



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**DENIS CARDOSO PARENTE**

**UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) NA  
IDENTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) DISPOSTOS  
EM LOCAIS INADEQUADOS**

**Palmas**  
**2016**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**DENIS CARDOSO PARENTE**

**UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) NA  
IDENTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) DISPOSTOS  
EM LOCAIS INADEQUADOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Fundação Universidade Federal do Tocantins, como requisito obrigatório à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.  
Orientador: Dr. Aurélio Pessôa Picanço

**Palmas**  
**2016**

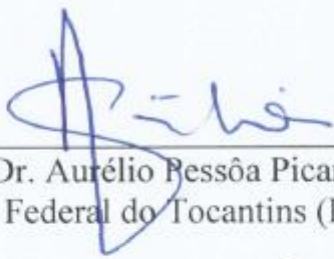
## FOLHA DE APROVAÇÃO

**DENIS CARDOSO PARENTE**

### **UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) NA IDENTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) DISPOSTOS EM LOCAIS INADEQUADOS**

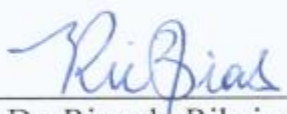
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, nível de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental, como requisito necessário para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

BANCA EXAMINADORA




---

Prof. Dr. Aurélio Bessôa Picanço  
Universidade Federal do Tocantins (Presidente)



---

Prof. Dr. Ricardo Ribeiro Dias  
Universidade Federal do Tocantins



---

Prof. Dr. Lucas Barbosa e Souza  
Universidade Federal do Tocantins

Aprovada em 09 de novembro de 2016.

Local da defesa: Avenida NS 15, Quadra 109 Norte, Plano Diretor, Bloco III, Sala 40, CEP: 77.001-090, Fundação Universidade Federal do Tocantins, Câmpus Universitário de Palmas, Palmas-TO.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

P228u Parente, Dênis Cardoso.

Utilização de veículo aéreo não tripulado (VANT) na identificação de resíduos de construção civil (RCC) dispostos em locais inadequados.. / Dênis Cardoso Parente. – Palmas, TO, 2016.

78 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2016.

Orientador: Aurélio Pessoa Picanço

1. Resíduo de construção civil. 2. Veículo aéreo não tripulado. 3. Imagem aérea. 4. Ortomosaicos. I. Título

**CDD 628**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

## RESUMO

Existe um número considerável de áreas utilizadas como pontos de descarte de resíduos de construção civil na cidade de Palmas – TO que extrapolam o alcance das ferramentas de controle e fiscalização do município, principalmente em pontos dentro do perímetro urbano. A presente pesquisa tem como objetivo principal verificar a aplicabilidade da utilização de imagens obtidas pelo veículo aéreo não tripulado (VANT), no auxílio da identificação dos resíduos e de pontos de descarte de resíduos de construção civil (RCC) em áreas irregulares da cidade. De posse do instrumento, foram tomadas como unidade amostral áreas de descarte preliminarmente mapeadas por meio de imagens de satélite com resoluções espaciais menos refinadas. Com metodologia que permitisse atestar a potencialidade dos produtos gerados em termos de fotointerpretação, precisões geométricas e geográficas, foram feitos sobrevoos com diferentes sobreposições de imageamento e com a utilização de pontos de controle coletados por meio de GPS de precisão. Os resultados encontrados mostram que as imagens aéreas obtidas e os ortomosaicos gerados podem auxiliar de forma confiável, rápida, segura e com melhores informações na identificação de pontos de lançamento de RCC, atestando que as plataformas VANTs e os sensores passíveis de serem acoplados à elas podem servir adequadamente como tecnologia para sensoriamento remoto, como ênfase no estudo proposto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo de construção civil, veículo aéreo não tripulado, sensoriamento remoto

## **ABSTRACT**

There are a considerable number of areas used as waste disposal points for construction in the city of Palmas - TO, which extrapolate the reach of the control and inspection tools of the municipality, especially in points within the urban perimeter. The present research has as main objective to verify the applicability of the use of images obtained by the unmanned aerial vehicle (UAV), in the aid of the identification of the residues and points of disposal of construction waste (RCC) in irregular areas of the city. Once the instrument was in possession, preliminary sampling areas were mapped using satellite images with less refined spatial resolution. With a methodology that allowed to attest to the potential of the products generated in terms of photointerpretation, geometric and geographic precisions, overflight with different overlays of imaging and with the use of control points collected through precision GPS were made. The results obtained show that the aerial images obtained and the generated ortomosaic can help in a reliable, fast, safe and with better information in the identification of points of launch of RCC, attesting that the platforms VANTs and the sensors that can be coupled to them can Adequately serve as a technology for remote sensing, as an emphasis on the proposed study.

**KEYWORDS:** Civil construction waste, unmanned aerial vehicle, remote sensing

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Palmas e os limites de seu perímetro urbano. (Fonte: Silva, 2015) .....	42
Figura 2. Identificação preliminar de pontos de descarte de RCC. (Fonte: Silva, 2015) .....	43
Figura 3. VANT modelo eBee. (Fonte: autor).....	45
Figura 4. Estação base e rádio transmissor. (Fonte: autor) .....	47
Figura 5. Interface de acompanhamento de sobrevoo. (Fonte: autor) .....	48
Figura 6. Respostas das bandas da câmera RGB. (Fonte: sensifly).....	49
Figura 7. Resposta das bandas da câmera NIR. (Fonte: sensifly) .....	50
Figura 8. Fluxograma de ações para sobrevoo e geração de ortomapa. (Fonte: autor) .....	51
Figura 9. Interface do programa de planejamento de voo. (Fonte: autor) .....	52
Figura 10. Processo de obtenção de imagens por meio de recobrimento. (Fonte: autor).....	53
Figura 11. Trajetória de sobrevoo com sobreposição de 50x65%. (Fonte: autor) .....	54
Figura 12. Trajetória de sobrevoo com sobreposição de 70x85%. (Fonte: autor) .....	54
Figura 13. Trajetória de sobrevoo com sobreposição perpendicular. (Fonte: autor) .....	55
Figura 14. Coleta de coordenada com GPS geodésico. (Fonte: autor).....	57
<b>Figura 15.</b> Marcação no terreno com cal hidratada. (Fonte: autor).....	57
Figura 16. Ponto de marcação identificado em imagem coletada. (Fonte: autor) .....	58
Figura 17. Resíduo de obra em fase de acabamento no setor Berta Ville. (Fonte: autor).....	61
Figura 18. Resíduo de obra em fase de infraestruturação, escavação das fundações na quadra 107 norte. (Fonte: autor) .....	61

Figura 19. Resultados de imagens de um mesmo ponto obtidas com sensor RGB e NIR. (Fonte: autor) .....	62
Figura 20. Mosaico com os pontos de disposição de resíduos em área próxima ao aterro sanitário. (Fonte: autor).....	64
Figura 21. Mosaico com os pontos de disposição de resíduos na quadra 107 Sul, entre as coordenadas 10°10'37,17" e 10°10'51,42"S e 48°20'45,33" e 48°21'11,60"O. (Fonte: autor).....	65
Figura 22. Mosaico com os pontos de disposição de resíduos no setor Berta Ville, entre as coordenadas 10°17'09,52" e 10°17'49,19"S e 48°19'07,51" e 48°18'45,44"O. (Fonte: autor).....	66
Figura 23. Distorções em arestas e cantos de edificações, nas coordenadas 10°21'14,93"S e 48°18'09,37"O. (Fonte: autor).....	68
Figura 24. Falhas na formação da nuvem de pontos do MDS. (Fonte: autor).....	70
Figura 25. Mosaicos com diferentes sobreposições nas coordenadas 10°21'15,30"S e 48°15'47,69"O. (Fonte: autor).....	71
Figura 26. Mosaicos com trajetória perpendicular e sobreposição de 50x65% nas coordenadas 10°21'15,30"S e 48°15'47,69"O. (Fonte: autor) .....	71
Figura 27. Mosaicos com trajetória perpendicular e sobreposição de 70x85% nas coordenadas 10°21'15,30"S e 48°15'47,69"O. (Fonte: autor) .....	72
Figura 28. Ponto de descarte em área fora do perímetro urbano, próxima ao aterro sanitário da cidade nas coordenadas 10°21'19,39"S e 48°15'46,76"O. (Fonte: autor).....	73
Figura 29. Ponto de descarte em área fora do perímetro urbano, próxima ao aterro sanitário da cidade, nas coordenadas 10°21'14,95"S e 48°15'45,70"O. (Fonte: autor).....	74



Figura 30. Ponto de descarte em área dentro do perímetro urbano, próxima à rodovia que dá acesso à cidade de Lajeado – TO, nas coordenadas 10°09'32,73”S e 48°18'14,21”O. (Fonte: autor).....	74
Figura 31. Ponto de descarte em área dentro do perímetro urbano, próxima à rodovia que dá acesso à cidade de Lajeado – TO, nas coordenadas 10°09'32,38”S e 48°18'01,15”O. (Fonte: autor).....	75

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Comparativo da precisão planimétrica entre pontos GNSS e mosaico com sobreposição de 50x65% e sem pontos de controle.....	69
Quadro 2. Comparativo da precisão planimétrica entre pontos GNSS e mosaico com sobreposição de 50x65% e com pontos de controle.....	69
Quadro 3. Comparativo da precisão planimétrica entre pontos GNSS e mosaico com sobreposição de 70x85% e com pontos de controle.....	69
Quadro 4. Comparativo da precisão planimétrica entre pontos GNSS e mosaico com sobreposição de 70x85% e sem pontos de controle.....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fontes de resíduos de construção e causas relacionadas.....	21
Tabela 2. Diversidade de componentes relacionada ao tipo de obra.....	23
Tabela 3. Composição gravimétrica dos RCC no período seco, Palmas -TO.....	23
Tabela 4. Resoluções espaciais e campos de visão. ....	30
Tabela 5. Classificação do sistema mini e micro VANTs. ....	31
Tabela 6. Especificações técnicas dos equipamentos utilizados. ....	46
Tabela 7. Características dos mosaicos obtidos. ....	66
Tabela 8. Características dos mosaicos, de uma mesma área, obtidos com diferentes sobreposições.....	67

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	Objetivo Geral	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>17</b>
2.1	Ambiente construído e sustentabilidade	17
2.2	Resíduos de construção civil (RCC)	18
2.2.1	Conceito e classificação de RCC	18
2.2.2	Histórico da geração do RCC	19
2.2.3	Origem do RCC	20
2.2.4	Composição do RCC	22
2.2.5	RCC e aspectos ambientais	24
2.3	Diretrizes para gerenciamento de RCC	25
2.3.1	Normas de referência	25
2.3.2	Legislações estaduais utilizadas no gerenciamento de RCC	27
2.4	Políticas públicas para RCC	27
2.5	Plataformas Aéreas não Tripuladas (VANTs)	29
2.5.1	Classificação dos VANTs	30
2.5.2	Vantagens da plataforma VANT	32
2.5.3	Aplicações do VANT	33
2.5.4	Elementos do sistema VANT	34
2.6	Regulamentação e segurança aérea	35
2.6.1	Regulação da ANAC	36
2.6.2	Regulação do DECEA	37
2.6.3	Proposta regulatória brasileira	38
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>41</b>
3.1	Área de estudo	41
3.2	Materiais	44
3.2.1	VANT eBee e softwares para voo e processamento de imagens	45
3.2.2	Base	46
3.2.3	Dispositivo de captação de imagem (câmeras)	48
3.3	Procedimentos	50
3.3.1	Planejamento do voo	50
3.3.2	Aquisição das imagens	55

3.3.3	Montagem de mosaicos.....	55
3.3.4	Processamento de imagens com pontos de controle.....	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
4.1	Alcance e autonomia de voo .....	59
4.2	Sensores embarcados .....	60
4.4	Redução do tempo da avaliação ambiental .....	72
4.5	Fotointerpretação e Identificação <i>In loco</i> das imagens pré-selecionadas	
	73	
5	CONCLUSÕES .....	76
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	78
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	79

# 1 INTRODUÇÃO

O histórico de desenvolvimento do país, segundo IBGE (2010), mostra que o Brasil tem 85% de sua população em áreas urbanas e torna-se perceptível que esse crescimento não foi acompanhado pela evolução da infraestrutura e dos serviços urbanos, como o saneamento.

A capacidade de gerir problemas advindos do crescimento das cidades brasileiras, como a geração de resíduos sólidos, deveria estar alicerçada nas diretrizes legais trazidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) e pela Lei Federal de Saneamento Básico (Lei 11.445/2007).

Como um desdobramento dessa geração de resíduos sólidos, tem-se a geração de resíduos de construção civil (RCC), produtos de perdas em processos construtivos e também provenientes de demolições.

Os resíduos da construção civil, de acordo com a resolução 307 (BRASIL, 2002) não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei. Porém, a problemática ambiental envolvendo a grande geração desse tipo de resíduos é notória, bem como as inúmeras interferências no meio ambiente devido seu acúmulo e destinação inadequados (OLIVEIRA, 2014).

Procurando resgatar a capacidade de planejamento eficiente que traga um ambiente salutar, torna-se imprescindível a busca por novas ferramentas que tragam resultados, por conhecimento e apropriação da legislação pertinente à gestão de resíduos sólidos.

Inserido nesse cenário o uso de tecnologias, como informações geográficas, imageamento orbital e aéreo, tem se despontado como ferramenta auxiliar para fins civis e científicos. Já bastante reconhecido, o sensoriamento remoto orbital é uma ferramenta útil, seja em estudos ambientais, avaliação de impacto, identificação de cobertura vegetal, classes de uso e ocupação do solo, agricultura de precisão e mesmo o planejamento urbano (SILVA et al., 2015). No entanto, a sua utilização fica restrita às grandes áreas, em razão da indisponibilidade de imagens com resoluções refinadas em situações temporais favoráveis.

Os Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs) apresentam-se como uma alternativa potencial no processo de obtenção de imagens que auxiliam na

identificação e caracterização de superfícies, cobertura e uso de solo (SILVA, et al, 2015).

VANT, como comumente é conhecido, é um termo genérico que identifica uma aeronave que pode voar sem tripulação, originalmente projetada para operar em situações perigosas e repetitivas em regiões consideradas de difícil acesso (FURTADO et al., 2008). Ele pode ainda imagear áreas extensas por um longo tempo sem intervenção de um operador humano.

A previsão feita por Figueira e Volotão (2013), de que os VANTs estariam disponíveis no mercado, operando em missões que contemplariam desde monitoramento agrícola até o transporte de carga, confirma-se e é evidenciada neste trabalho. Sua utilização vem se expandindo em vários âmbitos desde o planejamento urbano à agricultura de precisão, porém, comprovações precisas da qualidade dos serviços oferecidos pelo equipamento ainda são escassas, abrindo assim uma oportunidade para se estudar e analisar o comportamento deste.

Como cenário para a aplicação da metodologia proposta aqui, tem-se a cidade de Palmas, capital do estado do Tocantins, localizado na região norte do país. O município encontra-se em processo acelerado de urbanização e em constante transformação por meio de obras de infraestrutura, atividades que contribuem diretamente para o aumento do consumo de insumos básicos e consequentemente a geração de RCC.

Segundo Silva (2015), em Palmas foram identificadas, no ano de 2015, 166 (cento e sessenta e seis) áreas de descartes de RCC dentro do perímetro urbano e seu entorno, licenciadas, encerradas, em operação, embargadas e/ou em processo de licenciamento junto ao órgão municipal de licenciamento. Dentre essas estão o aterro sanitário da cidade, ecopontos e áreas particulares, de responsabilidade da prefeitura e/ou de seus proprietários.

O interesse pela realização do presente trabalho surgiu do acompanhamento de questões gerais relacionadas às agressões ambientais na cidade de Palmas, decorrentes de práticas sócio-econômicas locais. Nesse contexto, buscou-se analisar a forma de disposição irregular de RCC, na cidade de Palmas, com perspectiva da utilização da tecnologia VANT como forma de contribuição no processo de identificação desses resíduos e das áreas de descarte.

Muito embora os usos civis e científicos ainda sejam incipientes no Brasil, a prática de utilização da tecnologia de sensoriamento remoto por VANTs para

obtenção de imagens aéreas para os mais diversos fins, como uso e ocupação do solo, planejamento urbano, monitoramento de unidades de conservação e avaliação de impacto ambiental, tem despontado recentemente.

Associadas a essa carência de estudos científicos desenvolvidos, vantagens como mobilidade na aquisição de imagens, mesmo frente às adversidades temporais e treinamento rápido e incisivo, quando comparado com o sensoriamento remoto orbital, acabam por justificar a utilização para a identificação dos resíduos e de pontos clandestinos de lançamento de RCC.

O presente estudo torna-se importante à comunidade científica, técnico-científica e a comunidade tocantinense em geral, ao levantar questões no contexto ecológico-econômico sobre novos mecanismos de fiscalização e controle, como a utilização de plataformas aéreas no processo de identificação de pontos clandestinos de descarte de resíduos. Tais levantamentos inexistem, atualmente, no Estado do Tocantins, sendo este estudo pioneiro na temática. Espera-se que, com tal pioneirismo, os resultados sejam utilizados como instrumentos e subsídios na formulação de políticas públicas de cunho sócio-ambiental direcionadas ao gerenciamento de RCC.

## **1.1 Objetivo Geral**

Identificar resíduos de construção civil e pontos de disposição irregulares por meio de ortoimagens obtidas com VANT na cidade de Palmas - TO.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

- Avaliar a obtenção de imagens em diferentes sobreposições e escalas de resoluções em áreas adjacentes e dentro do perímetro urbano de Palmas – TO;
- Avaliar a obtenção de imagens com sensor RGB e infravermelho no processo de identificação do RCC e dos pontos de descarte;
- Avaliar a potencialidade da tecnologia VANT na identificação de RCC e pontos de descarte clandestino de resíduos, confrontando dados obtidos através das imagens com dados de campo.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Ambiente construído e sustentabilidade

A construção civil é uma das principais molas propulsoras da economia mundial, isso é inegável. Porém, juntamente a essa indiscutível importância para o desenvolvimento do país, a construção civil é apontada como uma das indústrias que mais impactam o meio ambiente (FREITAS, 2011).

O sistema de atividades da indústria da construção civil é compreendido por material de construção, bens de capital para construção, edificações, construções pesada e serviços diversos, que incluem atividades imobiliárias, serviços técnicos de construção e atividades de manutenção de imóveis (MORAIS, 2006).

Vislumbrando a possível escassez de recursos que atendam a demanda da construção civil, segundo dados da CONFEA, os profissionais da área da construção estão revendo seus conceitos, pois, pesquisas e projetos sobre o uso da terra foram retomadas, devido a escassez de matéria-prima se tornar alarmantes. Atualmente, técnicas como essa do uso da terra, embora não comercializadas ainda em longa escala, já começaram a ocupar um papel importante na sociedade.

No 2º Congresso Ibero-Americano sobre Desenvolvimento Sustentável (Sustentável 2007), realizado em São Paulo, no mês de abril, o professor Vanderley Moacir John, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli/USP), explica que não é possível discutir sustentabilidade sem observar que tipo de cidade se está erguendo, e que cada cidade tem suas características e seus problemas. O professor menciona de que cerca de 75% dos recursos naturais extraídos da terra vão acabar em obras de construção, revela que cada metro quadrado construído pesa numa média de 1,2 tonelada. Sendo assim, um residente de um apartamento de 100m<sup>2</sup> terá usufruído 120 toneladas de materiais somente no local onde mora (FREITAS, 2011).

## 2.2 Resíduos de construção civil (RCC)

### 2.2.1 Conceito e classificação de RCC

Termos como RCC, RCD e até mesmo entulhos são comumente utilizados para definir os resíduos provenientes das atividades ligadas à construção civil e as discordâncias não estão ligadas apenas às nomenclaturas. Há discordância também quanto à abrangência das frações presentes e às atividades geradoras.

Levy (1997a) define entulho da construção civil como a parcela mineral proveniente das atividades de construção e demolição de obras. As atividades de infraestrutura que envolvam movimentações de terra, obras de arte e parcelas orgânicas do entulho não são consideradas nessa definição.

Por outro lado, para ZORDAN (1997), RCC são resíduos sólidos não contaminados, provenientes de reformas, construção, reparo e demolição de estruturas e estradas, e resíduos não contaminados de vegetação, resultantes de limpezas e escavações de solos. São contemplados pela mesma definição, solos, madeiras, forros, argamassas, tubulações, plásticos que não camuflem outros resíduos e metais que estiverem inseridos nos itens supracitados.

Segundo a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2002), os resíduos de construção civil são:

Os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliças ou metralha. (CONAMA, 2002).

Como mecanismo para implantação dos programas de gestão de RCC, a referida resolução define, para a construção civil, quatro classes de resíduos, que deverão ter tratamentos distintos:

- Classe A – resíduos reutilizáveis ou recicláveis, como agregados, tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassas, concretos, tubos, meio-fio, solos de terraplanagem, etc;

- Classe B – resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel/papelão, metais, madeiras, etc;
- Classe C – resíduos ainda sem tecnologias ou aplicações economicamente viáveis para a sua reciclagem/recuperação, tais como os oriundos do gesso (tratamento pelo gerador);
- Classe D – perigosos, como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados (tratamento pelo fabricante).

A NBR 10004 traz outra classificação para os resíduos de construção e demolição, classificados por exceção como inertes, classe II B. Para Jhon e Agopyan (2016) a grande maioria desses resíduos, se submetidos á análise, provavelmente seriam classificados como não inertes, especialmente devido ao seu pH e dureza da água absorvida, em alguns casos podendo conter contaminações importantes. Estas contaminações podem tanto ser oriundas da fase de uso da construção a partir dos quais foram gerados quanto do seu manuseio posterior.

Este trabalho vislumbra todo material proveniente de serviços relacionados às obras civis, sejam elas em fase de construção, reforma, demolições, reparos, sejam elas na área da construção civil, infraestrutura ou obras de arte, como sendo RCC.

### *2.2.2 Histórico da geração do RCC*

No início da década de 1980 ocorreu a formação de um comitê técnico na Europa, a chamada Reunião Internacional de Testes e Pesquisas de Laboratórios de Materiais e Construção (Reunion Internationale des Laboratoires d'Essais et Recherches sur les Matériaux et les Construction) - RIMLER com o intuito de estudar os aspectos técnicos dos processos de demolição e reutilização do concreto reciclado em novas matrizes estruturais (WEDLER; HUMMEL, apud LEVY 1997). Segundo os autores, essa primeira importante discussão sobre RCC veio após a 2ª guerra mundial, cenário de remoção de ruínas, entulhos e a necessidade de materiais para reconstrução das áreas destruídas.

Até o 2º simpósio, as atenções estavam voltadas para o reuso do concreto proveniente das demolições. Somente após o 3º encontro promovido é que se

passou a tratar de forma mais generalista dos outros produtos, como alvenaria cerâmica demolida e argamassas (ÂNGULO, 2000).

Além das questões tecnológicas debatidas por entidades, como ACI (American Concrete Institute) e ENBRI (European Network of Building Research Institutes), na 3ª reunião sobre o tema tratou-se da necessidade do planejamento integrado das atividades de produção, demolição, reutilização e gerenciamento de resíduos gerados (ÂNGULO, 2000).

No Brasil, estudos referentes ao RCC e sua reciclagem iniciaram com Cincotto (1983) e Pinto (1986) e hoje têm se desenvolvido com autores como Levy (1997a), Zordan (1997), entre outros. No entanto, ainda se mostra insipiente o conhecimento sobre agregados reciclados e sua influência sobre os componentes gerados.

Outros grupos de trabalho, como a Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC, Instituto Brasileiro de Concreto – IBRACON, entre outros, vêm abordando aspectos abrangentes sobre a gestão dos resíduos de construção civil, com importantes contribuições para a sustentabilidade.

### *2.2.3 Origem do RCC*

O processo de construção civil envolve uma variedade de atividades que são desenvolvidas até que se tenha o produto final, e como todo processo de execução de um trabalho, trazem as perdas, desde a improdutividade de operários à perda de materiais.

Para Pinto (2005), os resíduos gerados em novas construções são provenientes das perdas físicas em canteiro ou podem ficar incorporadas ao produto final, como peças superdimensionadas e espessuras desnecessárias. O autor afirma que em média apenas 50% da massa total do material desperdiçado é entulho.

A forma de classificação das perdas em obras civis partiu do conceito elaborado por Shingo (1981), que as classifica conforme sua natureza ou origem. Dentre elas a que melhor expressa a perda ocasionada por falhas cometidas pela mão de obra é a perda no processamento. Tem origem na própria natureza das atividades do processo ou na execução inadequada dos mesmos. Decorrem da falta de procedimentos padronizados e ineficiências nos métodos de trabalho, da falta de

treinamento da mão de obra ou de deficiências no detalhamento e construtividade dos projetos. São exemplos deste tipo de perdas: quebra de paredes rebocadas para viabilizar a execução das instalações; quebra manual de blocos devido à falta de meios-blocos.

A caracterização da cadeia logística do RCC feita por Pucci (2006) em seu estudo, dentro das exigências estabelecidas pela CONAMA 307/02, foi observado que a geração desses resíduos pode ser dividida em dois subsistemas distintos, e que os mesmos merecem tratamentos específicos, visto a existência de diferentes participantes e etapas em cada um deles.

O primeiro deles é o **subsistema interno à obra**, que trata do resíduo gerado por uma tarefa específica, sua segregação, seu acondicionamento no local da tarefa, seu transporte até o local de armazenamento da obra e armazenamento até sua retirada.

O segundo trata-se do **subsistema externo à obra**, que compreende as etapas de armazenagem do resíduo para retirada, o transporte do resíduo e sua deposição final, sendo que esse subsistema se apresenta muito mais complexo que o primeiro, visto que as responsabilidades por etapa pertencem a diferentes interlocutores.

Na Tabela 1 são apresentadas as fontes e causas da ocorrência de resíduos de construção.

**Tabela 1.** Fontes de resíduos de construção e causas relacionadas.

FONTE DE GERAÇÃO	CAUSAS RELACIONADAS
Projeto	Erros em contratos; Contratos incompletos; Alterações em projetos.
Intervenções em Obras	Decisões erradas na execução das obras; Inobservância de detalhes de projeto.
Escolha e manipulação de materiais	Extravio no transporte até o canteiro e dentro do canteiro; Estocagem inadequada.
Operação	Falhas de operários; Mau funcionamento dos equipamentos; Danos advindos de serviços anteriores; Utilização de materiais impróprios; Sobras de traços de concretos dosados e de cortes

Fonte: Pucci, (2006).

Tendo em vista os dados da Tabela 1, referentes às fontes geradoras de resíduos, o que se pode inferir é que possivelmente a prática de se compatibilizar projetos, estruturar canteiros e fiscalizar obra, podem gerar menos intervenções e menos perdas na produção de edifícios.

#### *2.2.4 Composição do RCC*

A composição do RCC, conforme Pontes (2007), quando comparada com a de outros resíduos, apresenta uma heterogeneidade e características bastante distintas, haja vista que sua composição contém resíduos de todos os materiais utilizados na execução de cada serviço.

Segundo Ângulo (2000), a composição do RCC está ligada a cada tipo de serviço. Novas construções, demolições, reparos e reformas contemplam serviços distintos e com características próprias que são transmitidas aos resíduos gerados.

Além da variabilidade associada diretamente à fonte geradora, ou seja, manutenções, reformas, demolições e construções, a composição desses resíduos está ligada, ainda, ao período, às técnicas de execução dos referidos serviços, ao local de coleta das amostras, ou seja, canteiros, aterros ou bota-fora (MORAIS, 2006).

Muito embora os resíduos apresentem uma diversidade de origem muito grande, o que se percebe é a preponderância de um determinado componente sobre o outro. KARPINSKI, PANDOLFO, et al., (2008) afirmam que haverá sempre um componente que se destaca e as características médias das composições estão associadas aos parâmetros específicos da região geradora e às técnicas construtivas. A Tabela 2 apresenta as categorias de RCC associadas a esses parâmetros.

**Tabela 2.** Diversidade de componentes relacionada ao tipo de obra.

Categorias	Massa de RCC por tipo de obra e/ou atividade				
	Rodoviárias	Escavações	Demolições	Diversas	Limpeza
Concreto	48,0	6,1	54,3	17,5	18,4
Material Cerâmico	-	0,3	6,3	12,0	5,0
Areia	4,6	9,6	1,4	3,3	1,7
Solo	16,8	48,9	11,9	16,1	30,5

Fonte: KARPINSKI, PANDOLFO, et al., (2008).

Os resultados apontados na pesquisa de Silva (2015), realizada em Palmas - TO, mostram uma grande concentração de aglomerados com média de 66,93%, 68,96% nos dois períodos climático respectivamente, indicando seu forte potencial para reutilização em processos de fabricação de produtos e matérias de construção, minimizando o uso de matéria-prima, advindo diretamente do meio ambiente. A Tabela 3, apresenta os resultados obtidos para o período seco em 03 (três) áreas de estudo.

**Tabela 3.** Composição gravimétrica dos RCC no período seco, Palmas -TO.

Materiais	A2	A8	A14	Média	Desvio Padrão
Alumínio	0,07 %	0,07 %	0,07 %	0,07 %	0,07 %
Concreto	12,22 %	12,22 %	12,22 %	12,22 %	12,22 %
Cerâmica	2,11 %	2,84 %	8,39 %	4,45 %	2,11
Aço	0,26 %	1,37 %	0,06 %	0,56 %	0,75
Gesso	1,97 %	3,25 %	4,46 %	3,23 %	1,80
Isopor	0,02 %	1,37 %	0,03 %	0,48 %	0,69
Madeira	2,66 %	2,59 %	1,67 %	2,31 %	1,52
Massa Corrida	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00
Papel	0,00 %	1,68 %	0,38 %	0,69 %	0,83
Pedras ornamentais	0,00 %	10,06 %	1,76 %	3,94 %	1,98
Plástico	1,52 %	1,65 %	0,47 %	1,21 %	1,10
Rocha	0,00 %	2,60 %	0,00 %	0,87 %	0,93

Agregados	79,17 %	52,28 %	69,33 %	66,93 %	8,18
Total	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>23,96</b>

Fonte: SILVA, (2015).

### 2.2.5 RCC e aspectos ambientais

A indústria da construção civil apresenta representativo consumo de recursos naturais, bem como a geração de resíduos, seja ocasionada por perdas na fase de produção e execução das obras ou pela geração de entulho das demolições.

Para Degani (2003), as empresas construtoras são diretamente responsáveis pelas atividades de produção. Todas as atividades envolvidas na execução das obras, além de modificarem o meio ambiente natural e urbano, geram impactos ambientais importantes dos quais se ressaltam a geração de resíduos sólidos e o consumo de grande volume de matéria prima obtida da exploração de recursos naturais não renováveis. Para o autor, entretanto, a atuação das empresas construtoras não se restringe às atividades de produção nos canteiros de obras, elas também têm a capacidade de interferir nas fases de concepção e de utilização do edifício.

As obras duráveis, ou seja, com vida útil prolongada, são resultado do processo de seleção de tecnologias e materiais. A correta escolha dos insumos pode contribuir na obtenção de edifícios com melhor desempenho em termos de consumo e gestão de recursos, além de durabilidade, conforto e saúde. Lembrando, ainda, a sua responsabilidade na redução dos impactos ambientais decorrentes das atividades de demolição (DEGANI, 2003).

Para Ângulo (2000), o setor industrial em alguns casos tem recebido atuação mais significativa do poder público pela sua indiscutível responsabilidade na geração de poluentes que trazem consequências diretas à saúde das populações, como emissões atmosféricas e contaminações hídricas.

Mendes et al., (2004), fala sobre os riscos ocasionados pela disposição final de resíduos de construção em áreas clandestinas, nas margens de rios ou em terrenos baldios. Tal prática é comum na maioria dos municípios brasileiros e ocasiona proliferação de vetores de doenças, obstrução de galerias, assoreamento e contaminação de cursos d'água.



De acordo com a Resolução 001, de 23 de setembro de 1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, a expressão, impacto ambiental significa:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem estar da população, as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais. (CONAMA, 1986).

Angulo e John (2004) relatam ainda que a ausência ou ineficiência de políticas específicas para este resíduo condicionam efeitos ambientais significativos sobre a malha urbana, como o surgimento de aterros clandestinos e o esgotamento de aterros inertes ou sanitários.

Nesse contexto, a reutilização de materiais provenientes das cadeias de produção e demolição de obras civis tem se consolidado como uma eficiente ferramenta para solucionar e/ou minimizar os problemas advindos do não gerenciamento dos resíduos gerados e por outro lado a busca por novos materiais, como os da construção civil, que possam substituir as matérias-primas retiradas do meio ambiente.

Atenuar impactos oriundos das atividades do setor de construção civil requer medidas eficazes e que façam frente ao grande volume gerado. Pontos importantes, como a diversidade dos resíduos, sua qualidade e estudos voltados para as técnicas de reutilização ainda precisam ser aprimorados.

## **2.3 Diretrizes para gerenciamento de RCC**

### *2.3.1 Normas de referência*

Conforme D'Oliveira (2015), as normas que integram as políticas públicas, representam importante instrumento para a viabilização do exercício da responsabilidade para os agentes públicos e os geradores de resíduos. Para viabilizar o manejo correto dos resíduos em áreas específicas, foram preparadas as seguintes normas técnicas:

1. Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação – NBR 15112:2004 – possibilitam o recebimento dos resíduos para posterior triagem e valorização. Têm importante papel na logística da destinação dos resíduos e podem, se licenciados para esta finalidade, processar resíduos para valorização e aproveitamento.
2. Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação – NBR 15113:2004 – solução adequada para disposição dos resíduos da classe A, de acordo com a Resolução CONAMA nº 307, considerando critérios para preservação dos materiais para uso futuro ou disposição adequada ao aproveitamento posterior da área.
3. Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação – NBR 15114:2004 – possibilitam à transformação dos resíduos da construção classe A em agregados reciclados destinados à reinserção na atividade da construção. O exercício das responsabilidades pelo conjunto de agentes envolvidos na geração, destinação, fiscalização e controle institucional sobre os geradores e transportadores de resíduos está relacionado à possibilidade da triagem e valorização dos resíduos que, por sua vez, será viável na medida em que haja especificação técnica para o uso de agregados reciclados pela atividade da construção. As normas técnicas que estabelecem as condições para o uso destes agregados são as seguintes:
4. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos – NBR 15115:2004.
5. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos – NBR 15116:2004

### 2.3.2 Legislações estaduais utilizadas no gerenciamento de RCC

Na esfera estadual, a Lei Nº 261, de 20 de Fevereiro de 199, dispõe sobre a política ambiental do Estado do Tocantins, sua elaboração, implementação e acompanhamento, instituindo princípios, fixando objetivos e normas básicas para proteção do meio ambiente e melhorias da qualidade de vida da população.

No seu Art 8º, a Lei estabelece que o Estado do Tocantins, por meio do Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS, adotará todas as medidas legais e administrativas necessárias à proteção do meio ambiente e à prevenção da degradação ambiental de qualquer origem e natureza, bem como diretrizes de proteção ambiental para as atividades que interfiram ou possam interferir na qualidade do meio ambiente, normas e padrões de qualidade ambiental, inclusive fixando padrões de emissão e condições de lançamento e disposições para resíduos, rejeitos e efluentes de qualquer natureza.

## 2.4 Políticas públicas para RCC

Os impactos ambientais, sociais e econômicos causados pelos RCC, demonstram, de forma clara, a necessidade da existência de políticas públicas que possam incentivar a redução da geração de resíduos, avaliar os impactos gerados e fornecer subsídios ao setor da construção civil, para que esse possa realizar um gerenciamento eficiente voltado para uma postura ambientalmente correta (SANTOS, 2007).

Jadovski (2005) destaca as seguintes ações, sendo que algumas são compartilhadas por outros autores:

- implementação de políticas públicas de gestão integrada dos RCC (Resolução Nº 307 do CONAMA) (BRASIL, 2002), fiscalização destas políticas e da correta disposição dos resíduos por parte dos geradores;
- incentivos fiscais com redução ou isenção de impostos, tais como PIS/COFINS (esfera federal) e ICMS (esfera estadual), aumentando desta forma a viabilidade de implantação de usinas privadas de triagem de resíduos;

- aumento de taxas sobre o volume de RCC disposto em aterros de forma a priorizar a reciclagem e responsabilizar o gerador e quem faz uso dos recursos naturais;
- articulação dos diferentes agentes envolvidos (pequenos geradores, grandes geradores, transportadores de RCC, entes públicos) nas atividades vinculadas com a indústria da construção civil para redução do seu impacto ambiental;
- ação indutora do setor público para utilização de materiais reciclados, exercendo o seu poder de compra e estabelecendo a obrigatoriedade de utilização de agregados reciclados em obras públicas, construindo parcerias com a iniciativa privada, com as associações de catadores e entre municípios conurbados, bem como o aproveitamento de antigas instalações de mineração desativadas.

A ausência de uma política pública nacional voltada para a gestão do RCC, situação que começou a se alterar apenas em 2002 com a publicação da resolução CONAMA 307, afeta a qualidade do gerenciamento público desses resíduos. Políticas públicas vigentes em outros países induzem os RCC a uma destinação mais nobre que vias e logradouros públicos. Nos Estados Unidos há cerca de 3.500 unidades de reciclagem de RCC; correspondem a cerca de 25% do total de RCC reciclado. Na Europa, a média de reciclagem dos RCC é de 28%. Nos Países Baixos, esta é bem mais alta: em 2000, foram aproveitados 90% dos resíduos da construção, 16,5 milhões de toneladas (SCHNEIDER, 2003).

A destinação de uma importante fração da massa de RCC gerada não é feita em áreas adequadas, o que fica evidente pela existência de centenas de pontos críticos de disposição de resíduos, lotes desocupados, vias e logradouros públicos que sofrem sistemática deposição irregular de RCC, que “comprometem a paisagem urbana, o tráfego de pedestres e de veículos e a drenagem urbana, além da atração de resíduos não inertes (e também, provavelmente, resíduos perigosos), multiplicação de vetores de doenças e outros efeitos” conforme observado em diversas cidades brasileiras (SCHNEIDER, 2003).

A preocupação com resíduos de construção na Europa e estados unidos começou logo após a Segunda Guerra Mundial enquanto no Brasil essa preocupação é recente. Contudo, vários passos têm sido dados com vistas a minorar a problemática

advinda com a produção dos RCC, e, hoje, no Brasil, a gestão da indústria da construção civil é uma imposição legal, devendo ser implementada e fiscalizada (AGOPYAN e JOHN, 2000).

Para Oliveira et al., (2015) a ampliação do espaço urbano que acontece em Palmas - TO, praticamente, inviabiliza soluções minimamente satisfatórias de acesso à cidade e gera graves problemas para o poder público local, que terá de dispor de verbas mais elevadas para instalar infraestruturas que garanta, por exemplo a coleta ou mesmo limpeza de áreas utilizadas como pontos de descarte de resíduos.

## **2.5 Plataformas Aéreas não Tripuladas (VANTs)**

O Sistema Aéreo Não Tripulado (UAS) ou Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) dispõe de uma estação de controle para operação humana, podendo ser equipado com vários sensores, tais como, câmeras, infravermelho, radar, GPS ou outros dispositivos de comunicação especializado e próprio adequado a cada tipo de aeronave. Dentre as vantagens do uso dos VANTs tem-se a capacidade de transferência de dados em tempo real entre a aeronave e a estação de controle, além de realizar voos mais rápidos, seguros e com um baixo custo quanto comparado a aeronaves tripuladas (MELO, et al., 2015).

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) comenta que VANT ou drone, palavra inglesa que significa "zangão", na tradução literal para a língua portuguesa, como comumente é chamado, é uma aeronave projetada para operar sem o comando de um piloto a bordo que tenha uma carga útil embarcada e que não seja utilizada para fins meramente recreativos. Compreende como carga útil qualquer e equipamento que não seja necessária para o drone voar, por exemplo, uma câmera.

Esses equipamentos são geralmente utilizados de forma consociada a sensores mais leves e que possibilitam a sobreposição de imagens, gerando conseqüentemente ortomapas com qualidade de resolução superior e a mesma cobertura em sobrevoos se comparados a sensores maiores. De forma não menos importantes, a sua leveza e instabilidade no ar mostram-se como limitações que implicam em resultados menos precisos para orientação dos sensores (EINSEBEISS, 2009).

Uma visão geral das plataformas de sensoriamento remoto é apresentada por Einsebeiss (2009) na Tabela 4. Resoluções espaciais típicas de seus canais multiespectrais e com os seus típicos campos de visão (FOV) são especificados e mostram a diferença na resolução atual, em centímetros, para o nível milímetro, que poderiam idealmente ser preenchidos por VANTs.

**Tabela 4.** Resoluções espaciais e campos de visão.

Plataforma de Sensoriamento Remoto	Resolução espacial típica (m)	Típicos campos de visão (FOV) (Km)
Satélite	2 - 15	10 - 50
Aeronaves pilotadas	0,2 - 2	2 - 5
Mini VANTs	0,01 – 0,2	0,05 - 0,5

Fonte: Einsebeiss, (2009).

### 2.5.1 Classificação dos VANTs

Com uma variedade de formas, tamanhos, configurações e características, os VANTs podem operar basicamente de duas formas, uma delas a partir de um local remoto e outra de forma autônoma, por meio de voos programados. Na maioria dos casos os softwares de programação e controle de voo permitem que os controladores alternem entre controles manuais e autônomos, ou seja, pode haver a troca de controle durante a missão (PEGORARO et al., 2013).

Silva (2013) relata que na ausência de normas internacionalmente aceitas, cada país, desenvolve suas próprias regras para classificar os VANT's em diversas categorias. Uma classificação bastante difundida, definida pela UVS International (Associação Internacional de VANT's), combina variáveis como alcance, altura de voo, autonomia em horas e peso para agrupar os VANT's em categorias como:

- Mini - baixa altitude e autonomia, para sistemas com alcance menor que 10 km e autonomia inferior a 2 horas;
- MRE (Medium Range Endurance), para alcance acima de 500 km e autonomia de 10 a 18 horas;

- MALE (Medium Altitude Long Endurance), com altitude de 5/8.000 m e autonomia de 24 a 48 horas; e
- HALE (High Altitude Long Endurance), para sistemas com altitude de 20.000 metros e autonomia de 24 a 48 horas.

A Associação Europeia dos Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados (EUROUVS), observando o avanço tecnológico das aeronaves não tripuladas, elaborou uma classificação desses sistemas, a qual dá uma visão geral do estado dos equipamentos levando-se em conta características como carga máxima na decolagem, altura máxima de voo, autonomia de bateria e alcance do link de rádio (BENTO, 2008). A Tabela 5 apresenta essa classificação.

**Tabela 5.** Classificação do sistema mini e micro VANTs.

<b>Categoria</b>	<b>Carga máxima de decolagem (Kg)</b>	<b>Altura máxima de voo (m)</b>	<b>Autonomia de voo (h)</b>	<b>Alcance do Data Link (Km)</b>
Micro	< 5	250	< 1	<10
Mini	< 30	150 - 300	< 2	<10

Fonte: Bento, (2008).

No Brasil, segundo Faria e Costa (2015), haja vista que os debates sobre os drones ainda se encontram em fase embrionária, inexistindo, portanto, doutrina consistente que sustente qualquer tipo de classificação, convencionou-se destacar a classificação apresentada pela Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea (EsaCosAAe), que assim o classifica:

- a) Alcance Aproximado (*CR – Close Range*): apresenta como principal característica seu pequeno raio de ação de aproximadamente 30 km e uma autonomia de voo de uma a seis horas. Suas missões mais comuns são: reconhecimento diurno e noturno, vigilância, guerra eletrônica e detecção de agentes químicos;
- b) Curto Alcance (*SR – Short Range*): apresenta alcance de no mínimo 100 km e no máximo 300 km, trata-se de equipamentos de utilização de nível tático. Possui autonomia para oito a doze horas de voo e possibilidade de condução de sensores mais sofisticados. São utilizados principalmente para missões de alcance

aproximado, tarefas de Comando e Controle, busca de alvos e avaliação tática de danos;

c) Médio Alcance (*MAE – Medium Altitude Endurance*): possui um raio de ação aproximado de 700 km e autonomia de voo de cerca de doze horas, além da possibilidade de sensores que transmitem em tempo real as informações coletadas, estes VANT têm condições de realizar reconhecimentos profundos, ampliando a capacidade de um grupo de aeronaves atacantes; e

d) Grande Autonomia (*HAE – High Altitude Endurance*): estas aeronaves não tripuladas possuem capacidade de realizar incursões de cunho estratégico a grandes distâncias e utilizando um teto de voo elevado. Para tanto, necessitam de um considerável raio de ação e podem conduzir desde sensores altamente sofisticados como armamentos inteligentes.

### 2.5.2 Vantagens da plataforma VANT

Segundo Siebert e Teizer (2014), a versatilidade e o baixo custo são umas das principais atrações, pois os levantamentos oferecem a possibilidade de uma resolução temporal totalmente flexível, considerando que pode realizar vários voos em épocas diferentes da mesma área e são considerados mais baratos que aerolevantamentos por veículos aéreos tripulados. Além disso, é possível adquirir imagens aéreas com melhores resoluções espaciais, livre de interferência de obstáculos atmosféricos como nebulosidade e gases. Sendo assim obtêm-se imagens com alto grau de sobreposição, o que possibilita a visão tridimensional de objetos a partir de duas ou mais imagens planas tomadas de posições diferentes (estereoscopia).

Outra vantagem dos VANTs é realização de voos em operações de maior risco sem comprometer a vida humana, voos em altitudes baixas e em áreas inacessíveis, como floresta densa, planície de inundações, zonas montanhosas e desertas.

Além disso, os VANT oferecem imagens em tempo real e podendo enviá-las a estação de base. Este procedimento permite avaliar a qualidade dos dados, e desta forma efetuar novamente o procedimento para melhorar os resultados.



### 2.5.3 Aplicações do VANT

Os VANTs vêm sendo empregados nas mais variadas aplicações, desde entrega de produtos (RODRIGUES et al., 2014), monitoramento de doenças e infestações de insetos (GARCIA-RUIZ et al., 2013), pulverização e outras aplicações na agricultura (Simpson, 2003), monitoramento de impactos ambientais (LONGHITANO, 2010), gestão pública (PEGORARO et al. 2013), mapeamento de sítios arqueológicos e controle da quantidade de animais e sua migração (AEROSPACE, 2012), dentre outras.

Para Júnior (2015), o VANT tem se mostrado uma excelente ferramenta de obtenção de imagens com resoluções melhores, a baixo custo e alta resolução temporal. Essas características têm popularizado seu uso, principalmente para atualização e confecção de mapas, em áreas afastadas ou próximas onde o uso da fotogrametria convencional torna a execução do trabalho economicamente inviável.

Sua utilização vem ganhando mercado em razão da sua agilidade na tomada de imagens e no processamento destas, gerando resultados em tempo real. Se comparado a outros sensores disponíveis, os VANTs se destacam devido à sua resolução espacial, liberdade ao operador do equipamento para a obtenção de imagens em diferentes momentos, facilidade no desenvolvimento de planos de voos, além da grande possibilidade de se estruturar uma base com imagens multitemporais (BRAZ, et al., 2015).

Diante da necessidade de se monitorar áreas e realizar mapeamentos em grande escala, a aplicação de VANT vem se despontando no mercado de mapeamentos digitais, e trazendo características, como ganho na resolução espacial e temporal (ALONÇO et al. 2005).

Essa tecnologia teve crescimento significativo devido o surgimento de diversos projetos em universidades, agências espaciais, assim como para empresas privadas. Segundo Ministério da Defesa em sua Portaria Normativa nº. 606/MD de 11 de junho de 2004, os VANT possuem aplicações tais como: reconhecimento; vigilância; busca de alvos; inteligência; guerra eletrônica; e Comando e Controle.

Observa-se no Brasil o crescente uso de VANTs para aplicações em agricultura de precisão, como mostra o estudo de (JORGE et al., 2014), mostrando a eficiência em detectar com alta precisão a infestação de doenças destrutivas encontradas na agricultura de citros no Brasil. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) tem investido no desenvolvimento de plataformas

capazes de operar nas diversas condições em áreas agrícolas, desenvolvendo softwares de sistema de captura de imagens adequadas para diferentes aplicações, bem como nos projetos de aeronaves para aplicações agrícolas.

Os voos em menores alturas e a captura de imagens com resoluções melhores tem impulsionado seu uso na agricultura, proporcionando também um mapeamento completo da área de plantação em tempos inferiores quando comparado a um veículo tradicional, fazendo com que os agricultores possam ter a noção exata de produção.

Em outras áreas sua utilização também tem ganhado destaque, tais como:

- Filmagem;
- Gestão pública;
- Mapeamento de sítios arqueológicos, controle da quantidade de animais silvestres e sua migração;
- Monitoramento criadouros de vetores de doenças;
- Infestações de insetos, pulverização e outras aplicações na agricultura;
- Monitoramento de impactos ambientais;
- Aerofotogrametria;
- Segurança pública;
- Agricultura de precisão.

Em muitas outras situações seu uso pode ser essencial para o monitoramento, pois como descreve (ASSIS et al., 2014), na tarefa do mapeamento de classes de paisagens, foram encontradas algumas dificuldades como inacessibilidade a alguns locais para a validação dos dados, além da impossibilidade de realizar um mapeamento em nível detalhado devido à escala utilizada a partir das imagens de satélite, inviabilizando a visualização da complexa diversidade de cobertura e uso da região.

#### *2.5.4 Elementos do sistema VANT*

Os elementos que compõem o sistema VANT, conforme Austin (2010), são a estação de base, a carga embarcada (câmeras e baterias) e a aeronave. A estação base é o centro do controle da operação homem-máquina. É instalada no local onde a aeronave será lançada. Geralmente é o local onde o voo é pré-programado. Existe

a possibilidade de o plano de voo ser também ser projetada de uma estação de controle central ou em um escritório.

Conforme descrevem Barnhart (2011), a estação de base envia e recebe informações ao VANT, dirigindo e controlando o voo. É na estação de base que se tem informações relevantes aos aspectos do voo, como por exemplo: velocidade, altitude, temperatura, posição geográfica da aeronave e etc. Conforme a complexidade do voo, pode haver também mais de uma estação de base para um mesmo VANT, sendo que essas estações podem efetuar o revezamento na operação da aeronave.

A carga embarcada pode tratar-se de equipamentos de filmagem e fotografia (câmeras fotográficas, de vídeo e câmeras de sensor infravermelho), equipamentos de comunicações, sensores aéreos e de georreferenciamento, GPS e sistema de inercia, todos próprios para operação em VANTs (BARNHART et al., 2012).

Ainda conforme apresentam Barnhart et al. (2012), os aparelhos podem ser instalados na aeronave em sistemas de fixação com liberdade e amplitude de movimento, e mecanismos de estabilização e isolamento de vibrações, com vistas à qualidade e clareza das imagens a serem captadas. Os sensores podem ser: a) eletro-ópticos, para captação da imagem real; b) infravermelhos, que captam a energia infravermelha (calor) emitida pelos objetos e a transforma em imagens, tendo assim a possibilidade da “visão noturna”; c) a laser, emitindo feixes para determinação da distância de um objeto, o que pode ser utilizado para designação de alvos.

O VANT é responsável por conduzir os sensores e os diversos equipamentos necessários ao seu funcionamento. O tipo de aeronave dependerá da finalidade do voo e do tipo de sensores embarcados. Os fatores de influência na escolha da aeronave são: duração da bateria, autonomia de voo, peso, tipo de sensor (câmera) ideal para determinado trabalho, resolução espacial, formas de operação dos VANTs, entre outros.

## **2.6 Regulamentação e segurança aérea**

Na aviação o órgão máximo de regulamentação é a ICAO (International Civil Aviation Organization), com sede em Montreal, no Canadá. A ICAO é uma agência especializada das Nações Unidas, criado com intuito de promover o

desenvolvimento seguro e ordenado da aviação internacional em todo o mundo. Sendo assim, é responsável por estabelecer normas para a área de aviação.

A Organização Internacional para a Aviação Civil (ICAO) define, nos anexos à Convenção de Chicago, aeronave como sendo “qualquer máquina que consiga uma sustentação na atmosfera devido às reações do ar, para além das reações do ar contra a superfície da terra” (ICAO 2011).

No ano de 2011 foi emitida pela agência a Circular 328, que traz em seu conteúdo normas práticas recomendadas e orientações para a padronização dos procedimentos de navegações aéreas para veículos não tripulados. O objetivo dessas normas é fazer com que as operações dessas aeronaves tenham os mesmos mecanismos de segurança que as aeronaves tripuladas, e tragam aos países a possibilidade de elaborar leis aeronáuticas próprias que permitam uma operação de rotina tão segura quanto às das aeronaves tripuladas.

No Brasil a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC é responsável por supervisionar a atividade de aviação civil, sendo competente para elaborar uma regulamentação específica para os VANTs.

Conforme a legislação brasileira, que acompanha as normas internacionais, VANT é considerado aeronave e, portanto, deve se sujeitar à legislação aeronáutica (ANAC, 2012b). Sendo assim, nenhum VANT civil pode operar em espaço aéreo brasileiro sem autorização da ANAC e de outros órgãos, como Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), Agência Nacional de Telecomunicação (ANATEL) e, em alguns casos, do Ministério da Defesa ou Comando da Aeronáutica.

### *2.6.1 Regulação da ANAC*

Para a operação de um VANT deve ser solicitada à ANAC a emissão de um Certificado de Autorização de Voo Experimental, o chamado CAVE, o qual deve ser específico para aquela aeronave, que deve ser apresentada a ANAC. Esse certificado é uma autorização de voo experimental, isto é, para propósito não comercial (pesquisa científica e desenvolvimento, mapeamento, estudo atmosférico, etc.), estando proibida a operação de um VANT fora dos propósitos para os quais o certificado foi emitido (RODRIGUES, 2015).

As operações que não são caracterizadas como experimentais, que tenham fins lucrativos, ainda não dispõem de legislação aplicável. O solicitante deve submeter à ANAC o pedido de emissão da autorização para voo, que, após parecer da área técnica, aprecia e delibera individualmente cada pedido, considerando os aspectos de risco as pessoas, bens e outras aeronaves (RODRIGUES, 2015).

De forma sucinta, a autorização deve apresentar todos os dados da aeronave, descrição da operação, dos membros da equipe envolvida no voo, manuais programas de manutenção. A ANAC fará uma avaliação de segurança e inspeção da aeronavegabilidade para deliberar pela emissão ou não do CAVE, que terá validade de 1 ano.

Cabe lembrar que o não cumprimento das limitações e condições impostas pelo certificado, bem como a operação de forma negligente da aeronave, o mesmo pode ser suspenso ou cancelado. Como prerrogativa para emissão do CAVE tem-se que a aeronave esteja registrada no Registro Aeronáutico Brasileiro - RAB, bem como possuir marcas de matrícula.

### *2.6.2 Regulação do DECEA*

A regularização da aeronave junto à ANAC, isto é, mesmo que o CAVE seja expedido, sua operação não será iniciada sem que se submeta às regras de acesso ao espaço aéreo. A FAB (2015) esclarece que qualquer objeto que se desprenda do chão e seja capaz de se sustentar na atmosfera, como propósito diferente de diversão, precisa de autorização do DECEA, a exemplo do que se aplica às aeronaves tripuladas.

A regra é geral para todas as aeronaves, sejam elas tripuladas ou não, já que é imprescindível a autorização para o voo. Da mesma forma, a exceção para os dois casos, também é a mesma, os voos que tenham por fim lazer, esporte, hobby ou competição, apresentam regras próprias.

O pedido de Autorização de Voo para o VANT deverá ser encaminhada para o DECEA, por meio do CINDACTA (Centros Integrados de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo) com jurisdição sobre a área do voo. DECEA (2010, p. 5) define os requisitos para aprovação da solicitação bem como aqueles que deverão ser observados durante a operação do VANT:

- A operação de qualquer tipo de VANT não deverá aumentar o risco para pessoas e propriedades (no ar ou no solo);
- A garantia de manter, pelo menos, o mesmo padrão de segurança exigido para as aeronaves tripuladas;
- proibição do voo sobre cidades, povoados, lugares habitados ou sobre grupo de pessoas ao ar livre;
- Os VANTs deverão se adequar às regras e sistemas existentes, e não receberão nenhum tratamento especial por parte dos Órgãos de Controle de Tráfego Aéreo;
- O voo somente poderá ocorrer em espaço aéreo segregado, definido por NOTAM, ficando proibida a operação em espaço aéreo compartilhado com aeronaves tripuladas; e
- Quando for utilizado aeródromo compartilhado para a operação do VANT, as operações devem ser paralisadas a partir do início do táxi ou procedimento equivalente até o abandono do circuito de tráfego, na sua saída, e da entrada no circuito de tráfego até o estacionamento total, na sua chegada.

As informações requeridas pelo DECEA para autorização de voo são apresentadas em um formulário padrão. Em linhas gerais, as informações solicitadas contemplam as características técnicas e operacionais da aeronave, característica da operação pretendida e característica da Estação Remota de Pilotagem.

### *2.6.3 Proposta regulatória brasileira*

Em fevereiro de 2014, no 2º Workshop sobre Aeronaves Remotamente Pilotadas - RPAs, foram apresentadas propostas de alteração da regulamentação do VANT no Brasil, contando o evento com a participação dos órgãos governamentais de regulação e operação, DECEA, ANAC, ANATEL, bem como fabricantes de aeronaves.

A proposta de norma discutida teve como premissas a viabilização das operações, desde que a segurança das pessoas possa ser preservada, minimizar ônus administrativos e burocracia, tendo em vista que as regras fossem

estabelecidas de acordo com o nível de complexidade e risco envolvido nas operações, e permitir evolução do regulamento conforme o desenvolvimento do setor (ANAC, 2014).

Na proposta apresentada todas as aeronaves remotamente pilotadas foram classificadas em três classes:

- **Classe 1 (peso maior que 150 kg) – Aeronaves** deverão ser certificadas pela ANAC, serão registradas no Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB) e pilotos deverão possuir Certificado Médico Aeronáutico (CMA), licença e habilitação. Todos os voos deverão ser registrados.
- **Classe 2 (peso menor ou igual a 150 kg e maior que 25 kg) – Aeronaves** não precisarão ser certificadas, mas os fabricantes deverão observar os requisitos técnicos exigidos e ter o projeto aprovado pela Agência. Também deverão ser registradas no RAB e pilotos deverão possuir CMA, licença e habilitação. Todos os voos também deverão ser registrados.
- **Classe 3 (peso menor ou igual a 25 kg)** - Se operados até 400 pés acima do nível do solo (aproximadamente 120 metros) e em linha visada visual, serão apenas cadastrados (apresentação de informações sobre o operador e o equipamento). Não será requerido CMA nem será necessário registrar os voos. Licença e habilitação somente serão requeridas para quem pretender operar acima de 400 pés. As operações de RPA até 25 kg só poderão ocorrer a uma distância mínima de 30 metros de uma pessoa. A distância pode ser menor no caso de pessoas anuentes (aquelas que concordarem expressamente com a operação) ou de pessoas envolvidas na operação. Em áreas urbanas e aglomerados rurais, as operações serão de no máximo 200 pés acima do nível do solo (aproximadamente 60 metros).

Outros pontos, como idade mínima de 18 anos para os pilotos, exigência de seguro com coberturas de danos a terceiros para todas as aeronaves não tripuladas, com exceção de órgão de segurança pública e defesa civil, e atividades ilícitas ou invasão de privacidade naturalmente tratadas pelas autoridades competentes, também foram colocadas como propostas (ANAC, 2014).

No Brasil tanto o VANT quanto o aeromodelismo possuem regulação própria. No caso do aeromodelo, há apenas a necessidade que seu operador

observe regras operacionais. Para o VANT há a necessidade de se obter o Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE) para a aeronave junto a ANAC e a Autorização de Voo junto ao DECEA. A legislação brasileira atual permite apenas voos em caráter experimental (propósitos de pesquisa e desenvolvimento, treinamento de tripulações e/ou pesquisa de mercado) e sempre em espaço aéreo segregado, isto é, não compartilhado com as demais aeronaves. Nesse sentido não é possível atualmente no Brasil hoje por exemplo se ter uma empresa de filmagem de eventos utilizando VANT, já que os mesmos teriam caráter comercial (não-experimental) (ANAC, 2014).

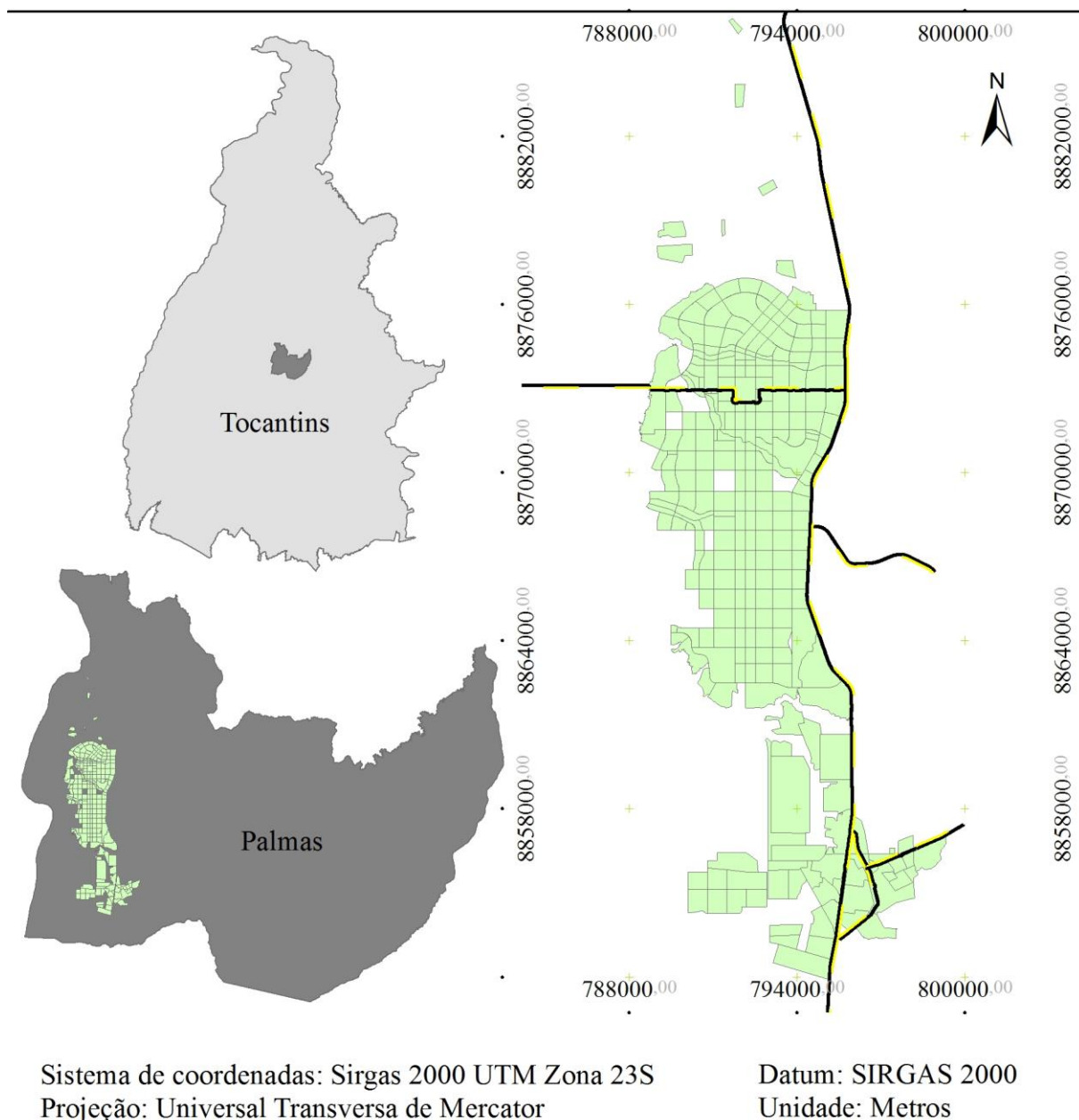


### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Serão apresentados aqui os materiais e métodos utilizados neste trabalho, bem como o delineamento das áreas de estudos e o que motivou as escolhas para a realização do trabalho de campo. Destacam-se ainda as características e especificidades dos equipamentos utilizados na aquisição das imagens, descrições dos softwares utilizados e suas aplicações em cada etapa da pesquisa.

#### **3.1 Área de estudo**

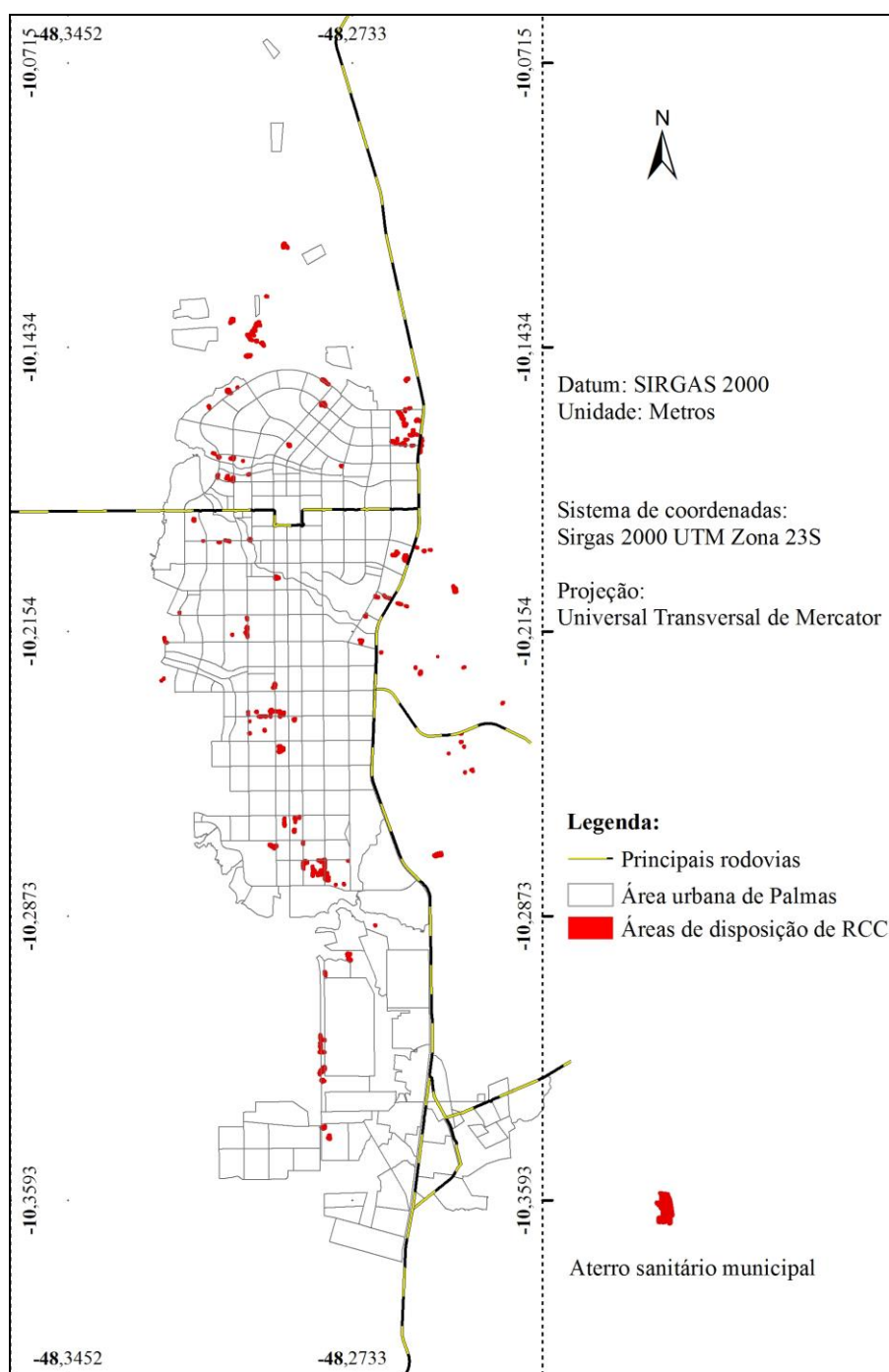
O município de Palmas, cenário para o desenvolvimento da pesquisa, está localizado na região central do Tocantins, norte do Brasil (Figura 1). À margem direita do rio Tocantins, a cidade possui 279.856 habitantes e área de 2.218,94 km<sup>2</sup> (IBGE, 2016). Limita-se ao norte com os municípios de Aparecida do Rio Negro, Novo Acordo, Lajeado, Tocantínia e Miracema do Tocantins, ao sul com Monte do Carmo e Porto Nacional, ao leste com os municípios de Santa Tereza do Tocantins e Novo Acordo e a oeste com Porto Nacional e Miracema do Tocantins (PALMAS, 2014).



**Figura 1.** Palmas e os limites de seu perímetro urbano. (Fonte: Silva, 2015)

Como parcelas amostrais foram sobrevoadas 4 áreas dentro do perímetro urbano, 2 quadras no perímetro urbano e 2 áreas fora do perímetro urbano.

A escolha das áreas está fundamentada pelo mapa preliminar de identificação de áreas de disposição de RCC, gerado por Silva (2015). Por meio do uso de tecnologia computacional foram feitas análises da área urbana de Palmas – TO e a interpretação de imagens de satélite do software Google Earth que possibilitaram a identificação de pontos de concentração de resíduos distribuídos em toda a área urbana do distrito sede e áreas adjacentes, conforme Figura 2.



**Figura 2.** Identificação preliminar de pontos de descarte de RCC.  
(Fonte: Silva, 2015)

Segundo Silva (2015) as áreas identificadas como depósitos de RCC totalizaram 166 locais que equivalem a uma área total de aproximadamente 54,25ha e encontram-se distribuídas por quase toda área urbana de Palmas, região sul e nas áreas periféricas da cidade, principalmente as margeando as principais vias públicas

urbanas em áreas destinadas a pequenas propriedades rurais (chácaras) espalhadas no entorno da cidade. Fora da área urbana estão incluídos pontos nas proximidades do aterro sanitário municipal e alguns ecopontos licenciados para este fim, os quais operam com procedimentos que visam a destinação adequado dos RCC e recuperação de voçorocas.

### **3.2 Materiais**

A escolha da ferramenta a ser utilizada, a aeronave a qual foi acoplado o sensor de captura das imagens e todos os seus periféricos, aconteceu de forma preliminar, planejada e, principalmente, vinculada à necessidade da pesquisa e particularidades do ambiente urbano. A simplicidade na execução dos planos de voos, autonomia e mobilidade frente à falta de áreas para decolagem e pouso, contribuíram para a escolha do modelo eBee da Sensify.

Vias movimentadas, pavimentadas e a presença de edifícios em grande parte das quadras do perímetro urbano da área de estudo estabeleceram uma série de limitações e entraves no processo de obtenção das imagens. Seria necessária uma ferramenta que demandasse de pequenas áreas para decolagem e pouso, bem como Operação em Linha de Visada Visual (Visual Line of Sight – VLOS operation), onde o piloto remoto mantém constante contato visual direto com o VANT ou o aeromodelo com vistas a manter as separações previstas e prevenir colisões.

Quanto aos sensores de captura de imagens, foram utilizadas câmaras fotográficas compatíveis com o sistema, uma estação base que permitisse à obtenção dos dados de telemetria e link de rádio em tempo real para controle e visualização a distância. Este conjunto integrado de equipamentos formou o sistema operacional para a obtenção dos dados almejados. Tais equipamentos são disponibilizados no mercado como acessórios que se adequados à cada modelo de aeronave, acionados automaticamente durante as missões.

### 3.2.1 VANT eBee e softwares para voo e processamento de imagens

O eBee permite realizar a tomada de fotos de forma rápida e sob demanda. Possui inteligência artificial para realizar a decolagem, o voo e a aterrissagem automaticamente. As imagens são capturadas durante o voo de forma a garantir a sobreposição necessária à cobertura da área delimitada em plano.

A aeronave, Figura 3, vem acompanhada do software Emotion 2, que permite a configuração prévia do plano de sobrevoo bem como alteração do mesmo em tempo real. O mesmo software configura-se como uma plataforma de onde é possível definir a altitude, resolução e sobreposição longitudinal e latitudinal da área a ser sobrevoada, altitude, velocidade do vento, nível de bateria e sinal de rádio em tempo real. Ainda por meio de sistema inercial e do GPS (Global Position System) ou opcionalmente GPS com sensor RTK (Real Time Kinetics - precisão relativa de centímetros) embarcado à aeronave proporciona a posição e orientação de cada imagem.



**Figura 3.** VANT modelo eBee. (Fonte: autor)

As características técnicas do VANT modelo eBee escolhido estão especificadas na Tabela 6.

**Tabela 6.** Especificações técnicas dos equipamentos utilizados.

<b>Especificações técnicas</b>	
<b>Ferragens</b>	
Peso (inc. Câmera fornecida)	Aprox.0,69 kg (1,52 libras)
Envergadura	96 cm (38 pol)
Material	EPP espuma, estrutura de carbono e peças compostas
Propulsão	Empurrador elétrico hélice, 160 W brushless motor DC
Bateria	11,1 V, 2150 mAh
Câmera (fornecido)	WX (18.2 MP)
Câmeras (opcional)	S110 RGB, thermoMAP
Carry dimensões da caixa	55 x 45 x 25 cm (21,6 x 17,7 x 9,8 pol)
<b>Operação</b>	
O tempo máximo de voo	50 minutos
Velocidade nominal de cruzeiro	40-90 km / h (11-25 m / s ou 25-56 mph)
Faixa de ligação de rádio	Até 3 km (1,86 milhas)
A cobertura máxima (vôo single)	12 km <sup>2</sup> / 4.6 milhas quadradas (at 974 m / 3.195 pés de altitude AGL)
Resistência ao vento	Até 45 km / h (12 m / s ou 28 mph)
Chão Distância Amostragem (GSD)	Para baixo para 1,5 cm (0,6 polegadas) por pixel
Ortomosaico relativa precisão do modelo / 3D	1-3x GSD
Absoluta precisão horizontal / vertical (w / GCPs)	Para baixo a 3 cm (1,2 polegadas) / 5 cm (2 polegadas)
Absoluta precisão horizontal / vertical (sem GCPs)	1-5 m (3.3-16.4 pés)
Operação multi-robô	Sim (inc. Meados de ar anti-colisão)
Planejamento de vôo 3D automática	Sim
Precisão de Aterragem Linear	Aprox.5 m (16,4 pés)
<b>Programas</b>	
Planejamento e controle de vôo (fornecido)	Emotion 2
Processamento de imagem (opcional)	Terra 3D

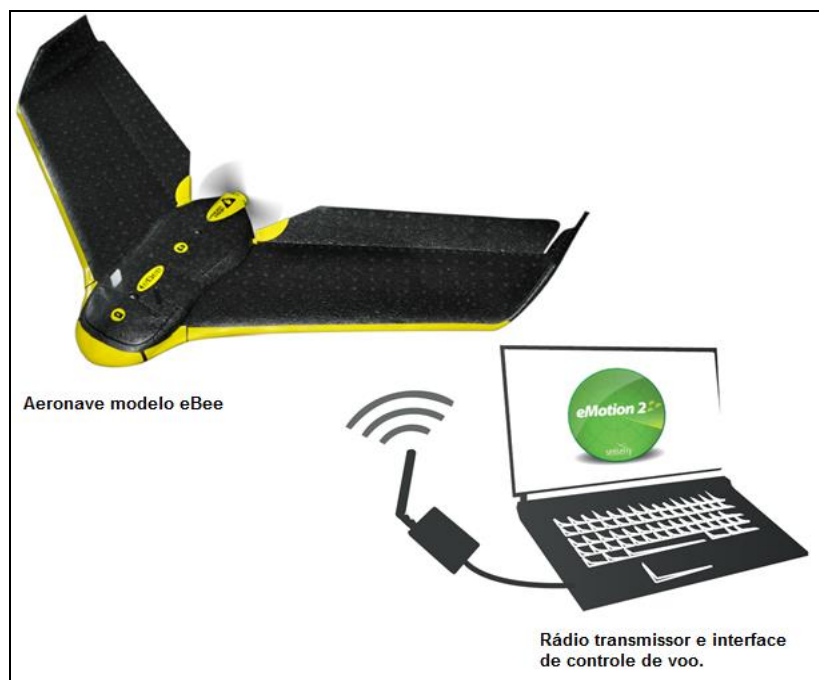
Fonte: sensifly.

### 3.2.2 Base

A base de controle de voo da aeronave constitui-se de uma maleta de alumínio ligada a um notebook com o software eMotion 2 instalado e configurado, além de um rádio transmissor, conforme mostra a Figura 4. Da máquina ligada ao rádio transmissor são controladas e assistidas todas as etapas do voo programado.

A comunicação ininterrupta garante permanentemente que informações sejam recebidas e encaminhadas à aeronave.

A comunicação ininterrupta garante permanentemente que informações sejam recebidas e encaminhadas à aeronave.



**Figura 4.** Estação base e rádio transmissor. (Fonte: autor)

Com uma variedade de funções, a plataforma base permite a visualização da área imageada em tempo real, velocidade e direção do vento, temperatura ambiente, bateria disponível e link de rádio (Figura 5). Os sinais recebidos permitem a tomada de decisão ou mesmo interrupção da missão em caso de mudança abrupta do tempo como, aumento da velocidade do vento e chuva, bem como ataque de aves e riscos de colisão.



**Figura 5.** Interface de acompanhamento de sobrevoo. (Fonte: autor)

A mesma plataforma funciona como ferramenta no processo de georeferenciamento das imagens capturadas. À aeronave gera a cada voo uma espécie de arquivo chamado log que funciona como uma “caixa preta”, ou seja, armazena uma série de dados referentes ao voo, dentre eles o seu número sequencial e as coordenadas de cada ponto capturado pelas imagens. O processo de geração do mosaico de imagens deu-se por meio da associação entre as referidas coordenadas e as imagens obtidas pelo sensor.

O processamento das imagens foi feito pelo software Terra 3D a partir das informações do GPS do VANT e de algoritmos próprios capazes de encontrar automaticamente os pontos de enlace entre as fotos, gerando ortomosaicos em formato tif, DEM (Digital Elevation Model – Modelo Digital de Elevação), modelo triangular 3D e nuvem de pontos georreferenciada.

### 3.2.3 Dispositivo de captação de imagem (câmeras)

As câmeras que foram utilizadas na captura das imagens, reuniram características adequadas e compatíveis com o sistema eBee e o aplicativo de formação de ortomosaico, dois modelos Canon, RGB S110 e NIR S110, cujas principais especificações estão descritas a seguir.

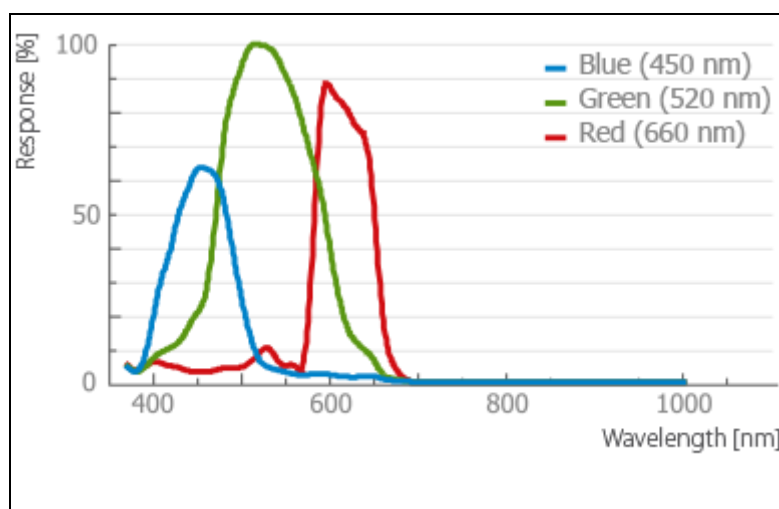


Disponham de sensores Live MOS de 12,3 megapixels, com uma gama ISO de 100 a 6400. Têm a capacidade de gravar imagens em RAW (12-bit de compressão sem perdas), JPEG, JPEG + RAW e salvar em cartões SDHC. Possuem estabilização de imagem e uma velocidade máxima do obturador de 1/4000s podendo disparar 3 quadros por segundo.

Cada modelo de câmera utilizada neste trabalho possui um filtro diferente, capaz de adquirir informações em diferentes regiões do espectro de luz. As Figuras 6 e 7 trazem os correspondentes espectros de resposta de captura dos sensores para cada faixa de comprimento de onda radiado pelo alvo.

### RGB S110 - Características Técnicas

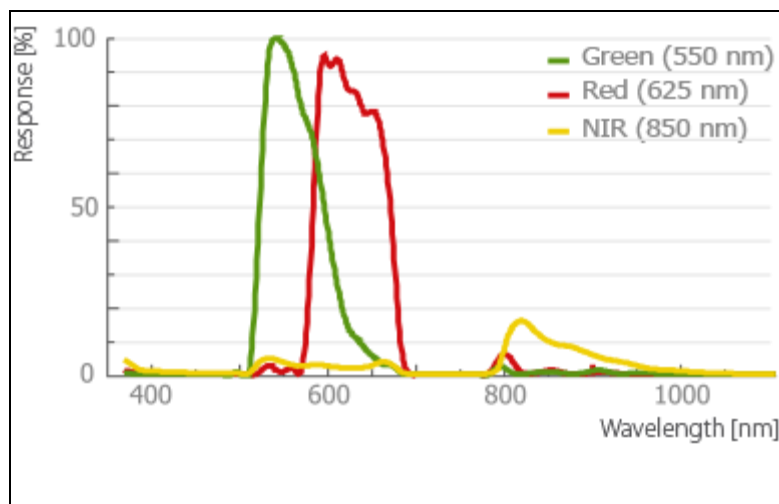
Resolução.....	12 Mp
Resolução no solo a 100m.....	3.5cm/pix
Tamanho do sensor.....	7.44 x 5.58 mm
Pixel pitch.....	1.33 $\mu$ m
Formato de imagem.....	JPEG e/ou RAW



**Figura 6.** Respostas das bandas da câmera RGB. (Fonte: sensifly)

### NIR S110 - Características Técnicas

Resolução.....	12 Mp
Resolução no solo a 100m.....	3.5cm/pix
Tamanho do sensor.....	7.44 x 5.58 mm
Pixel pitch.....	1.33 $\mu$ m
Formato de imagem.....	JPEG and/or RAW



**Figura 7.** Resposta das bandas da câmera NIR. (Fonte: sensifly)

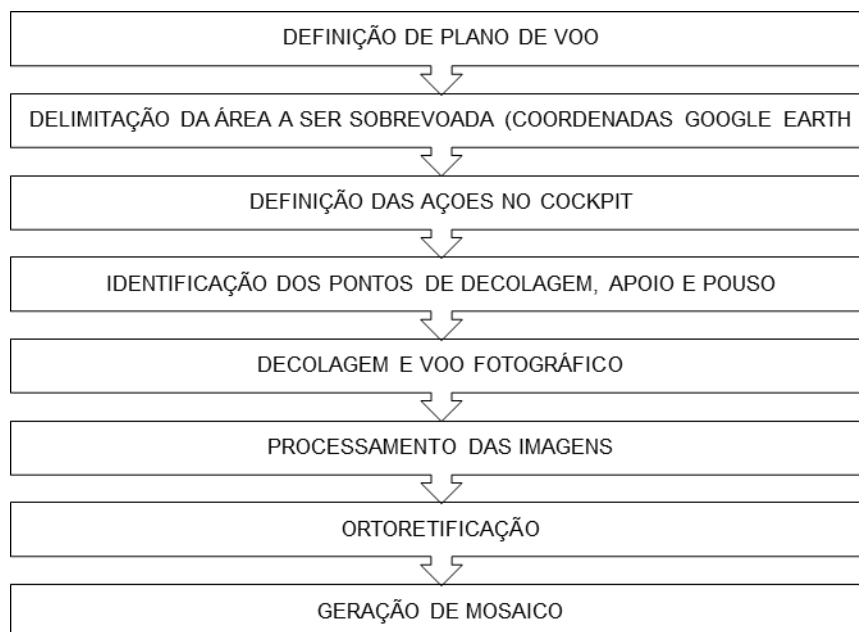
O processo de captura pela câmera teve início com sua regulagem e escolha do modelo desejado ainda na elaboração do plano de voo. Testes de acionamento foram feitos com a aeronave ainda em solo e em voo o seu acionamento é automático.

### 3.3 Procedimentos

#### 3.3.1 Planejamento do voo

No preparo dos voos alguns componentes devem ser verificados, como nível das baterias, partes móveis, conexão de rádio, sinal GPS (Global Positioning System), plano de voo, distância e altura dos obstáculos e a direção e a velocidade do vento.

Em razão da leveza do equipamento tornou-se imprescindível que direção e velocidade do vento fossem observadas. As decolagens e pousos em áreas urbanas podem ter seu espaço restringido e em razão disso ventos mais fortes ou mesmo mudanças de direção podem desviar as rotas de decolagem e pouso preestabelecidas. Etapas de um voo básico são mostradas na Figura 8.



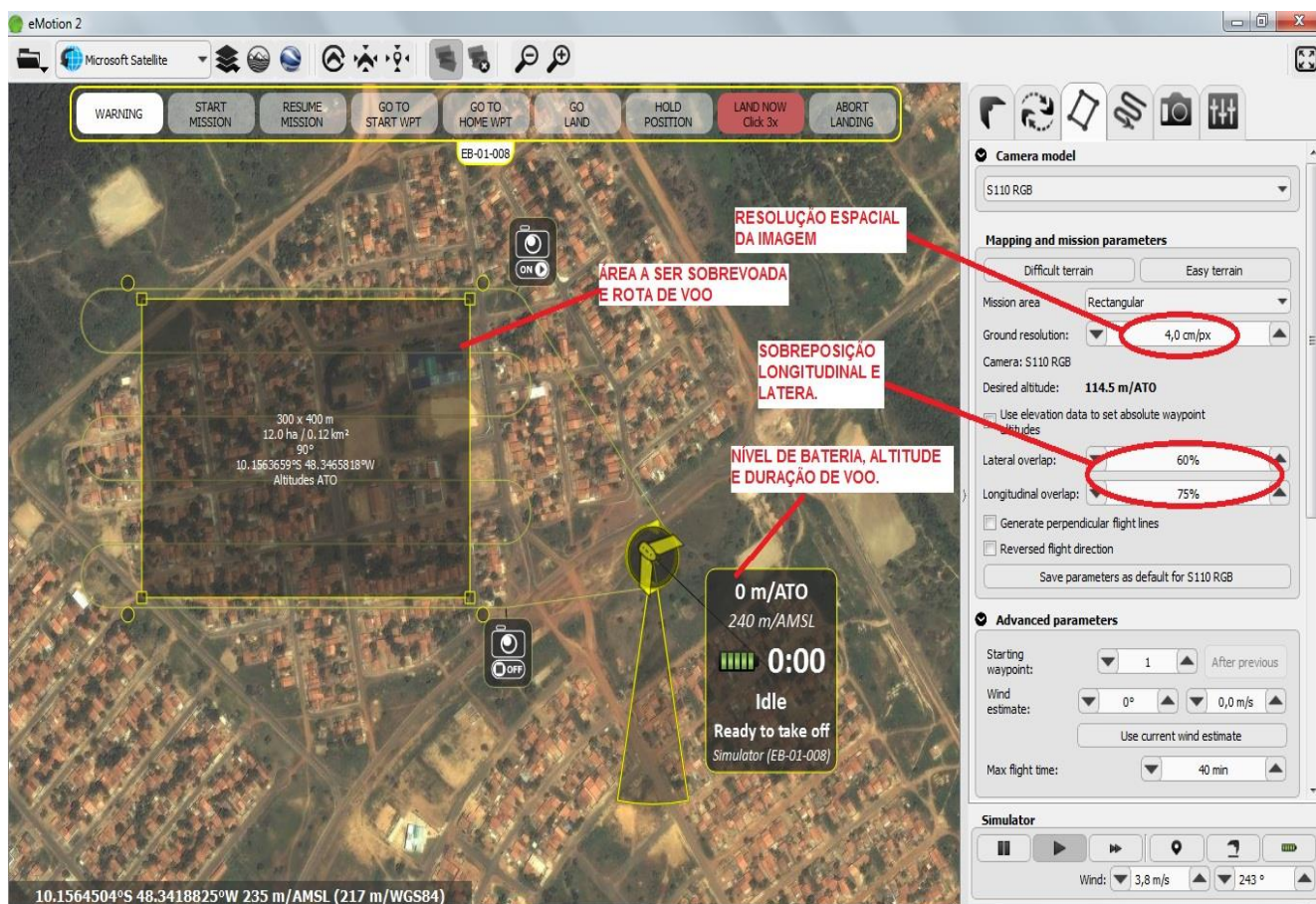
**Figura 8.** Fluxograma de ações para sobrevoo e geração de ortomapa. (Fonte: autor)

Uma vez selecionada a área de voo e o tamanho do pixel, o software disponibiliza automaticamente a área, tempo estimado de voo, altitude, espaçamentos entre faixas, tempo para realizar a missão, número de waypoints e distância a ser percorrida.

O processo de planejamento de voo torna-se bastante simplificado quando adota como referências o Google Earth. O programa utilizado no planejamento de voo disponibiliza funções que permitem o delineamento da área em foco bem como a visualização do trajeto de voo, o que garante maior segurança.

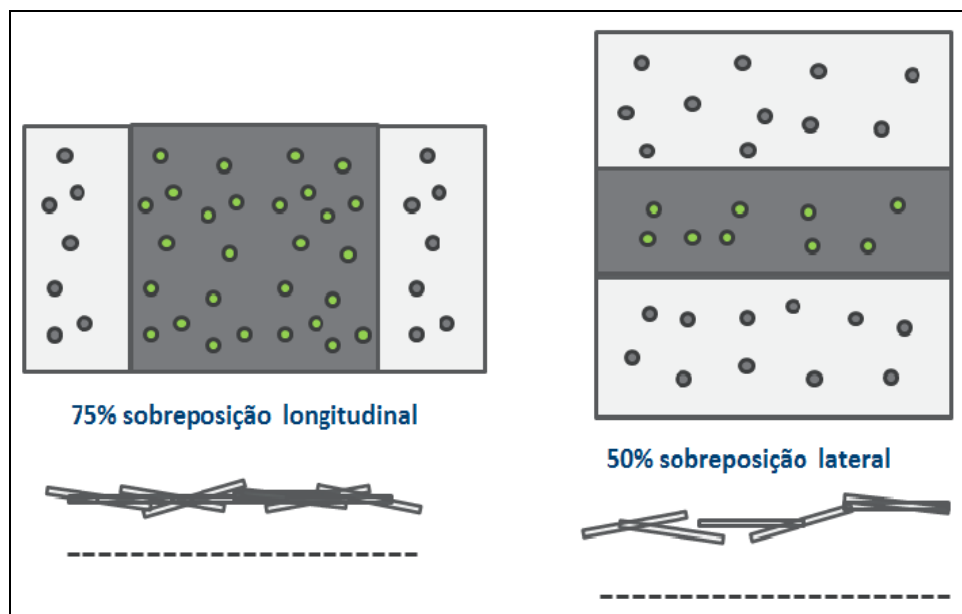
A visualização de imagem de fundo por meio de sistemas Google Earth, ou Microsoft – Satélite ou Nokia – Satélite, ou Bing, permitem o acompanhamento do sobrevoo. E caso não haja imagens dos sistemas mencionados (Google, ou Microsoft ou Nokia) disponíveis para área a ser sobrevoada o software possibilita a entrada com coordenadas dos vértices da área.

A Figura 9 é a interface do programa de planejamento de voo, com delimitações da área a ser sobrevoada, ponto de decolagem e pouso da aeronave, bem como nível de bateria, altitude, tempo de voo, direção e velocidade do vento.



**Figura 9.** Interface do programa de planejamento de voo. (Fonte: autor)

O plano estabelecido para a presente pesquisa, muito embora pretenda atestar a potencialidade no processo de identificação de pontos de lançamento de RCC, também vislumbrou o interesse em produzir resultados por meio de arranjos diferenciados de recobrimento de voo e tipo de sensor utilizado na captura das imagens. A Figura 10 traz detalhado o processo de sobreposição de imagens.



**Figura 10.** Processo de obtenção de imagens por meio de recobrimento. (Fonte: autor)

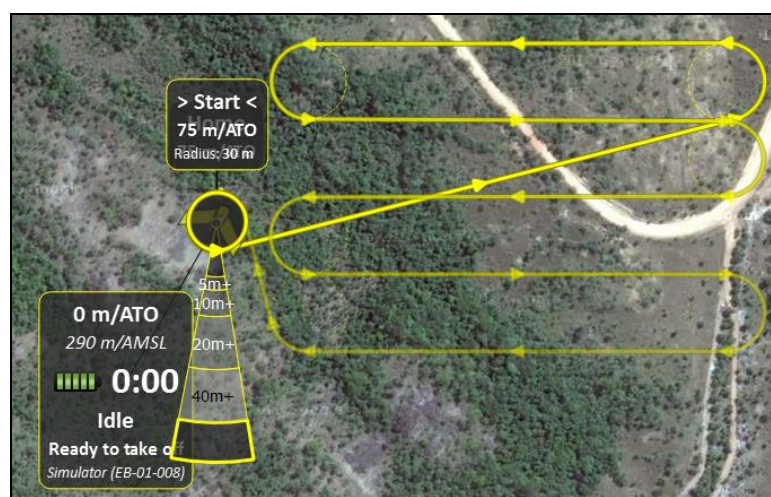
As áreas selecionadas como objeto de pesquisa foram sobrevoadas, cada uma delas, conforme os planos detalhados a seguir.

### 1º - Voos com diferentes recobrimentos de imagens

O primeiro procedimento trata-se da representação do terreno por meio de fotografias expostas sucessivamente ao longo de uma direção, formando uma faixa de voo. Para se obter estereoscopia, as fotos são expostas em intervalos de tempo tais que, entre duas fotos sucessivas de uma faixa, haja uma superposição de cerca de 60% e nas faixas expostas, paralelamente, para compor a cobertura de uma área foi mantida uma distância entre os eixos de voo que garanta uma superposição de cerca de 50% entre duas faixas adjacentes. O método procura garantir que as faixas possam ser “amarradas” pelos pontos de ligação determinados na área comum e formem um bloco.

Para o primeiro método foram feitos 3 sobrevoos em uma mesma área e a uma mesma altura. No procedimento foi mantida a resolução das imagens por meio da fixação da altura e do formato da trajetória para os três voos, alterando-se somente a sobreposição das imagens.

A direção das faixas de voo e a sobreposição adotada nessa etapa variam com a forma do terreno (Figuras 11 e 12).



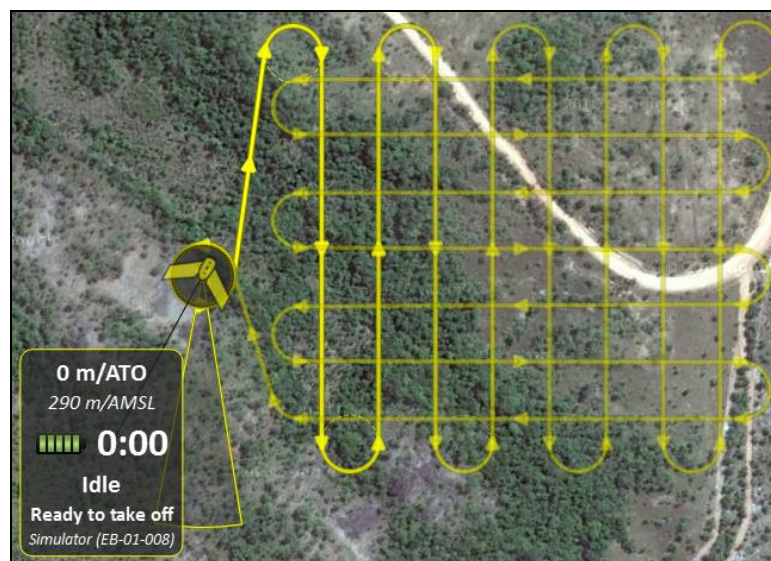
**Figura 11.** Trajetória de sobrevoo com sobreposição de 50x65%. (Fonte: autor)



**Figura 12.** Trajetória de sobrevoo com sobreposição de 70x85%. (Fonte: autor)

## 2º - Voos com trajetórias perpendiculares

Nessa etapa, mais uma vez objetivando analisar o resultado da superposição longitudinal e lateral entre os mosaicos, foram realizados sobrevoos com em trajetória perpendicular (Figura 13). Como desdobramento do objetivo principal tem-se a verificação das distorções de elementos e pontos de coordenadas geradas pela instabilidade da aeronave em missão.



**Figura 13.** Trajetória de sobrevoo com sobreposição perpendicular. (Fonte: autor)

### 3.3.2 Aquisição das imagens

Conforme detalhado no item anterior foram realizados sobrevoos com diferentes sobreposições de imageamento das áreas escolhidas, com as duas câmeras já especificadas, objetivando uma comparação da resolução espacial e respostas espectrais entre as imagens obtidas, e analisar quais dos sensores estão mais aptos para esse tipo de levantamento.

A plataforma aérea que captura imagens fotográficas de até 12 km<sup>2</sup> e em áreas menores voando em altitudes mais baixas, podem chegar até 3,5cm por pixel. Com o intuito de aumentar a estabilidade da aeronave, o motor é desligado automaticamente no momento da tomada da fotografia, evitando as vibrações do motor para a câmera.

### 3.3.3 Montagem de mosaicos

O mosaico devidamente georreferenciado foi obtido após uma série de etapas, que envolveram a remoção dos erros e distorções causadas pelo processo de aquisição das imagens, e visou orientar as imagens com relação umas às outras e com relação à cena completa. Sua qualidade final é diretamente dependente da qualidade dos métodos de correções.

O georeferenciamento das imagens foi feito pelo software compatível com o modelo do sensor e da aeronave, que dispõe de GPS de navegação acoplado, que possibilitou a obtenção de pontos de controle na própria imagem, referenciadas no sistema de coordenadas UTM. O software identifica os pontos de controle do GPS da aeronave e orienta todas as imagens de forma a formarem o mosaico georreferenciado.

O mosaico georreferenciado possibilitou a obtenção de dados mensuráveis, facilitou a identificação de pontos na área imageada por meio de características de objetos e áreas identificadas nas imagens.

#### *3.3.4 Processamento de imagens com pontos de controle*

As imagens na forma em que foram recebidas originalmente dos sensores acoplados à aeronave, também chamadas de imagens brutas, apresentaram degradações radiométricas possivelmente devidas a desajustes na calibração das máquinas, erros esporádicos na transmissão dos dados, influências atmosféricas, e distorções geométricas ocasionadas pela instabilidade da aeronave. Todas estas imperfeições, se não corrigidas, podem comprometer os resultados e produtos derivados das imagens. O pré-processamento, que é a etapa preliminar do tratamento digital de imagens, tem esta finalidade.

Normalmente o tipo de distorções mais comuns em imagens obtidas por meio de veículos aéreos são as chamadas distorções geométricas, que diminuem a precisão espacial das informações. Várias aplicações como a cartografia, a confecção de mosaicos, sistemas de informações geográficas, a detecção e acompanhamento de mudanças espaciais em feições terrestres, necessitam de dados com boa precisão espacial, exigindo a correção de tais distorções.

Neste trabalho, situações atmosféricas, calibrações dos sensores e resoluções espaciais que pudessem gerar distorções foram delineadas a fim de se obter imagens com resoluções compatíveis à necessidade da pesquisa, ou seja, imagens que garantissem a precisão no processo de interpretação e localização dos pontos de descarte de resíduos.

Muito embora as variáveis supracitadas pudessem ser controladas com padronização da altura de sobrevoo, calibração dos sensores e a observância das



condições atmosféricas para voo, a instabilidade da aeronave acabaria por gerar inconsistências geométricas.

Estas distorções foram corrigidas, pelo menos parcialmente, por meio de uma metodologia frequentemente utilizada, que consiste na mensuração do grau de distorção, estimado a partir de pontos de controle identificáveis na imagem, e com localização geodésica precisamente conhecida. Como pontos de controle foram feitas marcações no solo com cal hidratada, igualmente distribuídas e posicionados com precisão geodésica nas imagens, conforme Figuras 14 e 15.



**Figura 14.** Coleta de coordenada com GPS geodésico. (Fonte: autor)



**Figura 15.** Marcação no terreno com cal hidratada. (Fonte: autor)

Com a aeronave em solo as imagens e as coordenadas de voo são retiradas do sensor e georeferenciadas por meio de software fornecido para processamento das fotos aéreas. Por meio da inserção das coordenadas dos pontos obtidas com GPS geodésico (Figura 16), com o intuito de corrigir as possíveis distorções.



**Figura 16.** Ponto de marcação identificado em imagem coletada. (Fonte: autor)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Optar por uma ferramenta capaz de oferecer uma grande variedade de resultados, no que se refere à qualidade desses resultados, aos custos gerados e à eficiência do método, induz o pesquisador a um estudo aprofundado sobre as especificações que melhor atendem as necessidades de cada trabalho.

Neste trabalho a observação dos parâmetros técnicos da tecnologia VANT buscou atender as especificidades e possibilidades existentes no cenário de gerenciamento de resíduos sólidos de construção civil, convergindo para sua identificação e dos pontos de descarte desses resíduos.

Segundo Braga (2006), os impactos ambientais que acometem o solo, muito embora possam ser gerados pela disposição de resíduos nas fases sólida, líquida e gasosa, é sob a primeira forma que eles se manifestam mais intensamente. Para o autor a potencialização dos danos se deve aos grandes volumes de resíduos gerados e sua imobilidade, que dificulta seu transporte no meio ambiente.

### 4.1 Alcance e autonomia de voo

Como a identificação de pontos clandestinos de descarte de resíduos não necessitam de identificação e ações emergenciais do órgão fiscalizador, quando comparados com resíduos não inertes, o alcance de operação do VANT pode ser restrito. A maioria das quadras de Palmas tem formato retangular e as áreas não ultrapassam 70.000m<sup>2</sup> o que facilitou o alcance de sobrevoo.

O alcance do link de rádio estabelecido entre a aeronave utilizada nesta pesquisa e a plataforma de controle não ultrapassou os 3.000m de limite estabelecido pelo equipamento, o que condicionou a utilização de pontos mais adequados para sobrevoo e decolagem, ou seja, áreas mais afastadas e pouco urbanizadas, todas dentro dos limites de alcance do rádio e da autonomia de voo.

Atrelado ao fator alcance de comando, estão o alcance em visada da aeronave durante as missões. Qualquer intercorrência como, erro no planejamento de voo, necessidade de mudança de rota em razão de inobservância de obstáculos comuns em áreas urbanas, se constatado a tempo pode evitar maiores danos.

Como já mencionado, a autonomia de voo também estabeleceu um limite de distância entre a área de decolagem e o percurso feito pela aeronave durante o imageamento. As áreas que foram recobertas não ultrapassaram os 65 ha, correspondendo a um voo de duração de aproximadamente 30min, correspondendo a um consumo de bateria de aproximadamente 70%.

Vários fatores foram preponderantes na previsão do tempo de voo e conseqüentemente a autonomia da bateria carregada. Dentre os principais foram observados a velocidade do vento, aferida em estações locais, e a distância do ponto de decolagem ao ponto mais distante da área a ser sobrevoada.

#### **4.2 Sensores embarcados**

Segundo Jensen (2009), quanto maior a necessidade de resolução temporal, menor o requisito de resolução espacial, sendo a aplicação em resposta que identifique impactos ambientais com efeitos imediatos e pouco duradouros, uma exceção. Para o autor, respostas emergenciais necessitam de resoluções temporais e espaciais superiores, que gerem uma grande quantidade de dados.

O sistema sensor utilizado aqui, pelo que mostraram os resultados, apresentou resolução espacial adequada e flexível para atender a necessidade de identificação, por meio de imagens, das áreas utilizadas como ponto de descarte de resíduos de construção, bem como a caracterização dos resíduos dispostos. As imagens de uma mesma área puderam ser obtidas com resolução temporal de minutos.

Cabe lembrar que a simples identificação de resíduo de construção em áreas urbanas não exige grande exatidão geométrica e geodésica, o que acaba sendo necessário somente em casos de determinação de volumes e superfícies.

Mesmo as áreas aerolevantadas não ultrapassando os 65ha, os alvos a serem identificados em algumas situações apresentaram-se reduzidos, o que tornou necessário resoluções mais refinadas, com pixels representando 4,0x4,0cm em solo.

Outro aspecto observado foi a diferenciação dos resíduos identificados. Haja vista a variedade de componentes dos resíduos dispostos, a resposta dos sensores das câmeras embarcadas com quatro bandas nas faixas espectrais do visível (RGB) mostrou-se eficiente na identificação e diferenciação dos rejeitos. Essa variedade de

material disposto está associada às características das obras. Nas Figuras 17 e 18 foram identificados resíduos de obras em fase de infraestruturação e acabamento.



**Figura 17.** Resíduo de obra em fase de acabamento no setor Berta Ville. (Fonte: autor)



**Figura 18.** Resíduo de obra em fase de infraestruturação, escavação das fundações na quadra 107 norte. (Fonte: autor)

As fases das obras geram rejeitos característicos de cada uma delas, com diferentes tonalidades e conseqüentemente diferentes respostas aos sensores. A fase de infraestrutura, que envolve movimentação de grandes volumes de terra,

acaba dando a tonalidade do solo para os rejeitos, enquanto as fases de acabamento e demolições geram um material de cor mais clara, devido a grande quantidade de concreto, argamassas e revestimentos.

Foram feitos também imageamentos com sensor infravermelho (câmera NIR) e os resultados encontrados mostraram-se mais satisfatórios em áreas fora do perímetro urbano. A diferenciação dos objetos sobre a superfície terrestre acabou facilitando a identificação dos resíduos lançados em áreas com a presença de cobertura vegetal e em terrenos desnudos em razão do contraste de cores. A Figura 19 traz um comparativo de pontos imageados com o sensor RGB e NIR.



**Figura 19.** Resultados de imagens de um mesmo ponto obtidas com sensor RGB e NIR. (Fonte: autor)

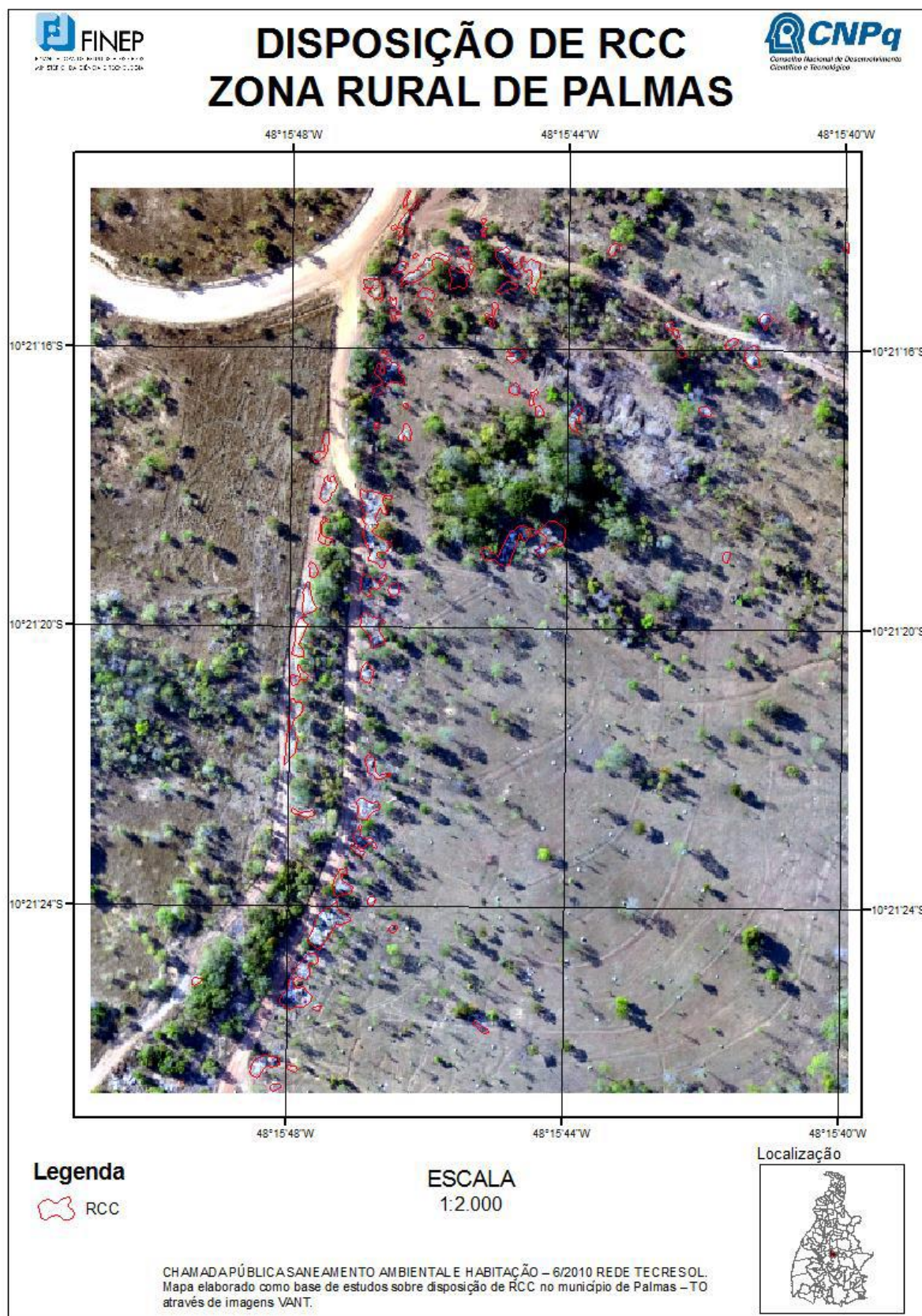
Desta forma o que se percebe é que a geração de composições coloridas associadas às reais mostra-se suficientes para a fotointerpretação das imagens, cabendo destacar ainda que a resolução refinada das imagens permite a identificação dos objetos na superfície com maior facilidade.

### **4.3 Qualidade dos ortomosaicos gerados**

Para o estudo de viabilidade sobre a utilização da tecnologia VANT na identificação dos resíduos de construção civil e os pontos de lançamento, foram sobrevoadas áreas distintas, dentro e fora do perímetro urbano, objetivando a busca por situações adversas para testes.

Após a realização de todo processo referente aos itens anteriores, nesta etapa foi possível realizar com sucesso a elaboração de mapas temáticos sobre a disposição de RCC no município de Palmas, por meio de atividade executada na plataforma do ArcGis 9.3, composta de imagens aéreas obtidas nos sobrevoos.

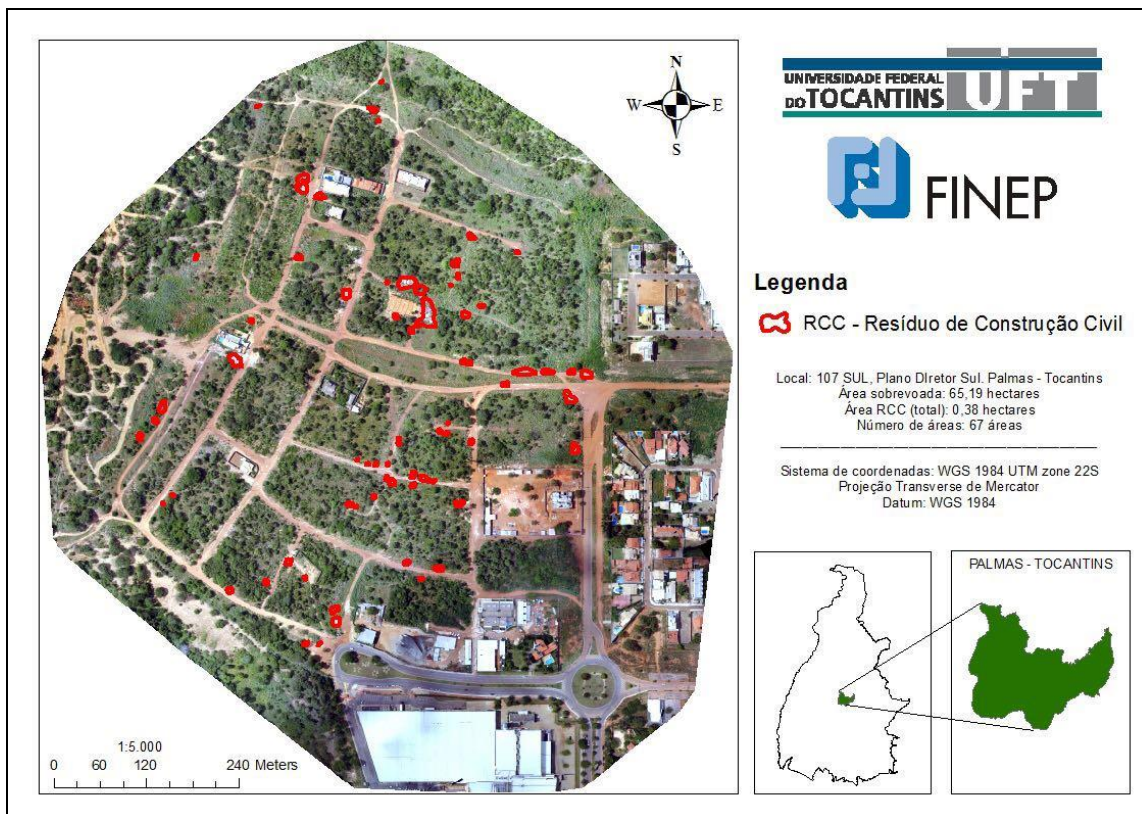
O ortomosaico da Figura 20 corresponde a uma área de aproximadamente 8,0ha afastada 7,0km do perímetro urbano de Palmas, próxima ao aterro sanitário da cidade. O mesmo possui uma qualidade altimétrica dentro do recomendado para este produto, graças ao apoio dos pontos de campo obtidos com GPS geodésico e com diferentes sobreposições de imagens.



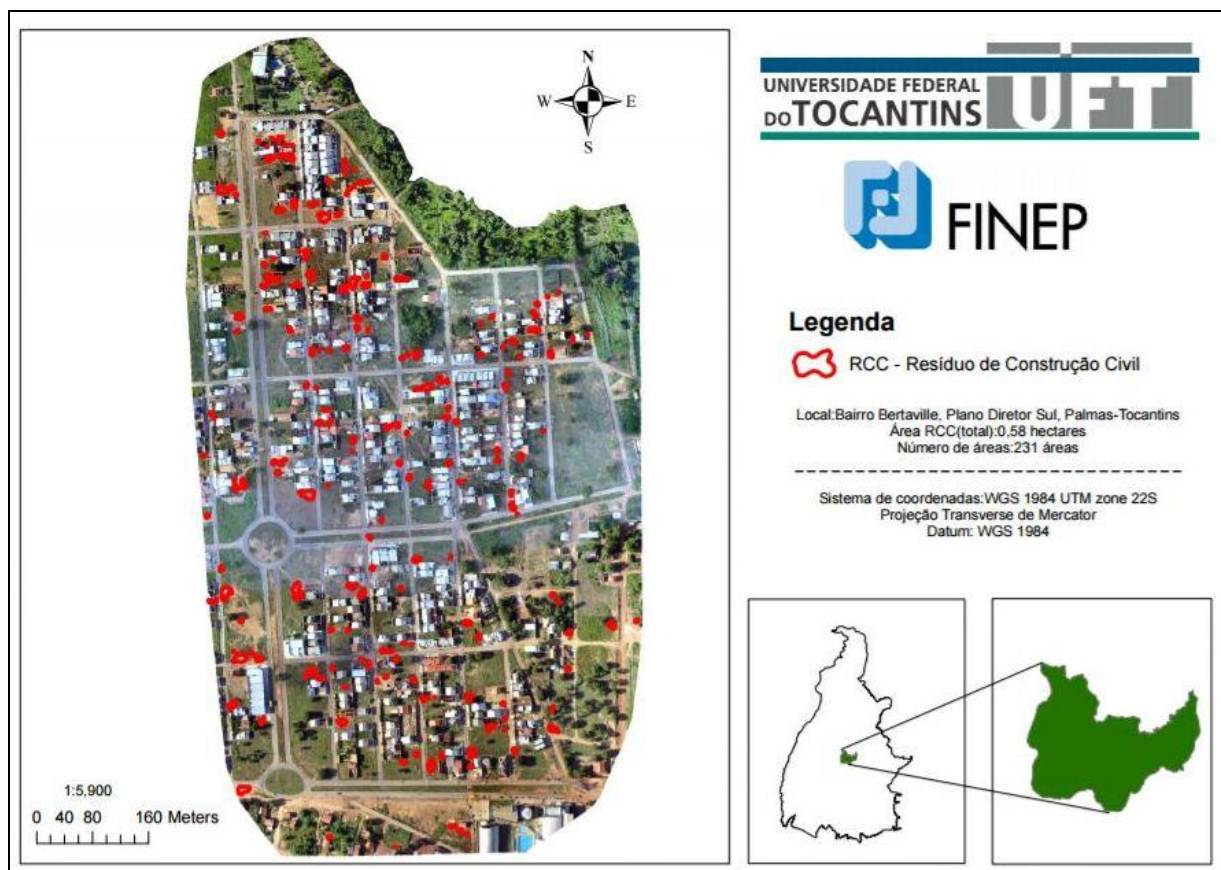
**Figura 20.** Mosaico com os pontos de disposição de resíduos em área próxima ao aterro sanitário. (Fonte: autor)



Os ortomapa apresentados nas Figuras 21 e 22, agora em área dentro do perímetro urbano de Palmas, correspondem a áreas de aproximadamente 60 e 40 ha respectivamente e foram gerados sem a inserção de pontos de controle.



**Figura 21.** Mosaico com os pontos de disposição de resíduos na quadra 107 Sul, entre as coordenadas 10°10'37,17" e 10°10'51,42"S e 48°20'45,33" e 48°21'11,60" O. (Fonte: autor)



**Figura 22.** Mosaico com os pontos de disposição de resíduos no setor Berta Ville, entre as coordenadas 10°17'09,52" e 10°17'49,19"S e 48°19'07,51" e 48°18'45,44"O. (Fonte: autor)

A Tabela 7 resume as principais características dos mosaicos obtidos após processamento das fotos. Nos três sobrevoos foi recoberta área total de 110,19 ha em tempo total efetivo de voo de 53 minutos, aproximadamente 1 hora. Para ambas as áreas foi adotada a mesma altura, 120m, e resolução em solo correspondente de 4 cm por pixel.

**Tabela 7.** Características dos mosaicos obtidos.

Área Sobrevoada	Área recoberta (ha)	Altura de sobrevoos (m)	Tempo de aquisição (min)	Tamanho do pixel (cm)	Produtividade (ha/min)
Área aterro	8,60	120,00	7,00	4,00	1,22
Quadra 107 Sul	65,19	120,00	28,00	4,00	2,32
Bairro Berta-Ville	36,40	120,00	18,00	4,00	2,02

Fonte: autor.

Em termos de produtividade, o melhor resultado foi obtido no sobrevoo da quadra 107 Sul com 2,32 ha/min. Como a altura e sobreposição adotadas foram as mesmas para todas os voos, esse resultado pode ter sido influenciado principalmente pela menor velocidade do vento, o que permitiu melhor desempenho da aeronave.

Para a área próxima ao aterro sanitário foram feitos sobrevoos em diferentes sobreposições, com o interesse de se obter MDS de melhor qualidade por meio de maiores sobreposições, acarretando maior tempo de voo e menor produtividade, conforme mostra a Tabela 7. O objetivo da produtividade calculada não foi confrontar as configurações de voo, mas apenas ter uma estimativa para futuros planejamentos em cada um deles. Além das configurações de voo outros fatores influenciam na produtividade, sendo um dos principais a velocidade do vento e habilidade da equipe. Além disso, a configuração do voo dependerá do objetivo para o qual as imagens serão obtidas. As fotos obtidas a maiores alturas permitem maior produtividade com menor resolução espacial, o que pode ser adequada, dependendo dos objetivos da pesquisa.

**Tabela 8.** Características dos mosaicos, de uma mesma área, obtidos com diferentes sobreposições.

Recobrimento lateral (%)	Área recoberta (ha)	Altura de sobrevoo (m)	Tempo de aquisição (min)	Tamanho do pixel (cm)	Produtividade (ha/min)
50	8,60	120,00	7,00	4,00	1,23
70	8,60	120,00	9,00	4,00	0,95
Perpendicular	8,60	120,00	12,00	4,00	0,72

Fonte: autor.

O que se percebe é que a qualidade do produto final é inferior, quando não se utiliza pontos de controle e sobreposições maiores, apresentando muitas distorções geométricas, e essa percepção se potencializa quando se trata de áreas urbanas que apresentam formas e volumes bem definidos. A Figura 23 mostra as distorções em coberturas e muros de edificações indicando esta qualidade inferior do ortomosaico sem os pontos de controle. Na edificação é possível notar em seus cantos, arestas e limites, distorção no ortomosaico, nos dois exemplos vê-se esta distorção, mas nos mosaicos com os pontos de controle estas distorções estão reduzidas.



**Figura 23.** Distorções em arestas e cantos de edificações, nas coordenadas  $10^{\circ}21'14,93''\text{S}$  e  $48^{\circ}18'09,37''\text{O}$ . (Fonte: autor)

Deve ser levado em consideração que os mosaicos gerados pelo VANT no decorrer de seu processamento são automaticamente georreferenciados e corrigidos geometricamente pelo software responsável, gerando uma imagem final da área sobrevoada, sendo atribuído a esta imagem pontos de referência com coordenadas e projeção cartográfica.

Os produtos gerados sem pontos notáveis de campo apresentam uma diferença na precisão planimétrica da imagem com os pontos de controle do GPS geodésico, alcançando uma maior precisão, enquanto sem os pontos de controle, a precisão passa a ser menor. Comparando uma mesma sobreposição, por exemplo 50x65%, para o sobrevoo sem pontos de controle obteve-se a menor precisão de 83,3 cm, enquanto para o sobrevoo com ponto de controle a precisão mínima foi de 14,5 cm, conforme Quadros 1 e 2.

**Quadro 1.** Comparativo da precisão planimétrica entre pontos GNSS e mosaico com sobreposição de 50x65% e sem pontos de controle.

Coordenadas GNSS, Projeção UTM				Mosaico com sobreposição de 50x65% sem ponto de controle			
Alvo	h	N	E	N	E	$\Delta N$	$\Delta E$
1	267,441	8.853.848,165	799.645,271	8.853.847,481	799.645,018	0,684	0,253
2	265,466	8.853.786,046	799.739,667	8.853.785,389	799.739,825	0,657	- 0,158
3	268,694	8.854.160,992	799.831,927	8.854.160,645	799.832,760	0,347	- 0,833
4	271,410	8.854.168,180	799.706,257	8.854.167,982	799.706,271	0,198	- 0,014

Fonte: autor.

**Quadro 2.** Comparativo da precisão planimétrica entre pontos GNSS e mosaico com sobreposição de 50x65% e com pontos de controle.

Coordenadas GNSS, Projeção UTM				Mosaico com sobreposição de 50x65% com ponto de controle			
Alvo	h (m)	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)
1	267,441	8.853.848,165	799.645,271	8.853.848,020	799.645,231	0,145	0,040
2	265,466	8.853.786,046	799.739,667	8.853.786,171	799.739,690	-0,125	-0,023
3	268,694	8.854.160,992	799.831,927	8.854.160,996	799.831,946	-0,004	-0,019
4	271,410	8.854.168,180	799.706,257	8.854.168,180	799.706,157	0,000	0,100

Fonte: autor.

Nos Quadros 3 e 4, com sobreposições maiores, 70x85%, as precisões mínimas foram de 8,90cm e 53,30cm para mosaicos com e sem pontos de controle respectivamente.

**Quadro 3.** Comparativo da precisão planimétrica entre pontos GNSS e mosaico com sobreposição de 70x85% e com pontos de controle.

Coordenadas GNSS, Projeção UTM				Mosaico com sobreposição de 70x85% com ponto de controle			
Alvo	h (m)	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)
1	267,441	8.853.848,165	799.645,271	8853848,078	799645,256	0,087	0,015
2	265,466	8.853.786,046	799.739,667	8853786,135	799739,587	- 0,089	0,080
3	268,694	8.854.160,992	799.831,927	8854160,989	799831,929	0,003	-0,002
4	271,410	8.854.168,180	799.706,257	8854168,249	799706,240	-0,069	0,017

Fonte: autor.

**Quadro 4.** Comparativo da precisão planimétrica entre pontos GNSS e mosaico com sobreposição de 70x85% e sem pontos de controle.

Coordenadas GNSS, Projeção UTM				Mosaico com sobreposição de 70x85% sem ponto de controle			
Alvo	h	N	E	N	E	$\Delta N$	$\Delta E$
1	267,441	8.853.848,165	799.645,271	8.853.848,606	799.645,470	- 0,441	- 0,199
2	265,466	8.853.786,046	799.739,667	8.853.786,578	799.739,699	- 0,532	- 0,032
3	268,694	8.854.160,992	799.831,927	8.854.161,220	799.832,450	- 0,228	- 0,523
4	271,410	8.854.168,180	799.706,257	8.854.168,376	799.706,711	- 0,196	- 0,454

Fonte: autor.

Cabe ressaltar que optar somente por sobrevoos com altos percentuais de sobreposições não garantem resoluções espaciais mais refinadas e precisão planialtimétrica. As condições temporais adversas no momento do voo, como velocidade do vento e sombras podem comprometer a formação da nuvem de pontos gerada pelas imagens, mesmo com altas sobreposições, o que pode ser corrigido por meio de pontos de controle. A Figura 24 mostra a formação da nuvem de pontos com falhas em alguns pontos.

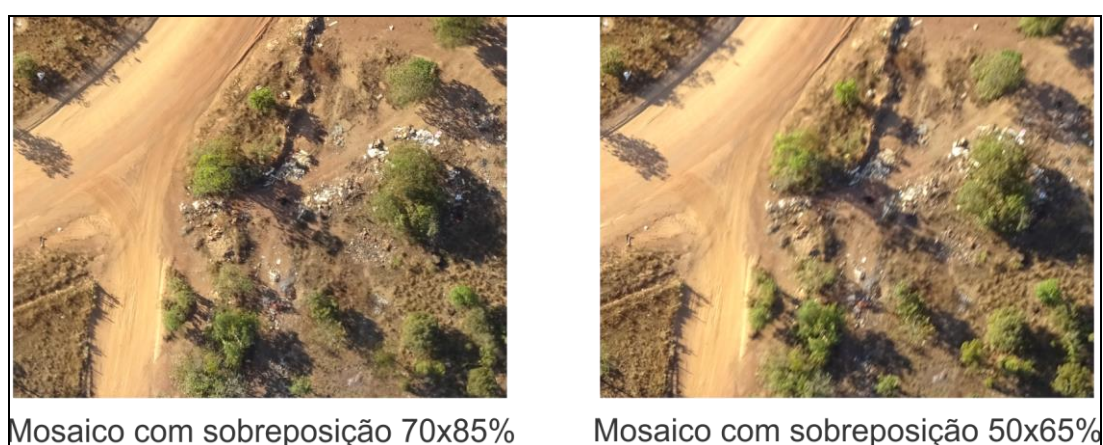


**Figura 24.** Falhas na formação da nuvem de pontos do MDS. (Fonte: autor)

Estas distorções são causadas na geração do MDS, quando a superfície do telhado é considerada no cômputo das curvas de nível do terreno, já que para que

seja gerado o modelo por meio da nuvem de pontos que o VANT gera, considera a cobertura das edificações e árvores como cotas do terreno, erroneamente.

A qualidade das imagens pode ser observada por meio de alvos identificados, como cobertura vegetal, trechos de rodovias e edificações. Para as diferentes sobreposições a Figura 25 traz pontos que indicam esta diferença de qualidade do ortomosaico, onde é possível notar que aqueles com maiores percentuais de sobreposição possuem uma maior acuidade e menor distorção dos alvos.



**Figura 25.** Mosaicos com diferentes sobreposições nas coordenadas 10°21'15,30"S e 48°15'47,69"O. (Fonte: autor)

Nas Figuras 26 e 27 são apresentadas frações de dois mosaicos gerados com diferentes sobreposições e sobrevoo com trajetória perpendicular.



**Figura 26.** Mosaicos com trajetória perpendicular e sobreposição de 50x65% nas coordenadas 10°21'15,30"S e 48°15'47,69"O. (Fonte: autor)



**Figura 27.** Mosaicos com trajetória perpendicular e sobreposição de 70x85% nas coordenadas 10°21'15,30"S e 48°15'47,69"O. (Fonte: autor)

A eficiência técnica obviamente vai depender do cenário ambiental da área das características dos alvos que se pretende identificar e em hipótese alguma a obtenção de imagens aéreas de áreas utilizadas como pontos de descarte de resíduos substitui a necessidade da avaliação e fiscalização pelos técnicos em campo. Ela deve sim auxiliar, com a possibilidade de geração de mais informações, e de forma mais rápida e segura.

#### **4.4 Redução do tempo da avaliação ambiental**

A geração de informações ambientais úteis por meio do sensoriamento remoto por VANTs para identificação dos resíduos de construção e demolição e das áreas utilizadas para descarte irregular se mostra viável tecnicamente, desde que realizada com parâmetros definidos para a aplicação.

Tomando o fator tempo para a avaliação dos impactos e para a fiscalização das áreas, o que se percebe é que ele pode ser reduzido ou aumentado.

A redução do tempo para a avaliação ambiental da ocorrência de descarte de resíduos é um aspecto relativo. Esta redução do tempo está vinculada a quão difícil seria a avaliação sem a obtenção das imagens aéreas. E como os aspectos ambientais podem variar enormemente, bem como a forma de lançamento e as



características dos resíduos dispostos, este tempo de avaliação pode ser reduzido ou ampliado.

Deste modo, deve ser repetido que a identificação dos resíduos e os pontos de lançamento não devem depender da obtenção das imagens, pois há casos que a avaliação em solo é muito mais rápida e eficiente. Entretanto, conforme maiores e mais dispersas as áreas utilizadas para descarte, maior a aplicabilidade das imagens obtidas e maior economia de tempo poderão trazer nesse processo. O uso dessas imagens pode ser justificado também se houver dificuldade no acesso a alguns pontos fora do perímetro urbano.

#### 4.5 Fotointerpretação e Identificação *In loco* das imagens pré-selecionadas

Em visita às áreas pré-selecionadas como modelo de estudo do trabalho foram obtidos os resultados presentes nas Figuras 28 e 29. Por meio da sincronização dos dois tipos de imagens (aérea e *In loco*) foi possível definir a potencialidade do uso das imagens e assim definir alguns métodos fundamentais para análises em maior escala. Todas as áreas imageadas foram consideradas irregulares para disposição, a exemplo das áreas fora do perímetro urbano, em que a disposição de RCC está sendo feita em estradas de acesso às propriedades rurais.



**Figura 28.** Ponto de descarte em área fora do perímetro urbano, próxima ao aterro sanitário da cidade nas coordenadas 10°21'19,39"S e 48°15'46,76"O. (Fonte: autor)



**Figura 29.** Ponto de descarte em área fora do perímetro urbano, próxima ao aterro sanitário da cidade, nas coordenadas  $10^{\circ}21'14,95''S$  e  $48^{\circ}15'45,70''O$ . (Fonte: autor)

Nas áreas dentro do perímetro urbano foi constatada a disposição de resíduos provenientes de demolições, situado as margens da rodovia que dá acesso às cidades vizinhas de Lajeado e Miracema do Tocantins. Os resíduos provenientes da construção civil foram encontrados, em alguns casos, misturados a outros tipos de resíduos e mesmo essa diversidade não se mostrou como dificuldade em se trabalhar com imagens aéreas.

Nas Figuras 30 e 31 é perceptível a presença de materiais provenientes de demolições, como gesso, argamassa, que conferem a cor clara aos resíduos, e material cerâmico, como telhas e tijolos, com coloração avermelhada.



**Figura 30.** Ponto de descarte em área dentro do perímetro urbano, próxima à rodovia que dá acesso à cidade de Lajeado – TO, nas coordenadas  $10^{\circ}09'32,73''S$  e  $48^{\circ}18'14,21''O$ . (Fonte: autor)



**Figura 31.** Ponto de descarte em área dentro do perímetro urbano, próxima à rodovia que dá acesso à cidade de Lajeado – TO, nas coordenadas 10°09'32,38"S e 48°18'01,15"O. (Fonte: autor)

Em todas as áreas sobrevoadas foram identificadas pilhas de materiais descartados há algum tempo e pilhas recentes, com resíduos novos. Este é um forte indício de que as mesmas áreas vêm sendo utilizadas há um bom tempo como pontos para descarte de RCC. Essa identificação pôde ser feita por meio dos mosaicos gerados e da identificação *in loco*.

## 5 CONCLUSÕES

A aplicação estudada apresenta viabilidade técnica e viabilidade econômica, no entanto, do ponto de vista legal existem restrições para se operar VANTs no espaço aéreo brasileiro não sendo possível afirmar se as entidades interessadas em desenvolver trabalhos obteriam autorização para voos sobre aéreas urbanizadas e principalmente se os fins não fossem científicos. A viabilidade legal de sua aplicação depende, portanto, da possível regulamentação ou autorização dos órgãos regulamentadores, sendo que não há previsão de quando isso poderá correr, ou ainda, se efetivamente irá ocorrer.

As informações geradas nesse estudo podem contribuir para a normatização do uso do VANT utilizado para fins ambientais, no que pese a determinação de parâmetros técnicos e capacidade dos VANTs para obtenção de imagens que permitam identificar os resíduos e suas áreas de lançamento, e as vantagens que as imagens poderiam apresentar para a avaliação e monitoramento de impactos provenientes de descarte irregular de resíduos.

O sistema de imageamento aéreo por VANT mostrou-se eficiente na geração de imagens para estudos referentes à identificação de áreas clandestinas de lançamento de resíduos de construção, bem como sua caracterização, em áreas urbanas ou não, tendo alcançado o objetivo de produzir imagens com melhores resoluções a um baixo custo, de forma programada e sem a interferência do recobrimento de nuvens.

A estratégia metodológica de identificação desenvolvida mostrou-se adequada na geração das imagens. O planejamento dos sobrevoos proporcionou a aquisição de imagens das áreas de estudo que possibilitaram o tratamento e a análise dos ortomapas. A combinação dos softwares utilizados se mostrou eficaz para a captura, tratamento e produção dos mapas sendo possível manter a resolução original da aquisição sem perda de qualidade das imagens. No entanto, uma série de parâmetros envolvidos pode variar e estudos detalhados de viabilidade devem ser realizados para cada situação e uso específico.

As discussões que podem surgir com essa pesquisa, sobre o uso do VANT na identificação de resíduos sólidos dispostos em áreas clandestinas podem gerar resultados entre os grupos profissionais que atuam nos segmentos responsáveis

pelo gerenciamento de resíduos, como a consolidação de um modelo que opere de forma legalizada e que atenda às necessidades inerentes aos planos adotados. O fato de esses grupos possuírem representatividade política para negociações, pode agilizar o processo de regulamentação da operação de aeronaves não tripuladas, bem como auxiliarem na busca por investimentos para pesquisa e aplicação da tecnologia em outras áreas.

Os produtos gerados a partir das imagens aéreas foram na sequência, os mosaicos georeferenciados, e a partir destes pôde-se comprovar a eficiência do uso de imagens obtidas, quando utilizadas na identificação de resíduos e áreas clandestinas de lançamento em superfície urbana ou não, sendo, portanto, útil em estudos ambientais de gerenciamento de resíduos sólidos.

Como esperado, os ortomosaicos gerados sem pontos de controle no solo e com sobreposições inferiores foram os que apresentaram as maiores discrepâncias planimétricas, bem como maiores distorções dos objetos. Ao se utilizar pontos de apoio e sobreposições maiores, os desvios diminuíram por darem ao bloco aerotriangulado mais rigidez. A análise de imagens com resolução espacial mais refinada permitiu identificar áreas de disposição de RCC bem como sua caracterização por meio de técnicas fundamentais de imageamento aéreo, podendo gerar bases informativas úteis para implantação de modelos de gerenciamento. Caso as imagens estudadas não apresentem boa qualidade, o trabalho de interpretação pode ser corrompido ao se gerar falsas informações.

Como pontos negativos da ferramenta está a sua instabilidade em voo, que pode gerar imprecisões geométricas dos seus produtos e o fato da presença de sombras, caso os voos não tenham horários propícios planejados e previsões de velocidade do vento não sejam feitas. Contudo, apesar das limitações, a ferramenta apresentou uma boa contribuição para subsidiar o manejo dos resíduos de construção.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, citam-se:

- Realizar testes com outros parâmetros técnicos de voo, condições ambientais e outros propósitos, como recorrência de lançamento de resíduos e evolução dos impactos gerados;
- Proceder a estimativa de volume de RCC lançado na superfície;
- Buscar detalhamento dos tipos de materiais imageados;
- Proceder à avaliação da ferramenta em comparação ao trabalho convencional de fiscalização.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEROSPACE INDUSTRIES ASSOCIATION. **Unmanned aircraft systems: perceptions & potential**. 2013.

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). 2012A. **Instrução Suplementar - IS Nº 21-002 Revisão A**, 4 OUT 2012 (ANAC). Disponível em: <[http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-21-02a/@\\_@display-file/arquivo\\_norma/IS%2021-002A.pdf](http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-21-02a/@_@display-file/arquivo_norma/IS%2021-002A.pdf)>. Acesso em: 015 set. 2016.

ALONÇO, A. dos S. et al. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado (VANT) para utilização em atividades inerentes à agricultura de precisão**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2005, Canoas. Anais... Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2005.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo, 2000. 172p. Dissertação de Mestrado -Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. **Variabilidade dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. e-Mat – Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil. Vol. 1, n.1, p. 22-32, maio 2004.

ASSIS, H. Y. E. G. DE; ALMEIDA, N. V.; SANTOS, A. A. DOS. **Mapeamento das unidades de paisagem da área de proteção ambiental da Barra do Rio Mamanguape – PB**. XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15112: **Resíduos sólidos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15113: **Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15114: **Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15115: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

AUSTIN, Reg. **Unmanned Aircraft Systems: UAVs design, development and deployment**. Wiltshire: John Wiley & Sons Ltd, 2010. 332 p.

BARNHART, Richard K. et al. **Introduction to Unmanned Aircraft Systems**. Boca Raton: Crc Press, 2012. 233 p.

BENTO, M. **Unmanned Aerial Vehicles: An Overview**. Inside GNSS, January/February, pp. 54-61. 2008.

BRASIL. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico, 2000**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/default.shtm> Acesso em 05 de setembro de 2013.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2010. Disponível em:. Acesso em: 5 março 2014.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 001, de 23 de setembro de 1986**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional da Habitação.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional da Habitação.

BRAZ, A. M.; BORGES, J. P. S.; BERNARDES, D. C. S.; TEREZAN, L. H. **Análise da aplicação de VANT na atualização de cadastro florestal com uso de pontos de controle**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

DEGANI, Clarice Menezes. **Sistemas de gestão ambiental em empresas construtoras de edifícios**. 2003. 205 p., mais anexos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

D'OLIVEIRA, M. C. P. E. **Sistema de apoio à decisão aplicado ao gerenciamento dos resíduos de construção civil – ferramenta gir@ssol**. Palmas: Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Tocantins, 2015.

EISENBEISS, H. **UAV Photogrammetry**. Doctor of sciences, University of Technology Dresden, Germany, 2009.



FARIA, Rodrigo Ribeiro de; COSTA, Marledo Egídio. **A inserção dos veículos Aéreos não tripuláveis (drones) como tecnologia de monitoramento no combate ao dano ambiental**. 2015. 23 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Formação de Oficiais, Polícia Militar de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

FREITAS, H. T. A. **Estudo preliminar para instalação de uma usina de resíduos da construção e demolição em Mossoró – RN**. Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Departamento de Ciências Exatas e Naturais para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia, 2011. 71p.

FURTADO, V. H. et al. **Aspectos de Segurança na Integração de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no Espaço Aéreo Brasileiro**. VII Simpósio Brasileiro de Transporte Aéreo. Rio de Janeiro, 2008.

GARCIA-RUIZ, F.; SANKARAN, S.; MAJA, J. M.; LEE, W. S.; RASMUSSEN, J.; EHSANI, R. **Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees Computers and Electronics**. Agriculture v. 91 p.106–115, 2013.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Unmanned Aircraft Systems (UAS)** – Circular n. 328. Canada: ICAO, 2011.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução José Carlos Neves Epiphanyo. 2ed. São José dos Campos, SP, 2011.

JHON, V. M., AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. VII Simpósio Brasileiro de Transporte Aéreo. Rio de Janeiro, 2008.

JORGE, L. A. C.; BRANDÃO, Z. N.; INAMASU, R. Y. **Insights and recommendations of use of UAV platforms in precision agriculture in Brazil**. (C. M. U. Neale & A. Maltese, Eds.) Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVI, v. 9239, n. 2004, p. 923911, 2014.

KARPINSKI, L. A. et al. **Gestão de Resíduos da Construção Civil: uma abordagem prática no município de Passo Fundo, RS**. Estudos Tecnológicos, Passo Fundo, v. 04, p. 69 - 87, 2008.

LEVY, S.M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização com agregados para argamassas concretos**. São Paulo, 1997a. 147p. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LEVY, S.M.; HELENE, P.R.L. **Reciclagem do entulho em canteiros de obra, influência do material cerâmico na qualidade de novas argamassas**. São Paulo, 1997b. 147p. Anais. Curitiba, ABLP, 2000.

LONGHITANO, G. A., e QUINTANILHA, J. A. **Avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas por meio**

**de sensoriamento remoto por vants.** In III Coloquio Evaluación de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgos para La Reducción de los Desastres de la VIII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Havana, Cuba, 2011. III Coloquio Evaluación de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgos para La Reducción de los Desastres de la VIII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo., 2011.

MELO, R. R. S., COSTA, D. B. **Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para inspeção de logística em canteiros de obra.** In: SIBRAGEC ELAGEC, 2015. São Carlos – SP.

MENDES, T. A. et al. **Parâmetros de uma pista experimental executada com entulho reciclado.** In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – 35. Resumo. p. 1-12. Rio de Janeiro, 2004.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB.** Brasília, DF, maio de 2013, p. 107.

MORAIS, G. M. D. **Diagnóstico da Deposição Clandestina de Resíduos de Construção e Demolição em Bairros Periféricos de Uberlândia-MG: subsídios para gestão sustentável.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

OLIVEIRA, Edieliton Gonzaga de Oliveira; MENDES, Osmar. **Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: estudo de caso da resolução 307 do CONAMA.** Disponível em: [http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/arquivosupload/36/file/continua/gerenciamento%20de%20res%20c3%84duos%20da%20constru%20c3%87%20c3%83o%20civil%20e%20demoli%20c3%87%20c3%83o%20-20estudo%20de%20caso%20da%20resol\\_\\_\\_\\_.pdf](http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/arquivosupload/36/file/continua/gerenciamento%20de%20res%20c3%84duos%20da%20constru%20c3%87%20c3%83o%20civil%20e%20demoli%20c3%87%20c3%83o%20-20estudo%20de%20caso%20da%20resol____.pdf). Acesso em: 20 mar. 2014.

OLIVEIRA, C. F. P., BESSA, K. C. O. **O espaço urbano de Palmas/TO: dispersão, periferias, vazios urbanos e transporte público por ônibus.** Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium, Ituiutaba, v. 6, n. 1, p. 15-40, jan./jun. 2015.

PEGORARO, A. J. **Estudo do potencial de um veículo aéreo não tripulado/quadrotor, como plataforma na obtenção de dados cadastrais, 2013.** Doutorado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina. 221p.

PEGORARO, A. J. **Uso do paramotor e da grade canadense para obtenção de fotografias e informações aéreas sobre o meio ambiente.** Dissertação de mestrado, Santa Maria, 2000.

PINTO T de P. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do SidusCon – SP.** São Paulo, 2005.

PONTES, G. C. **Avaliação do Gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição em Empresas Construtoras do Recife, PE em Conformidade com a Resolução nº do CONAMA.** Recife, PE: Universidade Católica de Pernambuco, 2007.

PUCCI, R. B. **Atendendo Logística de Resíduos da Construção Civil à Resolução do CONAMA nº 307**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.

RODRIGUES, E. S. **Aspectos regulatórios da operação de veículos aéreos não tripulado**. *Anais do XIII Rio de Transportes*. Rio de Janeiro, 2015. 14 p.

RODRIGUES R. S., MURILO, A., FILHO, W. B. V. **Desenvolvimento de um sistema de controle embarcado para um veículo aéreo não tripulado para fotogrametria**. ABCM Symposium Series in Mechatronics - Vol. 6, 2014.

SANTOS, E.C.G. (2007). **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado**. 2007. 168 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SCHNEIDER, D. M. **Deposições Irregulares de Resíduos da Construção Civil na Cidade de São Paulo**. 2003, 126p. Tese de mestrado. Departamento de Saúde Ambiental da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SHINGO, S. **A study of Toyota production system from an industrial engineering viewpoint**. Toquio, Japan Management Association, 1981.

SIEBERT, S; TEIZER, J. **Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using na Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system**. *Automation in Construction*. v.41, p. 1-14. 2014.

SILVA, J. P. **Caracterização de Resíduos de Construção Civil na Cidade de Palmas – TO**. Palmas: Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Tocantins, 2015.

SILVA, E. T. J. B **Veículos aéreos não tripulados: panorama atual e perspectivas para o monitoramento de atividades ilícitas na Amazônia**. In: *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

SILVA, J. S., ASSIS, H. Y. E. G., BRITO, A. V., ALMEIDA, N. V. **VANT como ferramenta auxiliar na análise da cobertura e uso da terra**. In: *X CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA*, 2015.

SIMPSON, A.D. **Development of an unmanned aerial vehicle for low-cost remote sensing and aerial photography**. Master of Science Thesis. University of Kentucky, Lexington, Kentucky. 2003.

TOCANTINS. **Lei Estadual nº 261, de 20 de fevereiro de 1991**. Diário Oficial [do] Estado do Tocantins nº 60, Palmas, TO, 20 de fevereiro de 1991.

ZORDAN, S. E. et al. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. Campinas, 1997. 140p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP.