



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA

Rafael dos Santos Ferreira

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE LEVANTAMENTO
FOTOGRAMÉTRICO (VANT) E TOPOGRÁFICO (ESTAÇÃO TOTAL) PARA
CÁLCULO DE VOLUME EM UMA MINERAÇÃO**

RIO LARGO, AL.
2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA**

Rafael dos Santos Ferreira

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE LEVANTAMENTO
FOTOGRAMÉTRICO (VANT) E TOPOGRÁFICO (ESTAÇÃO TOTAL) PARA
CÁLCULO DE VOLUME EM UMA MINERAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Comissão Examinadora do Curso de Engenharia de
Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas,
sob orientação da Prof. Dr. Arthur Costa Falcão
Tavares

RIO LARGO, AL.
2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

F383e Ferreira, Rafael dos Santos

Estudo comparativo entre os métodos de levantamento fotogramétrico (VANT) e o topográfico (estação total) para cálculo de volume em uma mineração / Rafael dos Santos Ferreira – 2019.
77 f.; il.

Monografia de Graduação em Engenharia de Agrimensura (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2019.
Orientação: Dr. Arthur Costa Falcão Tavares

Inclui bibliografia

1. Topografia. 2. Fotogrametria. 3. VANT. I. Título

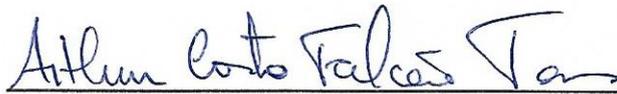
CDU: 528

FOLHA DE APROVAÇÃO

AUTOR: RAFAEL DOS SANTOS FERREIRA

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE LEVANTAMENTO
FOTOGRAFÉTICO (VANT) E TOPOGRÁFICO (ESTAÇÃO TOTAL) PARA
CÁLCULO DE VOLUME EM UMA MINERAÇÃO.

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Universidade Federal de
Alagoas como parte dos requisitos do
curso de graduação em Engenharia de
Agrimensura. Aprovado em 10 de abril de
2019.



Prof. Dr. Arthur Costa Falcão Tavares

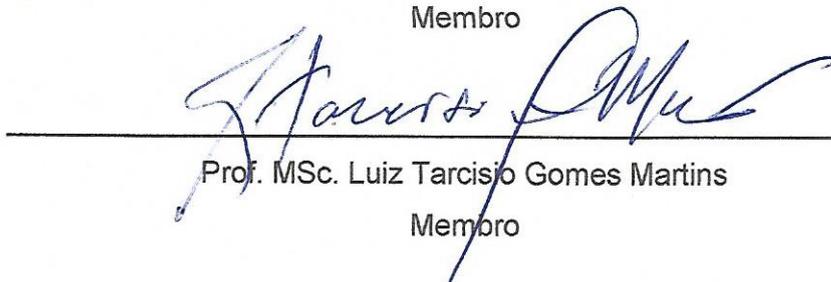
Orientador

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Henrique Ravi Rocha de C. Almeida

Membro



Prof. MSc. Luiz Tarcisio Gomes Martins

Membro

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido. Não na vitória propriamente dita.”

MAHATMA GANDHI

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, aos meus pais, as minhas irmãs, meu irmão, minhas sobrinhas e a minha esposa Charleny pelo carinho e apoio constante.

AGRADECIMENTOS

“Em tudo na vida daí graças a Deus” e é para ele o meu primeiro agradecimento, que guia a minha vida em tudo que eu faço, em tudo que eu sou. Meu princípio e fim.

Agradeço aos meus pais, irmãs, irmão, sobrinhas, esposa e amigos em especial a todos que fazem parte da JW Topografia e ao seu Wilson (in memoriam), aos meus amigos de curso Ana Clara, Breno, Marcela, Marcos Santiago, Guilherme e Felipe Bruno por todo apoio que, querendo ou não sempre estiveram dispostos a ouvir meus lamentos e reclamações, dividindo as conquistas e as angústias dessa etapa.

Agradeço em especial ao meu orientador Arthur Tavares, sempre que possível tentava ajudar, dando dicas simples, que foram muito valiosas para a confecção deste trabalho.

Aproveitando o ensejo, quero dizer que a tarefa de escrever um trabalho de conclusão de curso é mais complicada do que imaginava, e agradeço à faculdade por ter me proporcionado essa experiência, pois “o primeiro trabalho científico a gente nunca esquece”.

RESUMO

A mineração é uma atividade de grande importância para a economia do país, sendo responsável por quase 5% do PIB (Produto Interno Bruto) gerado. Dentre as diversas etapas envolvidas, há o cálculo de volumes, essencial para obter estimativas de reserva, controle sobre operações de mina e quantidade produzida. Baseado nessa necessidade, o presente trabalho tem por objetivo a geração de uma base de dados a fim de calcular volumes em pilhas de minérios em um tempo mais ágil. Para tanto, aplicou-se técnicas fotogramétricas através de imagens obtidas com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e Topográfica com a coleta de dados com a Estação Total. Diante destas novas tecnologias, o objetivo deste estudo é comparar os métodos de levantamento fotogramétrico (VANT) e Topográfico (ESTAÇÃO TOTAL) para cálculo de volume de pilhas em uma área de Mineração localizada no município de Atalaia, estado de Alagoas. Conseguiu-se produzir o ortofotomosaico e Modelo Digital do Terreno (MDT). Baseados nessas informações foram gerados ortofotocartas, uma de toda a área e outra com detalhe do monte de areia sobre o qual foi calculado o volume. Comparando os métodos com relação aos volumes, obteve-se uma diferença de 2,5% entre o calculado através da base de dados obtida com VANT e a Estação Total. Enfatizamos que o método mais ágil e rápido é o levantamento de campo feito com o VANT.

Palavras-chaves: VANT, Estação Total, Topografia, Fotogrametria, Volume de pilhas, Mineração.

ABSTRATCT

Mining is an activity of great importance to the country's economy, accounting for almost 5% of GDP (Gross Domestic Product) generated. Among the several steps involved, there is the calculation of volumes, essential to obtain reserve estimates, control over mine operations and quantity produced. Based on this need, the present work aims to generate a database to calculate volumes in ore stacks in a more agile time. For this, photogrammetric techniques were applied through images obtained with Unmanned Aerial Vehicle (VANT) and Topografica with data collection with Total Station. In view of these new technologies, the objective of this study is to compare the methods of photogrammetric survey (VANT) and Topographic (TOTAL STATION) to calculate the volume of batteries in a Mining area located in the municipality of Atalaia, state of Alagoas. It was possible to produce the trueortophotomosaico and Digital Terrain Model (DTM). Based on this information were generated orthophotographs, one of the whole area and another with detail of the sandbank on which the volume was calculated. Comparing the methods with respect to the volumes, a difference of 2.5% between the calculated through the database obtained with VANT and the Total Station was obtained. We emphasize that the most agile and fast method is the field survey done with the VANT.

Keywords: VANT, Total Station, Topography, Photogrammetry, Volume of batteries, Mining.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	CLASSIFICAÇÃO DOS VANTS.....	18
FIGURA 2 -	PRINCIPAIS PRODUTORES E USUÁRIOS DE VANT NO MUNDO.....	21
FIGURA 3 -	ALGUMAS DAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO VANT.....	22
FIGURA 4 -	GRADE RETANGULAR E GRADE TRIANGULAR IRREGULAR.....	30
FIGURA 5 -	LEVANTAMENTO DE UMA POLIGONAL FECHADA (A), ABERTA (B) E ENQUADRADA (C).....	34
FIGURA 6 -	LEVANTAMENTO POR IRRADIAÇÃO.....	35
FIGURA 7 -	ESTAÇÃO TOTAL.....	36
FIGURA 8 -	RELAÇÃO ENTRE ALTITUDE ELIPSOIDAL (H), ALTITUDE ORTOMÉTRICA (H) E ALTURA GEOIDAL (N).....	38
FIGURA 9 -	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	42
FIGURA 10 -	FLUXOGRAMA DE TRABALHO ADOTADO.....	43
FIGURA 11 -	VANT DJI PHANTOM 4 ADVANCED.....	44
FIGURA 12 -	GPS LEICA SR20.....	44
FIGURA 13 -	PONTOS DE APOIO – ALVOS.....	45
FIGURA 14 -	PLANEJAMENTO DO VOO REALIZADO.....	46
FIGURA 15 -	DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE.....	46
FIGURA 16 -	TRUE-ORTOFOTO.....	48
FIGURA 17 -	MONTES DE MATÉRIAS MINERAIS E SEUS LIMITES DERMARCADOS.....	49
FIGURA 18 -	REPRESENTAÇÃO, EM PLANTA, DE ALGUMAS PILHAS.....	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	NOMENCLATURAS UTILIZADAS PARA DEFINIR VEÍCULOS AÉREOS SEM PILOTO A BORDO.....	17
TABELA 2 -	CÁLCULO DE VOLUMES.....	53

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 -	PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DA ANAC PARA VANTS E GRAU DE EXIGÊNCIA NECESSÁRIO PARA OPERAR....	19
QUADRO 2 -	CLASSIFICAÇÕES GERAIS DOS VANTS.....	19

SÚMARIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 FOTOGRAMETRIA.....	15
2.1.1 Fotogrametria digital.....	15
2.1.2 Orientação da câmara.....	16
2.1.3 Veículo aéreo não tripulado.....	16
<i>2.1.3.1 Princípios de funcionamento.....</i>	<i>20</i>
<i>2.1.3.2 Aplicações.....</i>	<i>21</i>
<i>2.1.3.3 Legislação.....</i>	<i>23</i>
2.1.4 Fototriangulação.....	29
2.1.5 Modelo digital do terreno.....	30
2.1.6 Ortofoto e ortofotocarta.....	31
2.1.7 Calibração de câmaras.....	31
2.2 TOPOGRAFIA.....	31
2.2.1 Levantamento topográfico.....	32
2.2.2 Poligonação.....	33
2.2.3 Irradiação.....	35
2.2.4 Estação total.....	35
2.3 GEODÉSIA.....	36
2.3.1 Sistema geodésico brasileiro.....	36
2.3.2 Modelo de ondulação geoidal.....	37
2.3.3 GNSS.....	38
2.3.4 Posicionamento relativo.....	39
2.3.5 Posicionamento relativo estático.....	39
2.3.6 Posicionamento relativo cinemático em tempo real.....	40
2.3.7 Ajustamento das observações.....	40
3 METODOLOGIA.....	42
3.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	42
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	42

3.2.1 Levantamento fotogramétrico.....	43
3.2.2 Levantamento topográfico.....	50
4 RESULTADOS.....	53
4.1 CÁLCULO DE VOLUMES.....	53
4.2 PRODUTOS GERADOS COM O LEVANTAMENTO.....	53
5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
APÊNDICES.....	57

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Ribeiro Júnior (2011), a determinação de volumes na mineração se faz necessária desde a fase de pesquisa, no dimensionamento de corpos mineralizados, passando pelas operações de mina, como nos desmontes e disposições de materiais, até a fase final de produção com a medição dos produtos gerados. Sendo os equipamentos topográficos como estação total e, mais recentemente, a tecnologia GNSS as técnicas mais empregadas para esta finalidade. Entretanto, nos últimos anos, as novas tecnologias vêm ganhando espaço, uma vez que proporcionam resultados cada vez mais rápidos e precisos, como o VANT (veículo aéreo não tripulado), que são capazes de gerar Modelo Digital do Terreno (MDT) de alta precisão e acurácia, sem a necessidade direta do contato do operador com a superfície modelada.

A Estação Total Eletrônica é um distanciômetro acoplado a um teodolito eletrônico, equipado com cartões magnéticos ou outro sistema de armazenamento e transferência de dados e um microprocessador que automaticamente monitora o estado de operação do instrumento. Os cartões de armazenamento eliminam as tradicionais cadernetas de campo (ALMEIDA, 2010).

O VANT é um tipo de veículo aéreo que não necessita de um piloto embarcado para ser guiado. Conforme Jensen (2009) o VANT foi criado inicialmente para fins militares, sendo usado em situações de conflitos como a Primeira e a Segunda Guerra Mundial. Hoje são encontrados vários modelos no meio civil com diversas aplicações como por exemplo o uso de novas tecnologias, como o levantamento fotogramétrico (VANT), para cálculo de volume de pilhas de minério.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Comparar os métodos de levantamento fotogramétrico (VANT) e Topográfico (Estação Total) para cálculo de volume de pilhas em uma mineração.

1.1.2 Específicos

- OBTER imagens a partir de um VANT;
- VERIFICAR a precisão/acurácia planialtimétrica do levantamento fotogramétrico empregando VANT, através de pontos de controle pré-estabelecidos;
- VERIFICAR a precisão/acurácia planialtimétrica do levantamento topográfico empregando a ESTAÇÃO TOTAL, através de pontos de controle pré-estabelecidos;
- OBTER o volume das pilhas de minério;

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 FOTOGRAMETRIA

O termo Fotogrametria deriva das palavras gregas “*photos*”, que significa luz, “*gramma*”, que significa algo desenhado ou escrito e “*metron*”, que significa medir. Portanto, fotogrametria, de acordo com suas origens, significaria medir graficamente medindo a luz (ASP, 1979).

Existem diversas definições e de diferentes épocas a respeito de Fotogrametria, sendo algumas delas transcritas a seguir:

“Fotogrametria é a ciência e tecnologia de obter informações confiáveis através de processos de registro, interpretação e mensuração de imagens” (ANDRADE, 1998).

De acordo com Andrade (1998), com relação a sua aplicabilidade, a Fotogrametria tem destaque na elaboração de mapas em colaboração com outras ciências, como a Geodésia e Cartografia, sendo que as imagens são utilizadas para o posicionamento de pontos na superfície terrestre e para mapear temas do objeto fotografado, tais como: rede de drenagem, florestas, culturas, redes viárias, feições geológicas, tipos de solo, etc.

2.1.1 Fotogrametria Digital

Segundo Brito e Coelho (2007), a fotogrametria digital tem como objetivo principal a reconstrução automática do espaço tridimensional (espaço-objeto), a partir de imagens bidimensionais (espaço-imagem).

A fotogrametria digital tem como fonte primária de dados a utilização de imagens digitais, que estão no formato matricial, onde cada elemento da matriz é chamado de pixel. A imagem pode ser adquirida diretamente de uma câmara digital, ou mesmo através da digitalização matricial de uma imagem analógica, submetendo-a a um scanner. Nos anos 90, esse ramo da fotogrametria realmente pôde ser usado de maneira extensiva, graças ao desenvolvimento de computadores com capacidade suficiente para o processamento interativo de imagens digitais, gerando elevados volumes de dados (BRITO e COELHO, 2007).

2.1.2 Orientação da Câmara

A fim de possibilitar a obtenção de medidas precisas da área recoberta pelo levantamento fotogramétrico faz-se necessária a orientação das imagens para a obtenção dos parâmetros com o objetivo de determinar a geometria em que foram tomadas as fotografias. Para isso, realizam-se duas orientações de imagem: a Orientação Interior (OI) e a Orientação Exterior (OE) (BARBOSA e PEREIRA, 2017).

- a) Orientação interior - É a operação de recuperação da posição da fotografia em relação à câmara, sendo assim, permite a reconstrução do feixe perspectivo que gerou as perspectivas (fotografias) (ANDRADE, 1998);
- b) Orientação exterior - Através da orientação exterior (OE) determina-se a posição e altitude (ou orientação) do sensor em relação ao referencial do objeto no instante de tomada de cada fotografia. Para isso devem ser determinadas as coordenadas tridimensionais do centro perspectivo e os ângulos de rotação do sensor para cada fotografia, então, temos seis parâmetros para cada estação de tomada de imagem: três translações do CP (X_{cp} , Y_{cp} e Z_{cp}) e três rotações (ω , ϕ e κ) (ANDRADE, 1998).

2.1.3 Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT

O VANT é um tipo de veículo aéreo que não necessita de um piloto embarcado para ser guiado. Existem outras expressões utilizadas para designar este tipo de aeronave, como DRONE (zangão, em inglês), Remotely Operated Aircraft - ROA (Aeronave Operada Remotamente), Remote Piloted Vehicle - RPV (Veículo Pilotado Remotamente) e Unmanned Aerial Vehicle – UAV. Conforme Longhitano (2010) uma nomenclatura mais adequada deveria incluir o termo “sistema” para expressar um conceito que abrange os outros componentes, sejam de hardware ou software, além do veículo aéreo, como a estação de comando, o sensor, a telemetria e a navegação.

Conforme Jensen (2009) o VANT foi criado inicialmente para fins militares, sendo usado em situações de conflitos como a Primeira e a Segunda Guerra Mundial. Hoje são encontrados vários modelos no meio civil com diversas aplicações. O Departamento de Defesa dos Estados Unidos investiu desde 1980 no

desenvolvimento da tecnologia de veículos aéreos não tripulados para serem utilizados em missões específicas táticas ou que necessitem de longa autonomia de voo para reconhecimento ou vigilância. O raio de ação de um VANT tático com grande autonomia de voo e tamanho reduzido pode superar 200 km de distância da base principal, permanecendo em voo por várias horas, imperceptível no espaço aéreo.

De acordo com Munaretto (2014), a denominação dos VANT é extensa e polêmica, apresentando diferentes formas de denominação, quase sempre com o mesmo significado (Tabela 1).

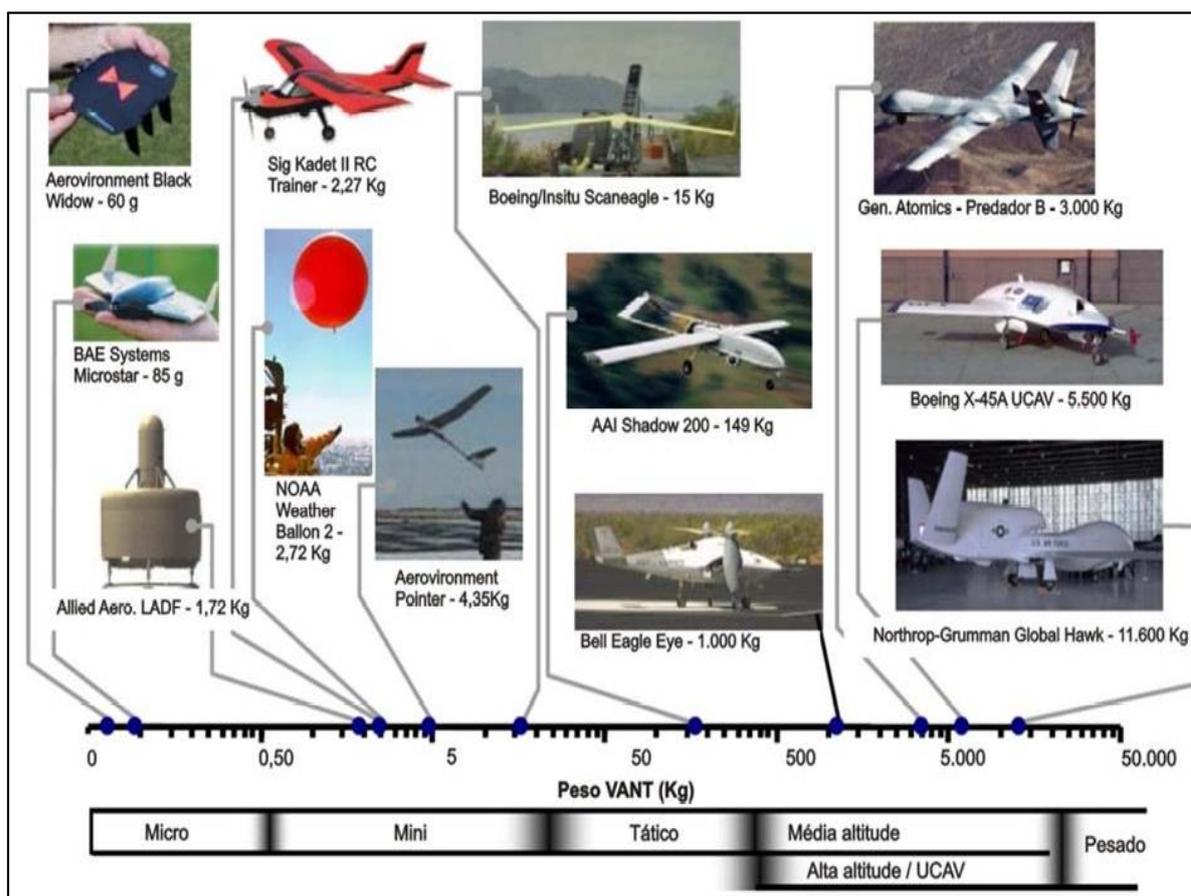
Tabela 1 - Nomenclaturas utilizadas para definir veículos aéreos sem piloto a bordo

SIGLA	SIGNIFICADO
ANT	Aeronave Não Tripulada
ARP ou RPA	Aeronave Remotamente Pilotada ou <i>Remotely Piloted Aircraft</i>
<i>Drone</i>	Zangão
OPA	<i>Optionally Piloted Aircraft</i>
RPV	<i>Remotely Piloted Vehicle</i>
UA	<i>Unmanned Aircraft</i>
UAS	<i>Unmanned Aircraft System / Unmanned Aerial System</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
UCAV	Uninhabited Combat Air Vehicles
UCAV	<i>Unmanned Combat Air Vehicle</i>
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

Fonte: Munaretto (2014)

Ainda segundo Weibel & Hansman (2005), o termo VANT pode ser aplicado aos mais diversos tipos de veículos, configurações e tamanhos, conforme figura 1, onde os principais VANTs existentes atualmente no mundo são retratados conforme uma escala logarítmica de massa.

Figura 1 – Classificação dos VANTs.



Fonte: Adaptada de Weibel & Hansman (2005)

No Brasil, a ANAC propõe uma classificação conforme critérios relacionados às características da operação, como: peso, altitude, operação em linha de visada visual ou além dela, operação noturna, operação em áreas confinadas, entre outras. Considerando estas características, a ANAC propõe para uma futura regulamentação da utilização destes equipamentos, um determinado grau de exigência necessária para operação (Quadro 1).

Quadro1 - Proposta de classificação da ANAC para VANTs e grau de exigência necessário para operar.

Aeronaves	Indoor		Área privada aberta		Área pública aberta		Áreas desabilitadas	
	Área Privada	Área Pública	< 400ft VLOS	> 400ft BVLOS	< 400ft VLOS	> 400ft BVLOS	< 400ft VLOS	> 400ft BVLOS
Aeromodelo	Básica	X	Básica	X	1	X	Básica	X
RPA 25 kg	Básica	1	Básica	1	1	X	Básica	1
RPA 25 – 150 kg	X	X	2	2	X	X	2	2
RPA > 150 kg	X	X	3	3	X	X	3	3
VANT autônomo	X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: Moreira (2014). Legenda: (Básica) praticamente nenhuma exigência para operar: (1) nível de exigência baixo; (2) nível de exigência intermediário; (3) nível de exigência alta; (X) operação proibida; (VLOS) *Visual Line of Sight* – operação até a linha de visada visual; (BLOS) *Beyond Line of Sight* – operação além do contato visual.

Nesta proposta de classificação, a ANAC não considera as definições de VANT e RPA como sinônimas. Sendo o termo VANT aplicado às aeronaves autônomas na qual não é possível a intervenção do operador no voo, ou em parte dele. Enquanto a RPA é definida como aeronaves remotamente pilotadas, podendo até operar de forma automática, mas nunca autônoma.

Segundo Munaretto (2014) não existe uma classificação padronizada dos VANTs que seja abrangente, única e aceita consensualmente, sendo encontradas na literatura várias classificações, sendo as mais usuais as que utilizam os critérios descritos no quadro 2.

Quadro 2 – Classificações gerais dos VANTs.

CLASSIFICAÇÃO GERAL	SUBCLASSIFICAÇÃO	DIVISÃO
Tipo de decolagem	Vertical	
	Horizontal	Lançamento (catapulta, <i>RATO – rochet assisted take-off</i>)
		Corrida
Tipo de pouso	Vertical	
	Horizontal	
	Rede	
	Paraquedas	
	Colchão de ar	
	Gancho	
	<i>Deep stall</i>	
Sistema de decolagem, pouso e navegação	Autônomo	
	Automático	
	Manual	

Peso	Asa fixa	≤ 25 kgf
		≤ 150 kgf
		≤ 600 kgf
	Asa rotativa	≤ 5670 kgf (14 CFR 23)
		> 5670 kgf (14 CFR 25)
		≤ 3175 kgf (14 CFR 27)
	> 3175 kgf (14 CFR 29)	
Tipo de aplicação	Civil	
	Militar	
	Segurança pública	
Espaço aéreo – regras de tráfego	Segregado	VFR/IFR
	Não segregado	VFR/IFR
Gelo	Sim	
	Não	
Espaço aéreo	Nacional	
	Internacional	
Tipo de carga	Pessoas	
	Carga geral (não perigosa)	
	Carga perigosa	
	Armamento	
Distância de operação	<i>VLOS – Visual Line of Sight</i>	
	<i>RLOS – Radio Line of Sight</i>	
	<i>BLOS – Beyond Line of Sight</i>	

Fonte: Munaretto (2014).

2.1.3.1 Princípios de Funcionamentos

Os VANTs operam inseridos em um conjunto de elementos configuráveis compostos, além da própria aeronave remotamente pilotada, por uma ou mais estações de controle, e quaisquer outros elementos necessários para permitir o voo, tais como comando e controle dos enlaces, sistemas de comunicação e elementos de decolagem e pouso, sendo este conjunto denominado *Remotely-piloted Aircraft System* (NATO, 2007).

Os VANTs passíveis de serem operados remotamente recebem os comandos do operador localizado na estação de controle, às vezes a milhares de quilômetros. Em VANTs de pequeno porte, uma única pessoa é suficiente para operar a estação de controle, mas para aeronaves de grande porte, de um modo geral, são necessários pelo menos dois operadores na estação de controle, um para pilotar a

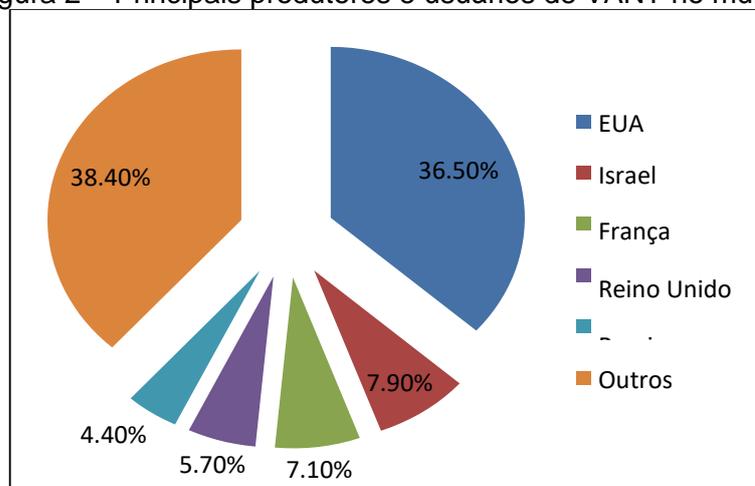
aeronave e outro para operar o payload (cargas e equipamentos embarcados na aeronave tais como câmeras, radares, explosivos, armamentos, etc.).

A comunicação entre a estação de controle e o VANT é realizada por meio do datalink, que permite controlar a aeronave remotamente. Existem atualmente três tipos de comunicação: *Visual Line of Sight* (VLOS), comunicação via linha de visada visual, onde o piloto localizado na estação de controle possui contato visual com a aeronave; *Radio Line of Sight* (RLOS), não possui contato visual do piloto com a aeronave, apenas contato via rádio; e *Beyond Line of Sight* (BLOS), sem contato visual e fora do alcance do rádio, a comunicação é feita via link de satélites ou estações relays (MUNARETTO, 2014).

2.1.3.2 Aplicações

Impulsionado principalmente pela demanda bélica, o mercado de VANTs vem crescendo ano após ano. De acordo com Holler (2014) existe a estimativa de grandes investimentos, saindo dos atuais US\$ 2,7 bilhões/ano para cerca de US\$ 8,3 bilhões/ano até 2015. Os Estados Unidos são os principais produtores e usuários da tecnologia, representando 36,5% das compras em nível mundial, devido ao interesse de suas Forças Armadas, seguidos por Israel (7,9%), França (7,1%), Reino Unido (5,7%) e Rússia (4,4%) (Figura 2).

Figura 2 – Principais produtores e usuários de VANT no mundo.



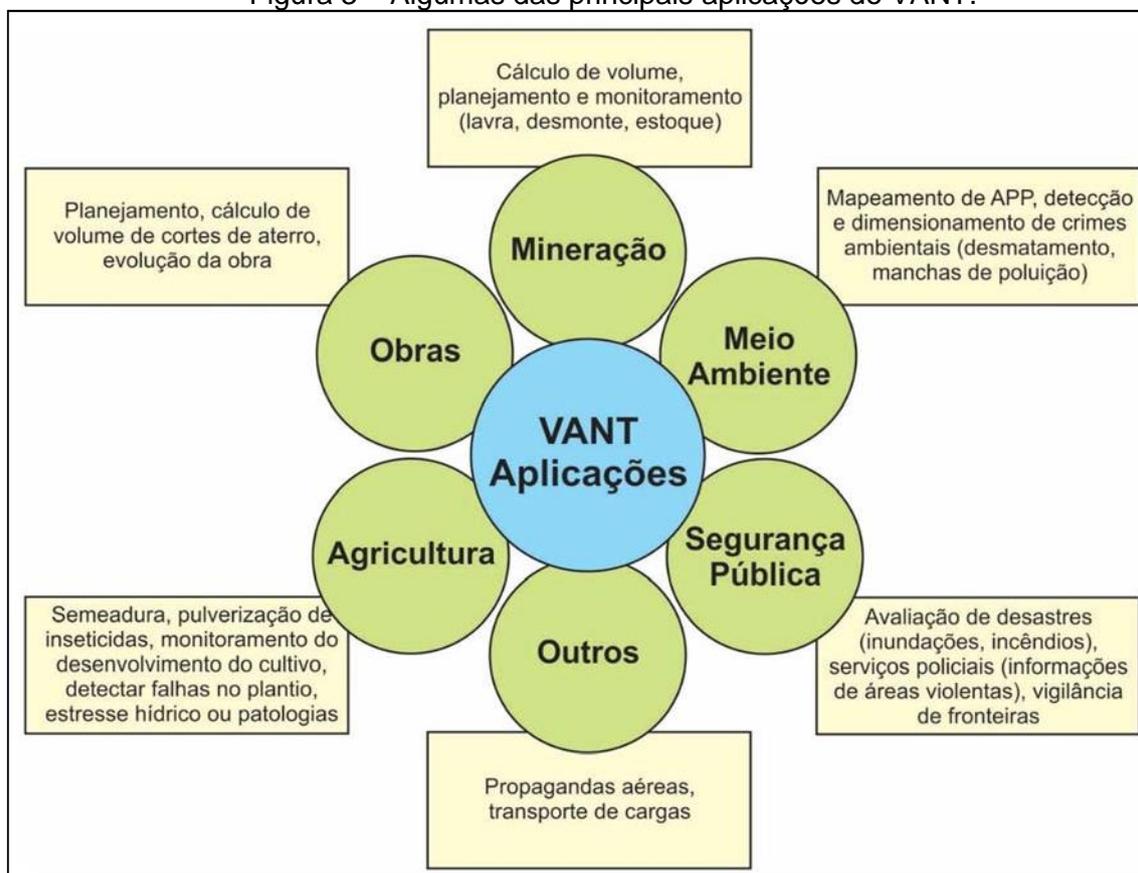
Fonte: Holler (2014).

Além do uso militar, a versatilidade do VANT vem ganhando destaque na geração de produtos de sensoriamento remoto de grande acurácia, com alta resolução espacial e temporal, aplicado principalmente para levantamentos locais de precisão. Fato que faz desta tecnologia uma ferramenta complementar as plataformas já consagradas no mercado, como imagens e Modelos Digitais de Elevação Orbitais, Laser Scanner Aerotransportado e aerofotogrametria convencional (Dalbello, 2013).

Os produtos gerados por VANT dependem do sensor embarcado, sendo os principais vídeos, Modelos Digitais de Superfície (MDS), Modelos Digitais do Terreno (MDT) e ortomosaicos de alta acurácia.

Esta tecnologia vem sendo largamente aplicada em funções que antes dependiam de aviões e helicópteros tripulados, proporcionando maior eficiência e reduzindo os custos operacionais, além de garantir em muitos casos maior segurança nas operações. Na figura 3 são descritas algumas das principais aplicações desta ferramenta.

Figura 3 – Algumas das principais aplicações do VANT.



2.1.3.3 Legislação

Um dos maiores entraves para a evolução da tecnologia VANT para uso civil é a falta de regulamentação. No mundo, poucos países como Austrália, Canadá, Inglaterra e França, possuem regras para uso desta ferramenta (Silva, 2015).

Segundo Silva (2015) o Brasil ainda estuda a regulamentação do uso civil destas aeronaves, sendo de responsabilidade da ANAC, a função de regular e fiscalizar esta atividade. Atualmente as decisões, instruções suplementares, regulamentos, circulares, portarias e projetos de lei que tratam sobre o assunto no Brasil são:

- a) Decisão 127 ANAC (DPF) 29 de novembro de 2011 – autoriza a operação aérea da RPA do Departamento de Polícia Federal (DPF). As operações aéreas das aeronaves do DPF, ressalvadas as regras gerais de operações de aeronaves previstas no Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica nº 91 (RBHA 91), ou Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) que venha a substituí-lo, sujeitam-se, no que couber, às determinações específicas editadas pelo Comando da Aeronáutica.
- b) Regulamentação Brasileira da Aviação Civil Especial (RBAC-E nº 94/2017 – ANAC - Este regulamento aborda os requisitos gerais de competência da ANAC para aeronaves não tripuladas. Por natureza, um RBAC-E possui a finalidade de regular matéria exclusivamente técnica que possa afetar a segurança da aviação civil, com vigência limitada no tempo e restrita a um número razoável de requisitos e pessoas, até que os requisitos contidos nos mesmos sejam incorporados em RBAC apropriado ou definitivamente revogados. Este Regulamento Especial estabelece as condições para a operação de aeronaves não tripuladas no Brasil considerando o atual estágio do desenvolvimento desta tecnologia.
- c) ICA 100 - 40/2016 (DECEA) – A regulamentação para o uso não recreativo de drones no Brasil, além da regulamentação da ANAC (RBAC-E nº 94/2017) e da Anatel, deve seguir a regulamentação prevista no ICA 100-

40/2018 republicado em janeiro de 2019. A citada instrução tem por finalidade regular os procedimentos e responsabilidades necessários para a operação de drones em atividades de não recreação, excluídas as respectivas instruções referentes a órgãos públicos em geral. Como atividade de não recreação devem ser entendidas todas as atividades profissionais ou amadoras de uso com fins lucrativos, via de regra, como seria o caso de cinegrafistas, fotógrafos e profissionais da área imobiliária, citando apenas alguns simples exemplo, dentre centenas de atividades que podem ser realizadas por drones. Este texto foi atualizado pela última vez no dia 10 de março de 2019 e, considerando que o sistema normativo ainda é bastante novo e com possibilidades de alteração sem aviso prévio, seguir a ICA 100-40/16 pois ainda encontra-se efetivamente vigente.

- d) Circular de informações Aeronáutica AIC – N 17/2017 (DECEA) - A regulamentação para o uso recreativo de drones no Brasil, além da regulamentação da ANAC (RBAC-E nº 94/2017) e da Anatel, deve seguir a regulamentação prevista no AIC-N nº 17/2017. Esta Circular de Informações Aeronáuticas (AIC) tem por finalidade regulamentar os procedimentos e responsabilidades necessários para o acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por aeronaves remotamente pilotadas com uso exclusivamente voltado à recreação, os chamados Aeromodelos. Considerando que o sistema normativo ainda é bastante novo e com possibilidades de alteração sem aviso prévio, sugiro fortemente que faça o download do AIC 17/2017 e depois verifique na página do DECEA se o texto encontra-se efetivamente vigente.
- e) Circular de informações Aeronáutica AIC – N 23/2017 (DECEA) – A regulamentação para órgãos públicos de todas as esferas utilizarem drones em suas atividades no Brasil, além da regulamentação da ANAC (RBAC-E nº 94/2017) e da Anatel, deve seguir a regulamentação prevista no AIC-N nº 23/2017. Esta Circular de Informações Aeronáuticas (AIC) tem por finalidade regulamentar os procedimentos e responsabilidades necessários para o acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por aeronaves remotamente pilotadas (RPA) com uso exclusivamente voltado às operações dos Órgãos ligados aos Governos Federal, Estadual ou Municipal.

- f) Circular de informações Aeronáutica AIC – N 24/2017 (DECEA) - A regulamentação para o uso de drones no Brasil por instituições de segurança pública como as Polícias Civas, Militares, Federal e Guardas Municipais, por exemplo, além da regulamentação da ANAC (RBAC-E nº 94/2017) e da Anatel, deve seguir a regulamentação prevista no AIC-N nº 24/2017. Esta Circular de Informações Aeronáuticas (AIC) tem por finalidade regulamentar os procedimentos e responsabilidades necessários para o acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por aeronaves remotamente pilotadas com uso exclusivamente voltado às operações dos Órgãos de Segurança Pública (OSP), da Defesa Civil (DC) e de Fiscalização da Receita Federal do Brasil (RFB). Uma restrição na regulamentação para uso das forças de segurança pública, órgãos de defesa civil e a fiscalização da Receita Federal é a não previsão da possibilidade de contratar empresas especializadas em imagens aéreas para a realização de atividades dos órgãos citados, o que está previsto no AIC 23/2017 para outras entidades pública.
- g) Instrução Suplementar (IS) 21-002 ANAC – esta Instrução Suplementar (IS) da ANAC visa orientar a emissão do Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE) para VANT, com base no Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) nº 21, e determina que este certificado possua propósitos de pesquisa e desenvolvimento, assim como treinamento de tripulações e/ou pesquisa de mercado, não sendo autorizada a operação com fins lucrativos. A IS 21-002 determina ainda que apenas aeronaves que permitam seu controle remotamente podem receber o CAVE, não sendo permitido o uso de aeronaves totalmente autônomas. Neste caso, o piloto deve monitorar a aeronave durante todo o voo, a partir da estação de controle, possuindo responsabilidade direta pela operação segura da aeronave. O CAVE deve ser solicitado à ANAC, por meio de carta com base no requisito RBAC 21.193(d), e terá validade de 1 ano ou menos, de acordo com o critério que a ANAC julgue mais adequado para a manutenção da segurança operacional, sendo o registro da aeronave no Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB) um pré-requisito necessário para a emissão de um CAVE. Mesmo possuindo CAVE a operação de RPAs estará condicionada à

autorização do DECEA e da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), em alguns casos, do Ministério da Defesa ou do Comando da Aeronáutica. Essa IS é aplicável às RPAs que operem a mais de 400 ft (aproximadamente 122 m) Above Ground Level (AGL) ou além da visada visual, ainda que abaixo desta altura, com peso máximo de decolagem superior a 25 kg, ainda que operando em linha de visada visual e abaixo de 400 ft AGL. Já as RPAs com peso máximo de decolagem de até 25 kg, operando até 400 ft AGL, em linha de visada visual, a utilização do espaço aéreo deverá seguir as instruções do DECEA antes de qualquer operação em voo. A autorização de voo deve ser feita por meio da solicitação de um NOTAM acrônimo de "Notice to Airmen", que significa "Aviso aos Aeronavegantes", ao DECEA. O objetivo deste documento é estabelecer um espaço aéreo segregado para operação do VANT, ficando proibida a operação em espaço aéreo compartilhado com aeronaves tripuladas, garantindo a segurança da navegação aérea.

Conforme definido pela ANATEL, as RPAs somente poderão utilizar radiofrequências destinadas em caráter primário ao Serviço Móvel Aeronáutico (SMA), ao Serviço Móvel Aeronáutico em Rota SMA(R), ao Serviço Móvel Aeronáutico por Satélite (SMAS) e ao Serviço Móvel Aeronáutico por Satélite em Rota SMAS(R), ou qualquer outra radiofrequência destinada em caráter primário à realização de testes para os quais o requerente possua uma autorização do serviço especial para fins científicos e experimentais. Não sendo admitida a operação do(s) enlace(s) de comando e controle do RPA em radiofrequências destinadas em caráter secundário, especialmente as utilizadas por equipamentos de radiação restrita.

- h) Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) nº 21 (ANAC) – estabelece os critérios para certificação de produto aeronáutico e em suas seções 21.191 e 21.193 institui os critérios para obtenção do CAVE. Este regulamento determina que os certificados de autorização de voo experimental são emitidos para os seguintes propósitos: pesquisa e desenvolvimento, demonstração de cumprimento com requisitos, treinamento de tripulações,

exibição, competição aérea, operação de aeronave de construção amadora, operação de aeronave categoria primária montada a partir de conjuntos.

- i) Circular de Informações Aeronáuticas (AIC) nº 21/10 (DECEA) – tem por finalidade apresentar as informações necessárias para o uso de VANT no espaço Aéreo Brasileiro, reconhecendo este equipamento como uma categoria de aeronave, que como tal deve possuir piloto, que pode operar a aeronave a partir de uma Estação Remota de Pilotagem (ERP), no caso de ARP, ou indiretamente por meio de programação (aeronave autônoma). Sendo esta última proibida de operar no espaço aéreo brasileiro, tendo em vista as restrições tecnológicas ainda existentes.

Esta circular divide as operações de uma ARP, quanto ao seu perfil, em duas categorias: a) operação VFR - operação na linha de visada; e b) operação IFR - operação além da linha de visada.

De acordo com AIC N21/10, considerando a limitação da ARP de cumprir o requisito previsto na legislação aeronáutica no tocante a capacidade de detectar e evitar, os voos com estas aeronaves serão sempre realizados em espaços aéreos condicionados, e suas solicitações para voos serão analisadas caso a caso, considerando que a operação não deve levar riscos a pessoas ou propriedades, garantindo pelo menos o mesmo padrão de segurança das aeronaves tripuladas, sendo proibidos voos sobre cidades, povoados, lugares habitados ou sobre grupo de pessoas ao ar livre.

As operações com ARP somente poderão ocorrer em espaço aéreo segregado, definido por NOTAM, encaminhadas aos órgãos regionais do DECEA (CINDACTA I, CINDACTA II, CINDACTA III, CINDACTA IV e SRPV-SP), responsáveis pelo espaço aéreo onde irão ocorrer os voos, com uma antecedência mínima de 15 (quinze) dias, ficando proibida a operação em espaço aéreo compartilhado com aeronaves tripuladas.

Autorizações relativas à aeronavegabilidade/licença de pessoal, e uso de frequências para controle da ARP, deverão atender às legislações dos órgãos competentes, respectivamente ANAC e ANATEL.

- j) Portaria Conjunta SSO/SAR Nº 1.555 de 14 de junho de 2013, com alterações da Portaria 3282 de 12 de dezembro de 2013 – elaborada de forma conjunta

pela Superintendência de Aeronavegabilidade e Superintendência de Segurança Operacional da ANAC, cria um grupo de trabalho com o objetivo de elaborar proposta de ato normativo que regule a operação não experimental de RPA em áreas segregadas.

k) Diretrizes do Comando da Aeronáutica (DCA) 63-4 de 2013 – define as diretrizes para implementação dos comitês regionais responsáveis pelos assuntos relacionados aos sistemas RPA em todos os órgãos regionais do DECEA. Considerando que as operações com RPA só serão permitidas após a solicitação de um NOTAM encaminhado ao órgão regional do DECEA, responsável pelo espaço aéreo onde irá ocorrer o voo, esta determinação baliza a necessidade da composição de uma estrutura de recursos humanos especializados para analisar, avaliar e emitir pareceres sobre os processos referentes aos voos de RPA no espaço aéreo brasileiro.

l) Projeto de Lei nº16/2015 – de autoria do deputado Otavio Leite (PSDB-RJ), propõe regras sobre o licenciamento e operação de VANTs no Brasil, visando estabelecer regras mínimas básicas que constituirão marco legal da atividade no país, inclusive para utilização em lazer e entretenimento. O projeto de lei propõe que o licenciamento será realizado junto ao DECEA, que deverá avaliar os seguintes critérios: a finalidade de uso incorporada à Estratégia Nacional de Defesa, em especial na vigilância e monitoramento das fronteiras; o respeito à inviolabilidade do direito à privacidade dos cidadãos e de propriedade, inclusive quanto à captura de imagens; a pesquisa e o desenvolvimento científico, desde que chancelados por órgão acadêmico nacional ou apoiados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação (MCTI); a finalidade de uso para operações de segurança pública, desde que não se coloque em risco a população; e aferição prévia da aptidão do profissional habilitado para pilotar o VANT.

Segundo a proposta, o uso de VANT é privativo das Forças Armadas, dos órgãos de segurança pública e de inteligência, e de outros órgãos ou entidades públicas de pesquisa. Excepcionalidades serão admitidas, desde que atendidas as regras previstas na Lei.

A comercialização de VANTs, para fins de entretenimento e lazer, deverá obedecer às regras fixadas pelo DECEA e ANAC, em consonância com os preceitos desta Lei, onde o interessado em adquirir este equipamento deverá ser cadastrado, assinar um termo de responsabilidade e comprovar aptidão para manuseio de tais equipamentos.

O projeto de lei prevê também que o Comando da Aeronáutica, por meio do DECEA, poderá delegar à ANAC faculdades e prerrogativas subsidiárias e complementares para fiel execução dos procedimentos instituídos nesta Lei.

Este Projeto de Lei ainda será analisado por uma comissão especial na Câmara dos Deputados, para só então ser submetido ao Plenário.

2.1.4 Fototriangulação

Segundo Lugnani (1987), fototriangulação é o método fotogramétrico para determinação eficiente de coordenadas precisas de pontos no espaço objeto através da relação geométrica de fotografias adjacentes devidamente tomadas, necessitando de um esparso controle de campo e com um conjunto de valores aproximados de parâmetros.

Na fototriangulação são utilizados os pontos de apoio, geralmente referenciados a um sistema de coordenadas usual propiciando a compatibilidade com outras fontes de dados, e os pontos de ligação. A localização dos pontos de ligação deve ser na região de sobreposição entre as imagens. Quando se trata de um bloco de fotografias, os pontos de apoio devem estar dispostos nas extremidades do bloco e nas junções das faixas. A quantidade de pontos de apoio pode variar a cada três a cinco bases, entendendo-se base como a distância média entre os centros perspectivos de duas imagens consecutivas em uma mesma faixa de aquisição (ANDRADE, 1998).

A fototriangulação pelo método dos feixes perspectivos permite a reconstrução ótima da geometria dos feixes de raios luminosos formadores do espaço-imagem no momento da aquisição das imagens fotográficas. O processo se vale do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) para minimizar a função que quantifica os resíduos do ajustamento, de forma que cada raio ajustado, originando-se em uma posição qualquer do espaço-objeto, passe o mais próximo possível de

seu homólogo no espaço-imagem e do centro de perspectiva da imagem (BRITO e COELHO, 2007).

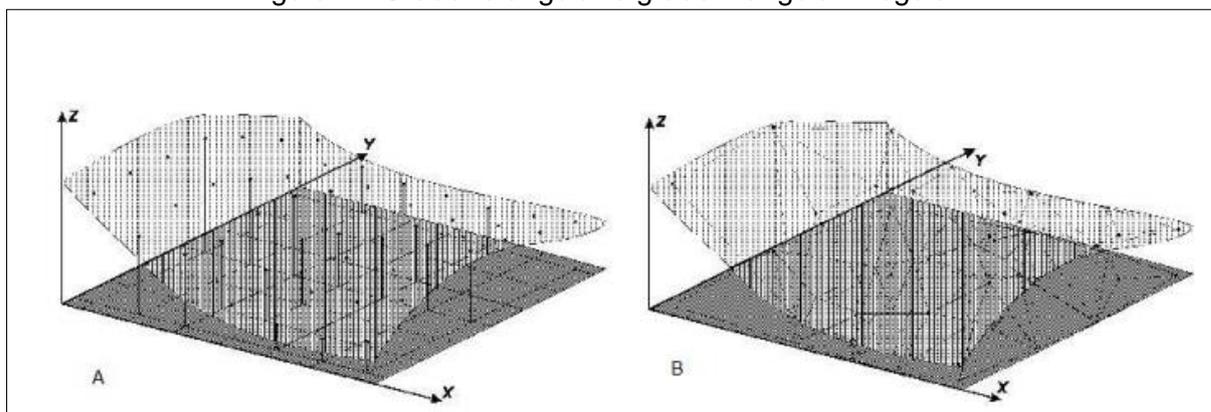
2.1.5 Modelo Digital do Terreno

O MDT é uma representação matemática que de distribuição de forma contínua da superfície do terreno. Os produtos gerados na elaboração do MDT podem ser aplicados para: criação de mapas topográficos de altimetria, análise de geomorfologia, mapas de erosão, mapas de bacias hidrográficas, classificação de tipos de vegetação e apresentação tridimensional do terreno.

Com o MDT é possível a criação de perfil transversais, elaboração e criação de projeto, cálculo de volume, delimitação de bacias e redes hidrográficas.

Para a criação do modelo, existem duas principais metodologias: malha retangular e rede triangular irregular (Figura 4).

Figura 4 - Grade retangular e grade triangular irregular



Fonte: DPI – INPE/SPRING

A malha retangular a grade é gerada através da estimativa de valores de cada ponto amostrado, porém a uniformidade dos pixels não permite representação detalhada das características fisiografias do terreno (ALMEIDA, 2014).

A rede triangular irregular – TIN - os vértices do triângulo são pontos que foram amostrados no terreno, sendo que os valores destes pontos são mantidos. Tem a vantagem de os próprios pontos representar a superfície (ALMEIDA, 2014).

2.1.6 Ortofoto e Ortofotocarta

Ortofoto é uma fotografia ou imagem, representando as feições de forma ortogonal, sempre na mesma escala, onde são corrigidos o deslocamento devido ao relevo, e possíveis rotações na câmara, gerando um produto equivalente a um mapa, resultando em “fotos com perspectiva ortogonal”. As imagens adquiridas por câmaras convencionais encontram-se em perspectiva central, com os inúmeros raios de luz advindos de diferentes pontos imageados, passando por um só ponto (centro perspectivo), localizado no sistema óptico da câmara. O conjunto desses raios é chamado de feixe perspectivo (NÓBREGA e MOURA, 2013).

Ortofotocarta é um conjunto de duas ou mais ortofotos digitais (mosaico) da mesma região aliado a uma base cartográfica e alguns elementos essenciais, tais como escala, grade de coordenadas e etc.

2.1.7 Calibração de câmaras

Segundo Andrade (1998), é de suma importância, para garantir exatidão e confiabilidade nos trabalhos fotogramétricos, o conhecimento do grupo de parâmetros necessários à reconstrução do feixe perspectivo gerador da imagem fotográfica, no instante da exposição do filme à luz refletida no objeto fotografado. A determinação de tais parâmetros se faz por um processo de calibração.

Ao utilizar imagens convergentes, a fim de separar os coeficientes de distorção radial simétrica daqueles de distorção descentrada, torna-se necessário ao menos uma foto girada em torno do eixo z da câmara em 90° . Logo, as condições mínimas para calibrar uma câmara por este método exigem três fotos: duas convergentes entre si de 90° e uma com giro no eixo z de 90° com relação as outras. O método exige a fixação arbitrária de um referencial (ANDRADE, 1998).

2.2 TOPOGRAFIA

Topografia é o conjunto dos princípios, técnicas e convenções utilizadas para a determinação do contorno, das dimensões e da posição relativa de pontos sobre a

superfície da terra ou no seu interior (minas, túneis, galerias, etc.) (BLITZKOW et al, 2004). Espartel (1987) acrescenta que a topografia não leva em consideração em seus cálculos a curvatura resultante da esfericidade terrestre, e apresenta como o objetivo principal, representar uma pequena parte da superfície terrestre.

O princípio da Topografia é baseado na geometria e na trigonometria. Deste modo são necessárias observações lineares e angulares realizadas sobre a superfície da Terra. Com base nestas medidas, calculam-se coordenadas, perfil, áreas, volumes, perímetro etc. Além disto, estas grandezas poderão ser representadas de forma gráfica através de mapas ou plantas.

O objetivo principal é efetuar o levantamento (executar edições de ângulos, distâncias e desníveis) que permita representar uma porção da superfície terrestre em uma escala adequada. As operações efetuadas em campo, com o objetivo de coletar dados para a posterior representação, denominam-se levantamento topográfico (ESPARTEL, 1987).

2.2.1 Levantamento Topográfico

A Norma Brasileira de Execução de Levantamento Topográfico (NBR 13133) apresenta a definição de levantamento topográfico como sendo um conjunto de métodos e processos que, através de observações de ângulos (horizontais e verticais) e de distâncias (horizontais, verticais e inclinadas) e com instrumental compatível à precisão pretendida, primordialmente, implanta-se e materializa-se pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas, visando a sua exata representação planimétrica numa escala pré-determinada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também pré-determinada e/ou pontos cotados (ABNT, 1994).

As operações topográficas podem ser divididas em Levantamento Topográfico Planimétrico, Altimétrico e Planialtimétrico.

- a) Levantamento Topográfico Planimétrico: é o procedimento ou método em que não se leva em consideração o relevo do terreno (considera um plano). Baseia-se na medição de ângulos e distâncias horizontais para obtenção da representação das dimensões horizontais da área em questão, ou seja,

quando representado em um plano cartesiano, as coordenadas requeridas são “X” e “Y”, as quais são relacionadas a uma origem pré-determinada no plano a ser definido (VEIGA *et al.*, 2012).

- b) Levantamento Topográfico Altimétrico: é o modelo de levantamento responsável por determinar o relevo do terreno. No plano cartesiano é representado pela coordenada “Z” (VEIGA *et al.*, 2012). A ABNT (1994) apresenta-o como sendo o levantamento que objetiva, exclusivamente, a determinação das alturas relativas a uma superfície de referência dos pontos de apoio e/ou dos pontos de detalhes, pressupondo-se o conhecimento de suas posições planimétricas, visando à representação altimétrica da superfície levantada.
- c) Levantamento Topográfico Planialtimétrico: É o método em que, em uma única representação, obtêm-se as coordenadas horizontais (X,Y) e verticais (Z) do terreno, ou seja, quando apresentada conjuntamente o levantamento planimétrico e altimétrico, tem-se uma representação tridimensional da área levantada (VEIGA *et al.*, 2012).

Em suma, o levantamento topográfico pode ser dividido em duas partes: o levantamento planimétrico, onde se procura determinar a posição planimétrica dos pontos (coordenadas X e Y) e o levantamento altimétrico, onde o objetivo é determinar a cota ou altitude de um ponto (coordenada Z). A realização simultânea dos dois levantamentos dá origem ao chamado levantamento planialtimétrico.

2.2.2 Poligonação

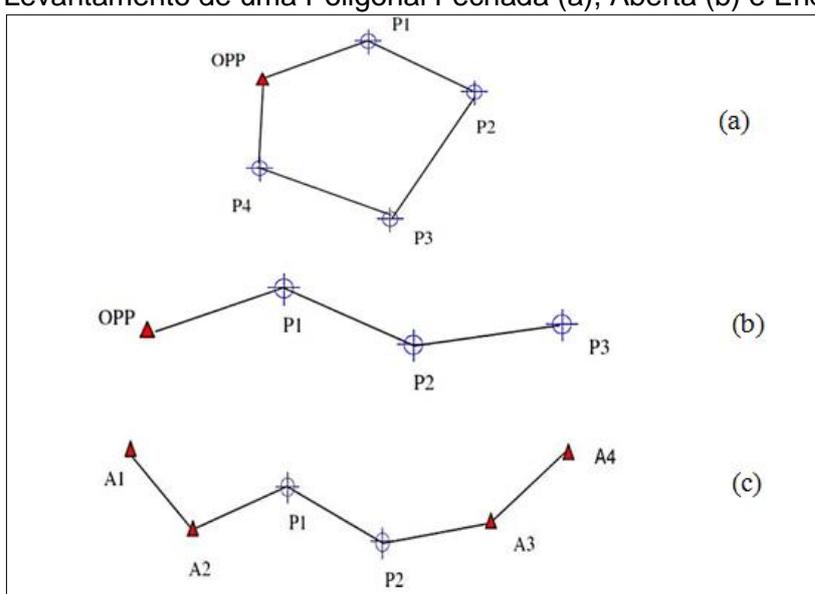
A poligonação é um dos métodos mais empregados para a determinação de coordenadas de pontos em Topografia, principalmente para a definição de pontos de apoio planimétricos. É realizada através do método do caminharmento, percorrendo-se o contorno de um itinerário definido por uma série de pontos, medindo-se todos os ângulos, lados e uma orientação inicial com uso de teodolitos ou estações totais (VEIGA *et al.*, 2012).

Embora este método seja aplicado há muito tempo no Brasil, a poligonação tomou impulso definitivo a partir do advento dos instrumentos de medição eletrônico de distâncias e estações totais (SILVA e SEGANTINE, 2015). As medições concomitantes de ângulos e distâncias facilitam enormemente o uso dos métodos.

Vale destacar, que a Topografia utiliza o solo como seu meio de aquisição de dados, portanto, para realizar a topografia convencional, pelo método de poligonação, será necessário que uma equipe vá até o campo coletar os dados (pontos). O procedimento em campo consiste em partir de pontos da rede brasileira, pertencentes ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) ou determinados por posicionamento GNSS (Global Navigation Satellite System) e lançar os novos pontos realizando o caminhamento sobre o terreno, transportando as coordenadas (SILVA e SEGANTINE, 2015).

As poligonais podem ser classificadas em fechada, aberta e enquadrada. Segundo Silva e Segantine (2015), uma poligonal é considerada fechada quando ela inicia em um ponto de coordenadas conhecidas e termina sobre o mesmo ponto. Uma poligonal é considerada geometricamente aberta quando ela parte de um ponto com coordenada conhecida e chega a outro destino, e a poligonal que partir de dois pontos de coordenadas conhecidas e terminar em outros dois pontos, diz-se que é poligonal apoiada ou enquadrada, figura 5.

Figura 5 - Levantamento de uma Poligonal Fechada (a), Aberta (b) e Enquadrada (c)



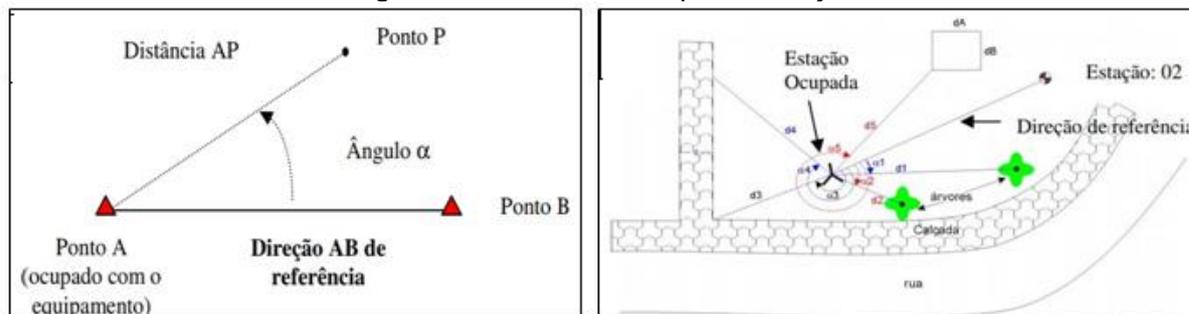
Fonte: Adaptado de Veiga et al, 2012

Deste modo, empregando-se uma poligonal, é possível definir uma série de pontos de apoio ao levantamento topográfico, a partir dos quais serão determinadas coordenadas de outros pontos de detalhes do terreno, utilizando, por exemplo, o método de irradiação.

2.2.3 Irradiação

Consiste em, a partir de uma linha de referência conhecida, medir um ângulo e uma distância. Neste método, muito empregado no levantamento de detalhes, o equipamento fica estacionado sobre um ponto e faz-se a “varredura” dos elementos de interesse próximos ao ponto ocupado, medindo direções e distâncias para cada elemento a ser representado (Figura 6).

Figura 6 - Levantamento por irradiação



Fonte: UFPR (2012).

Após a determinação dos pontos de detalhes, é possível representar as feições de interesse a partir dos dados medidos e calculados, para a elaboração de um mapa ou carta dependendo da escala almejada.

2.2.4 Estação Total

Almeida (2010) descreve que a estação total eletrônica (Figura 7) é um distanciômetro acoplado a um teodolito eletrônico, equipado com cartões magnéticos ou outro sistema de armazenamento e transferência de dados e um microprocessador que automaticamente monitora o estado de operação do

instrumento. Os cartões de armazenamento eliminam as tradicionais cadernetas de campo.

Figura 7 – Estação total



Fonte: Manfra, 2011

2.3 GEODÉSIA

Segundo Gemael (1999), Geodésia é a ciência que tem por objeto determinar a forma e as dimensões da Terra, os parâmetros definidores do campo da gravidade e suas variações temporais. Pode ser dividida em três principais áreas: Geodésia Geométrica, Geodésia Física e Geodésia Celeste.

2.3.1 Sistema Geodésico Brasileiro

Segundo o IBGE (2018), o desenvolvimento do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), que é composto pelas redes altimétrica, planimétrica e gravimétrica, pode ser dividido em duas fases distintas, separadas pelo advento da tecnologia de observação de satélites artificiais com fins de posicionamento (GNSS). Uma grande vantagem da utilização desse recurso é que possibilitou a expansão do SGB à região amazônica, servindo de apoio ao mapeamento sistemático da área.

A RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) é um conjunto de estações geodésicas equipadas com receptores GNSS (captam, em sua maioria, dados dos sistemas GPS e GLONASS) de alto desempenho, cujas coordenadas finais têm precisão na ordem de $\pm 5\text{mm}$, configurando-a como uma das redes mais precisas do mundo, ainda, possui grande vantagem por fazer parte da Rede de

Referência SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). Está distribuída por várias regiões do país e seu monitoramento é contínuo. Há de se destacar também o fato de que suas observações vêm contribuindo, desde 1997, para a densificação regional da rede do IGS (International GPS Service for Geodynamics), garantindo uma melhor precisão sobre o território brasileiro.

O sistema altimétrico do Brasil é referenciado ao geóide, que é uma representação da superfície equipotencial não perturbada dos mares. O Datum altimétrico que abrange grande parte do território brasileiro está localizado em Imbituba – SC e as atividades de densificação são realizadas pela monumentação de Referências de Nível (RRNN) utilizando-se somente nivelamento geométrico ou, também, nivelamento geométrico somado ao levantamento gravimétrico (IBGE, 2018).

2.3.2 Modelo de Ondulação Geoidal

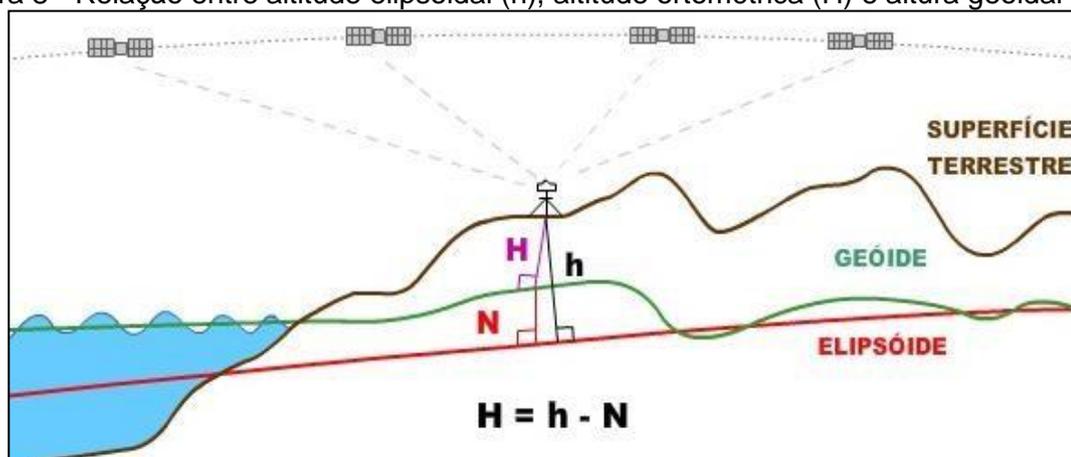
A altitude determinada utilizando um receptor GNSS não está relacionada ao nível médio do mar (ou, de forma mais rigorosa, ao geóide), mas a um elipsoide de referência com dimensões específicas. Portanto, torna-se necessário conhecer a diferença entre as superfícies do geóide e do elipsoide, isto é, a altura (ou ondulação) geoidal, para que se possa obter a altitude acima do nível médio do mar (denominada ortométrica) (IBGE, 2018).

É com este objetivo que o MAPGEO2015 foi criado, assim como os modelos anteriores (MAPGEO2010, MAPGEO2004, MAPGEO92). O novo modelo foi calculado com uma resolução de 5' de arco, e o Sistema de Interpolação de Ondulações Geoidais foi atualizado. Através deste sistema, os usuários podem obter a ondulação geoidal em um ponto ou conjunto de pontos, cujas coordenadas refiram-se ao SIRGAS2000 e compreendidas entre as latitudes de 6°N e 35°S e entre as longitudes de 75°W e 30°W, dentro do território brasileiro (IBGE, 2018).

Segundo o IBGE, para converter a altitude elipsoidal (h), obtida através de receptores GNSS, em altitude ortométrica (H), é necessário utilizar o valor da altura geoidal (N) fornecida por um modelo de ondulação geoidal, (Figura 8), utilizando a seguinte expressão:

$$H = h - N \quad (1)$$

Figura 8 - Relação entre altitude elipsoidal (h), altitude ortométrica (H) e altura geoidal (N).



Fonte: IBGE, 2018.

2.3.3 Gnss

Os GNSS (Global Navigation Satellite System) são sistemas de navegação compostos por satélites artificiais que orbitam a terra, transmitindo neste processo sinais de rádio contendo observáveis como as efemérides de suas posições e o tempo de transmissão destas. Estes sinais chegam ao observador que, munido de um receptor com tecnologia específica, recebe e processa estes dados para a determinação de sua posição espacial.

O princípio de funcionamento do GNSS é a trilateração. Nesta, é transmitida a um observador a posição de um número de satélites, em relação a um referencial inercial, bem como a posição relativa do observador em relação a estes satélites. Com estas informações, o usuário deriva sua posição no sistema de referência.

Embora geometricamente sejam necessárias apenas observações de três satélites para a solução do sistema com três incógnitas de posição, é necessária uma quarta observação devido à defasagem entre o relógio de precisão atômica embarcado no satélite, que gera o sinal, e o relógio do receptor (MONICO, 2008). Os dois principais GNSS disponíveis atualmente são o americano NAVSTAR-GPS (Navigation System with Time and Ranging – Global Positioning System) e o russo GNSS (Global Navigation Satellite System). Há ainda os sistemas GALILEO (União Européia) e BEIDOU/COMPASS (China).

Cada satélite GNSS transmite duas ondas portadoras simultaneamente: L1 e L2. Essas duas frequências permitem aos usuários corrigir grande parte dos efeitos provocados pela ionosfera. Os receptores GNSS podem ser classificados, segundo sua utilização, como de navegação, topográfico e geodésico. Os receptores geodésicos são capazes de captar as duas frequências emitidas pelos satélites (L1 e L2) e, dessa forma, minimizar os erros de posicionamento (MONICO, 2008).

2.3.4 Posicionamento relativo

Posicionamento relativo é aquele em que a posição de um ponto é determinada com relação à de outro(s), cujas coordenadas são conhecidas. As coordenadas do(s) ponto(s) conhecido(s) devem estar referenciadas ao WGS 84, ou em um sistema compatível com esse, SIRGAS2000, por exemplo. Nesse caso, os elementos que compõem a linha-base, ou seja, ΔX , ΔY e ΔZ , são estimados e, ao serem acrescentados às coordenadas da estação-base ou de referência (estação com coordenadas conhecidas), proporcionam as coordenadas da estação desejada (MONICO, 2008).

2.3.5 Posicionamento relativo estático

A observável normalmente adotada no posicionamento relativo estático é a dupla diferença (DD) da fase de batimento da onda portadora, muito embora possa também se utilizar a DD da pseudodistância, ou ambas. Nesse tipo de posicionamento, dois ou mais receptores rastreiam, simultaneamente, os satélites visíveis por um período de tempo que pode variar de dezenas de minutos (20 minutos no mínimo) até algumas horas. O posicionamento relativo estático permite obter precisão da ordem de 1,0 a 0,1 ppm, ou mesmo melhor do que isso. Em casos em que as linhas-base envolvidas forem longas (maiores que 15 km) e a precisão requerida for melhor que 1 ppm, é imprescindível o uso de receptores de dupla frequência (L1 e L2) (MONICO, 2008).

2.3.6 Posicionamento relativo cinemático em tempo real

No posicionamento relativo cinemático um receptor é mantido fixo (dito base) enquanto outro é móvel. Adota-se uma rápida taxa de coleta de dados usada, como por exemplo, um segundo. O emprego de processamento em tempo real na técnica de posicionamento relativo cinemático é chamado de *Real Time Kinematic* (RTK). O uso em tempo real é possível através da utilização de um link de comunicação, como um sistema de rádio, que transmita as correções da estação base para a estação móvel.

O método cinemático traz consigo algumas peculiaridades. As ambiguidades devem ser definidas no processo, sendo assim necessário um tempo mínimo total de rastreamento da base. Os sinais de base e móvel devem ser continuamente rastreados e não devem sofrer obstrução no seu percurso, para que as ambiguidades determinadas permaneçam válidas para a totalidade do levantamento. Perdas de ciclo degradam a acurácia do método, sendo necessário no receptor móvel um algoritmo para corrigir estes, bem como a solução em tempo real das ambiguidades. Há ainda uma restrição quanto à distância entre a base e o receptor, que depende do alcance do sinal de rádio do equipamento utilizado (MONICO, 2008).

2.3.7 Ajustamento de observações

O ajustamento é um ramo da matemática aplicada. Tem por objetivo solução única para problemas onde o número de observações é superabundante e o sistema de equações lineares é inconsistente. Objetiva ainda a estimativa da qualidade da solução. Consiste numa expansão do método dos mínimos quadrados desenvolvidos independentemente por Gauss (1795) e Legendre (1805). O ajustamento, nas últimas décadas, beneficiou-se do desenvolvimento ocorrido na computação eletrônica, no cálculo matricial e nas técnicas estatísticas. Também, deve-se lembrar que, não faz sentido falar em ajustamento para problemas onde os dados (observações ou medidas) não excedam o mínimo requerido para sua solução (DALMOLIN, 2002).

Ainda, segundo Gemael (1994), a partir de observações redundantes sujeitas a flutuações probabilísticas e de uma estimativa de sua precisão, o ajustamento tem por objetivo:

- a) Estimar, mediante a aplicação de modelos matemáticos adequados e do M.M.Q., um valor único para cada uma das incógnitas do problema;
- b) Estimar a precisão de tais incógnitas e a eventual correlação entre elas.

3. METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo (Figura 9) está localizada no município de Atalaia no estado de Alagoas, onde pertence microrregião da Mata Alagoana, estando situada a 48 quilometro da capital Maceió. Sua população está estimada em 47.298 habitantes, conforme o IBGE/2015, sua economia predominante baseia-se na agricultura, especialmente na cana-de-açúcar. Com coordenadas UTM E=176213.00 m e N=8952158.00 m de acordo com o Datum Sirgas 2000, estando a uma altitude de 54 metros, a área em estudo é uma mineradora onde sua principal atividade é a extração e britamento de pedras e outros materiais para construção.

Figura 9: Localização da área de estudo

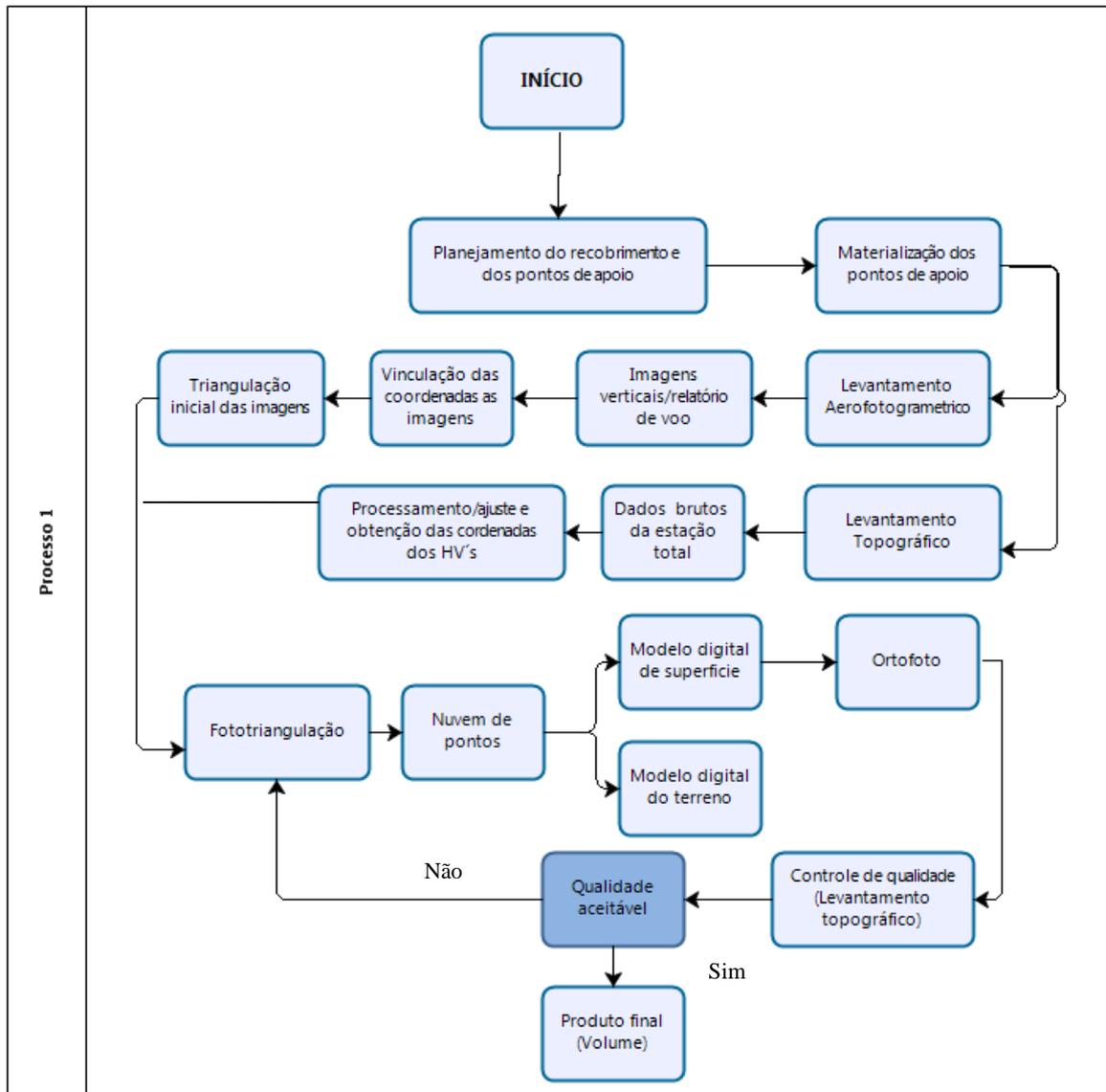


Fonte: Adaptado pelo autor do Google, 2019.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados diversos materiais, entre equipamentos para aquisição dos dados em campo (Receptor GNSS, VANT, alvos, e etc.) e softwares para processar os dados e gerar os produtos finais. A figura 10 mostra detalhadamente os procedimentos adotados através do fluxograma.

Figura 10: Fluxograma de trabalho adotado



Fonte: Adaptado pelo autor de Barbosa e Ferreira, 2019.

3.2.1 Levantamento Fotogramétrico

Para a realização do voo e aquisição das fotografias, foi utilizado um VANT DJI PHANTOM 4 ADVANCED (Figura 11), que conforme o fabricante possui as seguintes características:

- Peso (Incluindo bateria e hélice): 1368g gramas;
- Câmera de 20 MP;
- Tamanho máximo de cada foto: 4096 x 2160;
- Rádio com distância máxima de transmissão de 7 km;

- Capacidade de voo de aproximadamente 30 minutos;
- Bateria: LiPo 4S 5870 mAh

Figura 11: Vant DJI Phantom 4 Advanced



Fonte: autor, 2019

Para obtenção das coordenadas de apoio, utilizou-se o receptor GNSS GPS Leica SR20 (Figura 12). As especificações do equipamento segundo o fabricante seguem abaixo:

- 12 canais, receptor de frequência L1;
- Precisão da Linha de Base (pós-processamento): Somente código: Tipicamente 30 cm (rms) – Técnica de Código Preciso. Código e fase L1: Tipicamente 5 a 10 mm + 2 ppm (rms)
- Precisão da Linha de Base (DGPS/RTCM): Somente código (L1): Tipicamente 40 cm (rms).

Figura 12: GPS Leica SR20



Fonte: Leica, 2019

As coordenadas brutas obtidas com o receptor GNSS foram tratadas e corrigidas através do software Leica Geo Office.

Foi adotado o Datum SIRGAS 2000 para o levantamento, sendo esse localizado no fuso 25 e MC 33 W. O levantamento ocorreu no dia 06 de Janeiro de 2019. Após o levantamento, os pontos foram analisados utilizando o software GNSS Solutions 3.80.4 para verificar os erros horizontais e verticais dos pontos coletados.

Iniciando o trabalho no local determinado, montou-se a estação (composta por um computador e rádio comunicador) e o VANT. Em seguida, o plano de voo previamente determinado foi transmitido ao VANT, então, ocorreu a decolagem para a aquisição das fotografias, que teve duração máxima de 15 minutos, após esse tempo, é realizado o pouso, troca de bateria e é lançado novamente, isso foi feito sucessivamente até que foi feito todo o recobrimento planejado. O relatório do voo fica armazenado no computador e as imagens obtidas no cartão de memória acoplado na aeronave.

Os pontos de apoio foram materializados através de alvos de placa de concreto pintados de vermelho e branco e com dimensões aproximadas de 50 x 50 cm (Figura 13). Esses pontos são necessários para a etapa de aerotriangulação, e tem suas coordenadas horizontais (H) e verticais (V) conhecidas, assim, sendo denominados HV. Os pontos foram distribuídos de maneira que ocupasse a área de forma mais simétrica possível, englobando seus limites, considerando as restrições impostas com relação ao relevo e áreas inacessíveis.

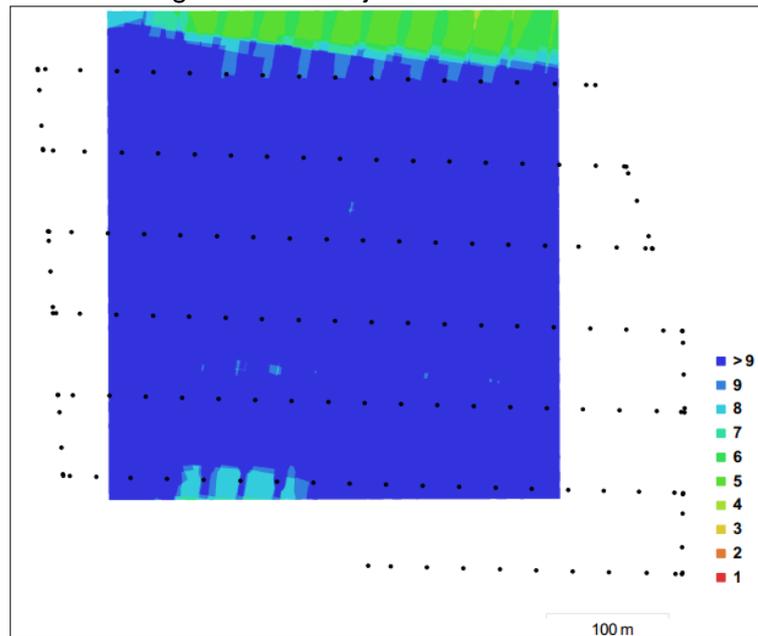
Figura 13: Pontos de apoio - alvos



Fonte: autor, 2019

O planejamento de voo foi realizado no aplicativo PIX 4D CAPTURE disponível para sistema iOS e Android (Figura 14). Esse aplicativo permite que o usuário planeje o voo pela inserção de waypoints, tendo em vista as seguintes informações: altitude o voo, velocidade, tempo de voo, captura das fotos, sobreposição das imagens, entre outros parâmetros.

Figura 14: Planejamento do voo realizado



Fonte: autor, 2019

Foram implantados 08 pontos de controle na área de estudo, figura 15.

Figura 15: Distribuição dos pontos de controle



Fonte: Autor, 2019

Esses pontos foram georreferenciados com receptores GNSS modelo Leica SR20 por meio do método relativo estático ou cinemático, com tempo de rastreamento de 30 minutos. Os pontos foram processados no software Leica Geo office e corrigidos referenciando com o sistema geodésico brasileiro.

O processamento das imagens foi realizado no software Agisoft PhotoScan Trial. Esse software é muito utilizado para o processamento de imagens capturadas por VANT, que permite criar ortofotos de alta resolução.

Após as imagens estarem devidamente posicionadas e orientadas, foi possível executar o alinhamento das fotografias, obtendo-se um posicionamento inicial. Tal tarefa é executada pelo software Agisoft PhotoScan Trial, trabalhando com a correspondência de pontos homólogos entre as imagens e com as coordenadas de cada cena. Vale ressaltar que nessa etapa o programa avalia os parâmetros internos e externos da orientação da câmera, incluindo distorções radiais não-lineares.

A obtenção desse posicionamento inicial possibilita a fototriangulação ajustando apenas a posição das fotografias em relação aos pontos de apoio fotogramétricos rastreados anteriormente. Nessa etapa o software calcula os parâmetros, as posições do ponto principal e os parâmetros da rotação das imagens (SOUZA, 2015).

É nessa etapa do processamento fotogramétrico que possibilita a geração de MDS, MDT, ortofoto, ortofotocarta, curvas de nível e serve para efetuar cálculos de volume.

Em seguida, é feita a introdução das coordenadas dos pontos de apoio no projeto, refinando o posicionamento nas imagens, de maneira a melhorar a qualidade do georeferenciamento.

Após o processo de refinamento do posicionamento dos pontos de apoio nas fotografias, realizou-se novamente o processo de correlação das imagens, onde um algoritmo determina pontos de correlação entre as cenas para a utilização como pontos de ligação na fototriangulação. As coordenadas desses pontos são associadas e processadas no referencial do terreno juntamente com a determinação dos parâmetros de orientação exterior (POE) e interior (POI) das imagens.

Em seguida, é realizada uma nova fototriangulação com base no processo anterior, em que é gerada uma nuvem de pontos densa, preenchendo melhor a área.

A partir da geração da nuvem de pontos densa, se torna possível a construção da malha triangular. Essa malha é uma forma de organizar os pontos para permitir a construção do MDT e MDS, que é requisito para o processo de geração de ortofotos.

A construção da MDT se deu a partir da rede de triângulos criada. O produto pode ser denominado dessa maneira, pois a base de dados representa o modelo de superfície, englobando terreno e feições, figura 16, mostra uma parte do produto final.

Figura 16: True-ortofoto



Fonte: Autor, 2019

Os dados base para a geração das curvas de nível foram os provenientes da nuvem de pontos densa, em que foram filtrados e separados os pontos que

representavam prédios, árvores, veículos e todos que não fossem referentes ao terreno natural. Isso é feito através de um procedimento no software, em que é realizada essa distinção. Então, foi criado no software PhotoScan um MDT (Figura 16) baseado nos pontos de terreno, com isso pode-se calcular os volumes das pilhas de brita no próprio software PhotoScan.

Para o cálculo volumétrico das pilhas de minérios, foram utilizadas duas bases de dados distintas, uma gerada através dos processos fotogramétricos e outra referente aos dados levantados com GNSS (posicionamento relativo cinemático). O processamento desses dados e cálculo do volume é idêntico para as duas bases.

Inicialmente é criado em escritório o polígono limítrofe da pilha de minérios, (Figura 17), área referência para os cálculos. Importante ressaltar que nesse polígono devemos indicar a altitude da base do monte de areia, pois é a partir desse valor que será efetuado o cálculo da componente altimétrica do volume.

Figura 17: Montes de matérias minerais e seus limites demarcados.



Fonte: Autor, 2019

A partir das curvas de nível, é gerado o TIN (*Triangulated Irregular Network*), que é um modelo digital criado a partir de curvas de nível, onde ocorre a interpolação dos valores de altitude por meio da criação de triângulos entre uma linha e outra e cria um modelo matemático com valores de altitude.

Baseado nessas informações é calculado o volume da superfície entre o polígono e terreno (TIN). Cada limite de polígono é primeiro interceptado com a zona de interpolação da superfície. Isso identifica a área em comum entre os dois. Então, o volume é calculado para todos os triângulos e suas porções que se enquadram no polígono interceptado. No Apêndice A apresentamos os dados do levantamento.

3.2.2 Levantamento Topográfico

Para a realização do levantamento topográfico, foi utilizada uma ESTAÇÃO TOTAL, que conforme o fabricante possui as seguintes características:

- Marca: leica
- Modelo: TC 407
- Precisão Angular: 0,3"
- Precisão linear: 2mm+ 2ppm

Outros equipamentos utilizados:

- Prisma refletor;
- Tripé;
- Marco de concreto e Piquete.

Devido à utilização do receptor GNSS e Estação Total tornou-se necessário a utilização de alguns programas que viabilizassem a execução das etapas do levantamento:

- Leica Geo Office Combined (LGO) – usado para Importar dados de pesquisas existentes ou diretamente da Internet e exportar dados como pontos, ou em formato CAD ou XML, apresenta recursos integrados de garantia de qualidade e controle de qualidade, sendo utilizado para determinação das coordenadas dos marcos de apoio básico.

- Leica Geo Office: Utilizado para descarga de dados da Estação Total, apresenta como características a feição de cadernetas de campo, controle e ajuste da poligonal, geração das coordenadas das irradiações e exportação de arquivos em texto ou em Computer Aided Design (CAD), o mesmo, foi utilizado para o tratamento dos dados oriundos da Estação Total.
- AutoCAD Civil 3D: Sendo um software da linha AutoCAD, é voltado para elaboração e análise de projetos nos mais diversos ramos da engenharia civil.

A metodologia adotada no levantamento foi a de locação de uma poligonal de apoio fechada, a partir desta, foram irradiados pontos que determinaram as pilhas de minério.

Como referências planimétricas e altimétricas, foram implantados pontos de apoio com coordenadas referenciadas ao SGB, tendo como Datum horizontal oficial o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e com esse apoio foi materializado através de marcos de concreto denominados MC01 e MC02, dispostos na área de estudo contemplando a intervisibilidade entre os mesmos, condição necessária para dar início a poligonal de apoio.

No procedimento, foi utilizado um par de receptores GNSS de dupla frequência e acessórios para possibilitar o seu uso. Os pontos foram obtidos a partir do tipo de levantamento relativo estático, utilizando a base navegada. O tempo de coleta foi de aproximadamente 30 minutos e adotou-se a máscara de elevação de 10° (graus) e intervalo de gravação de 5 segundos.

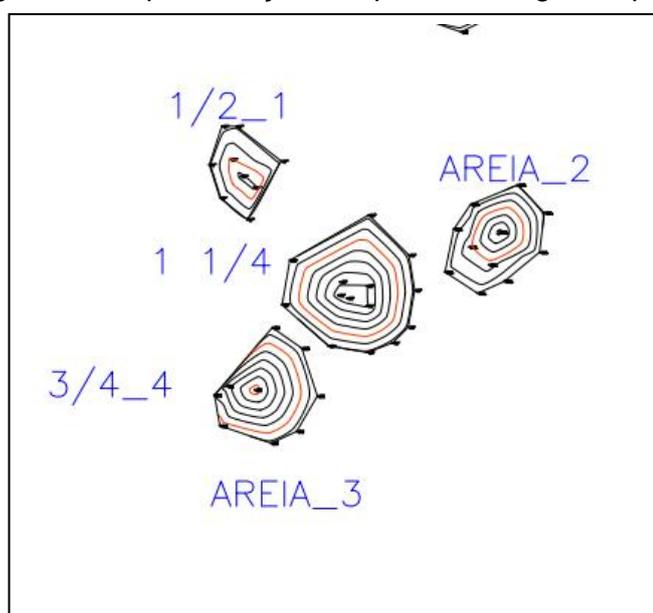
Os dados coletados foram processados no Leica Geo Office Combined. Vale ressaltar, que as coordenadas obtidas no processamento GNSS foram utilizadas como referência de partida na poligonal topográfica.

Em posse destas coordenadas e feito o reconhecimento de campo, iniciou-se a determinação das estações da poligonal e da estação auxiliar. As estações foram materializadas através de piquetes fixados no solo natural encimado por um prego centralizado.

Realizado o levantamento da poligonal fechada, a descarga de dados foi feita no Leica Geo Office. Após a descarga de dados, foi gerada a caderneta de campo da poligonal e processada esta caderneta para controle e ajuste das coordenadas das estações da poligonal.

De posse das coordenadas ajustadas, o passo seguinte foi a transmissão dos dados para a estação total, dessa forma, quando da ocupação das estações, a coleta de pontos de interesse já apresentaria as coordenadas finais sem a necessidade do processamento das cadernetas geradas. As medições foram feitas com posicionamento do bastão/prisma nos alvos (pilhas de minério). Com a determinação dos pontos irradiados, onde foram coletados pontos de interesse planimétrico, altimétrico e definidores do limite da área de estudo (Figura 18).

Figura 18: Representação, em planta, de algumas pilhas.



Fonte: autor, 2019

Com a aquisição dos pontos coletados, foi possível a conversão dos arquivos para a análise do levantamento utilizando o software AutoCAD 3D Civil (Autodesk). Através deste, foi efetuada a elaboração das plantas de levantamento planimétrico, geração de superfície topográfica, extração de curvas de nível e cálculo do volume.

No Apêndice B, C e D apresentamos os dados das coordenadas das bases e dos pontos de controle e de apoio.

4. RESULTADOS

4.1 CÁLCULO DE VOLUMES

Foi calculado o volume obtido com os dados da Estação Total, coletados com técnica de posicionamento relativo cinemático sobre as pilhas de minério, e dados fotogramétricos, obtidos através do processamento das imagens coletadas com VANT.

A tabela 2 apresenta os valores calculados e a diferença obtida entre os métodos utilizados.

Tabela 2 - Cálculo de volumes

Fonte de dados	Área (m ²)	Volume (m ³)	Volume (ton)
ESTAÇÃO TOTAL	17.463,61	53.399,78	80.100,00
VANT	18.844,96	54.748,80	82.116,00
Diferença total	1.381,35	1.349,02	2.016,00
Diferença total (%)	-	-	2,5%

Fonte: O autor

Ressaltamos que a diferença obtida entre os métodos utilizados foi de apenas 2,5%, o que pode ser considerado um resultado muito bom devido à maneira distinta como foi obtida cada fonte de dados. Visualização no Apêndice E e F.

4.2 PRODUTOS GERADOS COM O LEVANTAMENTO

A base de dados utilizada no presente trabalho foi obtida por levantamento fotogramétrico por meio de VANT e topográfico com a ESTAÇÃO TOTAL. Com o processamento dessa base de dados, foi possível gerar alguns produtos, conforme demonstrado a seguir:

- a) Ortofotocarta - Constituída pela ortofoto e os elementos cartográficos necessários. Representa a área do monte de areia sobre o qual foi calculado o volume. Visualização no Apêndice E.
- b) Curva de nível - Constituída pelas curvas de nível, mostrando a elevação de cada pilha de minério o qual foi calculado o volume, representada em planta. Visualização no Apêndice F.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A partir da geração de uma base de dados planialtimétricos foi possível realizar o cálculo do volume dos montes de minérios, sendo alcançado o objetivo proposto no trabalho. Um dos pontos que havia intenção de mostrar e obteve-se êxito, é uma parte da gama de possibilidades que existe com a utilização do VANT, não deixando de lado a sua agilidade e rapidez do levantamento em campo.

Com relação ao cálculo de volumes, foram avaliadas e comparadas as diferenças do valor obtido dependendo da tecnologia de coleta de dados, chegando a um resultado de 2,5% de variação. Podemos afirmar que em áreas mais irregulares do topo da pilha, é possível observar que a nuvem de pontos obtida pelo VANT não apresentou falhas, possuindo pontos cotados sobre toda a superfície da pilha cortada pelo perfil.

Comparando os métodos adotados o levantamento com VANT é mais rápido e mais detalhado, onde o seu tempo de coleta de dados chega até 3 horas. No caso do levantamento com Estação Total o seu tempo de coleta de dados pode chegar até 2 dias.

Assim, os produtos gerados podem servir de base para planejamentos na área da Mineradora, conforme houver necessidade.

Recomendamos utilizar outros métodos para calcular o volume, como Laser Scanner (Lidar) e outras técnicas utilizando o GNSS, assim como outros softwares, de maneira a gerar comparativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR13133 – Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro ABNT, Maio 1994.

ALMEIDA, I. C. **Estudos sobre o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para Mapeamento Aéreo com fins de Elaboração de Projeto Viários**. 2014. 149 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) Universidade Católica de Pernambuco, Recife – PE.

ALMEIDA, M. S. PRO-0155-GAGIS; **Medição Topográfica de Pátios com uso de Estação Total**. Vitória: Vale 2010.07p. (Procedimento operacional, Mineração).

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE. 1998.

BARBOSA, B. J. B. L.; PEREIRA, T. S. **GERAÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA PARA ÁREA DE INTERESSE HISTÓRICO/CULTURAL POR MEIO DE LEVANTAMENTO FOTOGAMÉTRICO ADQUIRIDO COM VANT (RPAS)**. UFRGS, Porto Alegre. 2017.

BLITZKOW. D; FONSECA JR. E. S.; CINTRA. J. P.; NETTO. N. P. Apostila PTR 2202 – Informações Espaciais. PTR. LTG. USP. São Paulo.2004
<<[http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/disciplinas: versão 2007 - conceitos 2004.pdf](http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/disciplinas:versão_2007_-_conceitos_2004.pdf). Acessado em Janeiro/2018.

COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: UERJ. 2007.

DALMOLIN, Q.. **Ajustamento por Mínimos Quadrados**. 175. Curitiba: Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas/ UFPR. 2002.

ESPARTEL, L. **Curso de topografia**. 9ª ed. Rio de Janeiro, Globo, 1987.

GEMAEL, C. Introdução ao Ajustamento de Observações: **Aplicações Geodésicas**. Curitiba: UFPR. 1994.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Curitiba: UFPR. 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **RBMC** - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm?c=7>>. Acesso em 02 de dezembro de 2018.

INPE, **SPRING - DPI**. Modelagem Digital de Terreno. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/modelagem.html>>. Acesso em: 05 de Janeiro de 2019.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do meio ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

LEICA. https://w3.leicageosystems.com/downloads123/zz/gpsgis/sr20/brochures/SR20%20Brochure_pt.pdf. Acesso dia 18/02/2019

LONGHITANO, G. Vants para Sensoriamento Remoto: Aplicabilidade na Avaliação de Monitoramento de Impactos Ambientais causados por Acidentes com Cargas Perigosas. (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-10012011-105505/publico/Dissertacao_George_Alfredo_Longhitano.pdf>. Acesso em: 22/12/2018.

MUNARETTO, L. A. C. **VANT e aspectos operacionais de voo**. 1ª ed. São José dos Campos: DCA-BR, 2014. 318p.

NÓBREGA, D. G; MOURA, S. R. **Mapeamento Planialtimétrico para Estudo de Viabilidade na Implantação de Reservatórios de Água na Zona Sul de Porto Alegre Utilizando Métodos Fotogramétricos**. UFRGS, Porto Alegre. 2013.

OLIVEIRA, M. T.; SARAIVA, S. L. C. **Fundamentos de Topografia**. Dados Eletrônicos Porto Alegre: Bookman, 2014.

SILVA, I.; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para engenharia: Teoria e prática de geomática**. 1. ed. São Paulo: Editora Elsevier, 2015. 412 p.

SOUZA, GABRIEL DE. **ANÁLISE DE VIABILIDADE DO USO DE VANT PARA MAPEAMENTOS TOPOGRÁFICO E DE COBERTURA E USO DA TERRA**. 2015. 94 f. Monografia. (Bacharel em Engenharia Cartográfica) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS

TOPDRONE <https://www.topdrone.com.br/dji-phantom-4-advanced/p> Acesso dia 18/02/2019

VEIGA, L. A. K; ZANETTI, M. A. Z; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia**. Apostila do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2012.

WEIBEL R. E.; HANSMAN, R. I. **Safety Considerations for Operation of Unmanned Aerial Vehicles in the National Airspace System**. Cambridge: MIT, 2005.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Relatório do voo do VANT.

ATALAIA MINERAÇÃO

VOLUMETRIA DE PILHAS
Janeiro 2019

07 February 2019



Survey Data

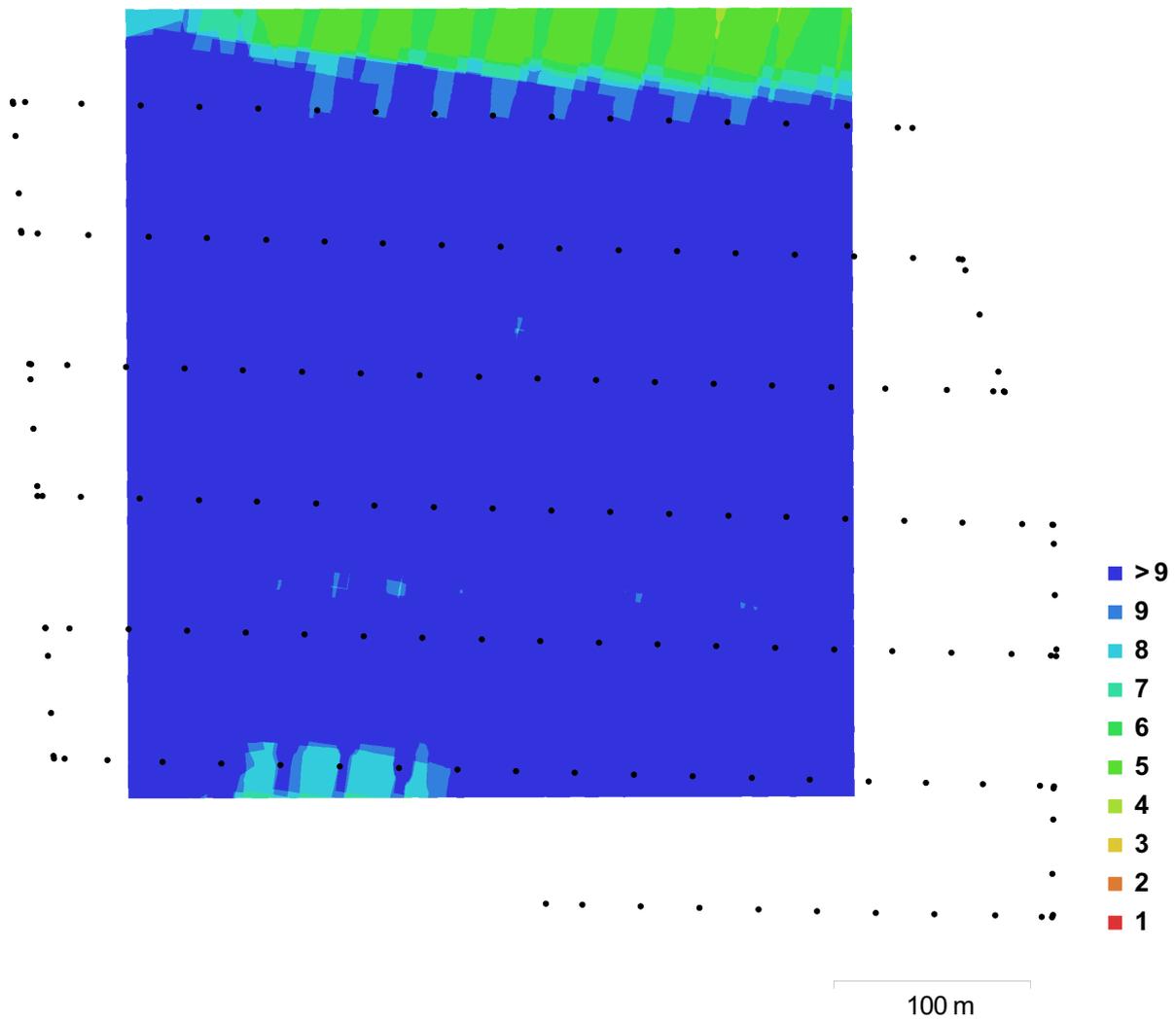


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	151	Camera stations:	151
Flying altitude:	156 m	Tie points:	245,683
Ground resolution:	4.01 cm/pix	Projections:	1,023,591
Coverage area:	0.15 km ²	Reprojection error:	0.863 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

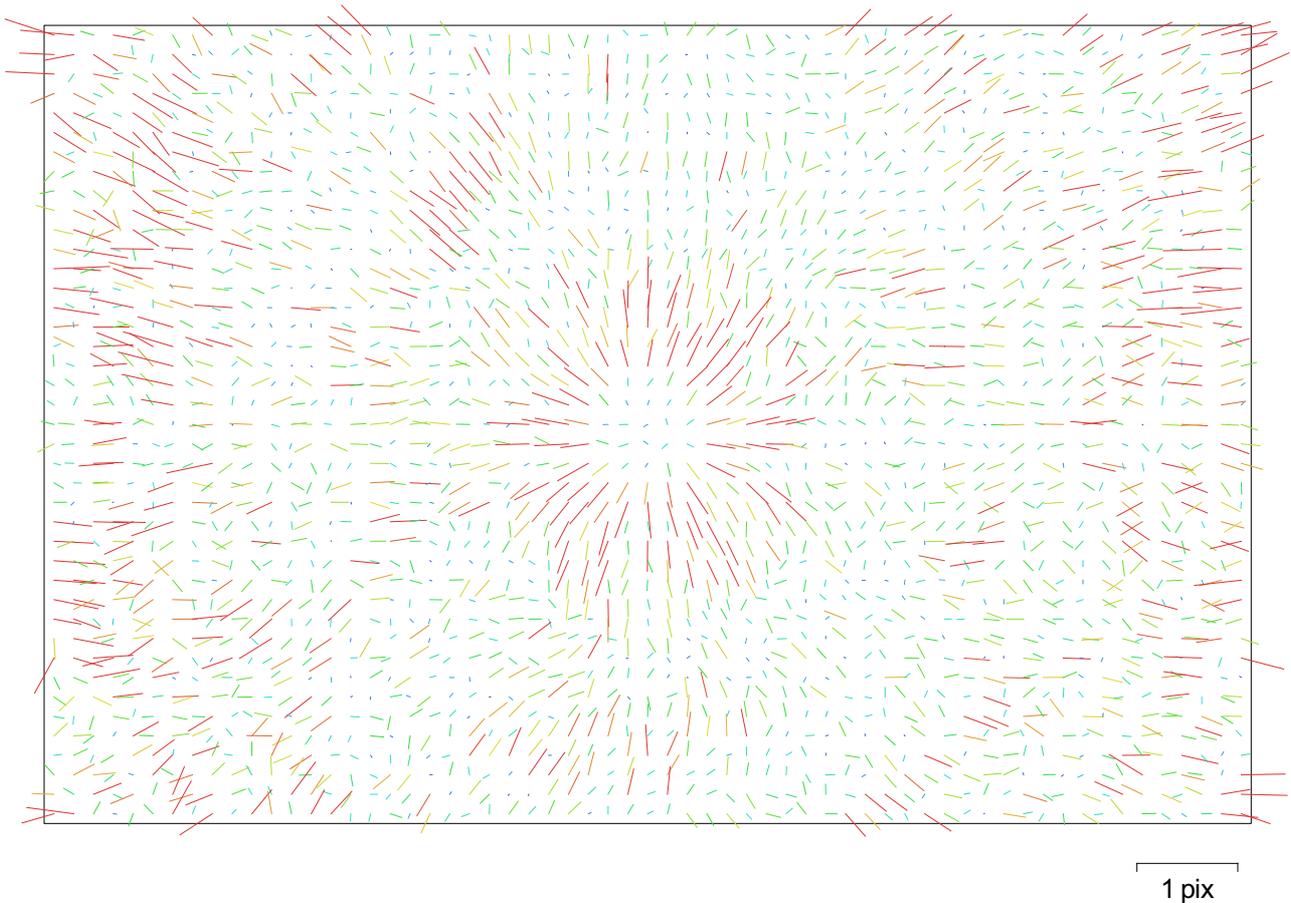


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8 mm).

FC6310 (8.8 mm)

151 images

Resolution 5472 x 3648	Focal Length 8.8 mm	Pixel Size 2.41 x 2.41 um	Precalibrated Não
Type:	Frame	F:	3648
Cx:	-26.2634	B1:	-0.818684
Cy:	32.1116	B2:	-0.130163
K1:	-0.00190206	P1:	-0.00150601
K2:	-0.0098765	P2:	0.00116105
K3:	0.00889459	P3:	0
K4:	0	P4:	0

Camera Locations

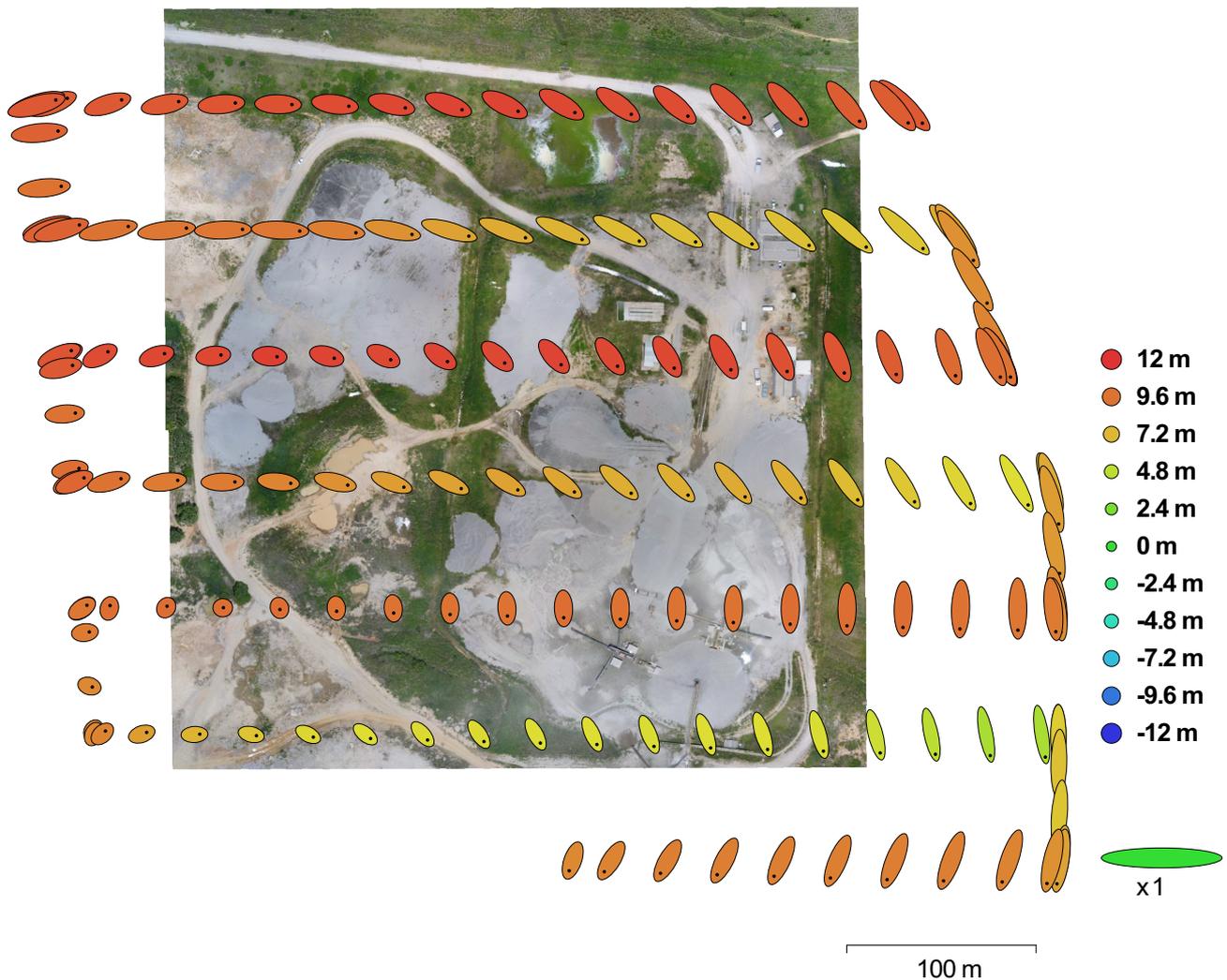


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	XY error (m)	Z error (m)	Total error (m)
11.4883	14.2291	18.2879	9.12543	20.4382

Table 2. Average camera location error.

Ground Control Points



Fig. 4. GCP locations.

Rótulo	XY error (cm)	Z error (cm)	Error (cm)	Projeções	Erro (pix)
P1	3.57272	0.291198	3.58457	15	0.258
P3	1.85643	0.0141383	1.85649	18	0.339
P4	3.92695	0.769057	4.00155	9	0.380
P5	4.07863	-0.273535	4.0878	17	0.398
Total	3.47372	0.433378	3.50065		0.346

Table 3. Control points.

Rótulo	XY error (cm)	Z error (cm)	Error (cm)	Projeções	Erro (pix)
P2	3.83754	5.59584	6.78529	16	0.275

Rótulo	XY error (cm)	Z error (cm)	Error (cm)	Projeções	Erro (pix)
P6	3.86084	5.2928	6.55132	15	0.384
P7	7.01869	2.88314	7.58779	12	0.277
P8	5.96799	-3.26081	6.80072	19	0.332
Total	5.35051	4.42359	6.94234		0.323

Table 4. Check points.

Digital Elevation Model

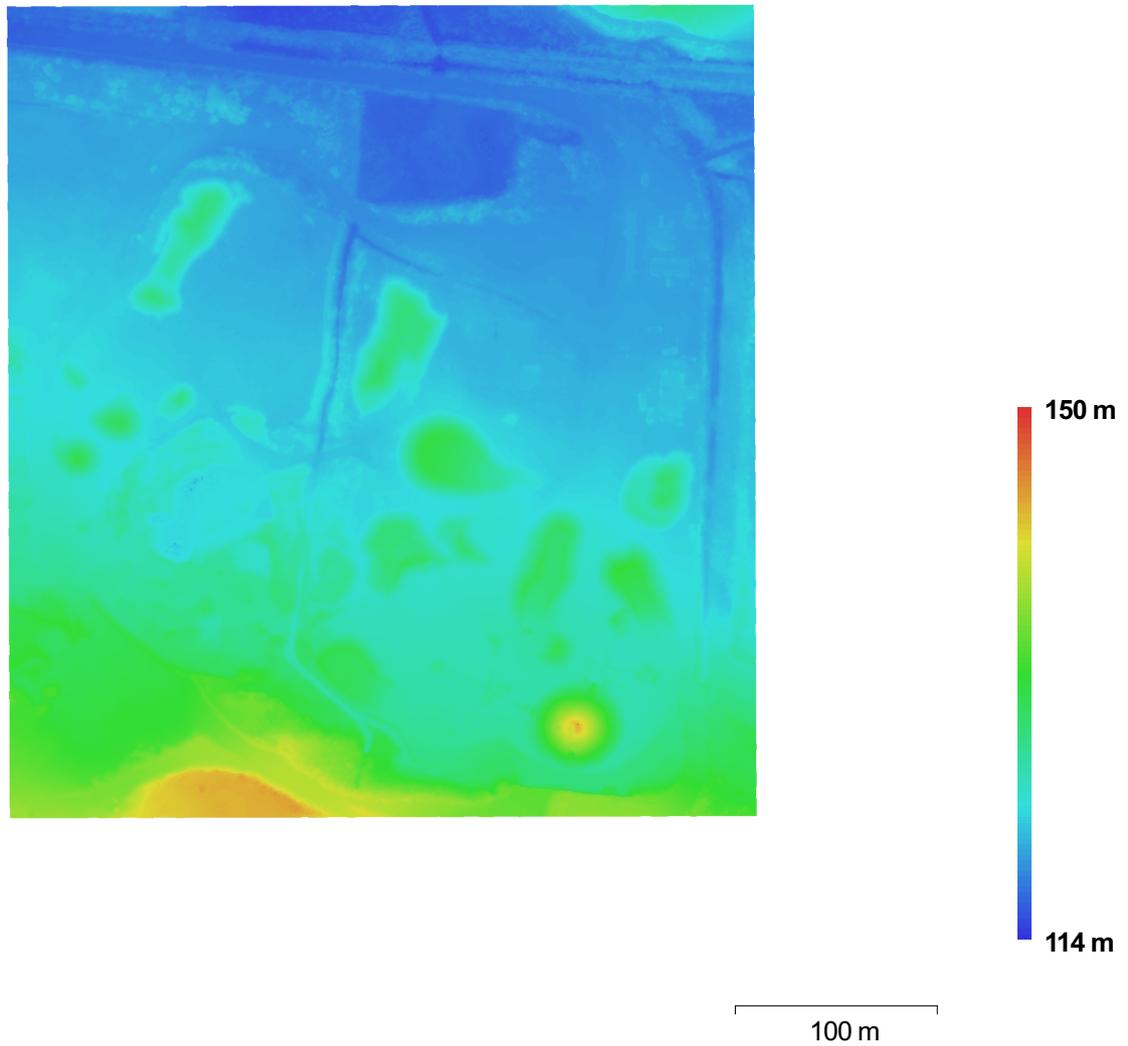


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 16 cm/pix
Point density: 38.8 points/m²

Processing Parameters

Geral

Câmaras	151
Aligned cameras	151
Marcadores	8
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTMzone 25S (EPSG::31985)

Nuvem de Pontos

Pontos	245,683 of 325,191
RMS reprojection error	0.129717 (0.862657 pix)
Max reprojection error	0.327943 (12.3941 pix)
Mean key point size	6.30726 pix
Sobreposição efetiva	4.73297

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Média
Pré-seleção de pares	Reference
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Restringir características considerando as máscaras	Sim
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	45 minutes 48 seconds
Alignment time	9 minutes 41 seconds

Optimization parameters

Parâmetros	b1, b2, cx, cy, k1-k3, p2: {1?}, p2: {2?}
Optimization time	40 seconds

Dense Point Cloud

Pontos	6,830,489
--------	-----------

Parâmetros de reconstrução

Qualidade	Média
Depth filtering	MId
Depth maps generation time	1 hours 29 minutes
Dense cloud generation time	4 minutes 19 seconds

DEM

Tamanho	2,261 x 2,635
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTMzone 25S (EPSG::31985)

Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	22 seconds

Orthomosaic

Tamanho	9,043 x 10,507
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTMzone 25S (EPSG::31985)
Channels	3, uint8
Modo de combinação	Mosaico

Parâmetros de reconstrução

Surface	DEM
Enable color correction	Não
Tempo de processamento	4 minutes 50 seconds

Software

Version	1.2.5 build 2680
Platform	Windows 64 bit

**APÊNDICE B – Dados dos pontos da Poligonal e
Pontos de Apoio.**

LISTA DE PONTOS / POLIGONAL E PONTOS AUXILIARES

PONTOS	ESTE	NORTE	COTA	
1	176365,6860	8952304,0130	123,8230	JW01/M02A
2	176047,6378	8952537,4260	115,7759	P01
3	176439,9178	8952521,7499	118,0518	P02
4	176467,2291	8952475,5541	117,6407	P03
5	176477,6076	8952225,7336	126,0859	P04
6	176647,0505	8952144,7712	145,6882	P05
7	176678,0636	8952147,0417	150,6535	P06
8	176694,4006	8951980,5351	186,4028	P07
9	176583,4483	8951967,6895	201,845	P08
10	176391,5510	8951957,7260	219,126	P09
11	176268,6773	8951921,2725	244,8381	P10
12	176143,5801	8951908,0083	245,8181	P11
13	176009,9173	8951919,6713	239,9030	P12
14	176104,0547	8952389,4194	121,0281	P13
15	176050,9049	8952402,6922	118,3895	P14
16	176623,1014	8952012,9578	203,213	AP7
17	176689,7722	8952030,8445	202,1098	AP8
18	176691,3020	8952006,5870	199,282	AP9
19	176249,1792	8952202,2228	133,2674	AUX01
20	176377,6233	8952471,8432	116,7597	AUX08
21	176585,2701	8951998,7724	206,8342	JW12
22	176385,8634	8951986,5655	220,6385	JW17

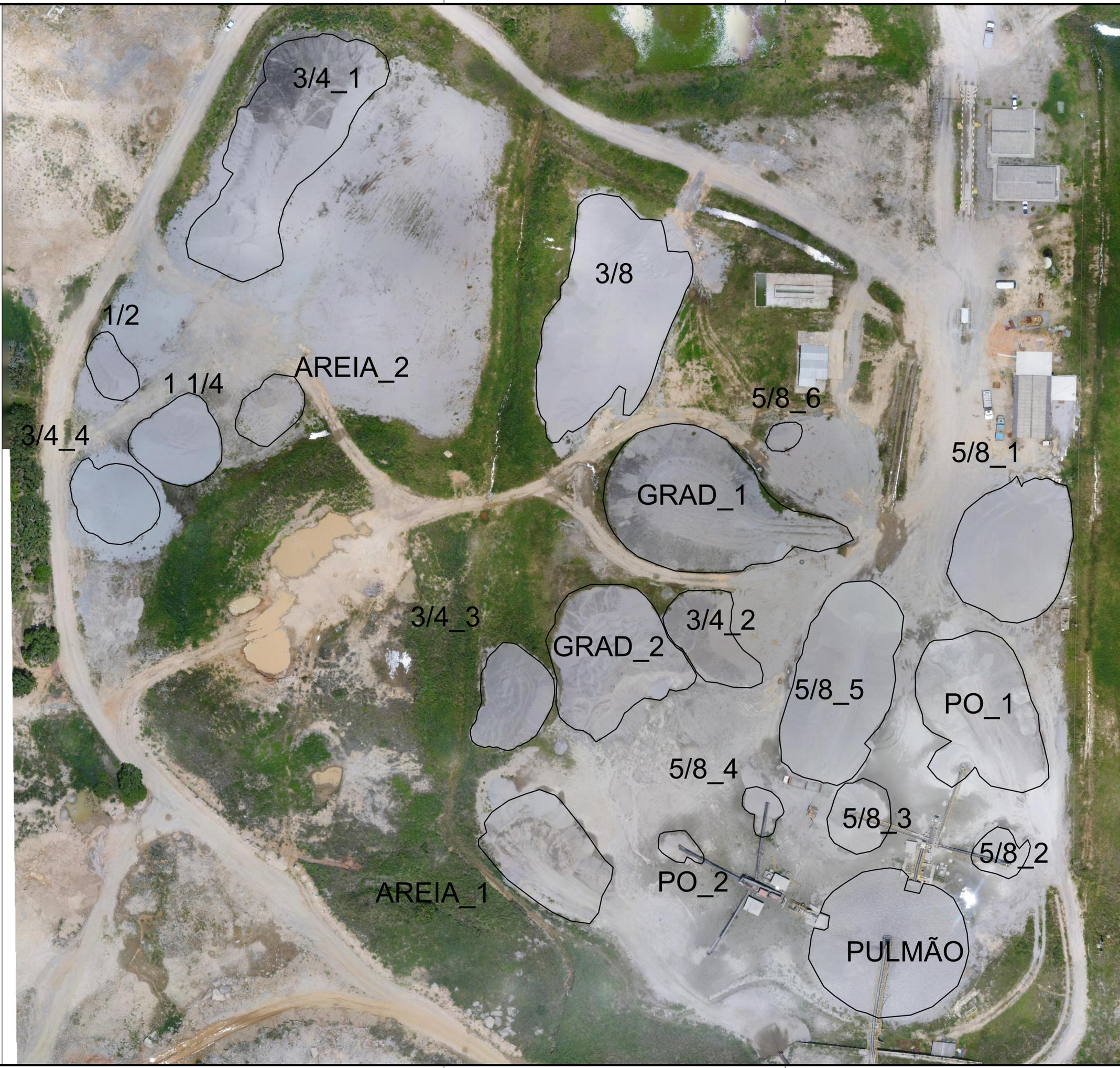
APÊNDICES C – Dados das Coordenadas de Apoio

PONTO	COORDENADAS		COTA
	ESTE	NORTE	
APOIO 1	176414,858	8952153,766	136,46
APOIO 2	176415,022	8952155,65	NÃO LOCADO
APOIO 3	176415,635	8952162,711	135,85
APOIO 4	176416,052	8952167,5	127,93
APOIO 5	176416,394	8952171,44	127,7
APOIO 6	176417,35	8952182,442	126,04

**APÊNDICES D – Dados das Coordenadas da
Estação ajustadas**

PONTO	COORDENADAS		COTA
	ESTE	NORTE	
AUX01	176246,681	8952205,371	133,261
AUX02	176452,765	8952376,064	120,963
AUX03	176391,729	8952141,097	144,565
AUX04	176454,713	8952309,528	121,916
AUX05	176482,718	8952160,552	132,609
AUX03	176392,207	8952140,867	144,783
AUX10	176273,085	8952086,316	183,819
AUX11	176238,678	8952088,279	182,812
JW17	176385,680	8951986,500	220,687
AUX07	176201,668	8951911,905	247,720
AUX08	176123,395	8951903,659	244,919
AUX09	176097,482	8951933,375	241,714
P10	176268,950	8951921,274	244,717
P11	176090,867	8951931,105	240,395
P12	176010,437	8951919,610	239,671
AUX03	176397,008	8952141,709	144,846
AUX12	176125,081	8952179,780	134,060
P4	176477,905	8952226,776	126,063
P5	176647,167	8952147,985	145,146
P6	176678,522	8952150,201	150,678
AUX13	176375,239	8952472,509	118,355
P3	176462,641	8952475,342	118,804
P2	176437,713	8952522,699	117,976
AUX15	176285,208	8952500,473	118,617

APÊNDICE E – Ortofotocarta e planilha contendo os dados para o cálculo do volume.
(Levantamento Aerofotogramétrico)



NOTAS GERAIS:

- 1 - MEDIDAS, COORDENADAS E ELEVAÇÕES EM METRO;
- 2 - LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO UTILIZANDO DRONE DJI PHANTOM 4
- 3 - SISTEMA UTM: SIRGAS 2000 - FUSO 25 - MC: 33

JW Topografia		OBRA: PEDREIRA ATALAIA MIN.				
		VOLUMETRIA DE PILHAS				
		DATA:		04/02/2018		
BRITA GRADUADA						
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)	
1	2.201,38	8.226,13	12.080,50	12.339	18.121	
2	1.464,61	3.854,37				
BRITA 3/4						
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)	
1	2.267,86	6197,054	8.007,62	9.296	12.011	
2	191,32	124,654				
3	357,82	512,07				
4	541,69	1.173,85				
BRITA 5/8						
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)	
1	1.344,27	3.440,05	9.209,93	5.160	13.815	
2	228,48	150,75				
3	488,18	903,56				
4	131,27	78,82				
5	1683,045	4597,014				
6	78,652	39,738				
BRITA 3/8						
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)	
1	2.311,84	7.853,80	7.853,80	11.781	11.781	
2	-	-				
BRITA 1/2						
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)	
1	233,08	234,79	234,79	352	352	
PULMÃO						
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)	
1	1.719,26	9.104,11	9.104,11	13.656	13.656	
PÓ DE BRITA						
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)	
1	1.518,69	4.315,86	4.364,04	6.474	6.546	
2	101,54	48,18				
ÁREA DE BRITA						
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)	
1	1.058,64	1.921,85	2.421,56	2.883	3.632	
2	329,28	499,70				
3	-	-				
1/4						
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)	
1	594,05	1.467,45	1.467,45	2.201	2.201	
TOTAL			54.743,80	TOTAL (Ton)	82.116	


 RUA BEL FLORIANO, 174 SALA 204
 BARRIO FAROL - MACILÓ - AL.
 CEP: 57055-010
 TEL: (083) 3432-6400
 E-MAIL: felipe@jwtopografia.com.br

TÍTULO: LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO GEORREFERENCIADO - VOLUMETRIA
 RESPONSÁVEL TÉCNICO: FELIPE BRUNO FAUSTINO DE LIMA
 ENGENHEIRO AGRIMENSOR
 CREA/AL: 1.0000/00431-2

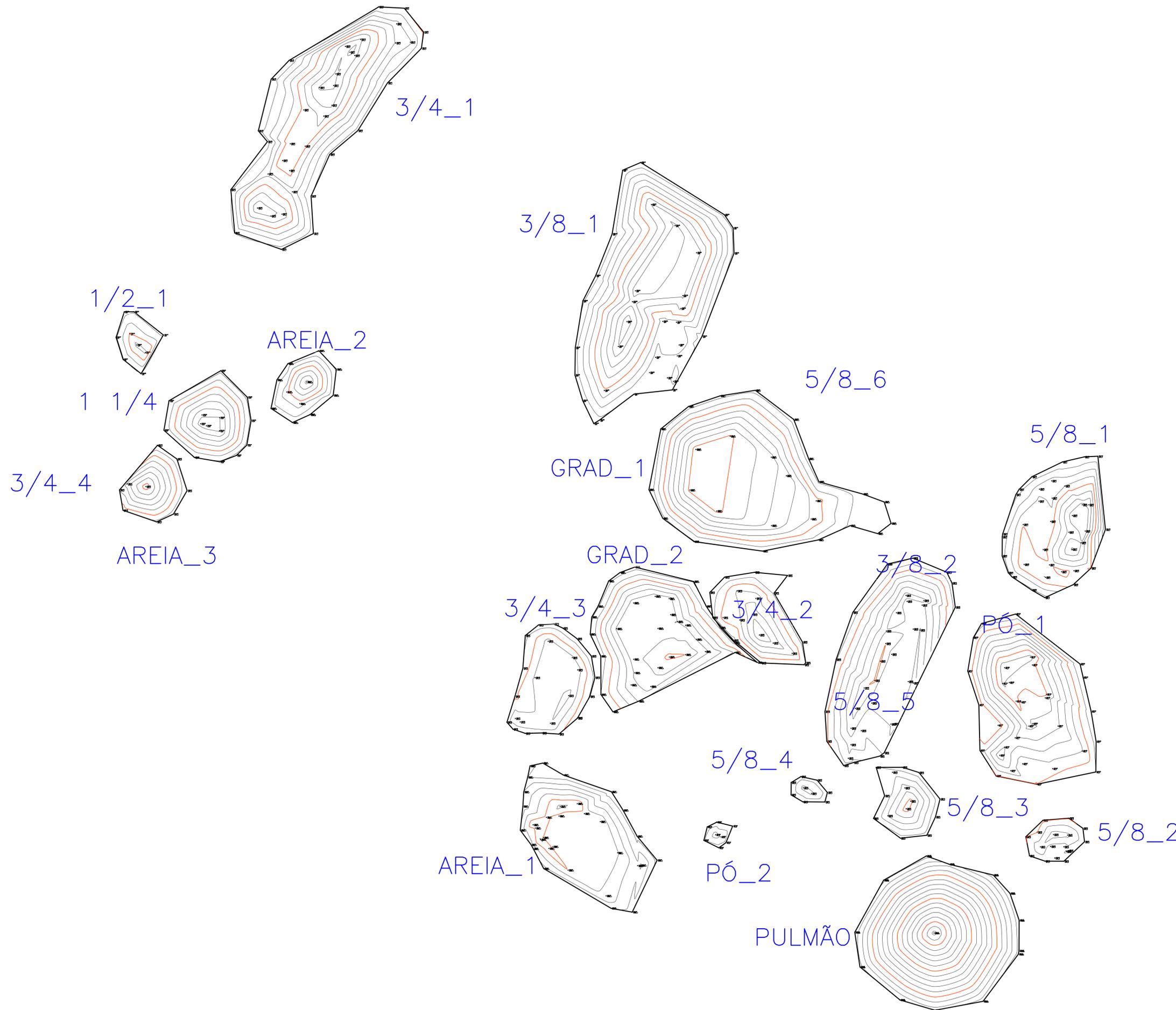
CLIENTE: ATALAIA MINERAÇÃO INDUSTRIA E COMERCIO LTDA
 DATA: FEV/2019
 FOLHA: 01
 ESCALA:

DESENHO: GUILHERME FELIX

APÊNDICES F – Curva de nível, representada em planta, e planilha contendo os dados para o cálculo do volume. (Levantamento Topográfico)

NOTAS GERAIS:

- 1 - MEDIDAS, COORDENADAS E ELEVAÇÕES EM METRO;
- 2 - LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO
- 3 - SISTEMA UTM: SIRGAS 2000 - FUSO 25 - MC: 33



JW Topografia		OBRA: PEDREIRA ATALAIÁ MIN.			
		VOLUMETRIA DE PILHAS (ESTAÇÃO TOTAL)			
		DATA: 06/01/2019			
BRITA GRADUADA					
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)
1	2.166,94	8.202,36	12.280,83	12.304	18.421
2	2.034,02	4.078,48		6.118	
BRITA 3/4					
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)
1	2.114,20	5797,488		8.696	
2	573,07	952,393	8.274,66	1.429	12.412
3	588,49	971,59		1.457	
4	442,95	553,19		830	
BRITA 5/8					
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)
1	1.308,54	2.414,69		3.622	
2	228,48	136,77	7.276,44	205	10.915
3	488,18	504,06		756	
4	124,29	49,47		74	
5	550,378	4171,453		6.257	
6	0	0		-	
BRITA 3/8					
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)
1	2.411,22	8.411,15	8.411,15	12.617	12.617
2	-	-		-	
BRITA 1/2					
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)
1	221,58	201,60	201,60	302	302
PULMÃO					
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)
1	1.268,30	8.407,98	8.407,98	12.612	12.612
PÓ DE BRITA					
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)
1	1.032,90	4.550,19	4.577,43	6.825	6.866
2	104,86	27,24		41	
ÁREA DE BRITA					
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)
1	901,51	2.110,13		3.165	
2	333,91	512,62	2.622,76	769	3.934
3	-	-		-	
1/4					
PILHA	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)	TOTAL (m³)	VOLUME (Ton)	TOTAL (Ton)
1	569,80	1.346,94	1.346,94	2.020	2.020
TOTAL				TOTAL (Ton)	
				53.399,78	80.100



RUA BEL FLORIANO, 174 SALA 204
 BARRIO FARIAS - MACIÓ - AL.
 CEP: 57035-010
 TEL: (067) 3432-6400
 E-MAIL: felipe@jwtopografia.com.br

TÍTULO: LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO GEORREFERENCIADO - VOLUMETRIA
 RESPONSÁVEL TÉCNICO:

FELIPE BRUNO FAUSTINO DE LIMA
 ENGENHEIRO AGRIMENSOR
 CREA/AL: 1.0000/00431-2

CLIENTE: ATALAIÁ MINERAÇÃO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA

FOLHA: 01

DESENHO: GUILHERME FELIX

DATA: FEV/2019

ESCALA: