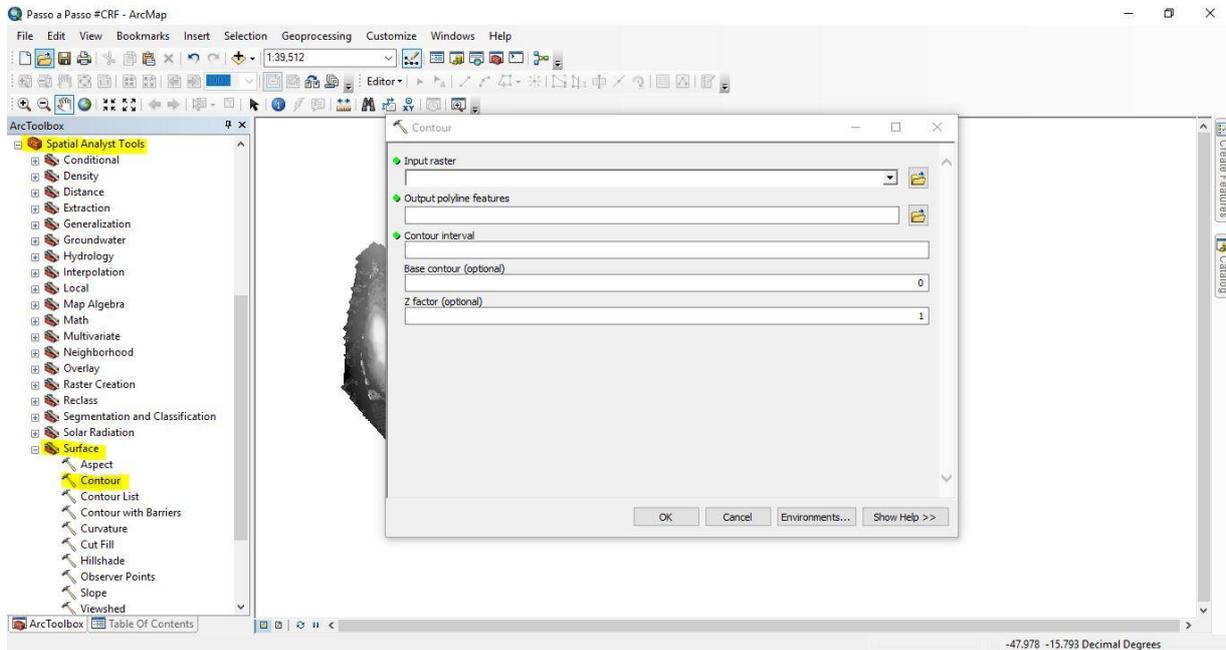


Figura 3-36 - Interface do arcmap na opção Contour

Na opção *input raster* adicionou o arquivo do MDT. O *output* gerado será as curvas de nível desse terreno. O *contour interval* é a distância relativa entre as curvas de níveis. Optou-se por desenhar curvas de nível a cada 1 metro de diferença, logo colocou-se 1 nessa opção. Após isso selecionou o botão OK e na interface do programa apareceu algo como a Figura 3.34.

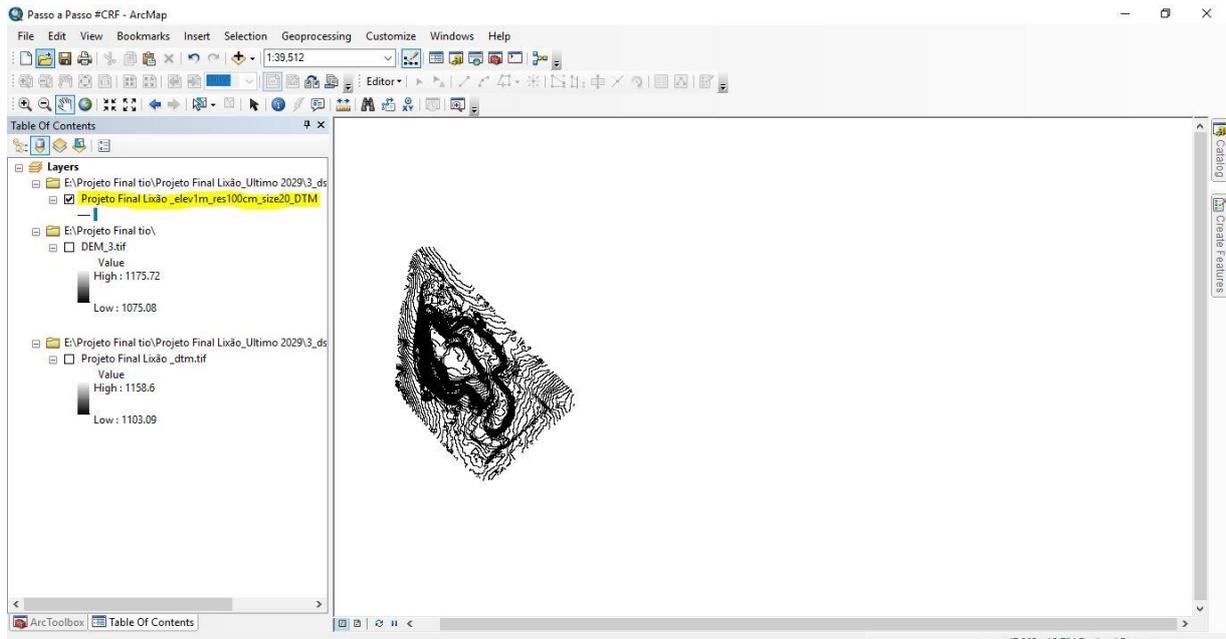


Figura 3-37 - Interface do arcmap com a visualização das curvas de nível

Após a geração das curvas de nível inicia-se o terceiro passo 3 que é criar o Tin. O Tin é uma sigla inglês que significa *triangular irregular networks*, também conhecido em português como rede de triângulos irregulares. É uma forma de dados geográficos digitais baseados em vetores e são construídos pela triangulação de um conjunto de vértices (pontos). Os vértices estão conectados com uma série de arestas para formar uma rede de triângulos. Existem diferentes métodos de interpolação para formar esses triângulos, como a triangulação de Delaunay ou a ordenação de distâncias. O software *ArcMap* suporta o método de triangulação de Delaunay. Como os nós podem ser posicionados irregularmente sobre as superfícies, o Tin tem uma resolução mais alta em áreas onde a superfície é altamente variável ou onde mais detalhes são desejados. Pela Figura 3.35 observa-se a interface do terceiro passo de criar o Tin.

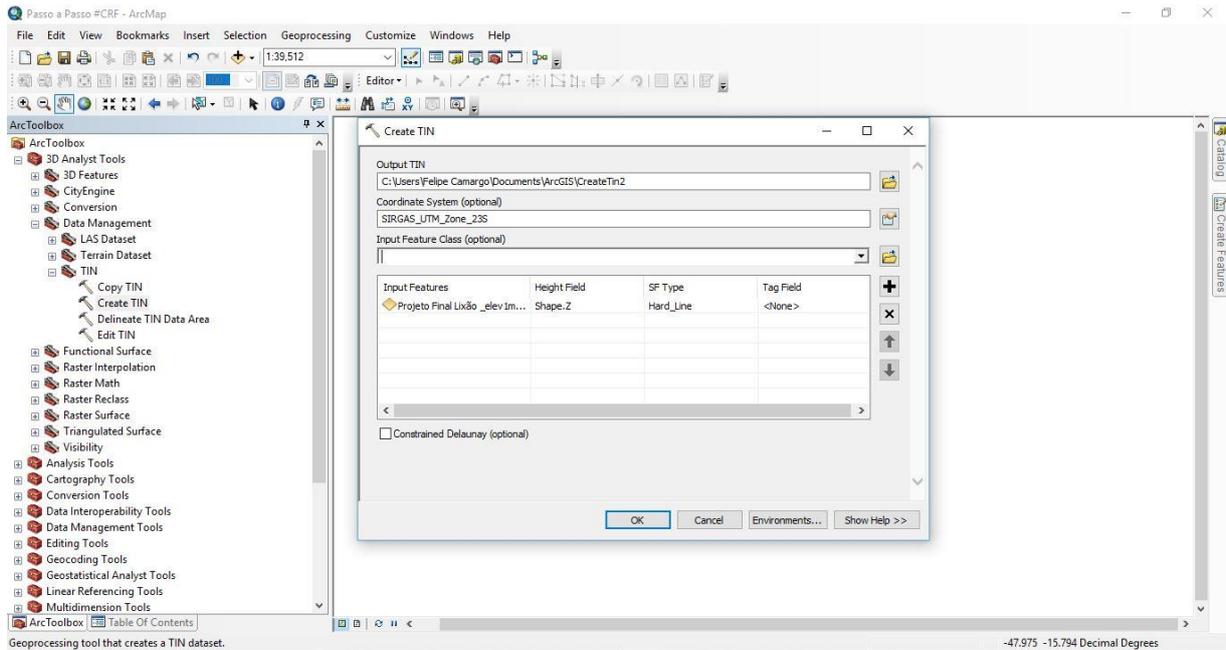


Figura 3-38 - Interface do arcmap na opção Create Tin

O output é o arquivo Tin criado. A opção de Coordinate Sytem utilizou SIRGAS 2000 UTM Zone 23S e no input adicionou as curvas de nível previamente calculadas. Apertar Ok e o Tin será processando e renderizado no programa. Após o Tin ser formado criou-se uma cópia do mesmo. Para criar uma cópia do Tin o procedimento é o mesmo de criar um Tin, apenas muda a opção que se escolhe. Invés de optar por create Tin, opta-se por Copy Tin, ver Figura 3.36.

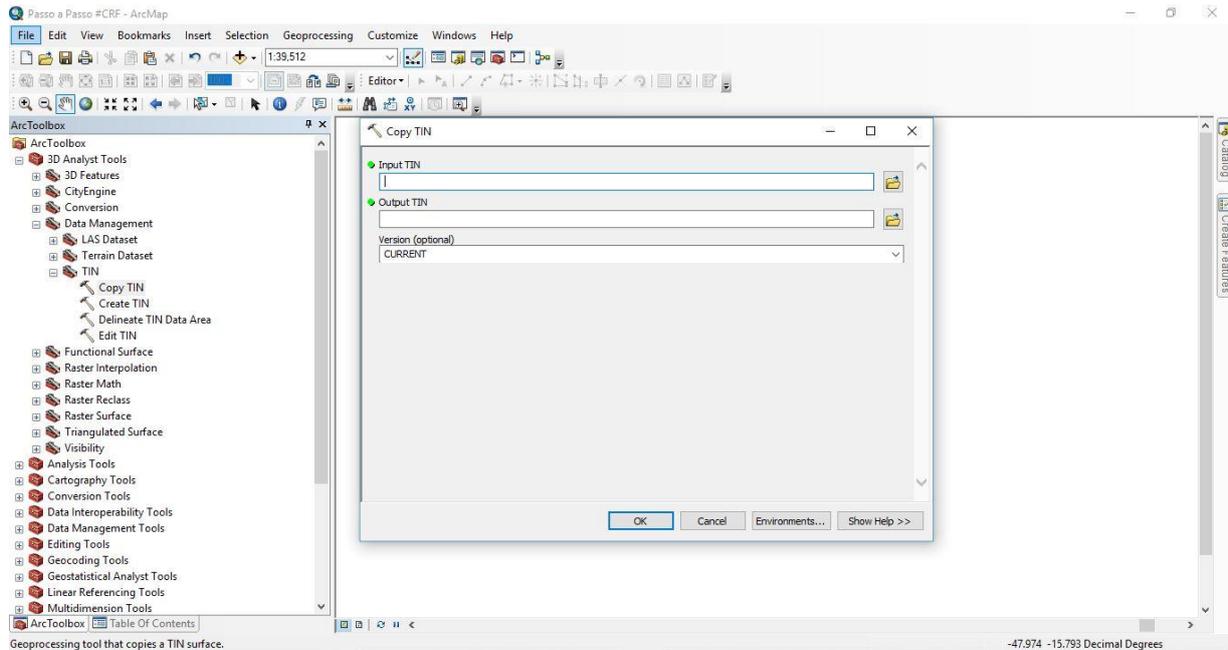


Figura 3-39 - Interface do arcmap na opção copy Tin

A criação da cópia do Tin só foi feita por segurança para não perder o Tin original caso os próximos passos dessem errado. Com a cópia do Tin gerado passamos para o quarto passo. Criar um polígono de corte.

O polígono de corte foi gerado com base nos pontos de controle coletados em campo, os pontos externos serviram como limite para esse polígono, ver Figura 3.37.

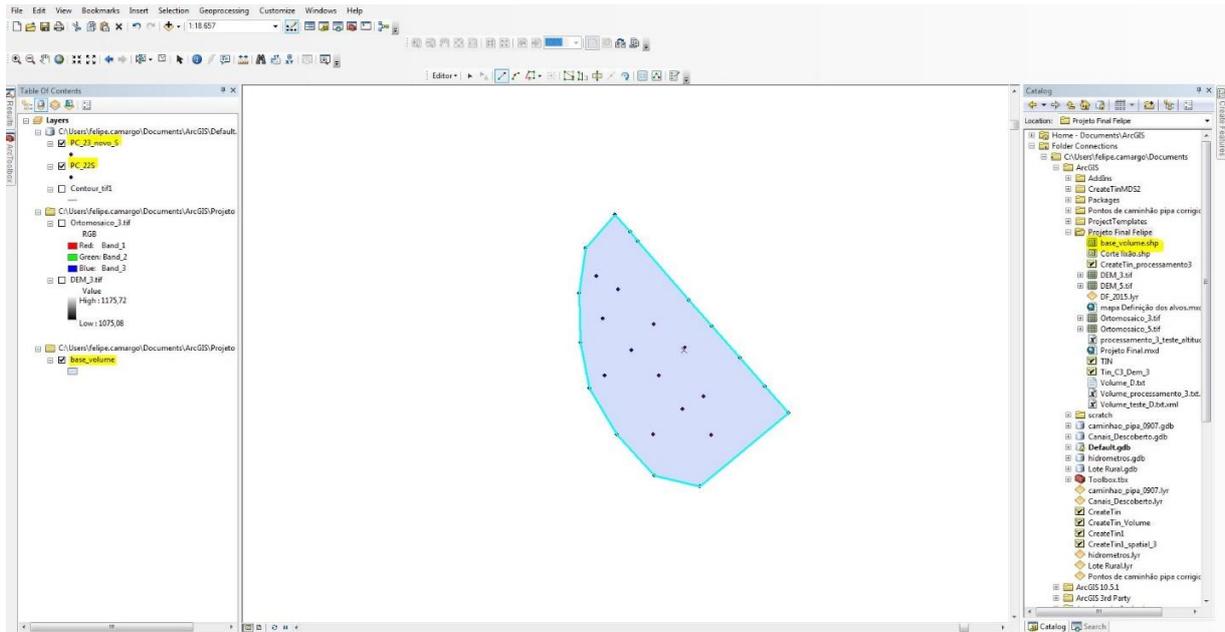


Figura 3-40 - Interface do Arcmap na opção criar polígono de corte

Com o polígono de corte criado, utilizou-se a mesma ferramenta do passo anterior, mas empregou a ferramenta Edit Tin, ver Figura 3.38.

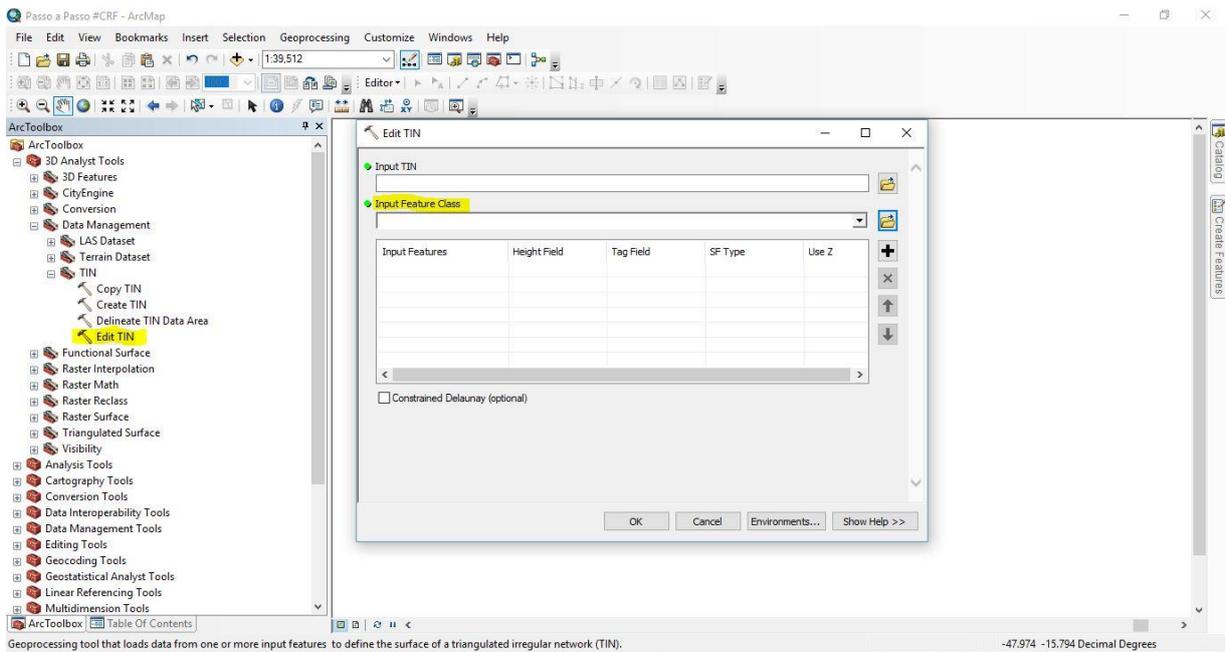


Figura 3-41 - Interface do Arcmap na opção Edit Tin

O *input tin* será a cópia gerada e o *input feature class* será o polígono de corte criado. Assim o resultado final será o Tin delimitado pela área delimitada do aterro controlado que se deseja calcular o volume. Esse é o passo cinco.

Finalmente o passo seis começa utilizando o *3D Analyst Tools* na opção *Functional Surface* na ferramenta *Surface Volume*, Figura 3.39.

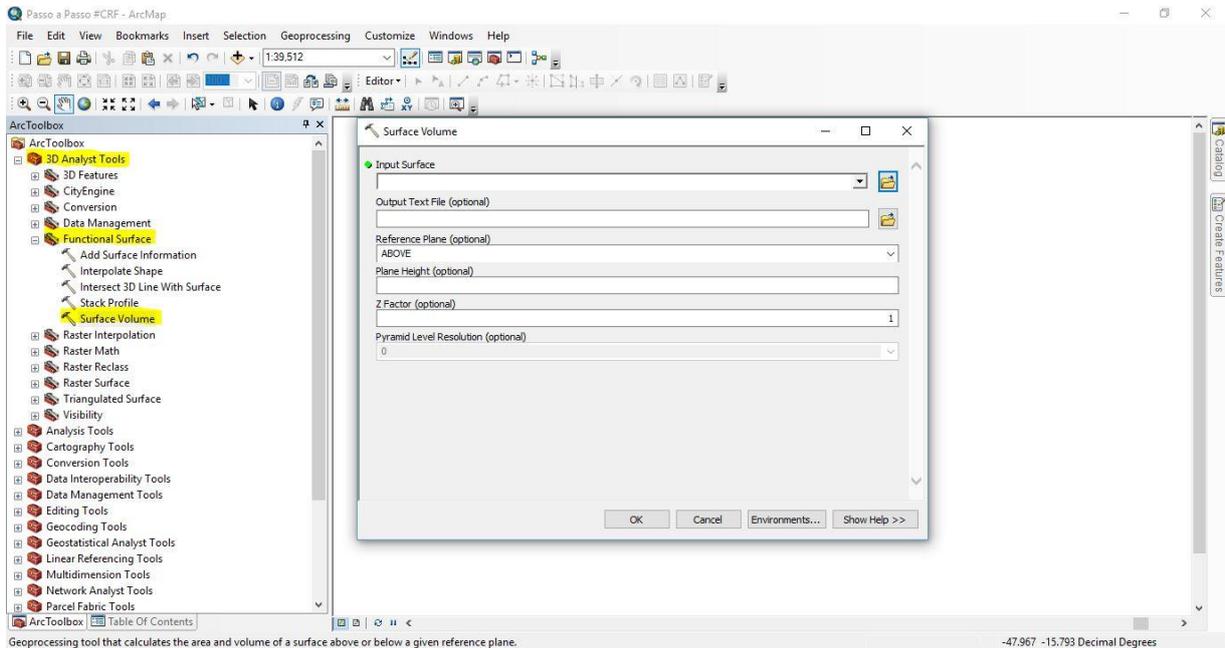


Figura 3-42 - Interface do Arcmap na opção Surface Volume

Na interface dessa ferramenta o *Input Surface* é o Tin cortado no passo anterior e o *Output* será um documento de texto, com as informações sobre a área 2D, a área 3D e o volume dessa área calculado. *Reference plane* oferece opções de calcular *above* ou *below* de uma determinada altitude. Para esse trabalho utilizou-se a opção *above*. A opção *Plane Height* é onde adiciona a altitude base que será calculada o volume.

Calculou-se o volume para nove fatias do terreno da área de estudo. Desde a altitude 1107.309 até a altitude 1152.368 metros. O programa calcula o volume traçando um plano na altitude colocada como base e calculado o volume acima desse plano.

Após apertar OK, o processamento gera um arquivo de texto que tanto pode ser aberto por um programa que leia esse formato de arquivo como por exemplo Excel, bloco de notas, etc, como

pode abrir no próprio *ArcMap* clicando com o botão direito no arquivo e escolhendo a opção tabelas de atributos, ver Figura 3.40.

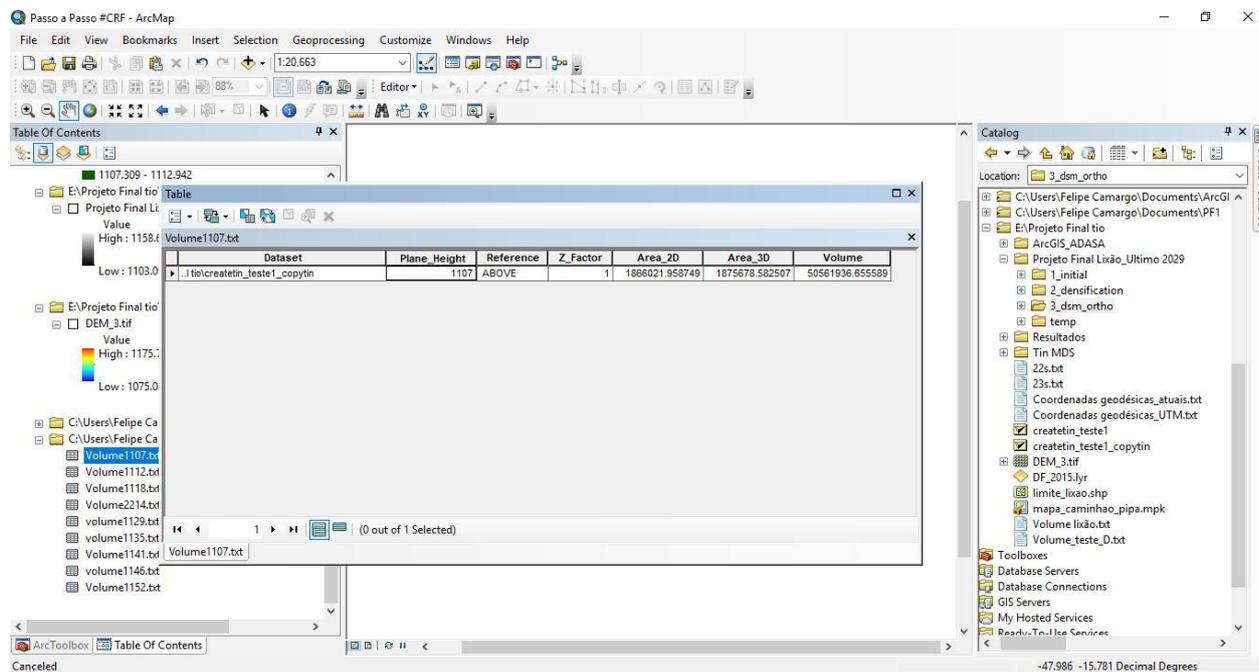


Figura 3-43 - Interface do *Arcmap* na opção Table

Realizado esses seis passos, obteve-se o resultado do volume do modelo digital do terreno da área do aterro controlado da estrutural. Concluindo assim o fluxograma proposto para o projeto.

4. Resultados

Os resultados obtidos com o processamento das imagens aero fotografadas foram satisfatórios. Obteve-se um relatório com detalhes do processamento realizado, um modelo digital de superfície (MDS), uma ortofoto e um modelo digital do terreno (MDT) após a edição das nuvens de pontos no software *Agisoft Photoscan* e para finalizar no software *Arcmap* obteve-se as curvas de nível tanto para o MDS como para o MDT, os Tin`s do MDS e MDT e o volume estimado para o terreno a partir da altitude 1107.309 metros. Vale ressaltar que a precisão e acurácia desses resultados obtidos todos estão numa classificação classe A pelo padrão de exatidão cartográfica (PEC).

Pela Figura 4.1 podemos observar o resultado das imagens sobrepostas na hora do processamento das imagens. A grande maioria teve dez ou mais fotos sobrepostas garantido a criação de um bom modelo.

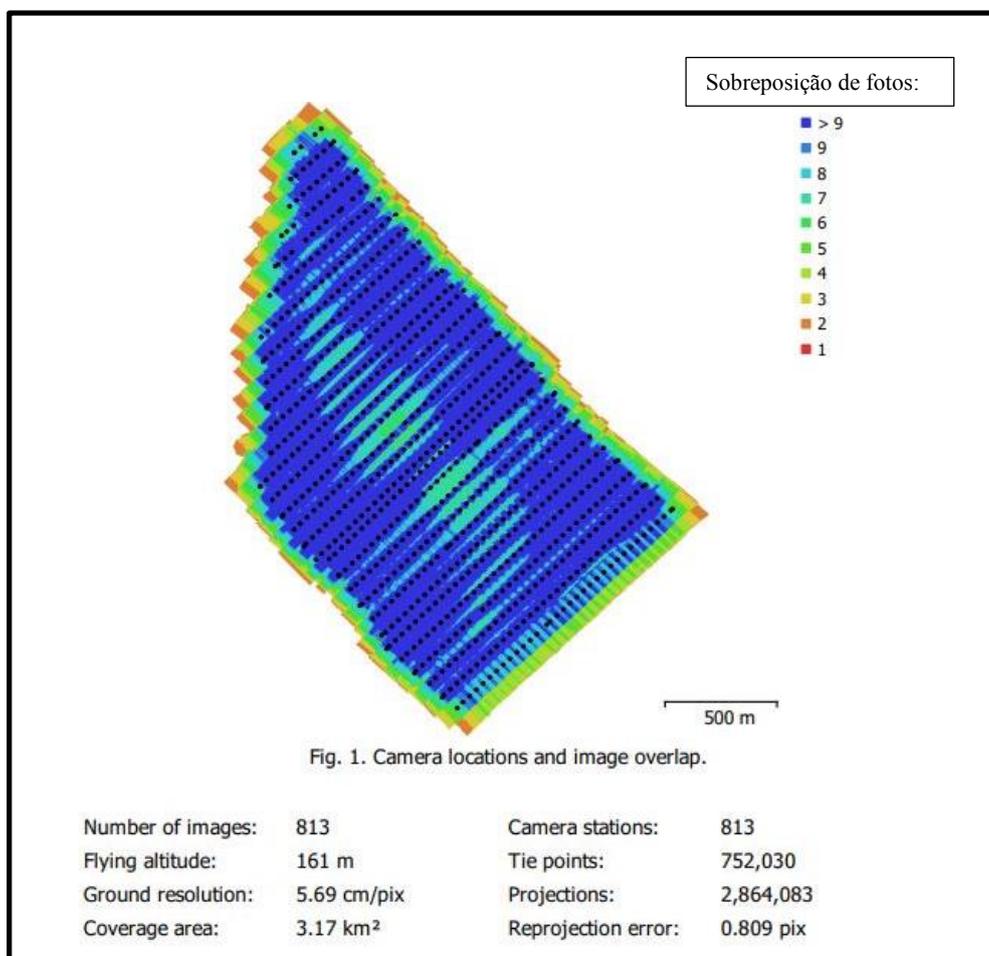


Figura 4-1 - Resultado da sobreposição das fotos

A seguir apresenta-se a imagem em relação aos pontos de controle. Onde verifica-se que se obteve uma precisão e acurácia excepcional dos pontos. Apenas o ponto interno 21 que não apresentou uma acurácia boa, logo foi retirado da opção de ponto de controle para não atrapalhar no processamento de dados.

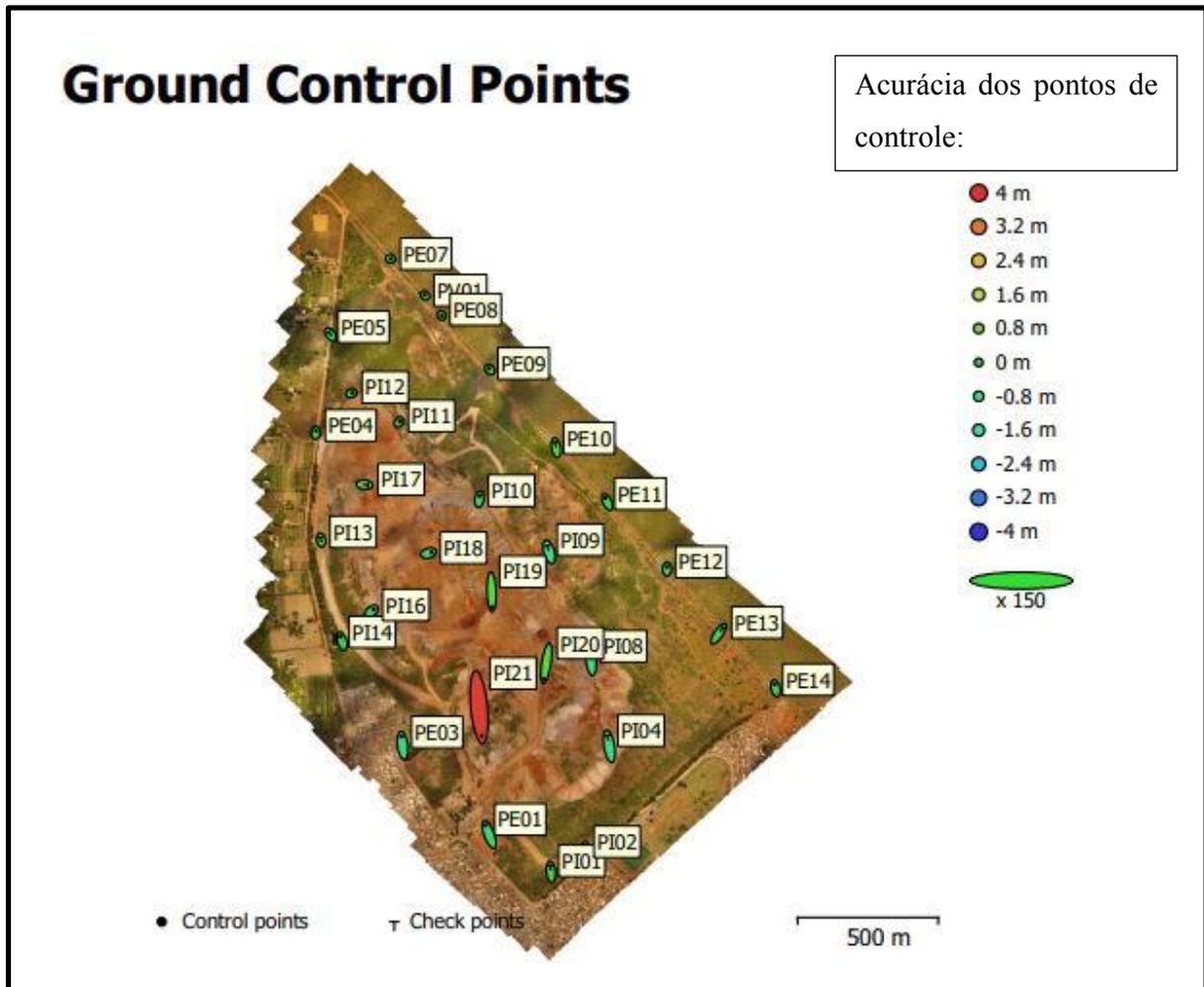


Figura 4-2 - Resultado do processamento dos pontos de controle

A seguir os resultados referente ao processamento final do trabalho. Onde se encontra o modelo digital de superfície Figura 4.3, as curvas de nível referentes a esse modelo Figura 4.4, o modelo digital do terreno, Figura 4.5, com as curvas de nível referente a esse modelo, Figura 4.4, a ortofoto, Figura 4.7, e a rede de triângulos irregulares criado tanto para o MDS, Figura 4.10, como para o MDT, Figura 4.11. Por final apresenta a Figura 4.12 do volume total com uma Tabela 4-1

apresentando o volume dividido em nove fatias de altitude, começando no nível mais baixo de 1107,309 metros até 1152,368 metros.

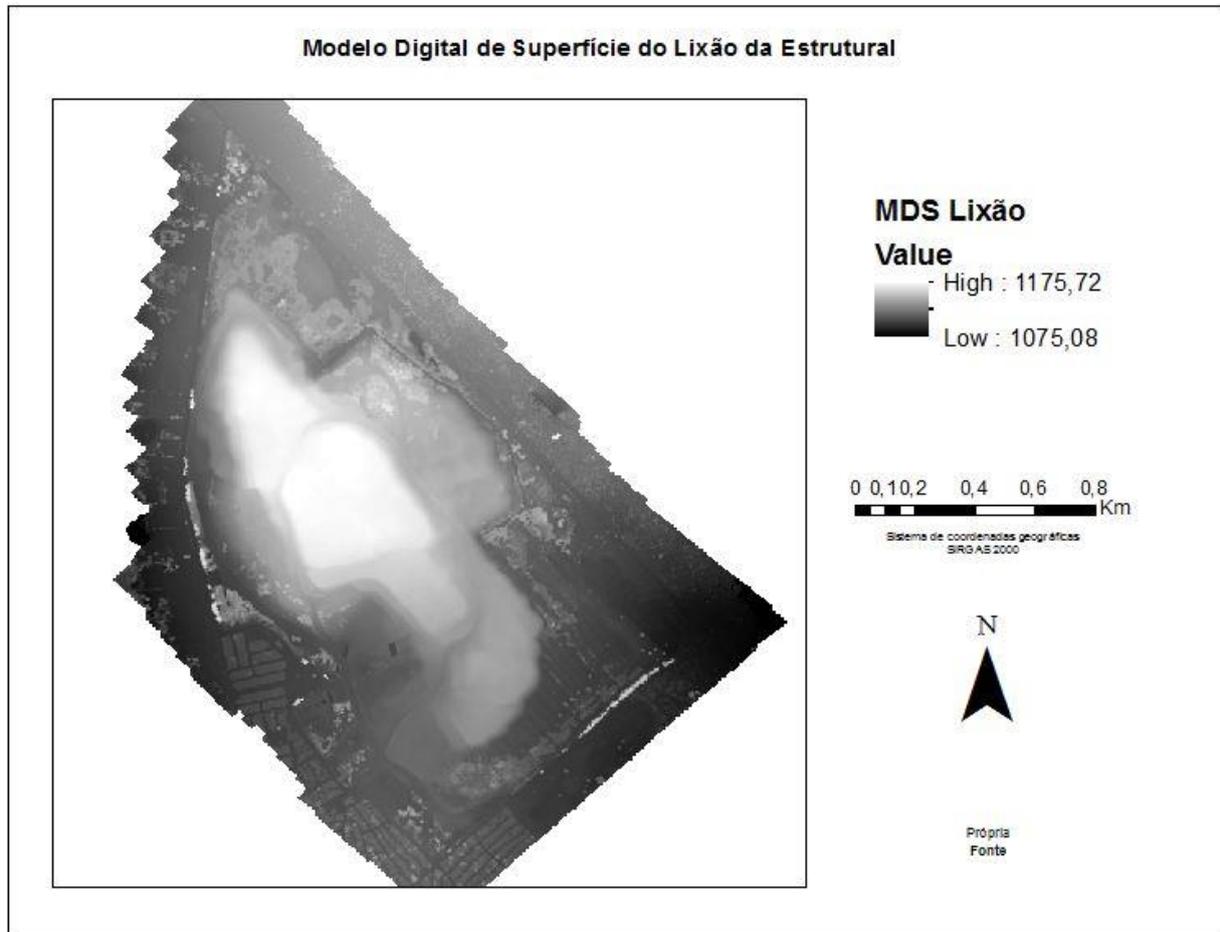


Figura 4-3 - Mapa do Modelo digital de Superfície (MDS)

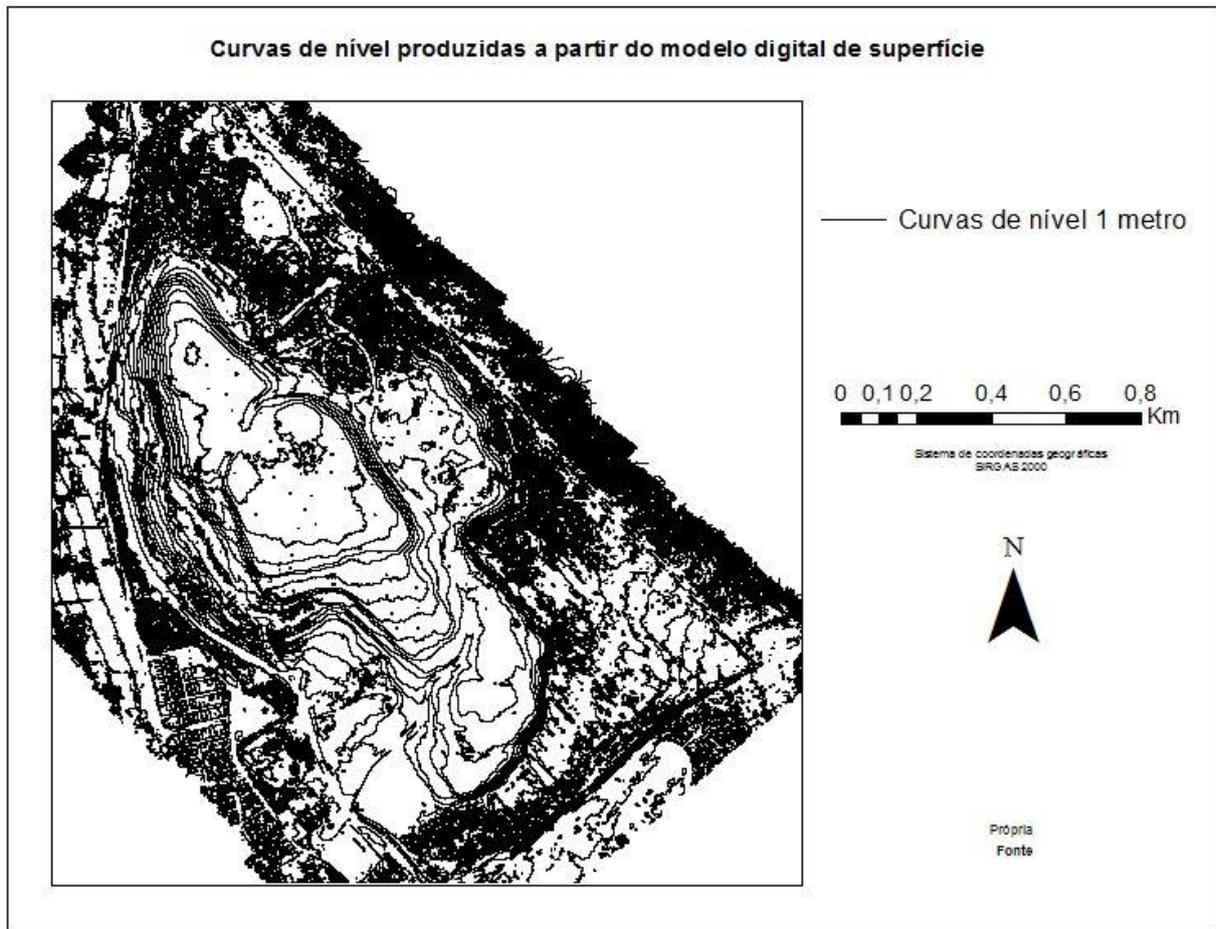


Figura 4-4 - Mapa das curvas de nível produzidas a partir do MDS

Tanto o mapa do modelo digital de superfície (MDS) como o mapa das curvas de nível gerado pelo MDS, apresentam uma imagem muito mais poluída pois nesse modelo vegetação e objetos artificiais ainda não foram excluídos da imagem. Após a filtragem da nuvem densa de pontos desse modelo foi possível gerar o modelo digital do terreno.

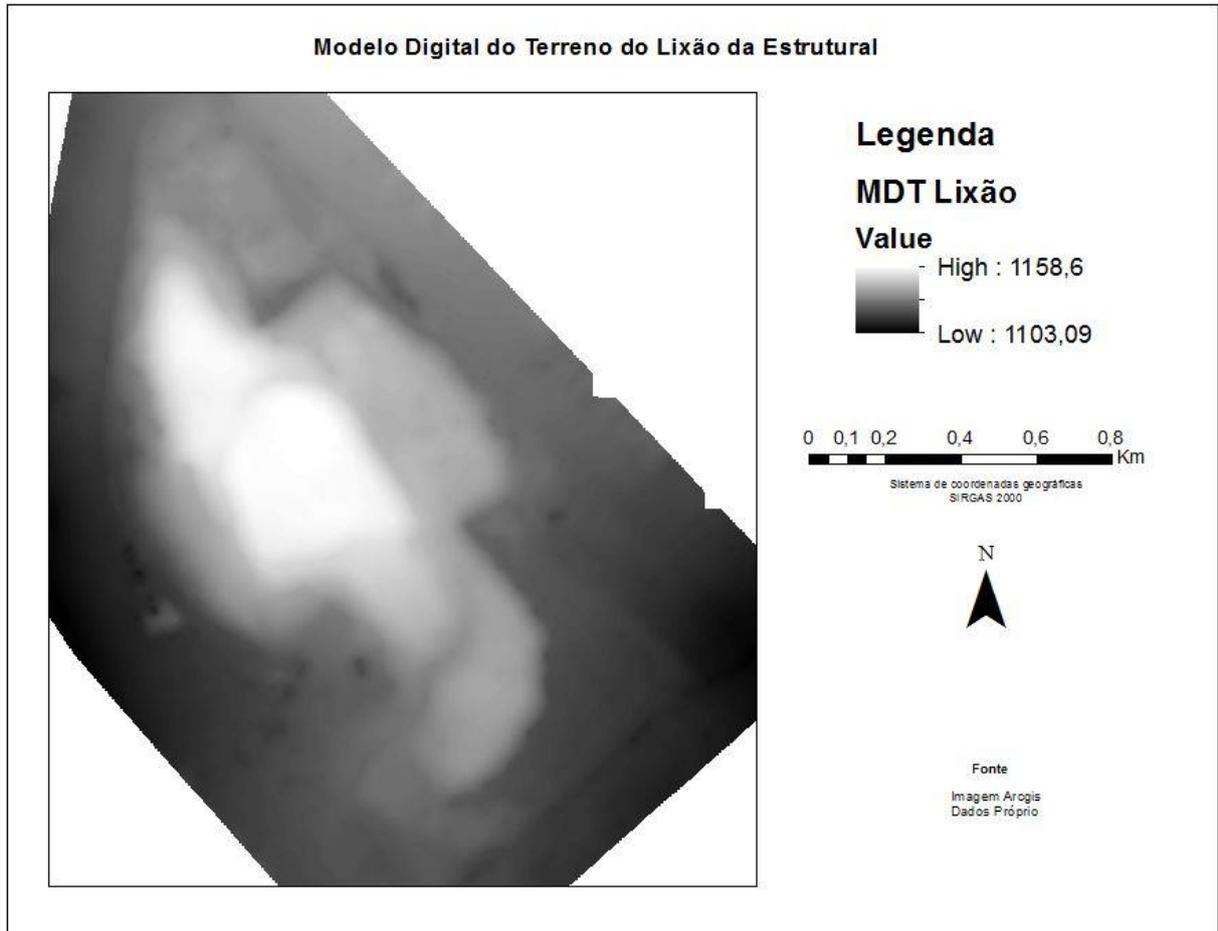


Figura 4-5 - Mapa do Modelo digital do terreno (MDT)

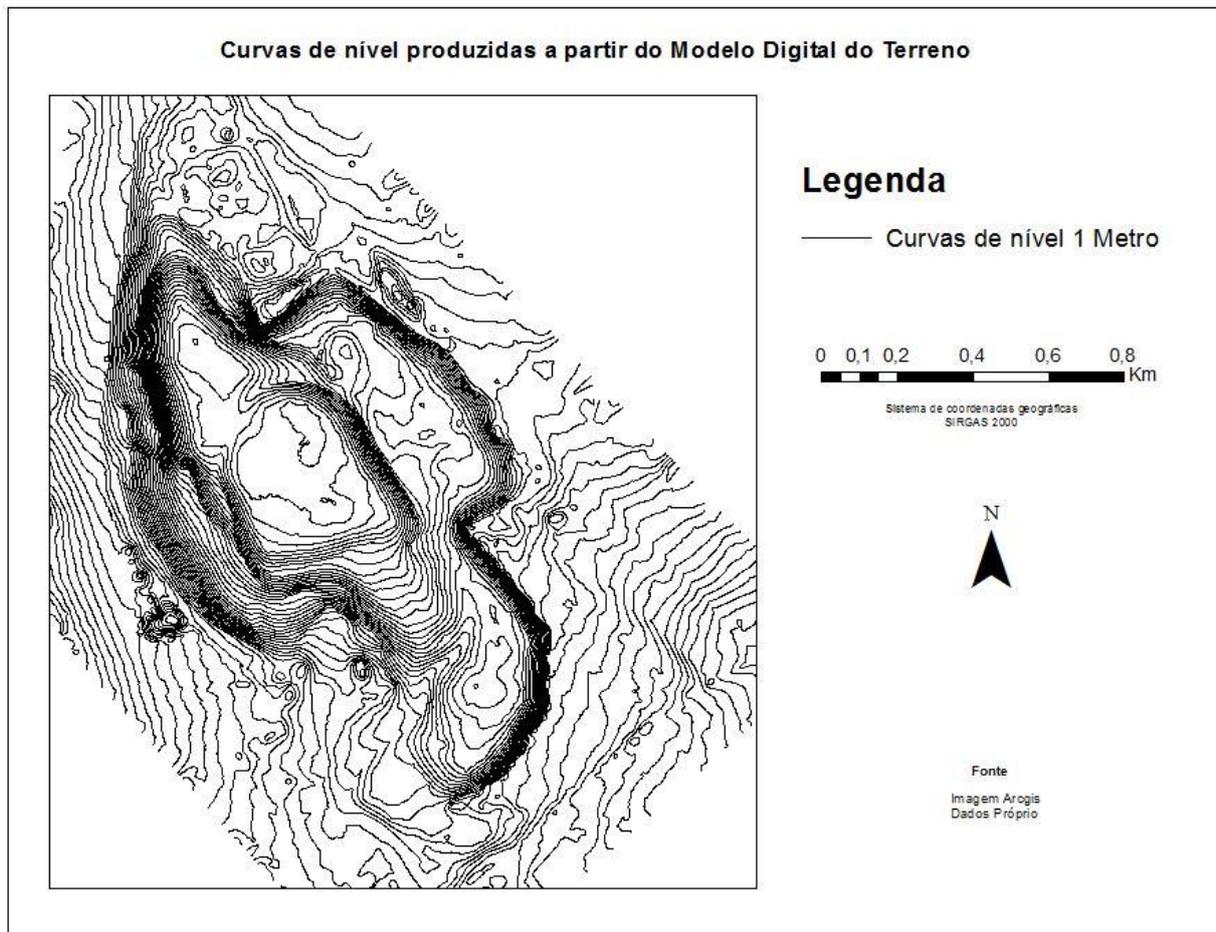


Figura 4-6 - Mapa das curvas de nível produzidas a partir do MDT

Como comentando anteriormente, é nítido como a imagem do modelo digital do terreno é mais limpa. O MDT apresenta apenas o solo, vegetação, árvores, postes, caminhões, drenos, casas tudo isso foi removido para a representação apenas do solo da área estudada. Essa edição do MDS para o MDT é tão importante que é visível a diferença de altitude dos modelos. Enquanto o MDS apresenta uma altitude máxima de 1175,22 metros o MDT apresenta uma altitude máxima de 1158,6 metros. Importante ressaltar que a diferença das alturas máximas e mínimas dos modelos vai além da filtragem da nuvem de pontos. No plano de voo foi planejado uma margem de segurança onde se esperava que houvesse uma menor sobreposição de fotos, logo uma menor precisão da representação do modelo nas bordas da área estudada. Logo essa grande diferença de altitude além de ser pela filtragem da nuvem de pontos é dado também pela borda do modelo que não contém uma sobreposição de imagem boa logo não apresenta uma representação do terreno tão boa quanto o meio do terreno, que de fato é a região de interesse do trabalho.

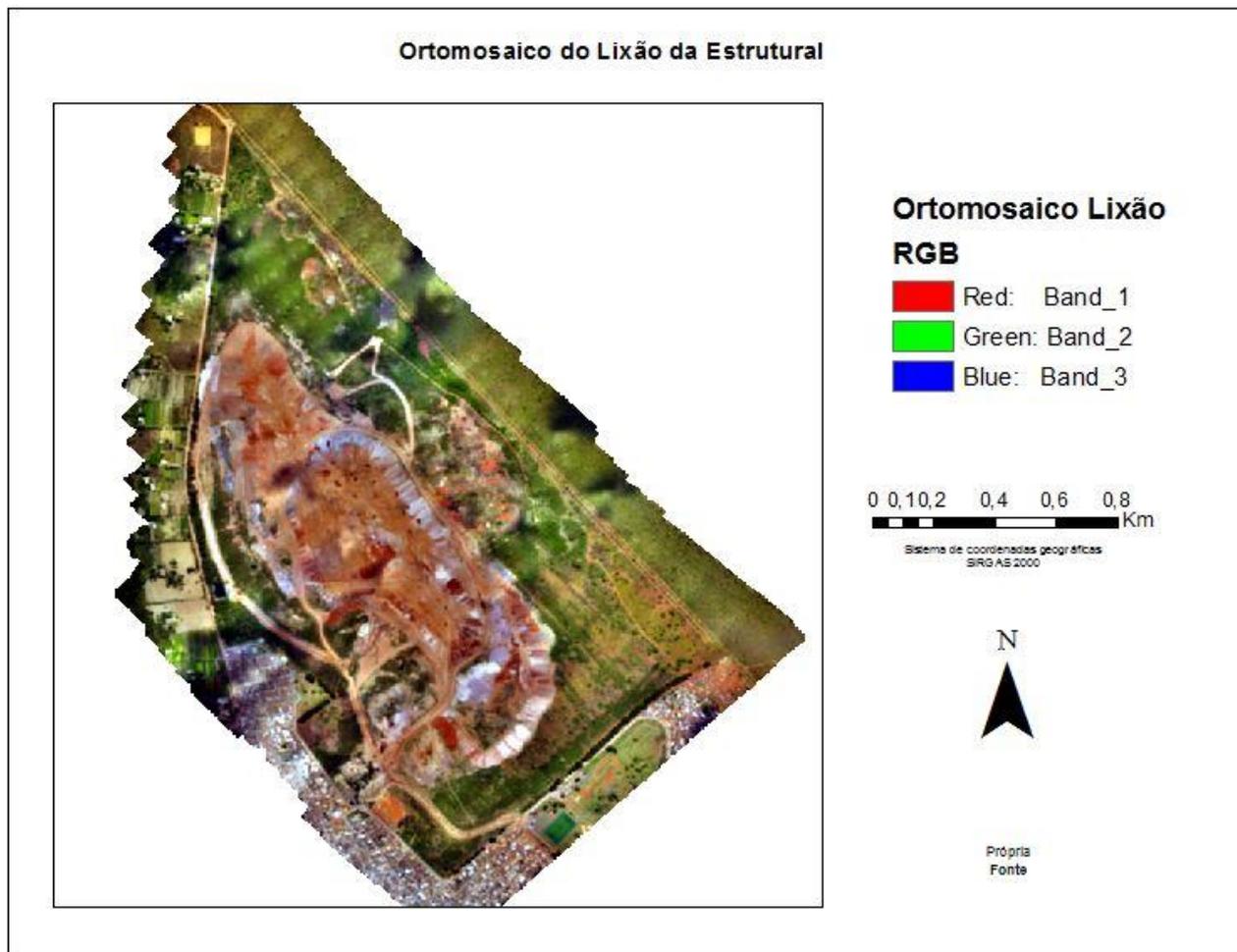


Figura 4-7 - Mapa da Ortofoto do aterro

A ortofoto criada com o alinhamento das fotos tiradas com o RPA e georreferenciadas com os receptores GNSS apresenta uma resolução excelente de 5,69 centímetros por pixel. Nos mapas a seguir é possível verificar a qualidade da resolução da ortofoto.

Zoom no Ortomosaico do Lixão da Estrutural 1:100



Ortomosaico Lixão

RGB

-  Red: Band_1
-  Green: Band_2
-  Blue: Band_3

00,00,002 0,004 0,006 0,008 Km

Sistema de coordenadas geográficas
BRG AS 2000



Própria
Fonte

Figura 4-8 - Zoom no mapa da Ortofoto produzida

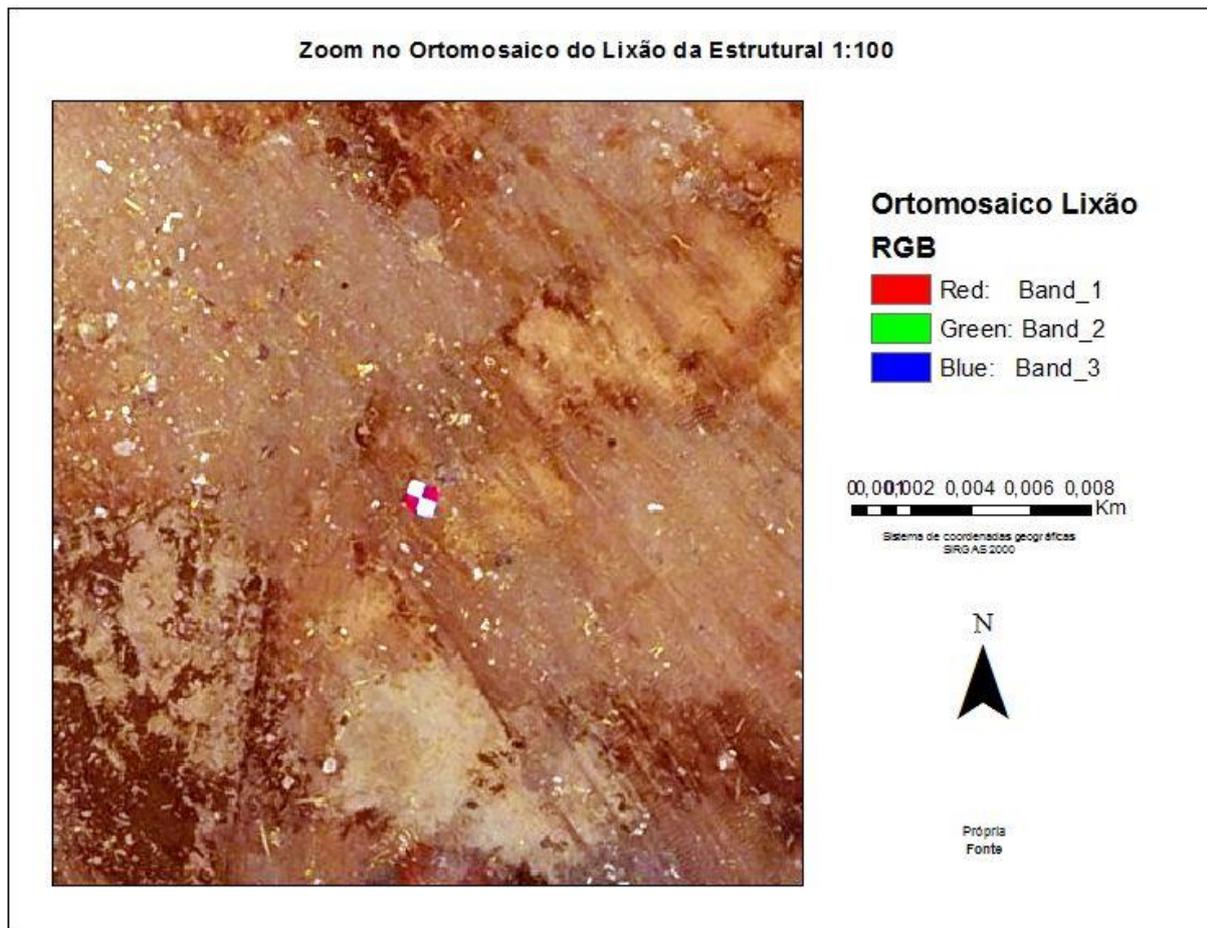


Figura 4-9 - Mapa do Zoom na ortofoto produzida

As Figuras 4.8 e 4.9 destacam o zoom da ortofoto é nítido os alvos de ponto de controle e como o centro deles ficaram bem visíveis. Isso garantiu o alinhamento dos pontos com as coordenadas coletas com o receptor e devido a isso foi possível conseguir um padrão de exatidão cartográficos (PEC) classe A. isso reforça a importância da fabricação adequada dos alvos de ponto de controle. De acordo com sua área de estudo diferentes tipos de alvos podem funcionar melhor. Nesse trabalho foi necessário confeccionar dois tipos diferentes de alvos tendo em vista que o primeiro alvo não atingiu uma visibilidade desejada. O tamanho e contraste que o novo alvo criou com a área de estudo tornaram ele ideal para o uso.

A Figura 4.10 acima representa o render do modelo digital da superfície criado por uma rede triangular irregular. Como explicado na metodologia esse é o resultado do processamento do Tin. Lembrando que para esse TIN não houve nenhum corte para a área de disposição de resíduo. O TIN foi criado para toda o terreno sobrevoando e assim como o MDS, apresenta altitudes máximas e mínimas bem diferentes do MDT. Reforça-se que essa diferença é dada pela filtragem da nuvem de pontos e também pela falta de precisão das bordas do modelo, onde a sobreposição de imagens não foi tão alta como o do centro do terreno.

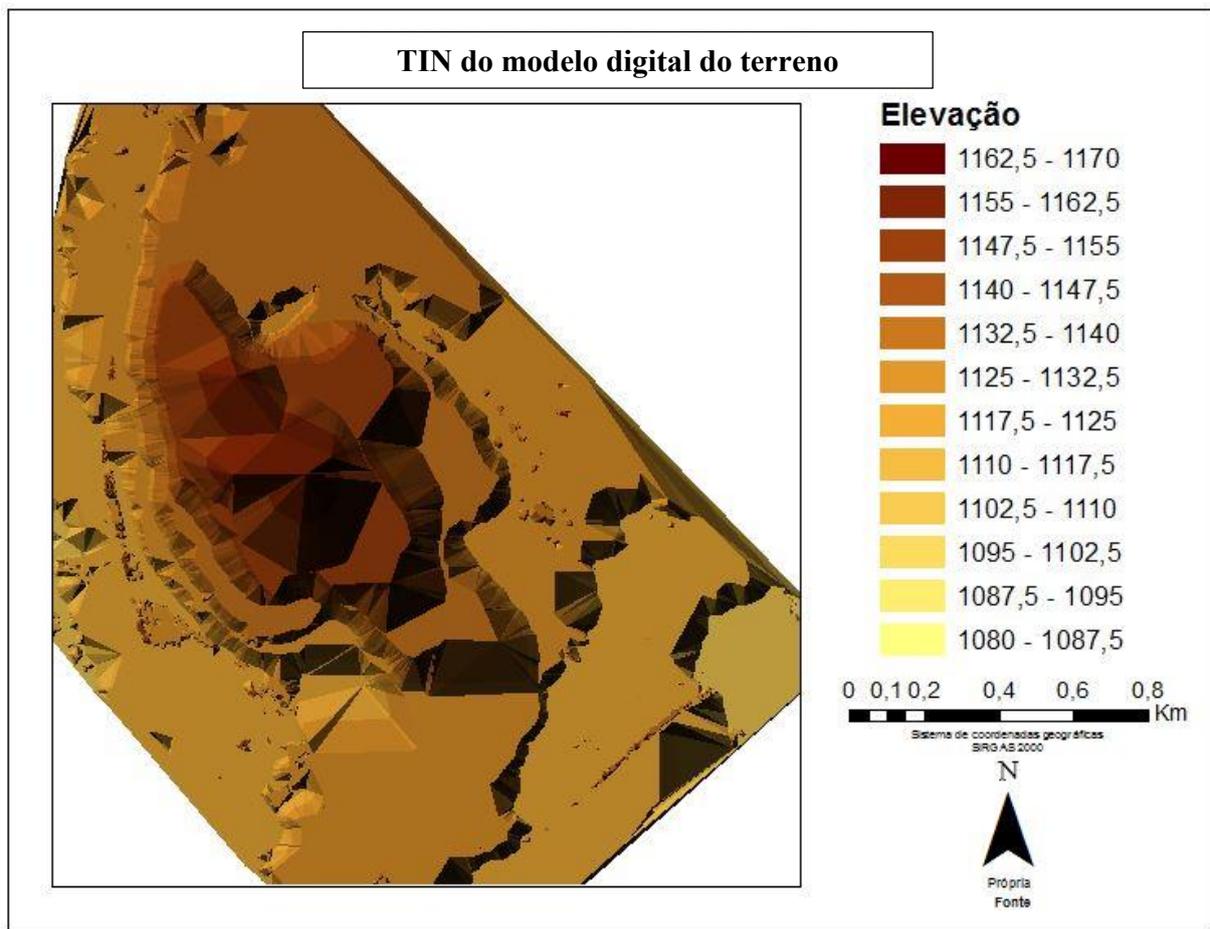


Figura 4-10 - Tin produzido pelo MDS

A Figura 4.11 apresenta o resultado do processamento da rede de triângulos irregulares (Tin) do modelo digital do terreno. Percebe-se que comparando com o MDT tanto a altitude mínima e máxima do modelo se alterou. Isso ocorre justamente porque foi aplicado um polígono de corte nesse Tin para apenas processar a área que recebeu resíduo ao longo do tempo e que era de interesse calcular o volume. O Tin é ideal para áreas não tão extensas e que requer uma alta precisão para modelar o terreno. É visível a diferença do Tin gerado pelo MDT comparado ao Tin gerado pelo MDS. A partir desse Tin foi calculado o volume para nove fatias de elevação. O cálculo do volume funciona traçando um plano na determinada altitude e calculando o volume acima dessa base até o topo dessa casca modelada. O Tin é formado por milhões de pequenos triângulos que contém informações sobre a altitude em cada vértice desse triângulo e dessa forma delimitado uma base ocorre o cálculo do volume dessa base até o vértice de cada triângulo.

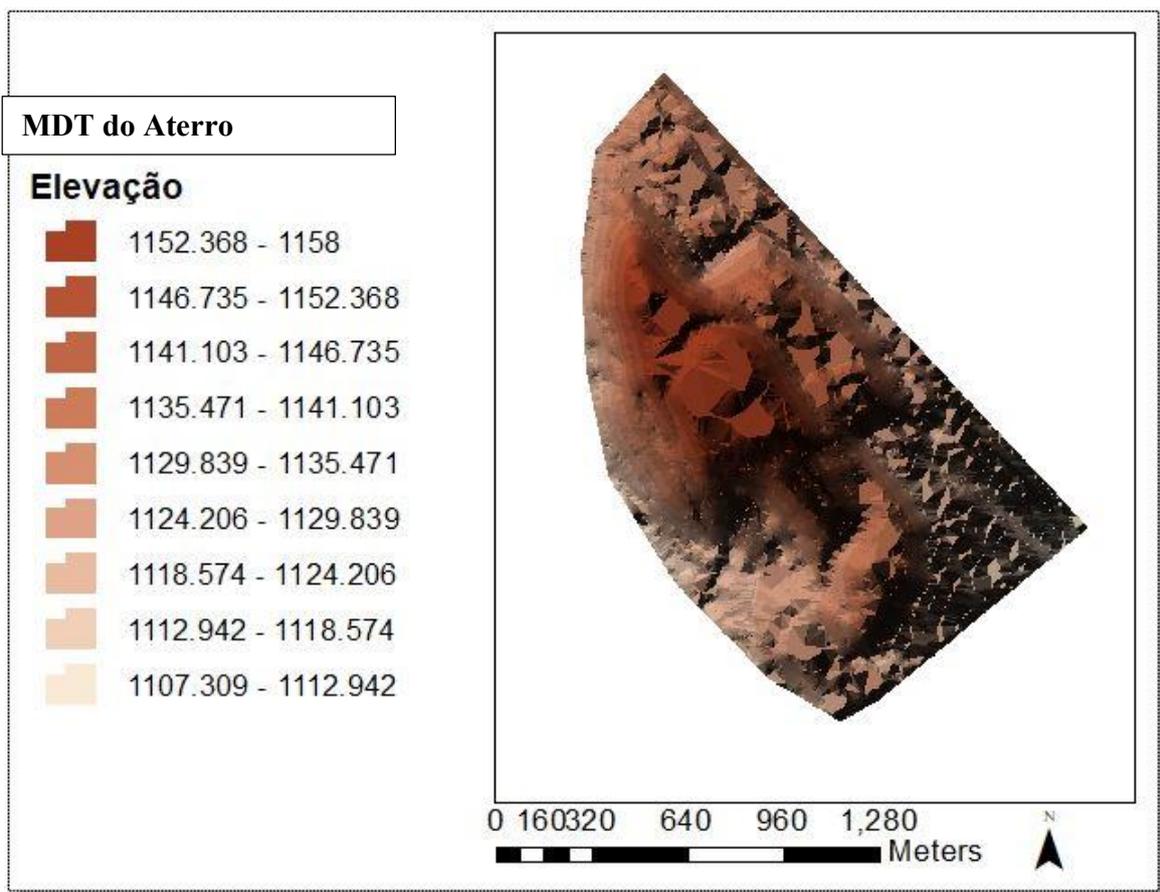


Figura 4-11 - Mapa do Tin produzido pelo MDT

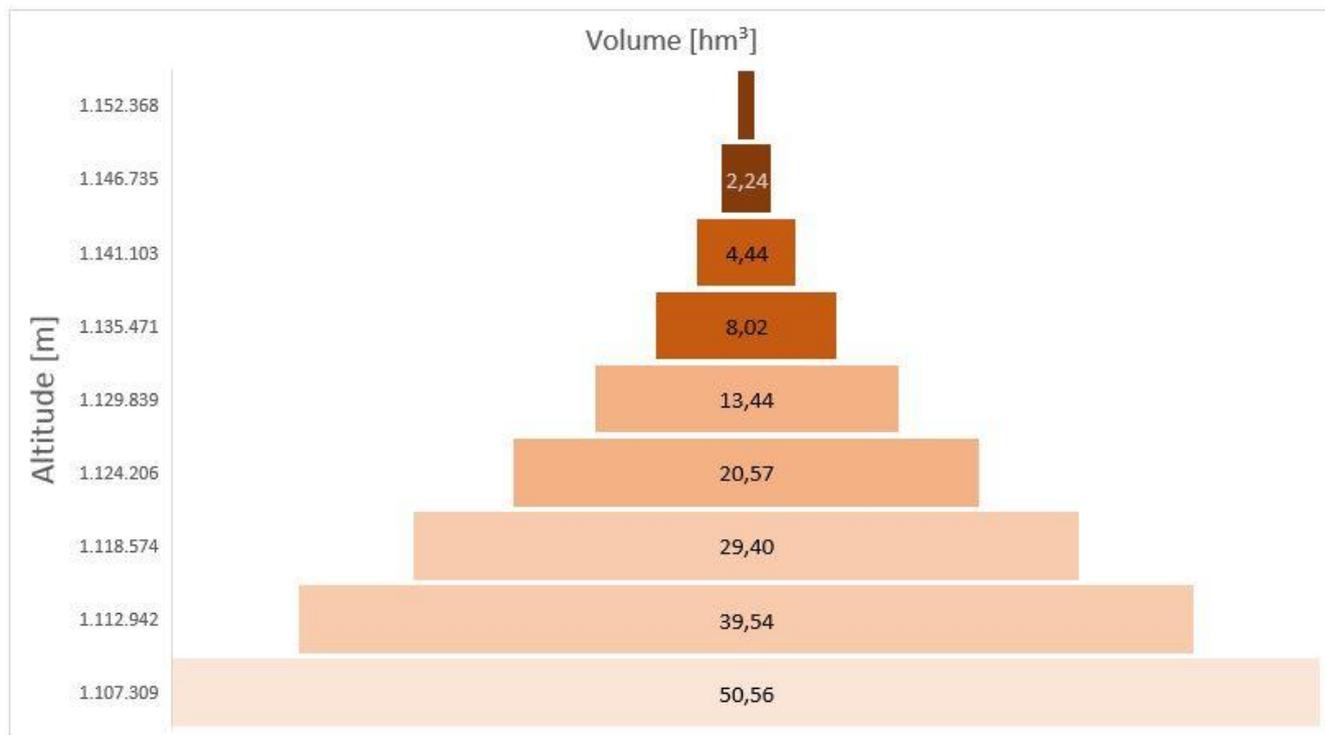


Figura 4-12 – Volume calculado para o terreno

Para facilitar a visualização os nove arquivos de texto gerados com o volume calculado das nove fatias do terreno foram colocados na tabela 4-1 e criado a Figura 4.12 em forma de pirâmide pois representa bem a situação na área de estudo. A menor altitude obtida no processamento das curvas de nível foi de 1107,309 metros e o volume acima dessa cota é de 50.56 hm³.

Tabela 4-1 - Volume calculado para cada altitude

Altitude [m]	Volume [m³]	Volume [hm³]
1152.368	750352.2279	0.75
1146.735	2240526.503	2.24
1141.103	4443674.691	4.44
1135.471	8020627.974	8.02
1129.839	13441155.35	13.44
1124.206	20571568.34	20.57
1118.574	29401757.13	29.40
1112.942	39542447.6	39.54
1107.309	50561936.66	50.56



Figura 4-13 - Tin produzido pelo MDT

5. Cenários

O foco geral desse trabalho é o mapeamento do aterro controlado do Jockey Club de Brasília. Entretanto será proposto três possíveis cenários que merecem um estudo mais aprofundando das consequências e benefícios para cada um dos cenários.

5.1. Geração de energia através do biogás:

O primeiro cenário proposto vem com propósito de aproveitamento energético. A proposta desse cenário para futuros estudos é focar na autorremediação. Esse termo vem com o significado que toda a energia depositada para remediar essa área seja gerada pelo próprio aterro.

A proposta é de um sistema híbrido de energia onde uma usina heliotérmica seja instalada na região e que nos períodos que não haja radiação solar suficiente para gerar energia o sistema produza energia por meio da queima de biogás. Atualmente são aproximadamente 232 dutos de queima de biogás ligados 24h por dia no aterro. A ideia desse cenário seria construir um sistema de captação do biogás e construir uma indústria termoelétrica que queimasse esse gás transformando o em energia. A eficiência desse sistema depende da qualidade do biogás coletado. É necessário identificar sua vazão, composição química e poder calorífico, parâmetros que determinam o real potencial de geração de energia elétrica, além de permitir dimensionar os processos de pré-tratamento do biogás, como a remoção de H₂S (ácido sulfídrico) e da umidade, com o propósito de evitar danos aos equipamentos da instalação e aumentar seu poder calorífico.

Inicialmente deve-se pesquisar para onde o biogás está se espalhando. Por ser tratar de um aterro controlado não existe geomembranas que direcionem o fluxo do gás para uma certa região, logo a captação do mesmo se torna muito difícil. Após o fechamento do aterro controlado a produção de biogás se mantém por no mínimo 15 anos. Então a partir do ano 2018 que foi fechamento haverá produção até pelo menos 2033. De acordo com o ministério do meio ambiente o custo médio do megawatt para a instalação de uma usina movida a biogás é de R\$ 370, considerando concomitantemente os projetos de certificação para comercialização de créditos de carbono (PNUD, 2010).

Enquanto o preço da energia solar depende em grande parte dos custos do investimento e das condições de financiamento. Mas, em geral, é possível dizer que os custos de operação da usina heliotérmica são baixos; e os custos do investimento inicial são amortizados ao longo dos anos de

funcionamento da usina. Além disso, o combustível da usina (a irradiação solar) é responsável pelo grau da produção: frequência e intensidade dos raios solares no local da usina exercem influência direta sobre o preço final da energia. É necessário também uma análise da radiação solar na área do aterro para achar o melhor local para instalação dessa usina.

A grande crítica a usinas solares é a intermitência na geração de energia. Com a proposta de um sistema híbrido isso se resolveria. Enquanto houvesse biogás para queimar, haveria energia para gerar enquanto não houver radiação solar.

5.2. Geração de energia através de combustível derivado de resíduo:

O segundo cenário vislumbra a técnica de remediação de mineração de aterro aprimorada. Basicamente consiste em escavar o resíduo aterrado e reinserir ele na cadeia produtiva. Para ser possível realizar essa técnica de remediação é necessário coletar o chorume produzido e coletar o biogás gerado. Com as condições ideais para a mineração atendidas o processo consiste em minerar o aterro e levar o resíduo para centros de triagem para separar o que pode ser reciclado, o que pode ser transformado em combustível, o que pode ser recuperado de solo e o que simplesmente é rejeito e deve ser encaminhado para uma disposição adequada.

Esse cenário é similar ao cenário número 1 a diferença que ao invés de queimar o biogás, estará queimando o combustível derivado do resíduo. Essa proposta também segue a ideia da autorremediação, onde a energia necessária para remediar a área seja gerada pelo próprio lixo. A reinserção do resíduo na cadeia produtiva de energia tem consequências benéficas pois reinsere ele ao ciclo produtivo e retoma a ideia de economia circular. A linha de produção não passa mais a seguir uma tendência linear, mas sim cíclica. Onde o resíduo que em tese teria chegado ao final da sua utilidade é agora usado para a produção de energia que com essa energia será produzido novos insumos.

O sistema também seria construído de maneira híbrida. Uma usina solar acoplada a usina termoelétrica. Uma usina térmica de geração de energia a partir da queima de resíduos sólidos pode alcançar uma eficiência de 22%, ou seja, 0,5 MWh/ton de RSU processada; pode-se chegar a uma eficiência de 30%, como no caso da usina de Amsterdam, porém os custos de operação são muito elevados (Itô, 2014).

5.3. Atenuação natural:

O último cenário é a ideia de apenas continuar aterrando a área e deixar o próprio meio ambiente remediar a área. Existem áreas que realmente a não intervenção humana na remediação é o melhor a se fazer para a região. Entretanto essa região sofreu por mais de 36 anos de disposição inadequada de resíduos. Tanto a pluma de contaminação por choroume como por biogás já se alastra pelo parque nacional de Brasília como pela cidade da Estrutural. O simples aterramento da área resolveria apenas o problema do mal cheiro. O Brasil necessita de uma mudança de postura em relação a disposição final dos seus resíduos. Financeiramente compensa aterrar o nosso lixo em vez de passar ele por um processo de triagem para tentar reciclar, reaproveitar ou gerar energia com ele. Na Europa é caríssimo enterrar resíduo pois não há mais tanta disponibilidade de terra assim. A capital do país tem tudo para ser precursora dessa nova maneira de lidar com o resíduo. A opção pelo terceiro cenário é mais simples e é importante ressaltar a necessidade da implementação de um plano de monitoramento para se acompanhar os níveis de proliferação do lixiviado e biogás produzidos para garantir a segurança da população e da fauna e flora da região. Entretanto foge completamente da motivação desse trabalho que é de promover uma economia circular, tentando valorizar economicamente de alguma forma o resíduo.

6. Conclusão

A região onde se encontra o aterro controlado do Jockey Club de Brasília sofre processos de movimentação de terra e disposição de resíduo desde de 1982. Os processos de como foram despejados os resíduos também alteraram ao longo do tempo. Houve disposição por trincheiras, em pilhas em diversos lugares diferentes naquela região. A localização do tipo de resíduo despejado também é de extrema importância e é uma incógnita para região. O aterro recebeu resíduos urbanos e resíduos de construção civil além de poda e animais mortos por 33 anos. Atualmente ele só recebe resíduo de construção civil. Que em tese é um resíduo inerte pelo menos. Uma análise gravimétrica em camadas da pilha de lixo é fundamental para qualquer decisão futura sobre o que fazer com aquela região.

De acordo com a diretora geral do SLU, Heliana Kátia, estima-se que ao longo desses anos de operação, aterraram-se 35 milhões de toneladas de resíduo. O cálculo realizado do volume do terreno estimou para a altitude de 1107,309 metros foi de aproximadamente 50 milhões de metros cúbicos. Nesse volume estão resíduos urbanos, de construção civil e de solo. Confirmando que em ordem de grandeza o volume calculado está correto. O próximo passo seria descobrir a porcentagem desse volume que condiz ao resíduo e ao solo. Também é necessário descobrir de fato as curvas de nível originais do terreno. As curvas de nível gerada para esse trabalho foram criadas a partir do modelo digital do terreno que foi criado a partir das fotos tiradas pelo RPA.

O processamento das imagens com o alinhamento das coordenadas de precisão do receptor GNSS garantem que o volume final calculado tenha sim um valor científico representativo. O modelo digital de terreno representa fielmente a atual situação que se encontra o aterro e o volume calculado acima da altitude 1107 metros é de fato dentro da casa de valores de 50 milhões de metros cúbicos. Os cenários propostos necessitam de um estudo muito mais aprofundado para poderem ser representativos. Esse trabalho foi motivado pelo interesse em indicar caminhos sustentáveis para o mundo atual. O conceito de economia circular direciona a produção para um caminho sustentável. Uma área que tenha 50 milhões de metros cúbicos de solo e resíduo se bem gerida pode vir a ser bem aproveitada. Recuperar uma área impactada e ainda conseguir gerar energia com isso seria o melhor dos dois mundos para essa região, mesmo sabendo que é uma proposta ambiciosa para o local. Essa é a ideia de autorremediação, conseguir remediar a área e ainda gerar energia com esse processo.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). *NBR 8419*. Rio de Janeiro.

ABENGOA. (Novembro de 2014). *Abengoa Solar* . Acesso em 18 de Maio de 2018, disponível em http://www.abengoasolar.com/web/en/nuestras_plantas/plantas_en_construccion/sud_africa/ Abengoa:

Acra, A., Jurdi, M., & Mu'Allem, H. (S.d.). *Water Disinfection by Solar Radiation: Assesment and Application*. Acesso em 26 de Maio de 2018, disponível em Almashriq: <http://almashriq.hiof.no/lebanon/600/610/614/solar-water/idrc/>

ANAC. (2018). *ANAC*. Fonte: Agência Nacional de aviação civil: <http://www2.anac.gov.br/empresas/aeroFotografia.asp>

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). *NBR 10.004*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 10.005*. Rio de Janeiro .

Associação Brasileira de Aeromodelismo. (2005). *Definição de Veículo Aéreo Não Tripulado* .

Baharoon, D., Hasimah Abdul, R., Wan Zaidi Wan, O., & Saeed Obaid, F. (2015). *Historical development of concentrating solar power technologies to generate clean electricity efficiently – A review*. Acesso em 03 de Junho de 2018, disponível em Ideas.repec.org: <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v41y2015icp996-1027.html>

Banco Mundial. (2015). *THE WOLRD BANK*. Acesso em 03 de Junho de 2018, disponível em [worldbank.org: http://www.worldbank.org/en/country/brazil](http://www.worldbank.org/en/country/brazil)

Brasil. (02 de Agosto de 2010). *LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010*. Acesso em 06 de Maio de 2018, disponível em Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm

- Carneiro, G. (2002). *Estudo de Contaminação do Lençol Freático sob a Área do Aterro de lixo do Jockey Club-DF e suas Adjacências*. Universidade de Brasília, Brasília,DF: Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM - 058/2002, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
- Castro, G. M. (2015). *Avaliação do valor da energia proveniente de usinas heliotérmicas com armazenamento no âmbito do Sistema Interligado Nacional*. Rio de Janeiro,RJ: Dissertação de Mestrado - UFRJ/COPPE/Programa de Planejamento Energético.
- Cavalcanti, M. (2013). *Aplicação de métodos geolétricos no deliamento da pluma de contaminação nos limites do Aterro Controlado do Jockey Clube de Brasília - DF*. Brasília,DF. 2013: Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Geofísica Aplicada, Universidade de Brasília - Unb.
- Coelho, S. T. (2006). *Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto*. Acesso em 14 de Maio de 2018, disponível em Scielo: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100070&lng=en&nrm=iso
- CONAMA. (28 de Dezembro de 2009). *Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional do Meio Ambiente*. Fonte: Cetesb: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acr.pdf>
- CSP Alliance Report. (Setembro de 2014). *The Economic and Reliability Benefits of CSP with Thermal Energy Storage: Literature Review and Research Needs*. Acesso em 29 de Maio de 2018, disponível em Bright Source Energy.: http://www.brightsourceenergy.com/stuff/contentmgr/files/0/c4b0f3bfc8c003c13f3dfedb0dd31071/attachment/the_economic_and_reliability_benefits_of_csp_with_thermal_storage_2014_10_15_final.pdf
- DeltaWay. (2017). *Waste-to-Energy: How it Works*. Acesso em 20 de Maio de 2018, disponível em DeltaWay: <http://www.deltawayenergy.com/wte-tools/wte-anatomy/>
- Energia Heliotérmica. (2015). *Sistema Híbrido*. Acesso em Junho de 2018, disponível em Energia Heliotérmica: <http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/glossario/sistema-hibrido>

- ESRI. (2018). *What is a TIN surface?* Fonte: ArcGIS Desktop: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm>
- EURELCO. (2015). *EUROPEAN ENHANCED LANDFILL MINING CONSORTIUM*. Acesso em 16 de Abril de 2018, disponível em Eurelco.Org: <https://www.eurelco.org/>
- Faria, M. R. (2010. 108 f). *Biogás produzido em aterros sanitários, aspectos ambientais e aproveitamento do potencial energético*. IEE da Universidade de São Paulo: Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia).
- Galvão, M. R. (6 de Janeiro de 2017). *Você sabe a diferença entre VANT, DRONE e RPA*. Fonte: Drone Solution Power: <https://www.drondrones.com.br/single-post/2017/01/06/Voc%C3%AA-sabe-a-diferen%C3%A7a-entre-VANT-DRONE-e-RPAS>
- Hauschild, L. (2006. 177 p). *Avaliação de estratégias de operação de sistemas híbridos fotovoltaico-eólico diesel*. Universidade de São Paulo, 2006.: Dissertação de Mestrado - Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia - EP/FEA/IEE/IF.
- IBGE. (2018). *Modelo Digital de Superfície* . Fonte: IBGE: <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10856-mde-modelo-digital-de-elevacao.html?=&t=o-que-e>
- IEA. (2014). *International Energy Agency*. Acesso em 28 de Maio de 2018, disponível em [iea.org](https://www.iea.org/): <https://www.iea.org/>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2018). *Teoria: Modelagem Digital de Terreno*. Acesso em 10 de Junho de 2018, disponível em DPI.INPE: <http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/mnt/mnt.htm>
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada . (2012). *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos* . Brasília : Ipea.

- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (2008). *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos*. Brasília,DF: IPEA.
- Itô, L. C. (2014). *GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA*. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos.
- Jones, P. T., Geysen, D., & Tielemans, Y. (13 de Maio de 2012). *Enhanced Landfill Mining in view of multiple resource recovery: a critical review*. Acesso em 08 de Abril de 2018, disponível em Elsevier: <http://www.elsevier.com/locate/jclepro>
- Koide, R., & Bernardes, R. (1998). *Contaminação do lençol freático sob a área do aterro do Jockey Club, Distrito Federal*. São Paulo,SP.
- Kothari, R., Tyagi, V., & Pathak, A. (25 de Maio de 2010). *Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable*. Acesso em 17 de Abril de 2018, disponível em Elsevier: <http://www.elsevier.com/locate/rser>
- Krook, J., Svensson, N., & Eklund, M. (13 de Novembro de 2011). *Waste Management*. Acesso em 10 de Abril de 2018, disponível em Landfill mining: A critical Review of Two decades of research: <http://www.elsevier.com/locate/wasman>
- Lopes, C. J. (2018). *Ortofoto*. Fonte: Revista Militar de Ciência e tecnologia : http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_1_tri_1987/ortofoto.pdf
- Luz, C. S. (14 de Dezembro de 2016). *Drones podem voar até 120 metros e longe dos aeroportos*. Fonte: Jornal Nacional : <https://www.jn.pt/nacional/interior/drones-podem-voar-ate-120-metros-e-longe-dos-aeroportos-5551548.html>
- Menezes, R. A. (5 de Abril de 2000). *Estágio Atual da Incineração no Brasil*. Acesso em 18 de Abril de 2018, disponível em Resol: <http://www.resol.com.br/textos/Estado%20Atual%20da%20Incineracao%20no%20Brasil.htm>
- Ministério do Meio Ambiente. (17 de junho de 2012). *Como e porquê separar o lixo?* Acesso em 15 de Abril de 2018, disponível em Ministério do Meio Ambiente: <http://www.mma.gov.br/informma/item/8521-como-e-porquê-separar-o-lixo>

- Ministério do Meio Ambiente. (S.d.). *Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário*.
Fonte: Ministério do Meio Ambiente : <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>
- Molin, J. P. (2011). *Agricultura de precisão - o gerenciamento da variabilidade*. Piracicaba: ESALQ.
- Moll, G., & Pádua, S. (22 de Janeiro de 2018). *AGÊNCIA BRASÍLIA*. Acesso em 23 de Abril de 2018, disponível em AGÊNCIA BRASÍLIA: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2018/01/20/lixao-da-estrutural-e-definitivamente-fechado/>
- Moreira, M. A. (2003). *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação*. Universidade Federal de Vicosa, 2003.
- Morgado, T. C., & Mendes Ferreira, O. (2006). *INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS, APROVEITAMENTO NA CO-GERAÇÃO DE ENERGIA. ESTUDO PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA*. Acesso em 17 de Março de 2018, disponível em Webresol: http://web-resol.org/textos/incineracao_de_residuos_solidos_urbanos,.pdf
- Nascimento, J. (2007). *Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos. Dissertação de mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos*. São Carlos, 2007: Universidade de São Paulo.
- Neto, M. S. (26 de Janeiro de 2016). *Como gerar MDT com Drones*. Acesso em 5 de Junho de 2018, disponível em Blog DroneEng: <http://blog.droneng.com.br/mdt-com-drones/>
- Nisiyama, F. (2016). *Aspectos geotécnicos e ambientais relacionados à implantação do Aterro Sanitário Oeste*. Universidade de Brasília, Brasília, DF 111 p.: Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
- Passel, S. V., Dubois, M., & Eyckmans, J. (20 de Abril de 2012). *The economics of enhanced landfill mining: private and societal performance drivers*. Acesso em 03 de Abril de 2018, disponível em Elsevier: <http://www.elsevier.com/locate/jclepro>

- PNUD. (Novembro de 2010). *Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável*. Fonte: Ministério do Meio Ambiente : http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf
- Política Nacional de Resíduos Sólidos . (2 de Agosto de 2010). http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Fonte: Planalto: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm
- Qasim, S. R., & Chiang, W. (1994). *Sanitary Landfill Leachate*. CRC Press.
- Quaghebeur, M., Laenen, B., & Geysen, D. (03 de Julho de 2012). *Elsevier*. Acesso em 05 de Abril de 2018, disponível em Characterization od landfilled materials: screening of the enhanced landfill mining potential: <http://eslevier.com/locate/jclepro>
- Resumo Escolar. (S.d.). *Usina Termoelétrica*. Acesso em 21 de Maio de 2018, disponível em Resumo Escolar: <https://www.resumoescolar.com.br/quimica/usina-termoeletrica/>
- Ribeiro, L. F. (2017). *Técnicas de remediação - Notas de Aula*. Brasília,DF.
- Royal Society of Chemistry. (s.d.). *Campaignin & outreach*. Acesso em 17 de Maio de 2018, disponível em Royal Society of Chemistry: <http://www.rsc.org/campaigning-outreach/global-challenges/energy/>
- Sousa, H. L. (2017). Sensoriamento Remoto com VANTs: uma. *Revista Brasileira de Geomática*, 326.
- Strange, K. (S.d.). *Landfill Mining: Preserving Resources through Integrated Sustainable Management of Waste*. Acesso em 03 de Abril de 2018, disponível em Environmental Alternatives: <http://www.enviroalternatives.com/landfill.html#Landfill>
- Tavares, S. R. (2013.147 p). *Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados: Conceitos básicos e fundamentos*. Rio de Janeiro, RJ.
- Toda Matéria. (07 de novembro de 2017). *Física Usina Termoelétrica*. Acesso em 5 de Maio de 2018, disponível em Toda Matéria: <https://www.todamateria.com.br/usina-termoeletrica/>

- Toda Matéria. (07 de Novembro de 2017). *Usina Termoelétrica*. Acesso em 19 de Maio de 2018, disponível em Toda Matéria: <https://www.todamateria.com.br/usina-termoeletrica/>
- USFM. (2016). *Resíduos Sólidos*. Acesso em 26 de Abril de 2018, disponível em Universidade Federal de Santa Maria: <http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/A10.pdf>
- Vogel, W., & Kalb, H. (2010). *Solar Technologies – An Overview*.
- Wikipédia. (2018). *Energia Solar*. Acesso em 4 de Junho de 2018, disponível em Wikipédia: https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_solar#cite_ref-0_1-0
- Wikipedia. (11 de Maio de 2018). *Refuse-derived fuel*. Acesso em 28 de Maio de 2018, disponível em Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Refuse-derived_fuel
- World Business Council for Sustainable Development. (2016). *Energy & Circular Economy*. Acesso em 25 de Abril de 2018, disponível em wbcscd: <https://www.wbcscd.org/Programs/Energy-Circular-Economy>
- Zaneti, I. C. (1997). *Além do lixo: reciclar: um processo de transformação*. 1997. 133 p. Brasília: Terra Una.