

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

ANNY KELI APARECIDA ALVES CÂNDIDO

APLICAÇÕES AMBIENTAIS DE VEÍCULO AÉREO NÃO
TRIPULADO

CAMPO GRANDE
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

ANNY KELI APARECIDA ALVES CÂNDIDO

**APLICAÇÕES AMBIENTAIS DE VEÍCULO AÉREO NÃO
TRIPULADO**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul como requisito parcial a obtenção do título de Doutor em Tecnologias Ambientais, área de concentração Engenharias I.

Orientador: Prof. Dr. Antonio
Conceição Paranhos Filho
Co-orientador: Prof. Dr. Normandes
Matos da Silva

Aprovada em: 07 de Outubro de 2016

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho
Orientador – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS

Prof. Dr. José Marcato Junior
Instituição - Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul - UFMS

Prof. Dr. Roberto Macedo Gamarra
Instituição - Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul - UFMS

Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani
Instituição - Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul - UFMS

Prof. Dr. Gustavo Marques e Amorim
Instituição - Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul - UFMS

Campo Grande, MS.
2016

DEDICATÓRIA

À toda minha família e amigos pelo apoio incondicional em todos os momentos dessa caminhada. Em especial aos meus pais Azab Alves Cândido e Anair da Penha Alves (*In memoriam*) que me ensinaram a importância da família, o caminho da honestidade e persistência e que sempre estiveram ao lado.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me amparar nos momentos difíceis e me dar forças para superar as dificuldades e seguir em frente.

Ao Professor Doutor Antonio Conceição Paranhos Filho, pela orientação fornecida durante a elaboração deste trabalho e pela oportunidade de trabalhar ao lado de alguém de tamanha sabedoria, que respeito e admiro muito.

Ao meu co-orientador Normandes Matos da Silva pelo apoio e pelas contribuições durante o desenvolvimento do trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul - FUNDECT pelas diárias e a sonda multiparamétrica. E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão de diárias e bolsa à Antonio Conceição Paranhos Filho.

Ao laboratório de geoprocessamento para aplicações ambientais da UFMS que forneceu estrutura necessária para o desenvolvimento do trabalho.

Ao laboratório de geoprocessamento do ICA/CUR da Universidade Federal de Mato Grosso que apoiou esse trabalho emprestando equipamentos para aquisição de dados em campo o que corroborou para o desenvolvimento do trabalho.

A minha família por me amparar nos momentos difíceis e sempre me apoiar em minhas escolhas. Ao meu namorado Luciano Bolognez que esteve ao meu lado durante essa caminhada me dando apoio e me impulsionando a seguir em frente.

Aos professores e funcionários da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG) da UFMS, pela colaboração.

Ao Gustavo Amorim pela tradução para o inglês de artigos gerados a partir da tese.

Aos amigos e colegas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho, em especial ao Marcelo Haupenthal que esteve presente em todos os trabalhos de campo pilotando o VANT. Ao José Renato e Leandro que colaboraram nas aquisições de dados com o RTK.

Obrigada

EPÍGRAFE

“O cientista não é o homem que fornece as verdadeiras respostas, é quem faz as verdadeiras perguntas”.

Claude Lévi-Straus

Conteúdo

RESUMO	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUÇÃO	16
OBJETIVO.....	17
1 DIFERENÇAS ENTRE MDE E MDS EXTRAÍDOS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS OBTIDAS POR VANT	18
1.1 RESUMO.....	18
1.2 ABSTRACT.....	18
1.3 INTRODUÇÃO	19
1.4 MATERIAIS E MÉTODOS	20
1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
1.6 CONCLUSÃO	25
1.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
2 ACURÁCIA POSICIONAL DO LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO NO PANTANAL DERIVADO DE VANT	28
2.1 RESUMO.....	28
2.2 ABSTRACT.....	28
2.3 INTRODUÇÃO	29
2.4 MATERIAIS E MÉTODOS	30
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
2.6 CONCLUSÃO	41
2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
3 QUALIDADE DA ÁGUA E QUANTIFICAÇÃO DE CLOROFILA POR MEIO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO GERADOS A PARTIR DE IMAGENS ORBITAIS E SUBORBITAIS	44
3.1 RESUMO.....	44
3.2 ABSTRACT.....	44
3.3 INTRODUÇÃO	45
3.4 MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.5 RESULTADOS E DISCUSÃO	50
3.5.1 RELAÇÃO DA ABSORBÂNCIA DA ÁGUA COM PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	50
3.5.2 RELAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO COM CLOROFILA.....	53
3.6 CONCLUSÃO	58
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
4 CLASSIFICAÇÃO DE BAÍAS E SALINAS A PARTIR DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO GERADOS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS DE VANT NO PANTANAL DA NHECOLÂNDIA	62

4.1	RESUMO:.....	62
4.2	ABSTRACT:	62
4.3	INTRODUÇÃO	63
4.4	MATERIAIS E MÉTODOS	64
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
	4.5.1 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DAS LAGOAS DA NHECOLÂNDIA.....	67
	4.5.2 ANÁLISE DA RESPOSTA ESPECTRAL DAS LAGOAS PARA OS COMPRIMENTOS DE ONDA RGB E PARA OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	70
	4.5.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE CLASSES DE COBERTURA DO SOLO PARA OS ÍNDICES RAVI, NRAVI, EXG E NEXG	71
	4.5.4 ANÁLISE DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NAS LAGOAS.....	72
	4.5.5 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO COM PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA	79
4.6	CONCLUSÃO	80
4.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
5	ANEXO	85

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 Localização da área de estudo. (A) Limite do Brasil e dos Estados, em vermelho limite da bacia do Alto Paraguai e em azul limite externo do Pantanal. (B) Limites dos Pantanaís gerados por Miotto et al., (2012) com destaque para o pantanal Miranda-Abobral região onde está localizada a Base de Estudos da UFMS no Pantanal – BEP. (C) Fotografia aérea de VANT da Base de Estudos da UFMS no Pantanal - BEP.....21
- Figura 1.2 Mosaico de fotografias aéreas mostrando a área em que foram gerados os Modelos MDE e MDS. Interface para visualização *software* Global Mapper versão 13.2 (Blue Marble GeoGraphics, 2012).....23
- Figura 1.3 Modelo Digital de Superfície (MDS). Interface para visualização *software* Global Mapper versão 13.2 (Blue Marble GeoGraphics, 2012).24
- Figura 1.4 Modelo Digital de Elevação (MDE). Interface para visualização *software* Global Mapper versão 13.2 (Blue Marble GeoGraphics, 2012).24
- Figura 2.1 Em A, divisões do Pantanal segundo Miotto et al. (2012), com destaque para o Miranda-Abobral região onde está localizada a BEP - Base de Pesquisa no Pantanal da UFMS. Em B fotografia aérea de VANT da BEP com resolução espacial de aproximadamente 4 cm.31
- Figura 2.2 Em destaque a aeronave remotamente pilotada de propulsão elétrica utilizada na pesquisa.32
- Figura 2.3 Marcação no solo para coleta de ponto de controle planialtimétrico adotado na validação e correção do mosaico de fotografias aéreas do VANT.....33
- Figura 2.4 Visualização do Modelo Digital de Superfície - MDS obtido através de fotografias aéreas, visualização 3D com sombreado no *software* Global Mapper versão 13.2 (Blue Marble GeoGraphics, 2012).35
- Figura 2.5 Visualização 3D do MDS sobreposto com o mosaico de fotografias aéreas..... 36
- Figura 2.6 Mosaico gerado a partir das coordenadas centrais de cada fotografia, e em destaque o Carandá, uma palmeira típica da região (Círculos vermelhos), o carro onde estava à base

controle do VANT (seta vermelha), um poste (retângulo na parte superior da figura) e os deslocamentos dos pontos de controle, a exemplo, o ponto 3 no destaque do lado direito da figura.....	36
Figura 2.7 Sentido de deslocamento do mosaico aferido pelo azimute e o rumo.	38
Figura 3.1 Localização dos pontos de coleta no Município de São Gabriel do Oeste (imagem Landsat 8, sensor Operational Land Imager (OLI), órbita ponto 225/73 de 14/11/2013).....	47
3.2 Localização dos Pontos de coleta.	50
Figura 3.3 Espectro de absorção da água superficial dos quatro pontos de coleta para os comprimentos de onda na faixa espectral do visível.	51
Figura 3.4 Imagem Landsat8 (composição R5 G6 B4) mostrando os pontos de coleta 1 e 2 (A), ponto 3 (B) e ponto4 (C). Na figura 4A é possível observar o corpo hídrico na imagem L8 (ponto 1 e 2), já nos pontos 3 (4B) e 4 (4C) observa-se somente a mata de galeria.	53
Figura 3.5 Comparação entre a clorofila extraída em laboratório com a estimada a partir dos índices de vegetação das fotografias aéreas.	57
Figura 3.6 Comparação entre a clorofila extraída em laboratório com a estimada a partir dos índices de vegetação da imagem Landsat 8.....	58
Figura 4.1 Localização da Fazenda Barranco Alto no Município de Aquidauana. A Fazenda está situada às margens do Rio Negro no Pantanal da Nhecolândia. Imagem Landsat 8 de 20 de junho de 2015.	64
Figura 4.2 Etapas realizadas em campo. Coleta dos Parâmetros Físico-químicos da água (A). Levantamento de pontos de controle em Campo (B); Imageamento com Veículo Aéreo Não Tripulado (C).	65
Figura 4.3 Mosaico de fotografias aéreas da área de estudo, e localização dos pontos de coleta. Os pontos 1, 3, 7 e 12 são referentes às salinas, os pontos 2, 4, 5, 6, 8, 10 são as Baías e os pontos 9 e 11 as lagoas estão em processo de transição.....	68
Figura 4.4 Refletância média das lagoas analisadas para os comprimentos de onda na região do Azul, Verde e Vermelho.....	70

Figura 4.5 Média dos índices gerados do mosaico de fotografias aéreas em cada uma das lagoas.....	73
Figura 4.6 Desvio padrão dos índices gerados a partir do mosaico de fotografias aéreas em cada uma das lagoas estudadas. (A) índice Ravi, (B) índice Nravi, (C) índice ExG e em (D) NExG.....	74
Figura 4.7 Índice de Vegetação verde-vermelho (Ravi) gerado a partir de um mosaico de fotografias aéreas obtidas por VANT.....	75
Figura 4.8 Índice de Vegetação por diferença normalizada verde-vermelho (Nravi) gerados a partir de um mosaico de fotografias aéreas obtidas por VANT.	76
Figura 4.9 Índice de Vegetação Excesso de Verde (ExG) e Excesso de Verde Normalizado (NExG) gerados a partir de um mosaico de fotografias aéreas obtidas por VANT.	77
Figura 4.10 Índice de Vegetação Excesso de Verde Normalizado (NExG) gerado a partir de um mosaico de fotografias aéreas obtidas por VANT.....	78
Figura 4.11 Dendograma expressando os índices e dados de qualidade da água (pH, Condutividade Elétrica, Turbidez, Oxigênio Dissolvido, Sólidos Totais Dissolvidos e Potencial de Oxido Redução (Algoritmo Vizinho mais próximo e índice de Similaridade Gower).....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Comparação entre as coordenadas dos pontos de controles obtidos em campo (RTK) com os respectivos pontos coletados no mosaico gerado apenas com a coordenada central de cada fotografia obtida através de um GPS de navegação, mostrando o deslocamento em E, N e a distância entre os dois pontos (RTK e Mosaico).	37
Tabela 2.2. Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) gerados a partir da comparação entre os pontos do RTK e os pontos correspondentes nos mosaicos com correção geométrica utilizando 1, 2 e 3 pontos de controle.	39
Tabela 2.3 Comparação entre as altitudes dos pontos de controle com as altitudes do MDS referente às mesmas marcações.	40
Tabela 3.1 Parâmetros definidos para missão executada pelo VANT no município de São Gabriel do Oeste.	48
Tabela 3.2 Equações utilizadas para gerar os índices de vegetação RAVI, NRAVI e ExG. ...	49
Tabela 3.3 Tabela com as médias dos parâmetros físico-químicos analisados e os padrões de qualidade da água determinados pela resolução do CONAMA nº 357/2005 e CECA/MS036 para curso d'água de classe 1.	52
Tabela 3.4 Amplitude, média e desvio padrão dos índices de vegetação referentes aos corpos hídricos analisados.	54
Tabela 3.5 Correlação de Pearson dos dados de clorofila a com os índices de vegetação RAVI, NRAVI, ExG e NDVI.	55
Tabela 3.6 Equações e R^2 gerados a partir da análise de regressão para os diferentes índices e imagens analisadas.	56
Tabela 3.7 Dados de clorofila extraída em laboratório e clorofila estimada a partir de índices de vegetação.	56
Tabela 4.1. Equações utilizadas para gerar os índices de vegetação RAVI, NRAVI, ExG e NExG.	67

Tabela 4.2. Dados de qualidade de água dos pontos coletados. 69

Tabela 4.3. Valor máximo, médio, mínimo e desvio padrão das classes água (bacias mais salinas), lagoa Salina, lagoa Baía, lagoa Baía sem vegetação, telhado de casas, solo exposto, vegetação rasteira e vegetação arbórea para os índices Ravi, Nravi, ExG e NExG..... 71

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- APP – Área de Preservação Permanente
- ASPRS - *Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*
- BEP - Base de Estudos do Pantanal
- CAR - Cadastramento Ambiental Rural
- CINDACTA - Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de tráfego Aéreo
- EIA/RIMA - Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental
- ExG - *Excess Green*
- GNSS - Global Navigation Satellite Systems
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
- LASER - *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*
- MDE - Modelo Digital de Elevação
- MDS - Modelo Digital de Superfície
- MDT – Modelos Digitais de Terreno
- MNT - Modelos Numéricos de Terreno
- NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*
- NRAVI - *Normalized Ratio Aquatic Vegetation Index*
- OD - Oxigênio Dissolvido
- ORP - Potencial de Oxido Redução
- PPP - Posicionamento por Ponto Preciso
- RADAR - *Radio Detection And Ranging*
- RAVI - *Ratio Aquatic Vegetation Index*
- REQM - Raiz do Erro Quadrático Médio
- RPAS - sistemas de aeronaves remotamente pilotadas
- RTK - *Real Time Kinematic*
- TDS - Sólidos Totais Dissolvidos
- Temp. - Temperatura
- UAV - unmanned aerial vehicle
- USGS - *United States Geological Survey*
- VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

RESUMO

CÂNDIDO, Anny Keli Aparecida Alves. **Aplicações ambientais de veículo aéreo não tripulado**. 2016. 85 f. Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2016.

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) estão sendo cada vez mais aplicados ao uso civil, em especial na área de monitoramento ambiental. Por ser uma tecnologia nova, há carência de estudos principalmente no que diz respeito ao processamento de imagens. O objetivo geral é avaliar as aplicações ambientais de veículo aéreo não tripulado. Nesse sentido, o primeiro capítulo apresenta uma análise de acurácia do mosaico de fotografias aéreas gerado sem pontos de controle de campo e com pontos de RTK, com o objetivo de reduzir custos. O segundo capítulo diferencia Modelo Digital de Elevação de Modelo Digital de Superfície e apresenta uma rotina para gerar os dois modelos a partir de fotografias aéreas de VANT. O terceiro capítulo analisou a qualidade da água e utilizou índices de vegetação que são gerados com imagens convencionais (RGB) para estimar clorofila da água permitindo que o mesmo seja estimado em outras datas em caso de água parada. O quarto capítulo avaliou índices de vegetação gerados com fotografias RGB na separação das lagoas do Pantanal da Nhecolândia em Baías e Salinas e analisou o comportamento espectral das diferentes feições presente na área de estudo.

Palavras-chave: DRONE, fotografias aéreas de pequeno formato, MDS, Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS), sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The Unmanned Aerial Vehicles (UAV) are being increasingly applied to civilian use, especially in environmental monitoring area. As a new technology, there are few studies mainly with regard to the processing of images. The overall objective is to evaluate the environmental applications of unmanned aerial vehicle. In this sense, the first chapter presents an analysis of accuracy of aerial photographs mosaic generated without field control points and points of RTK, in order to reduce costs. The second chapter sets Model Digital Surface Digital Elevation Model and provides a routine to generate the two models from aerial photographs of UAVs. The third chapter examined the quality of water used and vegetation indices which are generated with conventional images (RGB) to estimate chlorophyll water allowing it to be estimated at other times in case of standing water. The fourth chapter evaluated generated with photos vegetation indices RGB separation in the Pantanal lagoons Nhecolândia in Bays and Salinas and analyzed the spectral behavior of the different features present in the study area.

Keywords: DRONE, small format aerial photographs, MDS, remotely piloted aircraft systems (RPAS), remote sensing.

INTRODUÇÃO GERAL

Os VANT são Veículos Aéreos Não Tripulados e atualmente vistos como inovações devido às possibilidades de utilização em diversas áreas. Com o avanço tecnológico ocorrido nas últimas décadas, os VANT surgem como importante ferramenta de monitoramento.

Nesse contexto, os VANT apresentam-se como uma alternativa promissora, já que seu custo quando comparado às demais formas de aquisição de dados é relativamente inferior, permitindo assim a realização de monitoramentos periódicos, viabilizando a identificação de mudanças no uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente ou em qualquer área de interesse ambiental (BRASIL, 2012 e LIU et al., 2014). Muitos investimentos vêm sendo aplicados na utilização desse tipo de tecnologia, já que o VANT apresenta flexibilidade operacional, não possui tripulantes, baixo custo na produção e manutenção das aeronaves, além de poder obter imagens com mais qualidade e detalhamento (BARROS et al., 2013).

Atualmente no Brasil ainda não há uma legislação específica para regulamentar o uso de VANT. Mas a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) realizou consulta pública e liberou uma prévia de alguns pontos da legislação, a mesma será publicada nos próximos meses. Acredita-se que a regulamentação impulsionará o crescimento das empresas que produzem essas aeronaves e prestam serviços nessa área.

O uso e o aperfeiçoamento dessas tecnologias são de fundamental importância, pois permite o monitoramento de diversas atividades com alta eficiência e baixo custo, dando suporte para o planejamento técnico mais operacional e adequado à realidade ambiental da área em questão (BONATO et al., 2007 e NEX; REMONDINO, 2014). Por ser uma tecnologia relativamente nova, há necessidade de conhecer melhor suas vantagens e desvantagens, tanto para aplicação na área ambiental, como para geração de produtos cartográficos. Nesse contexto, essa tese é composta por 4 capítulos que visam explorar as potencialidades dessa tecnologia.

O primeiro capítulo, “Acurácia posicional do levantamento aerofotogramétrico no Pantanal”, analisa as distorções geométricas do mosaico de fotografias aéreas corrigido geometricamente com os dados de um GPS de navegação acoplado na aeronave remotamente pilotada e compara o resultado da correção com dados DGPS.

O segundo capítulo, “Diferenças entre MDE e MDS extraídos de fotografias aéreas obtidas por VANT”, gerou-se a partir de fotografias aéreas um Modelo Digital de Elevação (MDE) e um Modelo Digital de Superfície (MDS), ambos em alta resolução espacial e também se conceituou Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Digital de Superfície e

Modelo Digital de Elevação a fim de contribuir para a redução dos conflitos relacionados a esses conceitos.

Já o terceiro capítulo, “Qualidade da água e quantificação de clorofila-*a* por meio de índices de vegetação gerados a partir de imagens orbitais e suborbitais”, avaliou a qualidade das águas de um setor de nascentes no Município de São Gabriel do Oeste a partir da resposta espectral das imagens de VANT, aliadas aos parâmetros físico-químicos levantados em campo, estimando-se ainda a clorofila-*a* presente na água por meio de índices gerados a partir de imagens orbitais e suborbitais.

O quarto capítulo é “Classificação de baías e salinas a partir de índices de vegetação gerados de fotografias aéreas de VANT no Pantanal da Nhecolândia”, nesse, será produzido índices de vegetação e que serão correlacionados com os parâmetros físico-químicos da água destas lagoas.

OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar algumas aplicações ambientais das fotografias aéreas obtidas por Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT.

1 DIFERENÇAS ENTRE MDE E MDS EXTRAÍDOS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS OBTIDAS POR VANT

1.1 RESUMO

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) e os Modelos Digitais de Superfície (MDS) são muito utilizados em diversos estudos principalmente os relacionados com relevo. O termo MDS surgiu na área comercial visando à negociação de dois produtos diferentes e com aplicações distintas, mas apesar dos produtos serem diferentes há confusão entre os termos. O avanço tecnológico que vem ocorrendo, cada vez mais há necessidade de obtenção de produtos precisos e com alta resolução. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi gerar um MDE e um MDS em alta resolução espacial a partir de fotografias aéreas coletadas por um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). O imageamento aconteceu na Base de Estudos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul no Pantanal e o processamento dos dados foi realizado no *software* Agisoft PhotoScan. A validação dos modelos foi realizada a partir de pontos levantados com RTK em campo. Os Modelos gerados em alta resolução apresentaram bons resultados, ajusta-se a realidade do terreno e são passíveis de utilização para obtenção de quaisquer informações referentes ao relevo e as diferentes feições presentes na superfície.

Palavras-chave: DRONE, MDT, Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS), sensoriamento remoto.

1.2 ABSTRACT

The Digital Elevation Models (DEM) and Digital Surface Models (MDS) are widely used in several studies especially those relating to relief. The MDS term appeared in the commercial area aimed at negotiating two different products and different applications. Although the products are different there is confusion between the terms. With technological advancement that has been occurring increasingly there is a need obtain precise products with high resolution. In this sense the objective of this work was to generate a MDE and MDS in high resolution from aerial photographs collected by an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). The imaging studies took place in the Base Federal University of Mato Grosso do Sul in the Pantanal and the data processing was carried out in Agisoft PhotoScan *software*. Validation of the models was performed from points raised with RTK field. Models generated for high resolution showed good results, the ground reality sets and are likely to use to obtain any information regarding the relief and the different features on the surface.

Keywords: DRONE, MDT, remotely piloted aircraft systems (RPAs), remote sensing.

1.3 INTRODUÇÃO

Estudar as formas do relevo é muito importante para entender os processos, a dinâmica sua associação e relação com as demais formas e processos hidrológicos, climáticos, bióticos, tectônicos, antrópicos, entre outros (Goerl et al., 2012). As formas mais antigas de representação de fenômenos no terreno são as pinturas e mapas, mas devido aos poucos recursos da época as primeiras representações possuíam apenas forma e cor com baixa qualidade e precisão, dificultando o uso para fins de engenharia (Li et al., 2004).

Uma das ferramentas mais utilizadas atualmente na área das geotecnologias para modelagem de dados são os Modelos Digitais de Terreno (MDT) ou Modelos Numéricos de Terreno (MNT). Segundo Oliveira e Tommaselli (2014) os principais métodos para a geração de MDT são a digitalização de curvas de nível a partir de produtos cartográficos pré-existentes, com levantamentos realizados em campo, métodos fotogramétricos aplicados em fotografias aéreas ou imagens de satélite, dados de RADAR (*Radio Detection And Ranging*) e de varredura a LASER (*Light Amplification by Simulated Emission of Radiation*).

De acordo com Felgueiras e Erthal (1988) os MDT representam a variação de uma determinada característica (temperatura, altimetria, batimetria, concentrações de teores geoquímicos e geofísicos) associada a um ponto na superfície terrestre. Os mesmos autores relatam que quando a variável modelada é a altimetria ou relevo esse modelo é chamado de Modelo Digital de Elevação (MDE). Os primeiros MDEs foram produzidos em meados dos anos de 1970 pela USGS (*United States Geological Survey*) e desde então vem sendo aprimorados as fontes de dados, os processos, os equipamentos e os *softwares* utilizados pela USGS para satisfazer as necessidades dos usuários (Osborn et al., 2001).

O MDE fornece a representação contínua da superfície de elevação da Terra e possui informações como coordenadas X e Y e valores de altitude (Z) do relevo (Maune, 2011). Os MDEs são uma das fontes de dados mais importantes para análises hidrológicas por descreverem a topografia que impulsiona o fluxo na superfície (Wechsler, 2007).

Outra terminologia encontrada na literatura são os Modelos Digitais de Superfície (MDS) que se refere à representação que compreende os pontos do terreno e os acima dele. O MDS contabiliza artefatos presentes na superfície, como edifícios, árvores, torres e outras características presentes no relevo nu. São relevantes para a gestão de telecomunicações, segurança aérea, manejo florestal, modelagem 3D e simulações (Maune, 2011).

Os tamanhos de *pixels* menores permitem uma melhor representação da topografia complexa. MDEs de alta resolução são capazes de refinar características de topografia

complexa que são perdidas em MDEs de baixa resolução espacial. Isso levou muitos usuários de MDE buscarem resoluções mais altas para atender a trabalhos que requerem mais detalhes (Wechsler, 2007).

Atualmente ainda há confusão na aplicação dos termos relacionados aos modelos digitais, dessa forma o objetivo do trabalho é gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) e um Modelo Digital de Superfície (MDS) em alta resolução a partir de fotografias aéreas para conceituá-los e destacar as principais diferenças.

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Base de Estudos do Pantanal da UFMS localizada no Município de Corumbá em uma localidade denominada Passo do Lontra, Pantanal do Miranda-Abobral (Figura 1.1).

O imageamento foi realizado em 9 de Agosto de 2014, com uma aeronave de asa fixa e motor de propulsão elétrica. O voo foi realizado em uma altura de 150 m, planejado de tal forma a obter pixels com aproximadamente 4 cm de resolução espacial por meio de uma câmera Sony DSC – W320, RGB de 14 Megapixels.

No *software agisoft photoscan* (Agisoft, 2014), foram gerados os mosaicos com base nas coordenadas centrais de cada imagem, obtida a partir do GPS do VANT (método geotag) nesse método atrela-se a rota do GPS com o horário em que a fotografia foi tirada e dessa forma é possível saber a localização do VANT no horário que a foto foi tirada.

No mesmo *software* foram gerados o Modelo Digital e Superfície (MDS) e o Modelo digital de Elevação (MDE). O MDS foi gerado a partir de uma nuvem densa de pontos seguida de uma triangulação. Para gerar o MDE realizou-se uma classificação automática da nuvem densa de pontos, excluindo-se os pontos que correspondiam a feições acima da superfície como vegetação e construções. Nesta classificação utilizou-se os parâmetros Ângulo, distância máxima e tamanho da célula.

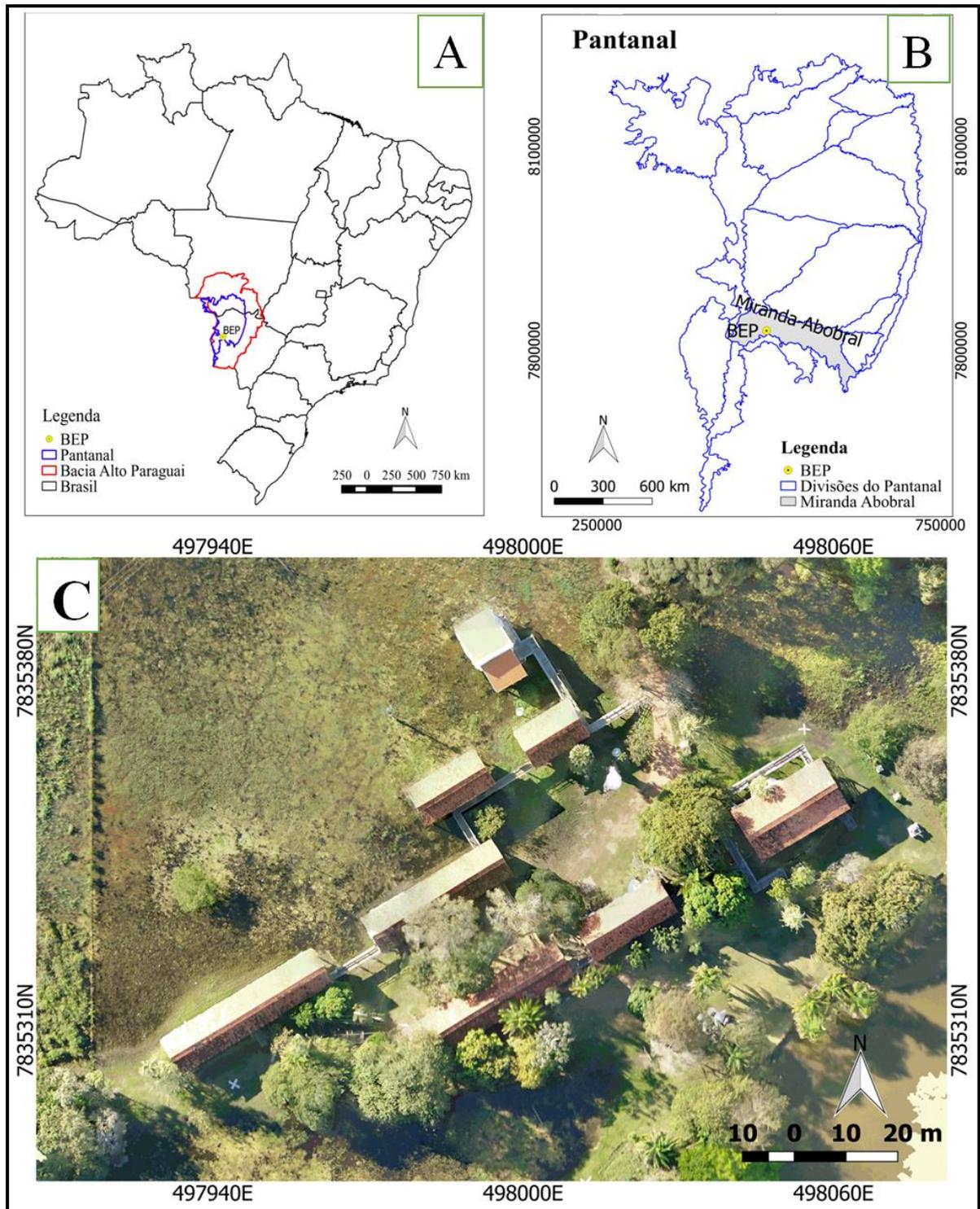


Figura 1.1 Localização da área de estudo. (A) Limite do Brasil e dos Estados, em vermelho limite da bacia do Alto Paraguai e em azul limite externo do Pantanal. (B) Limites dos Pantanaís gerados por Mioto et al., (2012) com destaque para o pantanal Miranda-Abobral região onde está localizada a Base de Estudos da UFMS no Pantanal – BEP. (C) Fotografia aérea de VANT da Base de Estudos da UFMS no Pantanal - BEP.

O parâmetro "ângulo" está relacionado ao ângulo entre um ponto no terreno ao ponto a ser classificado, se o ângulo for menor que 6° ele classifica como terreno e se for maior não

classifica. O parâmetro “distância máxima” define a limitação para a distância entre dois pontos, no caso do presente trabalho, se for menor que 1 m o *software* classifica como terreno e se for maior não classifica. Já o "tamanho da célula" está relacionado ao maior objeto que não faz parte do terreno, pode ser um dossel de vegetação, construções etc. Dessa forma o maior objeto encontrado na área que não faz parte do terreno possui comprimento de 40 m (Agisoft, 2013).

Os produtos gerados foram o mosaico ortorretificado, o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Modelo Digital de Elevação (MDE). Na validação, foram confrontados com os modelos, os dados levantados a campo com um receptor GNSS de dupla frequência aplicando a técnica RTK (*Real Time Kinematic*) conforme a orientação da ASPRS (*Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*) (ASPRS, 2014).

1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Existe confusão em relação aos termos MDT, MDE e MDS, alguns autores relatam que o MDE se refere a uma camada raster que representa o relevo da superfície levando em conta a infra-estrutura, construções, vegetação, etc (Consejería de economia y hacienda, 2015), já Maune (2011) relata que o MDE são dados uniformemente espaçados e se refere ao relevo nu, sem vegetação e influências antrópicas.

Nesse trabalho consideramos a definição de Felgueiras e Erthal (1988) para MDT que considera a modelagem de qualquer variável associada a um ponto específico superfície terrestre, ou seja, com coordenadas conhecidas. Para o MDE consideramos a modelagem da altitude do terreno, dados referentes ao relevo nu, definição apresentada por Maune (2011) e Oliveira e Tommaselli (2014). Nesse caso, no MDS consideramos a modelagem da altitude do relevo com vegetação e infra-estrutura, ou seja, o relevo e tudo que está acima dele (Maune, 2011; Oliveira e Tommaselli, 2014).

O Modelo Digital de Superfície e o Modelo Digital de Elevação foram gerados a partir de fotografias aéreas. A área abaixo (polígono preto) possui 52,08 ha e para gerar seu mosaico foram utilizadas 169 fotografias aéreas. A figura 1.2 mostra a área em que foi gerado os MDE e MDS.



Figura 1.2 Mosaico de fotografias aéreas mostrando a área em que foram gerados os Modelos MDE e MDS. Interface para visualização *software* Global Mapper versão 13.2 (Blue Marble GeoGraphics, 2012).

Os MDEs e MDSs apesar de serem gerados a partir da mesma fonte de dados possuem aplicações diferenciadas. O Modelo Digital de Superfície (MDS) (Figura 1.3) foi gerado a partir de fotografias aéreas de VANT e apresenta além de dados relacionados ao relevo, informações de feições presentes na superfície do terreno como vegetação e construções.

O MDS pode ser usado para medir altura de plantas, construções e do relevo em locais que não haja vegetação e artefatos, para facilitar a identificação de feições no relevo e ainda modelar paisagem de forma tridimensional sobrepondo o mosaico de fotografias em cima do MDS.

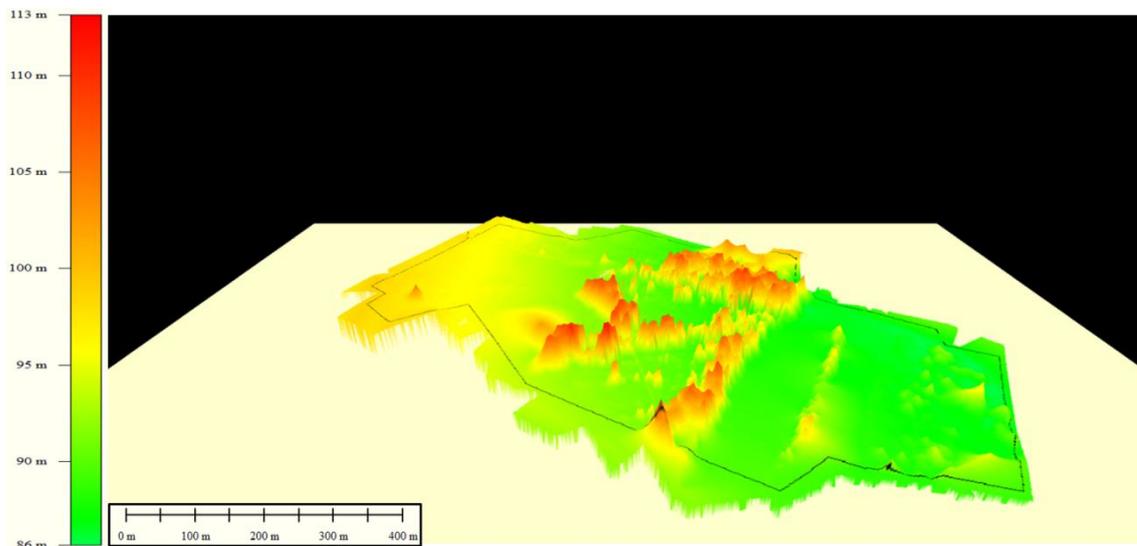


Figura 1.3 Modelo Digital de Superfície (MDS). Interface para visualização *software* Global Mapper versão 13.2 (Blue Marble GeoGraphics, 2012).

Já na figura 1.4 há uma representação de um Modelo Digital de Elevação (MDE), nesse caso as feições presentes no relevo foram removidas. Os MDE geralmente são utilizados na extração de dados relacionados ao relevo como carta de declividade, curvas de nível, extração de drenagens e bacias, uma vez que a eliminação das feições presentes na superfície do relevo reduz grande parte dos erros gerados durante o processamento dos dados relacionados à altimetria do relevo.

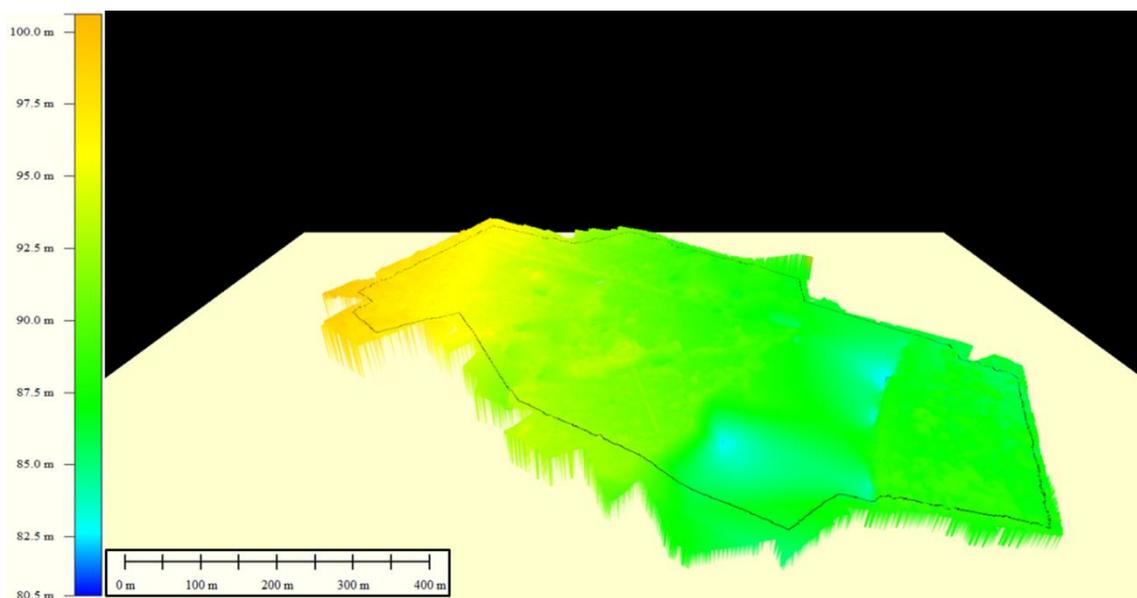


Figura 1.4 Modelo Digital de Elevação (MDE). Interface para visualização *software* Global Mapper versão 13.2 (Blue Marble GeoGraphics, 2012).

A alta resolução das imagens de VANT deve-se a aproximação do sensor ao objeto (Figueira e Oliveira, 2013). A baixa altura de voo das aeronaves remotamente pilotada

contribui para geração de produtos com alto grau de detalhamento e boa qualidade, mas, por outro lado as imagens e modelos são mais pesados que os convencionais, o que implica em maior tempo de processamento e computadores robustos. Dependendo do tamanho da área, em muitos casos há necessidade de máquinas com configurações especiais para trabalhar com produtos oriundos de VANT, por esse motivo recomenda-se aplicá-los em pequenas áreas.

Sabe-se que os métodos utilizados para unir as imagens são baseados em áreas onde se compara a distribuição dos tons de cinza utilizando uma função de similaridade, que identifica os pontos homólogos (Gruen, 2012) e baseados em feições onde é realizada comparação de gradientes, tamanho, brilho médio de regiões, comprimento, curvatura, entre outros parâmetros das feições para identificar as correspondências entre as imagens (Oliveira e Tommaselli, 2014).

Para melhorar o processamento das imagens de VANT recomenda-se não usar áreas muito homogêneas e com pouca textura, pois dificulta para o programa encontrar pontos homólogos entre as fotografias para efetuar o mosaico. Em caso de lagoas, por exemplo, sugere-se planejar a missão de modo que as fotografias peguem parte da borda onde há textura diferente para facilitar a união das imagens.

O alto grau de detalhamento dos modelos contribui para identificação de pequenas feições ou até mesmo de estruturas em relevos relativamente planos, detalhes que não seriam possíveis de serem observados em modelos mais grosseiros de média ou baixa resolução espacial.

1.6 CONCLUSÃO

A metodologia aplicada para gerar o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Modelo Digital de Elevação (MDE) foi adequada e gerou bons resultados. Esses produtos gerados por fotogrametria podem ser aplicados em diversas áreas como monitoramentos, avaliação de impactos ambientais, agricultura de precisão e projetos de infraestrutura. Outro fator relevante é em relação ao custo benefício, uma vez que as produções desses modelos são baratas quando comparados com imageamentos a laser, fornecem dados de altimetria em alta resolução e as informações presentes nas fotografias como radiometria e textura podem ser fundamentais em diversas análises auxiliando em uma tomada de decisão.

1.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGISOFT. **Software Agisoft PhotoScan**. <<http://www.agisoft.ru/products/photoscan/professional/buy/educational/>>. Acesso em: 20 Jul. 2014.

AGISOFT. **Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition**, Version 1.0.0. AgiSoft LLC: Petersburg, Russia. 2013. 70 p. Disponível em: <http://downloads.agisoft.ru/pdf/photoscan-pro_1_0_0_en.pdf>. Acesso em: 20 Abr. 2016.

PHOTOSCAN, Agisoft. **User Manual: Professional Edition; Version 0.9. 1.AgiSoft LLC: Petersburg, Russia**, 2013.

ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing). **ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 1 ed., versão 1.0, Novembro de 2014, p. A1 – A26. Disponível em: <http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/Positional_Accuracy_Standards.pdf>. Acesso em: 27 Abr. 2016.

BLUE MARBLE GEOGRAPHICS. **Global Mapper**, Version 13.2, Global Mapper Software, Hallowell, U. S. A., 2012.

CONSEJERÍA DE ECONOMIA Y HACIENDA. **Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil**. Madrid, 2015.

FELGUEIRAS, C. A., & ERTHAL, G. J. Aplicações de modelos numéricos de elevação e integração com imagens digitais. **Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto**, v.5, p. 485-490, 1988.

GOERL, R. F., KOBIYAMA, M., & SANTOS, I. Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n. 2, 2012.

KOSOVICH, J. National digital elevation program (NDEP), **Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual**, Maune, D. F. (ed.). American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD, p. 83–120, 2001.

MAUNE, D. F. Digital Elevation Model (DEM) Whitepaper NRCS High Resolution Elevation Data. **USDA Natural Resources Conservation Service**. Dewberry, Arlington, 122p. 2011.

MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C. & ALBREZ, E. do A. Contribuição à caracterização das sub-regiões do pantanal. **Entre-Lugar**, v. 3, n. 6, p. 165-180, 2012.

OBORNE M. **Software livre Mission Planner**. 2014. Disponível em: <<http://planner.ardupilot.com/>>. Acesso em: 14 Jul. 2014.

OLIVEIRA, R. A. D., & TOMMASELLI, A. M. G. Avaliação de uma técnica para geração de modelos digitais de superfície utilizando múltiplas imagens. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v.20. n. 2. p. 257-278, 2014.

OSBORN, K., J. LIST, D. GESCH, J. CROWE, G. MERRILL, E. CONSTANCE, J. MAUCK, C. LUND, V. CARUSO, AND LI, ZHILIN; ZHU, CHRISTOPHER; GOLD, CHRIS. **Digital terrain modeling: principles and methodology**. CRC press, 2004.

WECHSLER, S. P. Uncertainties associated with digital elevation models for hydrologic applications: a review. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 4, p. 1481-1500, 2007.

2 ACURÁCIA POSICIONAL DO LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO NO PANTANAL DERIVADO DE VANT

2.1 RESUMO:

A utilização de imagens ortorretificadas obtidas por VANT pode ser de grande avalia em trabalhos que necessitam de acurácia, nesse sentido o objetivo do trabalho foi analisar as distorções geométricas do mosaico de fotografias aéreas derivadas de veículo aéreo não tripulado (VANT) gerado com os dados de um GPS de navegação acoplado na aeronave remotamente pilotada, em relação a pontos de controle coletados em campo com um receptor GNSS HIPER utilizando o método RTK. O imageamento foi realizado em 9 de agosto de 2014, na base de pesquisa da UFMS no Pantanal de Mato Grosso do Sul, com uma aeronave de asa fixa e motor de propulsão elétrica. O voo foi realizado em uma altura de 150 m, planejado de tal forma a obter pixels com aproximadamente 4 cm de resolução espacial. O mosaico de fotografias aéreas e o Modelo Digital de Superfície foram gerados no software Agisoft PhotoScan. Para verificar a acurácia do mosaico foram coletados pontos de controle a partir de um receptor GNSS HIPER. Para facilitar a localização dos pontos nas fotografias aéreas foram realizadas marcações em solo. O mosaico sem ponto de controle apresentou deslocamento variando de 6,30 m a 8,83m, apesar desse erro de posicionamento o mesmo é passível de utilização para trabalhos que não necessitam de alta acurácia posicional. Já os mosaicos com 1, 2 e 3 pontos de controle apresentaram erros baixos, atendendo a legislação para o georreferenciamento de imóveis rurais. Em relação a altitude o erro foi centimétrico. Os produtos gerados a partir de pontos de controle possuem alta acurácia planialtimétrica e são passíveis de utilização em trabalhos que exijam alta acurácia posicional, como é o caso de serviços de perícias, cadastramento e georreferenciamento de imóveis rurais, análises de lavouras e quantificação flora e fauna.

Palavras-chave: DRONE, fotogrametria, gestão ambiental, geotecnologias;

2.2 ABSTRACT:

The use of orthorectified images obtained by UAV can be of great rating in jobs that require accuracy in that sense the objective of this work was to analyze the geometric distortions of aerial photographs mosaic derived from unmanned aerial vehicle (UAV) generated with data from a GPS navigation engaged in remotely piloted aircraft in relation to the field collected control points with an RTK . The imaging was performed on August 9, 2014, at UFMS research base in the Pantanal of Mato Grosso do Sul, with a fixed-wing aircraft and electric propulsion motor. The flight was conducted at an height of 150 m, planned in such a way to obtain pixels with about 4 cm spatial resolution. To check the accuracy of the mosaic were collected control points from a GNSS HIPER receiver. To ease the location of points on aerial photographs were made markings on the ground. Mosaic without control point presented displacement ranging from 6.30 m to 8.83 m. Previously the tiles with 1, 2 and 3 control points had low errors, given the legislation for the georeferencing of rural properties. Products generated from controls points have high planialtimetric accuracy and are likely to use in jobs that require high positional accuracy, such as expertise services, registration and georeferencing of rural properties, crops analysis and flora and fauna quantification.

Keywords: DRONE, photogrammetry, environmental management, geotechnology;

2.3 INTRODUÇÃO

A obtenção de imagens por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é uma tecnologia nova e promissora e vem ganhando espaço entre as geotecnologias devido as vantagens técnicas e econômicas. A regulamentação que está prestes a entrar em vigor no Brasil é outro fator que corrobora para esse crescimento, pois norteará a comercialização e a utilização do mesmo no país.

Muitas empresas estão desenvolvendo aeronaves compactas com materiais mais leves e resistentes, equipadas com sensores de alta tecnologia e de tamanho diminuto. Everaerts (2008) relata que os VANT estão cada vez mais autônomos e modernos, com uma gama de sensores voltados para as mais diversas aplicações, tornando-se um diferencial para monitoramentos, pois, permitem que os sensores sejam escolhidos e configurados de acordo com o objetivo de cada trabalho.

Alves Júnior et al. (2014) contam que apesar de grande parte dos VANT estarem equipados com receptores GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), os mesmos não são capazes de realizar uma trajetória retilínea ou mesmo manter altura de voo, o que acarreta problemas com escala e nas sobreposições laterais e longitudinais das fotografias. A falta ou a redução da sobreposição pode acarretar em áreas sem cobertura fotográfica ou com recobrimento insuficiente.

As diferenças na escala de uma imagem orbital ou suborbital são ocasionadas no momento em que o sensor capta a resposta espectral de objetos morfológicamente distintos e com altitudes superiores ou inferiores à média do terreno, o que gera imagens com diferentes escalas e com algumas distorções, fazendo com que haja necessidade de realizar correções (JENSEN, 2009).

A alta resolução espacial das imagens dos VANT, permite obter grande acurácia posicional, uma vez que o erro da correção geométrica pode ficar abaixo de um *pixel* e que o tamanho dos *pixels* nesse tipo de fotografia aérea está na casa dos centímetros, o uso de DGPS (*Differential Global Positioning System*) para a correção posicional dessas imagens torna-se imprescindível.

Alves Júnior et al. (2015) que trabalharam com validação de ortomosaicos e Modelos Digitais de Superfície de VANT concluíram que há necessidade de utilizar pontos de apoio para a geração de produtos cartográficos a partir de fotografias aéreas de VANT.

Os produtos gerados são passíveis de utilização no georreferenciamento de imóveis rurais, uma vez que o manual técnico de posicionamento do INCRA prevê a obtenção de informações geométricas por Sensoriamento Remoto de elementos físicos, de forma indireta, com precisão e confiabilidade devidamente avaliada (Brasil, 2013a). E a utilização de imagens ortorretificadas obtidas por VANT pode ser de grande avaliação para a determinação de coordenadas de limites naturais e de locais inacessíveis, já que a Lei 10.267/01 (Brasil, 2001) atualizada em 2013 (Brasil, 2013b) prevê erro de até 3,00 metros e 7,5 metros respectivamente.

Dessa forma o objetivo desse trabalho foi avaliar a acurácia posicional planialtimétrica de mosaicos de fotografias gerados sem pontos de controle e com pontos de DGPS obtidos em campo

2.4 MATERIAIS E MÉTODOS

O Pantanal é uma superfície de acumulação de relevo plano com altimetria variando entre 80 e 150m (Adámoli, 1986), que pode ser subdividido em 18 regiões (Figura 2.1A) e possui uma área de 140.640 km² (Míoto et al., 2012). Os mesmos autores relatam que a maior parte do território do Pantanal encontra-se dentro do limite político do Brasil, sendo que a região do Nabileque/Chaco ocupa parte do território da Bolívia e Paraguai.

A missão com o VANT ocorreu na Base de Estudos do Pantanal (BEP) da UFMS localizada na latitude 19°34'37,91"S e longitude 57°01'06.37"O, no Município de Corumbá, Mato Grosso do Sul, na localidade denominada Passo do Lontra, no Pantanal do Miranda-Abobral (Figura 2.1B). A BEP possui 21,5 ha com área construída de 1208 m² às margens do Rio Miranda e dispõe de alojamentos com capacidade para 33 pessoas, refeitório, despensa, lavanderia, casa de máquinas com gerador de energia, energia elétrica rural, laboratórios, salas de aula, sala para biblioteca e ambulatório para a realização de atendimento médico-odontológico e análises clínicas para a população local (PROPP, 2014).

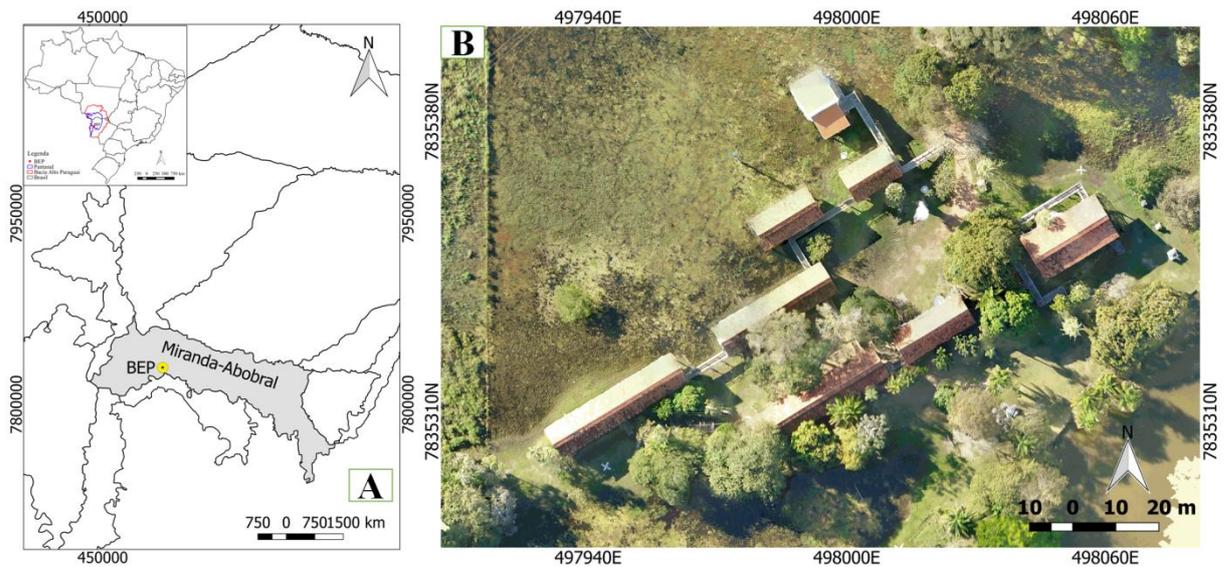


Figura 2.1 Em A, divisões do Pantanal segundo Mioto et al. (2012), com destaque para o Miranda-Abobral região onde está localizada a BEP - Base de Pesquisa no Pantanal da UFMS. Em B fotografia aérea de VANT da BEP com resolução espacial de aproximadamente 4 cm.

A BEP é de suma importância para o desenvolvimento de pesquisas nesse bioma, uma vez que o mesmo apresenta uma dinâmica diferenciada e é pouco explorado, necessitando ainda ser melhor compreendido cientificamente. Por apresentar grande riqueza de fauna e flora surge a necessidade de conhecê-lo melhor a fim de criar diretrizes voltadas a sua preservação e uso sustentável.

O planejamento da área a ser imageada foi realizado no *software* livre *Mission Planner* (Osborne, 2014), onde foram definidos parâmetros como altura de voo e a rota da missão. Nessa etapa deve-se atentar ao objetivo do trabalho, uma vez que, quanto maior a altura de voo do VANT, maior será a área imageada e menor será a resolução espacial. Outro fator que deve ser levado em consideração é autonomia de voo de cada aeronave, uma vez que, há grande variação no tempo de voo de acordo com cada aeronave. A autonomia de voo pode variar de acordo com a carga útil (*Payload*) carregada pelo VANT, o modelo e tamanho do VANT, assim como a potência e o tipo de bateria utilizada em cada aeronave.

Outros fatores levados em consideração foram as condições meteorológicas da região no dia do imageamento, a velocidade e direção do vento uma vez que ventos muito fortes dificultam a missão, além de um local adequado para pouso e decolagem da aeronave, assim como o horário em que a missão foi executada, pois, a qualidade da fotografia está diretamente ligada à luminosidade e dependendo do horário (por volta do meio dia) é possível reduzir as sombras nas imagens.

O imageamento foi realizado em 9 de Agosto de 2014, com uma aeronave de asa fixa e motor de propulsão elétrica (Figura 2.2). O voo foi realizado em uma altura 150 m,

planejado de tal forma a obter pixels com aproximadamente 4 cm de resolução espacial. Foi utilizada uma câmera Sony DSC – W320 de 14 Megapixels.



Figura 2.2 Em destaque a aeronave remotamente pilotada de propulsão elétrica utilizada na pesquisa.

Após a missão os dados referentes ao voo foram analisados no *Mission Planner* (Oborne, 2014), posteriormente foi realizado também o pareamento das fotografias com o log de voo (*Geotag*), nessa etapa cada fotografia recebeu informação de localização e altimetria baseadas nos dados do GPS do VANT.

Ao longo da missão foram coletados cinco pontos de localização a partir de um receptor GNSS (Sistema de Navegação Global por Satélite) HIPER SR com precisão de posicionamento em modo estático (L1/L2) de 3 mm + 0,5 ppm na horizontal e 5 mm + 0,5 ppm na vertical.

O sistema de projeção adotado no trabalho foi o UTM, zona 21S com *datum* WGS 84. O levantamento dos pontos de controle foi realizado com receptores GNSS de dupla frequência, aplicando a técnica de posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*).

Para facilitar a localização dos pontos nas fotografias aéreas foram realizadas marcações em solo (Figura 2.3) com pó de tonalidade clara e escura (rejunte branco e grafite), que dependendo da cobertura do solo era escolhida a cor do rejunte que desse maior contraste com o substrato.



Figura 2.3 Marcação no solo para coleta de ponto de controle planialtimétrico adotado na validação e correção do mosaico de fotografias aéreas do VANT.

O mosaico de 169 fotografias do VANT foi gerado no software *Agisoft Photoscan* (Agisoft, 2014), por meio da importação do arquivo de imagens e arquivo de texto com parâmetros de voo relacionados ao posicionamento no momento da obtenção das imagens. As coordenadas centrais de cada fotografia foram identificadas pelo software e utilizadas para realizar o mosaico.

O deslocamento do mosaico gerado a partir das fotografias de VANT foi avaliado plotando-se os pontos de controle no mesmo e posteriormente medindo a distância entre o ponto inserido e a marcação de campo que há no mosaico (marcação em X com pó branco) de onde esses pontos (RTK) foram devidamente medidos. Para a ortorretificação do mosaico de fotografias foi gerado o Modelo Digital de Superfície (MDS), e para visualização do MDS em modo 3D foi utilizado o Global Mapper 13.2 (Blue Marble GeoGraphics, 2012).

A análise da direção do deslocamento entre o mosaico em relação aos pontos de controle foi realizado através do azimute e do rumo calculado para cada ponto de controle. O mesmo foi gerado a partir do *plugin CadTools* do QGis (Ziegler, 2014) usando dois pontos, o do DGPS e o do mosaico.

No cálculo da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), foram feitos mosaicos com 1 ponto, 2 pontos e 3 pontos de controle, com todas as combinações possíveis dos 5 pontos. Os pontos que não foram usados na correção do mosaico foram utilizados em uma segunda etapa (controle) para aferir o deslocamento do mosaico e para obter o REQM, calculado através da fórmula a seguir:

$$\text{Equação 1} \quad REQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_m - X_G)^2}{n}}$$

n = número de coordenadas usadas para controle;
 X_M = coordenada do mosaico;
 X_G = coordenada estimada pelo RTK.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio do registro fotográfico da região foi possível gerar produtos como Modelo Digital de Superfície (MDS) e mosaicos ortorretificados.

O modelo digital de superfície (MDS) gerado, mostra que a região mais baixa, alagada, possui altitude de 67 m, em áreas não alagadas a altitude aferida foi de aproximadamente 88 m e a altitude máxima foi de 113 m nas copas das árvores (Figura 2.4). Segundo Maune (2011) os MDS são relevantes para a gestão de telecomunicações, segurança aérea, manejo florestal, modelagem 3D e simulações de artefatos sobre o terreno.

O MDS obtido a partir de fotografias de VANT é uma importante ferramenta para a ortorretificação de imagens, para mostrar pequenas variações na altura de objetos presentes na superfície, pois capta pequenas variações de altitude no terreno devido à sua alta resolução espacial. Na Figura 2.4 é possível visualizar construções em alvenaria no centro da imagem com formato retangular (seta1), uma cerca localizada na vertical do lado esquerdo (seta2), pequenas ondulações após a cerca do lado esquerdo devido a gramíneas (seta3), copas da vegetação arbórea (seta4), dentre outras feições ali presentes.

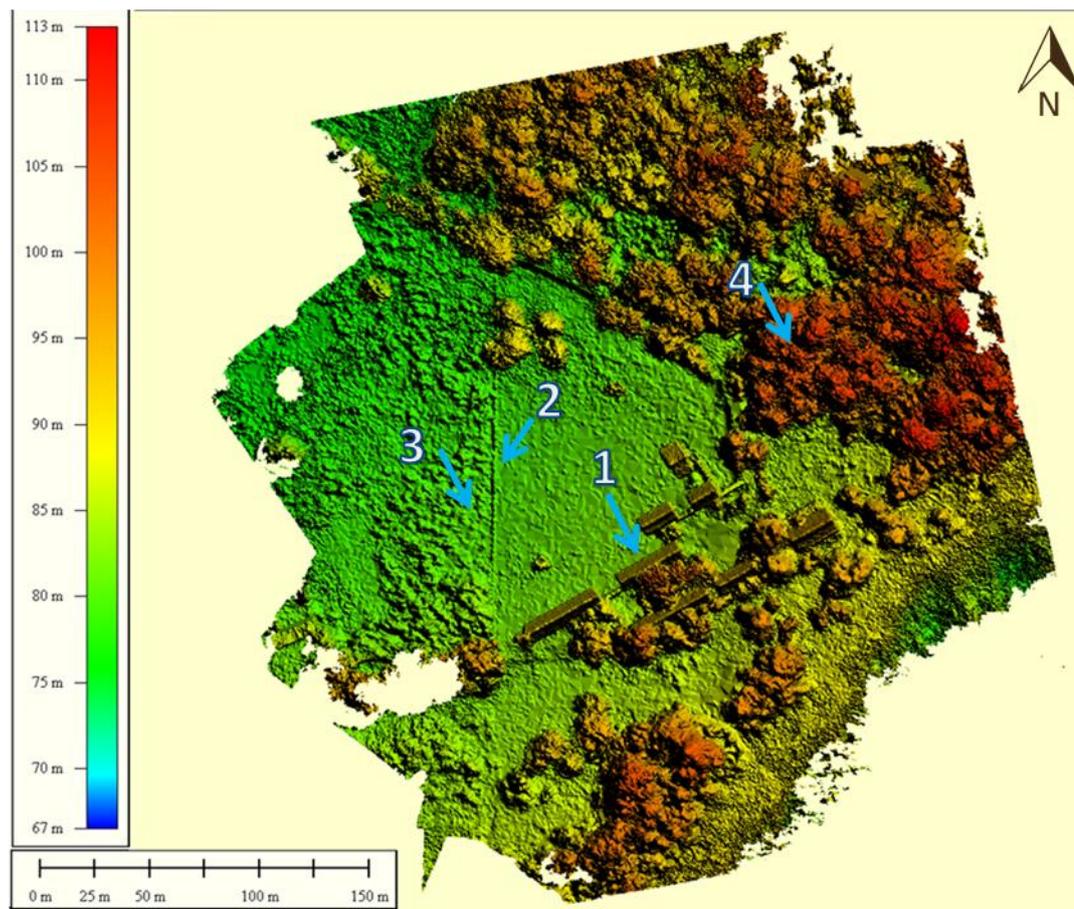


Figura 2.4 Visualização do Modelo Digital de Superfície - MDS obtido através de fotografias aéreas, visualização 3D com sombreado no software Global Mapper versão 13.2 (Blue Marble GeoGraphics, 2012).

Essas diferentes feições que compõem a imagem ficam ainda mais evidentes, quando visualizamos em 3D o MDS com a sobreposição do mosaico de fotografias aéreas (Figura 2.5). Nesse caso a cor, a textura e as sombras nos ajudam a identificar diferentes feições da área de estudos.



Figura 2.5 Visualização 3D do MDS sobreposto com o mosaico de fotografias aéreas.

A resolução espacial do mosaico gerado é de aproximadamente 4 cm, o que permite identificar fios de eletricidade no retângulo vermelho no canto superior esquerdo próximo a cerca, assim como o poste de eletricidade, as marcações que foram realizadas para colocar os tripés do GPS, diferentes espécies de flora, como por exemplo o Carandá, uma palmeira típica da região (Círculos vermelhos) e até o carro onde estava a base controle do VANT (seta vermelha) (Figura 2.6).

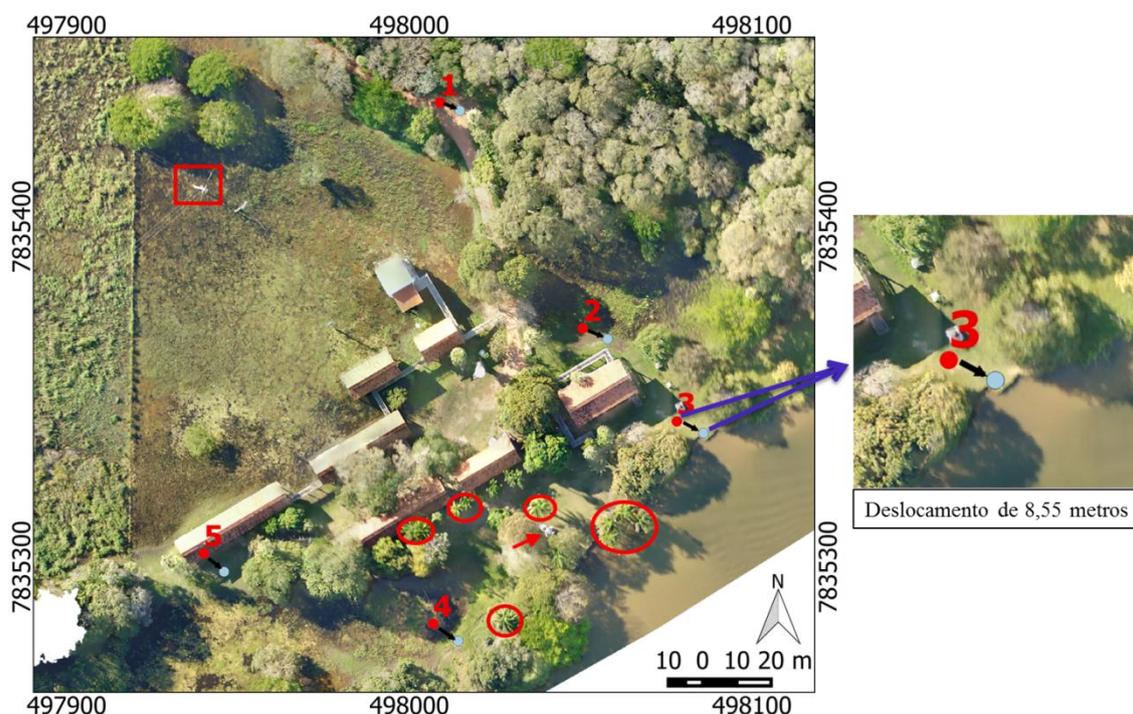


Figura 2.6 Mosaico gerado a partir das coordenadas centrais de cada fotografia, e em destaque o Carandá, uma palmeira típica da região (Círculos vermelhos), o carro onde estava à base controle do

VANT (seta vermelha), um poste (retângulo na parte superior da figura) e os deslocamentos dos pontos de controle, a exemplo, o ponto 3 no destaque do lado direito da figura.

Na comparação do deslocamento do mosaico em relação aos pontos de controle verifica-se um deslocamento de 6,30m no ponto 1 a 8,83m no ponto 4, reforçando que os maiores deslocamento estão em E quando comparado com N (Tabela 2.1).

Tabela 2.1. Comparação entre as coordenadas dos pontos de controles obtidos em campo (RTK) com os respectivos pontos coletados no mosaico gerado apenas com a coordenada central de cada fotografia obtida através de um GPS de navegação, mostrando o deslocamento em E, N e a distância entre os dois pontos (RTK e Mosaico).

Pontos	E	N	Deslocamento
1	5.825 m	2.416 m	6,309 m
2	7.216 m	3.072 m	7,942 m
3	7.836 m	3.308 m	8,557 m
4	7.226 m	5.053 m	8,831 m
5	5.897 m	5.329 m	7,959 m

Na avaliação do deslocamento dos pontos obtidos por meio do mosaico em relação aos pontos do RTK, nota-se uma tendência dos pontos se deslocarem sempre no mesmo sentido. No intuito de certificar o sentido do deslocamento, foi calculado o azimuth, ângulo formado entre o norte e o alinhamento, esse ângulo varia de 0° a 360° e é contado no sentido horário. Observa-se pouca variação no azimuth, uma vez que os mesmos estão dentro do segundo quadrante (90° a 180°). Os ângulos obtidos variam de 112,504° a 132,313°, mostrando tendência sistemática e não aleatória. Essa tendência sistemática fica ainda mais evidente na Figura 2.7, onde as setas vermelhas apontam a direção do deslocamento dos pontos de controle.



Figura 2.7 Sentido de deslocamento do mosaico aferido pelo azimute e o rumo.

Alves Júnior et al. (2015) também verificou essa tendência sistemática em mosaico sem pontos de controle, entretanto os autores evidenciaram uma discrepância planimétrica na direção aproximada de 45° e sentido NE na maior parte dos vetores, já nesse trabalho os rumos possuem direção SE e variam entre 47,687° no ponto 5 a 67,496° no ponto 1.

O deslocamento ou grande parte, pode ser reduzido com a inserção de alguns pontos de controle obtidos a partir de um receptor GNSS. Nos testes realizados, mostraram que a inserção de 1 ponto de controle obteve a Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (REQM) variando de 0,53 m (ponto 1) a 1,59 m (2) em E e em N variou de 0,24 m (ponto 1) a 1,02 m (pontos 2 e 3) (Tabela 2.2). O REQM é uma medida eficaz para aferir a acurácia, a mesma é usada por diversos autores como Lee Liew et al. (2012), Marcato Junior e Tommaselli (2013) e Azmi et al. (2014).

Tabela 2.2. Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) gerados a partir da comparação entre os pontos do RTK e os pontos correspondentes nos mosaicos com correção geométrica utilizando 1, 2 e 3 pontos de controle.

Pontos de controle	Pontos para verificação	REQM dE em metros	REQM dN em metros
1 ponto			
1	2, 3, 4, 5	0,531	0,240
2	1, 3, 4, 5	1,597	1,022
3	1, 2, 4, 5	1,134	1,020
4	1, 2, 3, 5	0,922	0,513
5	1, 2, 3, 4	1,284	0,545
2 pontos			
1 e 2	3, 4, 5	0,091	0,034
1 e 3	2, 4, 5	0,095	0,054
1 e 4	2, 3, 5	0,023	0,042
1 e 5	2, 3, 4	0,043	0,057
2 e 3	1, 4, 5	0,110	0,138
2 e 4	1, 3, 5	0,077	0,042
2 e 5	1, 3, 4	0,068	0,033
3 e 4	1, 2, 5	0,197	0,107
3 e 5	1, 2, 4	0,131	0,024
4 e 5	1, 2, 3	0,059	0,041
3 pontos			
1, 2 e 3	4, 5	0,110	0,065
1, 2 e 4	3, 5	0,025	0,030
1, 2 e 5	3, 4	0,006	0,017
1, 3 e 4	2, 5	0,031	0,060
1, 3 e 5	2, 4	0,039	0,025
1, 4 e 5	2, 3	0,043	0,075
2, 3 e 4	1, 5	0,118	0,069
2, 3 e 5	1, 4	0,102	0,003
2, 4 e 5	1, 3	0,050	0,016
3, 4 e 5	1, 2	0,071	0,016

Quando considera-se 2 pontos de controle para a correção geométrica os erros tendem a reduzir consideravelmente, o maior erro encontrado em E foi de 0,19 m nos pontos 3 e 4 e de 0,13 m em N considerando os pontos 2 e 3. Com a inserção de 3 pontos de controle observou-se maior redução na REQM principalmente nos locais onde os pontos estavam mais espalhados, entretanto em locais em que os três pontos de controle inseridos ficaram próximos, houve um erro de 0,11m (pontos 1,2,3 e 2,3,4) em dE e em dN o maior erro encontrado é de 0,075 metros (pontos 1,4,5) (Tabela 2.2).

Eltohamy e Hamza (2009) relatam que para obter alta precisão na correção geométrica de imagens de satélite, a localização e a distribuição dos pontos de controle devem ser levados em consideração.

Para as condições de Pantanal, relevo plano, os resultados obtidos com a inserção de apenas um ponto atende perfeitamente a legislação para georreferenciamento de imóveis rurais, pois o manual técnico de posicionamento do INCRA (Brasil, 2013a) menciona o uso de Sensoriamento Remoto para obter informações geométricas e a legislação vigente (Brasil, 2013b) prevê erro de 3,00 e 7,5 m para limites naturais e locais inacessíveis respectivamente. O maior erro encontrado nesse trabalho com a inserção de 1 ponto foi de 1,59 m para E e de 1,02 m para N.

Já com a inclusão de dois pontos ou mais o REQM atenderia a legislação em sua maior exigência que são os limites artificiais o qual o erro não pode ultrapassar 50 cm, entretanto, o manual técnico de posicionamento do INCRA (Brasil, 2013b) determina a não utilização de sensoriamento remoto na determinação de vértices tipo “M”, vértices em limites por cerca e vértices referentes a mudanças de confrontação.

Em relação às altitudes, na área de estudo cujo o relevo é plano, o erro é baixo e está na casa dos centímetros, variando entre 3,7 cm no ponto 5 à 37,9 cm no ponto 4. As altitudes dos pontos de controle, juntamente com seus respectivos erros podem ser verificados na Tabela 1.3.

Tabela 2.3 Comparação entre as altitudes dos pontos de controle com as altitudes do MDS referente às mesmas marcações.

Pontos	Altitude Geométrica (m)	Ondulação geoidal (m)	Altitude Ortométrica (m)	Altitude do MDS de Fotografias (m)	Erro (m) (Alt. ortométrica – Alt. Do MDS)
1	101.678	12,92	88,758	88.928	-0,171
2	100.818	12,92	87,898	87,794	0.104
3	101.121	12,92	88,201	87.993	0,208
4	100.959	12,92	88,039	88.418	-0,379
5	102.62	12,92	89,700	89.737	-0,037

As imagens com alta resolução espacial podem ser usadas para análise de pequenas áreas, como a realizada por Cândido et al. (2015a), em uma área em recuperação na nascente do Rio São Lourenço, MT. Também podem ser utilizadas para delimitação de pequenas feições através de classificação automática de fotografias de VANT (CÂNDIDO et al., 2015b).

Os produtos gerados com pontos de controle obtidos a partir de um receptor de dupla frequência (RTK) possuem alta qualidade posicional servindo de base para o desenvolvimento

de trabalhos como o Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), podendo ser aplicado em todas as atividades técnicas presentes nesse estudo conforme prevê o artigo 6º da resolução CONAMA N° 001/86. Também pode ser usado no Cadastramento Ambiental Rural (CAR) pelo fato do mesmo trabalhar com limites, uma vez que o novo código florestal adota critério de manutenção de APP e Reserva Legal em função dos limites determinados no CAR, assim como ferramenta de apoio para o georreferenciamento de imóveis rurais.

2.6 CONCLUSÃO

O levantamento aerofotogramétrico gera produtos com alta resolução espacial. O trabalho mostra que há deslocamento posicional horizontal do modelo sempre no mesmo sentido, ou seja, o erro é sistemático e em relação ao deslocamento vertical o erro é centimétrico. O modelo gerado sem correção geométrica pode ser usado para análises que não requerem acurácia, entretanto os trabalhos gerados com pontos de controle aumenta a possibilidade de utilização, como é o caso de serviços de perícias ambientais principalmente em pequenas áreas, devido à alta resolução espacial dos produtos apresentados, para apoio no cadastramento de imóveis rurais, em especial para limites naturais e áreas de difícil acesso, por serem ortorretificados contribuem para a precisão das informações levantadas. Também possuem potencial para serem usados em análise de lavouras e quantificação de fauna e flora pela possibilidade de ajuste principalmente das resoluções temporal e espacial e o baixo custo quando comparado com aeronaves tripuladas.

Outro fator que vale a pena mencionar é que as fotografias aéreas são documentos e farão parte do acervo histórico da área imageada, no caso da Base de Pesquisa da UFMS no Pantanal, as quais estão disponíveis para a instituição.

2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÁMOLI, Jorge. Vegetação e Flora. In: Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal, 1. 1986, Corumbá. **Anais...** Corumbá, 1986. P. 105-106.

AGISOFT. **Software Agisoft PhotoScan.** 2014. <<http://www.agisoft.ru/products/photoscan/professional/buy/educational/>>. Acesso em 20 de Julho 2014.

ALVES JÚNIOR, L. R.; CÔRTEZ, J. B. R.; FERREIRA, M. E.; SILVA, J. R. Validação de ortomosaicos e Modelos Digitais de Superfície utilizando fotografias obtidas com câmera digital não métrica acoplada a um VANT. In... **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

ALVES JÚNIOR, L. R.; CÔRTEZ, J. B. R. FERREIRA, M. E. Validação de mosaicos aerofotogramétricos utilizando fotografias obtidas com câmara digital não métrica aclopada a um VANT. In... **Anais XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia - CBC**. Gramado-RS. 03 a 07 de Agosto de 2014, pag. 1-15.

AZMI, S. M.; Baharin Ahmad; Anuar Ahmad. Accuracy assessment of topographic mapping using UAV image integrated with satellite images. In... **Anais 8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8)**. Earth and Environmental Science 18, 2014, Pag. 1-6.

BLUE MARBLE GEOGRAPHICS. **Global Mapper**, Version 13.2, Global Mapper Software, Hallowell, U. S. A., 2012.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Manual Técnico de Posicionamento: Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 1ª edição. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Brasília. 2013a. Disponível em: <https://sigef.incra.gov.br/static/documentos/manual_tecnico_posicionamento_1ed.pdf>. Acesso em 11 fev. 2016.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 3ª ed. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Brasília, 2013b. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/estrutura-fundiaria/regularizacao-fundiaria/certificacao-de-imoveis-rurais/norma_tecnica_para_georreferenciamento_de_imoveis_rurais_3_edicao.pdf>. Acesso em 11 Fev. 2016.

BRASIL. **Lei n. 10.267, de 28 de agosto de 2001**. Altera dispositivos das Leis n. 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 6.739, de 5 de dezembro de 1979, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, n. 166, Seção 1, 29 ago. 2001.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; SILVA, N. M. & BARBOSA, D. S. Dinâmica espacial e temporal do uso do solo e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em setor de cabeceira do Rio São Lourenço, Campo Verde, MT. **Revista Ra'e Ga o espaço geográfico em análise**. v. 33, p. 94-119, 2015a.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; SILVA, N. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Imagens de Alta Resolução Espacial de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no Planejamento do Uso e Ocupação do Solo. **Anuário do Instituto de Geociências – Igeo**. Vol. 38, n1, p. 147-156, 2015b.

ELTOHAMY, F.; HAMZA, E. H. Effect of ground control points location and distribution on geometric correction accuracy of remote sensing satellite images. In: **13th International Conference on Aerospace Sciences & Aviation Technology (ASAT-13)**. 2009.

EVERAERTS, J. et al. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 37, p. 1187-1192, 2008.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP. Ed. Parêntese, 2011, 672p.

LIEW, L. H.; WANG, Y. C.; CHEAH, W. S. Evaluation of control points' distribution on distortions and geometric transformations for aerial images rectification. **Procedia Engineering**, v. 41, p. 1002-1008, 2012.

MARCATO JUNIOR, J. e TOMMASELLI, A. M. G Exterior orientation of CBERS-2B imagery using multi-feature control and orbital data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 79, p. 219-225, 2013.

MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C. & ALBREZ, E. do A. Contribuição à caracterização das sub-regiões do pantanal. **Entre-Lugar**, v. 3, n. 6, p. 165-180, 2012.

OBORNE, Michael. **Mission Planner**, versão 2.35. Software livre. APM multiplataform autopilot, 2014. Disponível em: <http://planner.ardupilot.com/>. Acesso em 05 de Jun. 2014.

POTT, A.; OLIVEIRA, A. K. M.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A. & SILVA, J. S. V. Plant diversity of the Pantanal wetland. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 265-273, 2011.

PROPP - Pró-reitora de pesquisa e Pós-Graduação. **Coordenadoria de Estudos do Pantanal**. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS. Acesso em 03 set. 2014. Disponível em: <http://www.propp.ufms.br/index.php?section=estudos_pantanal&itemId=3>.

ZIEGLER, Stefan. **Plugin CadTools**, versão 0.6.2. QGis 2.0. Plugin utilizado para obtenção do Azimute. Disponível em: <<http://plugins.qgis.org/plugins/cadtools/>>. Acesso em 05/10/2014.

3 QUALIDADE DA ÁGUA E QUANTIFICAÇÃO DE CLOROFILA POR MEIO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO GERADOS A PARTIR DE IMAGENS ORBITAIS E SUBORBITAIS

3.1 RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade das águas de um setor de nascentes no Município de São Gabriel do Oeste a partir da resposta espectral, aliada aos parâmetros físico-químicos, estimando a clorofila *a* presente na água por meio de índices gerados a partir de imagens orbitais e suborbitais. O trabalho foi desenvolvido no Município de São Gabriel do Oeste – MS onde foram realizadas análises de amostras de água, incluindo aspectos físico-químicos, obtidas por sonda multiparamétrica "Hanna" em quatro pontos diferentes da área de estudo. Também foram utilizadas imagem do satélite Landsat 8 (L8) e de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), para gerar índices de vegetação, utilizando a faixa espectral do visível para os dois tipos de imagens e NDVI apenas para L8. Posteriormente esses índices foram correlacionados com a clorofila *a*. Em relação aos parâmetros físico-químicos, de maneira geral, o ponto de coleta 2 foi o que mais se diferenciou dos demais, isso pode ter acontecido por ser uma represa com pouca vazão em processo de eutrofização. Por meio da curva de absorvância da água, nos comprimentos de onda do visível, é possível aferir de forma comparativa qual corpo hídrico possui maior quantidade de materiais dissolvidos na água. Houve alta correlação entre os índices de vegetação gerados a partir das fotografias aéreas e da imagem L8, com a clorofila *a* da água extraída em laboratório. Nesse sentido, os mesmos são passíveis de utilização para previsão de cenários futuros. Sugere-se o uso de fotografias aéreas de VANT para monitoramento da qualidade ambiental de pequenos corpos hídricos, considerando a sua alta resolução espacial e temporal.

Palavras-chave: DRONE, corpo hídrico, Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS), sensoriamento remoto, fotografias aéreas.

3.2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the water quality of a nascent sector in São Gabriel do Oeste from the spectral response, coupled with the physical and chemical parameters, estimating the chlorophyll present in the water through indices generated from suborbital and orbital images. The study was developed at Municipality of São Gabriel do Oeste, State of Mato Grosso do Sul, Brazil, where were performed analyzes of water samples, including physical and chemical aspects, obtained through Hanna multiparametric probe into four different parts of the study area. It was also used Landsat satellite 8 (L8) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to generate vegetation indices, using the visible spectral range for both types of images and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) just for L8. Later these ratios were correlated to chlorophyll-*a*, that has key role in photosynthesis. Regarding the physical and chemical parameters, the collection point 2 was the most differed to the others, this may have happened to be a dam with little flow in an eutrophication process. Through the water absorbance curve in the visible wavelengths, it is possible to estimate comparatively water body that has larger amounts of dissolved materials in the water. There was a high

correlation between vegetation indices generated from aerial photographs and L8 image, with chlorophyll-*a* extracted from water in the laboratory. In this sense, they are likely to use to forecast future scenarios. It is suggested the use of aerial photographs of UAVs for monitoring the environmental quality of small water bodies, considering its high spatial and temporal resolution.

Keywords: DRONE, water body, remotely piloted aircraft systems (RPAS), remote sensing, aerial photography.

3.3 INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos recursos hídricos é um desafio político e tecnológico devido aos diversos conflitos de uso que alteram a qualidade e quantidade da água (Barros et al., 2010). Para garantir e assegurar a sua disponibilidade, conforme previsto na política nacional dos recursos hídricos (Brasil 1997), é necessário conhecimento técnico e gestão eficiente.

Na obtenção de informações sobre o meio físico, o sensoriamento remoto está sendo cada vez mais utilizado para medir e monitorar características biofísicas e atividades humanas na Terra (Jensen, 2009).

Dentro dessa ciência os índices de vegetação estão cada vez mais sendo empregados, como é o caso de Duan et al., (2007) que trabalharam com imagem Landsat TM para avaliar a concentração de clorofila *a* e o estado trófico do lago Chagan localizado no Nordeste da China e de Coelho et al., (2011) que utilizaram imagens do sensor CBERS/CCD na avaliação do estado trófico do reservatório Lago do Amor em Campo Grande, no Estado de Mato Grosso do Sul.

Os trabalhos de Duan et al. (2007) e Coelho et al. (2011) apresentaram resultados satisfatórios usando imagens de satélite de média resolução espacial, entretanto para análises em corpos hídricos menores surge a necessidade de empregar imagens de alta resolução espacial. Nessa esfera, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) surgem como importantes ferramentas para o monitoramento de pequenas áreas, devido ao surgimento de novos algoritmos incluídos no sistema de análise de dados, de técnicas para extrair informações de produtos derivados de VANT e à possibilidade de adequar a resolução espectral, radiométrica, espacial e temporal para atender os objetivos do trabalho a ser desenvolvido (Ballesteros et al., 2014).

Gago et al. (2015) relatam que a vantagem dos VANT em relação a outras plataformas (aeronaves tripuladas e satélites) é a possibilidade de voar em baixas altitudes aumentando a resolução espacial e o baixo custo das imagens e da plataforma, o que favorece maior frequência de monitoramento. Outro fator relevante são as câmeras embarcadas na aeronave,

que em sua maioria, são de baixo custo o que reduz a despesa do monitoramento. Além disso, sensores multiespectrais ou infravermelhos estão se miniaturizando, o que torna viável o uso de câmeras RGB, NIR e correlatos a bordo dos VANT (Ballesteros et al., 2014).

A maioria das câmeras embarcadas nos VANT é de pequeno formato, ou seja, câmeras convencionais (RGB), capturam apenas comprimentos de onda na faixa espectral do visível, mas atualmente várias pesquisas estão sendo realizadas visando a extração de informações dessas imagens. Nesse sentido Ballesteros et al. (2014) relatam que índices de vegetação como NDVI podem ser substituído por outros índices baseados em informações de bandas RGB, como é o caso dos índices NRAVI e RAVI (Tucker, 1979), ExG (Woebbecke et al., 1995), $VARI_{green}$ e VI_{green} (Gitelson et al., 2002), GLI (Louhaichi et al., 2001) e TGI (Hunt et al., 2011).

A maioria desses índices estão sendo gerados a partir de imagens aéreas de VANT e aplicados em trabalhos envolvendo vegetação e agricultura de precisão, como é o caso de Torres-Sánchez et al. (2014), Hunt Júnior et al. (2013) e Gitelson et al. (2002).

A clorofila *a* é importante para a manutenção da cadeia produtiva e está presente em todos os organismos fitoplanctônicos, tendo função fundamental na fotossíntese (Agostiano et al., 2002). Neste trabalho se avalia a qualidade das águas de um setor de nascentes no Município de São Gabriel do Oeste-MS a partir da resposta espectral, aliada aos parâmetros físico-químicos, estimando a clorofila *a* presente na água por meio de índices gerados a partir de imagens orbitais e suborbitais.

3.4 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no planalto do Município de São Gabriel do Oeste, Mato Grosso do Sul. Na análise da qualidade da água, foram considerados dois pontos no setor de nascentes (Pontos 1 e 2), um dentro da área urbana (Ponto 3) e outro em um córrego que corta a BR163 (Ponto 4) a montante de um frigorífico de suínos (Figura 3.1).

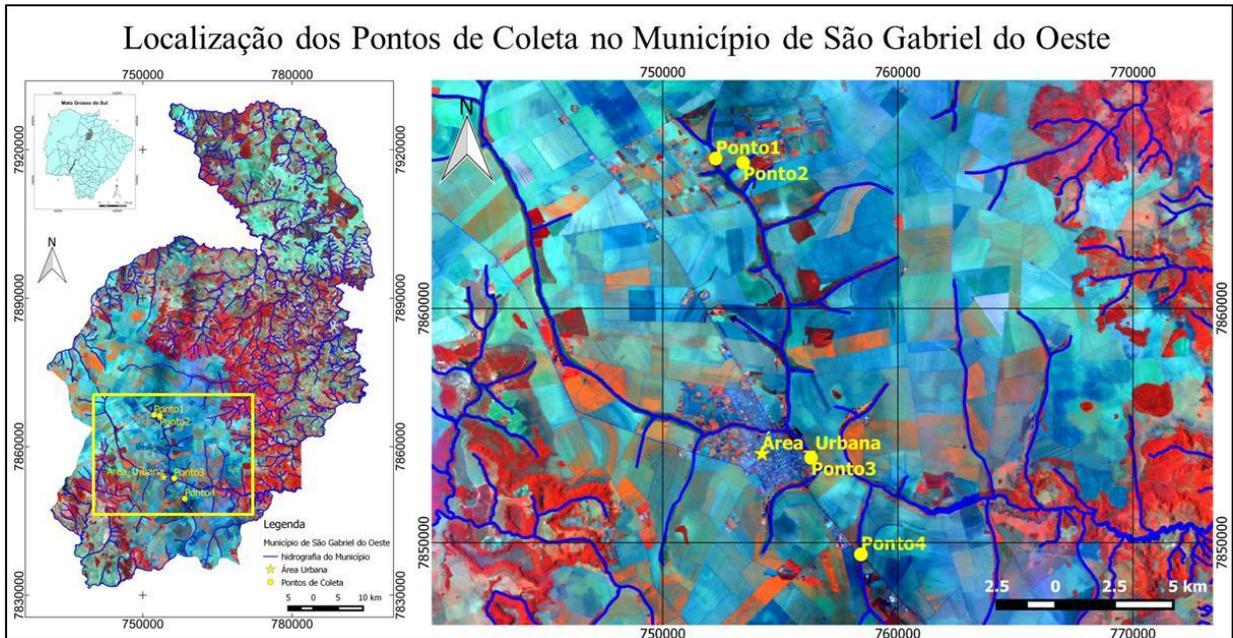


Figura 3.1 Localização dos pontos de coleta no Município de São Gabriel do Oeste (imagem Landsat 8, sensor Operational Land Imager (OLI), órbita ponto 225/73 de 14/11/2013).

A coleta dos parâmetros físico-químicos da água foi realizada no dia 14 de Novembro de 2013. Em cada um dos pontos, foram analisadas por meio de sonda multiparamétrica Hanna HI 9828, considerando variáveis físicas como: pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade, sólidos totais, transparência, Potencial de Óxido Redução e salinidade.

Para as análises laboratoriais de clorofila *a* e absorvância da água foram coletadas três garrafas de 1,5 L de água por ponto analisado. As mesmas foram previamente identificadas e envolvidas por papel alumínio para evitar interferência da luz, um dos procedimentos necessários para análise de clorofila. Para compor cada uma das amostras foram coletadas três porções de água, em seguida as mesmas foram homogêneas em um recipiente maior e posteriormente engarrafadas e conservadas em uma caixa térmica com gelo.

Em laboratório, com a utilização do espectrofotômetro Gold Spectrumlab 53, obteve-se a absorvância da luz na água para cada um dos pontos de coleta. As leituras foram realizadas na faixa espectral do visível. Na realização desse procedimento, o material coletado foi acondicionado em um cubo transparente de 1 cm e inserido no espectrofotômetro.

A análise da clorofila *a* foi realizada pelo método de Nush (1980), onde foram filtrados 250 ml de água em um filtro de fibra de vidro, posteriormente, o filtro foi colocado em imersão em um tubo de ensaio com 10 ml de álcool a 80%. Por fim, recebeu choque térmico e ficou em repouso por 24 horas, depois foi determinada a concentração através de leitura espectrofotométrica em comprimento de onda 665 e 750 nm.

No mesmo dia da coleta da água, no Município de São Gabriel do Oeste, foram realizados imageamentos com Veículo Aéreo Não tripulado – VANT. Para realização dos imageamentos foi solicitado a NOTAM ao Segundo Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo - CINDACTA II e a mesma foi publicada no dia 31/10/2013 (E3871/2013). Nos imageamentos foi utilizada uma aeronave de propulsão elétrica de asa fixa para a realização de 3 imageamentos. O primeiro imageamento recobriu uma área de 200 ha correspondente aos pontos 1 e 2, o segundo e terceiro imageou os pontos 3 e 4, com áreas de aproximadamente 100 ha em cada um. A tabela 3.1 apresenta alguns parâmetros da missão executada pelo VANT no dia 14 de Novembro de 2014.

Tabela 3.1 Parâmetros definidos para missão executada pelo VANT no município de São Gabriel do Oeste.

Câmera	Sony DSC-W320
Resolução da câmera	14 megapixels
Modo de cena	Infinito
Distancia Focal	4.7 mm
Recobrimento Vertical	60%
Recobrimento Horizontal	80%
Resolução espacial	4.5 cm
Altura de Voo	200 m
Velocidade:	48 km/h
Área imaginada	1,86 km ²

A partir das imagens aéreas provenientes dos voos foram gerados mosaicos ortorretificados dos pontos de coleta no *software* Agisoft photoscan (Agisoft, 2014) e a partir dessas imagens, calculou-se alguns índices de vegetação por meio de álgebra de mapas, que posteriormente foram correlacionados com parâmetros físico-químicos da água.

Antes de calcular os índices de vegetação, a imagem Landsat8 passou por um processo de correção atmosférica utilizando o complemento "Geosud TOA Reflectance" do *software* QGis (Qgis development team, 2015). Na imagem de satélite L8, além dos índices calculados para os mosaicos de fotografias aéreas, foi gerado NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) que utiliza as bandas espectrais correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, sensor Operational Land Imager (OLI), órbita ponto 225/73 de 14/11/2013.

Para gerar os índices, primeiramente foram separados os canais que compõem o mosaico gerando três arquivos contendo informações dos comprimentos de ondas do espectro eletromagnético correspondentes ao Vermelho (R), Verde (G) e Azul (B). Esse procedimento foi realizado no *software* SAGA 2.1 (Department of Physical Geography, 2014) a partir da ferramenta “Split RGB bands”.

Com as bandas individualizadas utilizando a ferramenta “calculadora raster” do *software* Quantum Gis 2.4 (QGIS Development Team, 2015) foram gerados os índices de vegetação RAVI (*Ratio Aquatic Vegetation Index*), NRAVI (*Normalized Ratio Aquatic Vegetation Index*) e ExG (*Excess Green*) a partir das fórmulas abaixo (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 Equações utilizadas para gerar os índices de vegetação RAVI, NRAVI e ExG.

Nome	Equação	Referências
Índice de vegetação verde-vermelho	$RAVI = \frac{GREEN}{RED}$	Tucker 1979
Índice de Diferença normalizada verde-vermelho	$NRAVI = \frac{(GREEN - RED)}{(GREEN + RED)}$	Tucker 1979
Excesso de verde	$ExG = 2GREEN - RED - BLUE$	Woebbecke et al. 1995
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$	Rouse et al. 1974

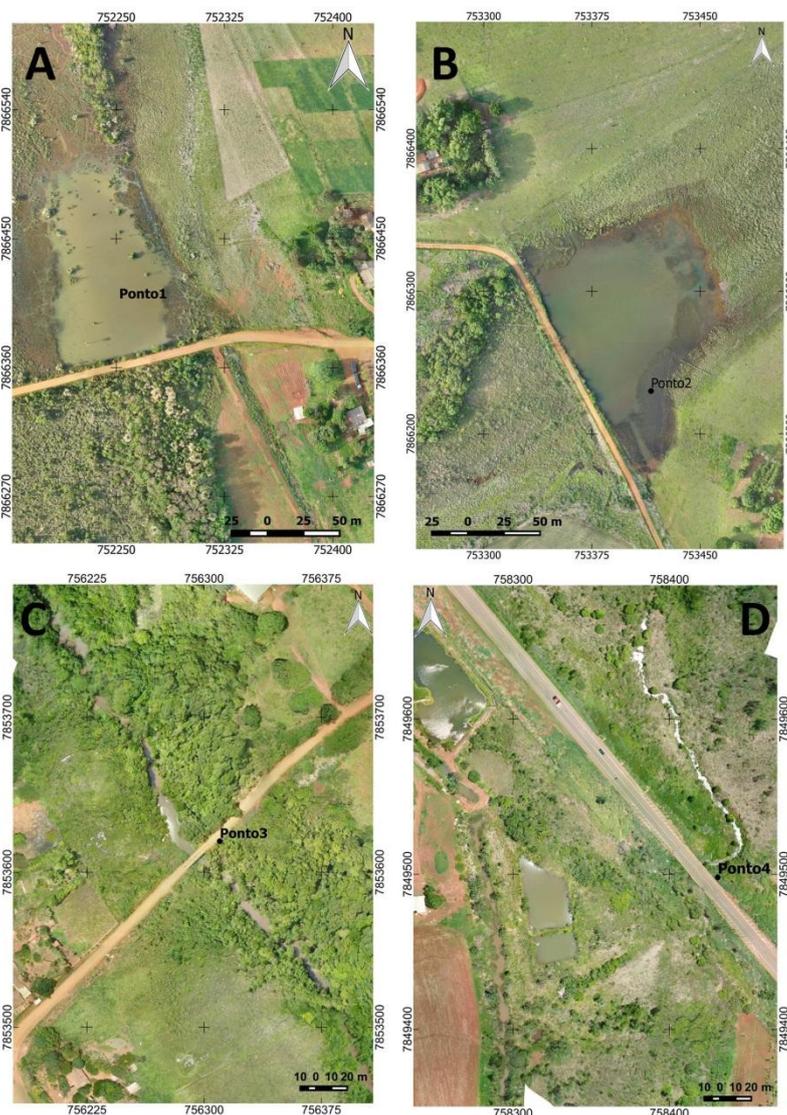
Onde: GREEN, RED, BLUE, NIR correspondem a refletâncias nos comprimentos de ondas do espectro eletromagnético referente ao verde, vermelho, azul e infravermelho próximo respectivamente.

As amostragens dos índices foram feitas aleatoriamente e com três repetições em cada tratamento. Posteriormente realizou-se análise de correlação de *Pearson* e de regressão linear dos dados de clorofila *a* com os índices de vegetação RAVI, NRAVI e ExG no *software* estatístico R (R Development Core Team, 2008). Na estimativa da clorofila foi feita a média aritmética das três amostras de cada índice e substituída na fórmula obtida pela análise de regressão linear. Em relação as figuras, os *layouts* foram feitos no *software* QGIS 2.8 e os gráficos no Microsoft Excel 2010.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Relação da absorbância da água com parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos da água foram coletados com uma sonda multiparamétrica em duas nascentes represadas (pontos 1 e 2) e em dois cursos d'água correntes (Pontos 3 e 4), cujos pontos de coleta podem ser observados na Figura 3.2.



3.2 Localização dos Pontos de coleta.

De acordo com Moreira (2011) a água no estado líquido possui alta absorção de energia. Na faixa espectral entre 380 a 700 nm, a refletância da água é relativamente baixa, ultrapassando pouco mais de 5%. Materiais em suspensão na água são fatores que interferem diretamente na sua reflexão (Jensen, 2009; Moreira, 2011). Quando comparamos a absorbância de energia da água turva em relação a uma água limpa, observa-se que a absorção

de energia é maior na água limpa, isso acontece porque materiais orgânicos e inorgânicos presentes na água turva aumentam sua refletância e conseqüentemente reduz a sua absorvância (Moreira, 2011).

Analisando a figura 3.3 observa-se baixa absorvância do ponto 2 em relação aos demais pontos de coleta e que o mesmo possui maior turbidez. Nesse ponto verificou-se a maior temperatura (27,16°C), menor quantidade de oxigênio dissolvido (3,02 mg O₂/L), maior pH (6,14) e menor potencial de oxido redução - ORP (14 mV) entre os pontos analisados (Tabela 3.3).

Nota-se pela figura 3.3 que os pontos que possuem maior quantidade de material dissolvido na água são as represas, ou seja, ponto 2 seguido pelo ponto 1. Isso pode ser explicado pelo fato das represas estudadas receberem escoamento superficial de todo o entorno e não possuírem a proteção de mata de ciliar (Figura 3.4A e 3.4B).

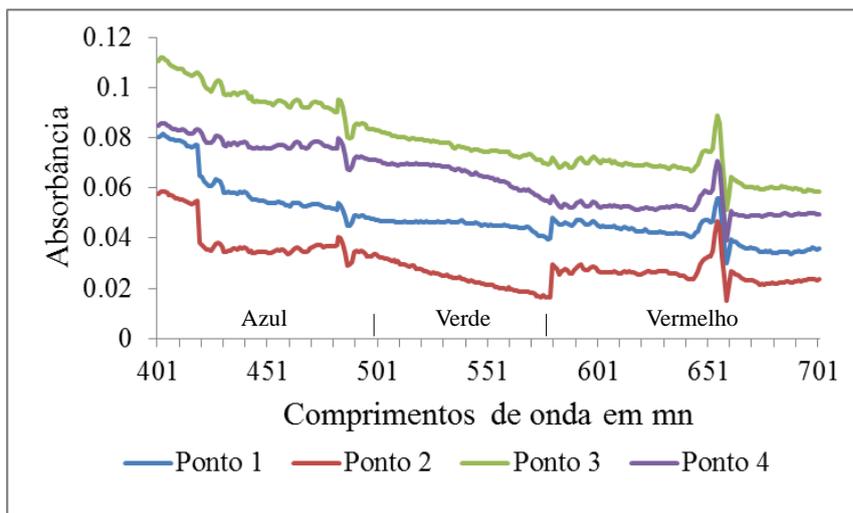


Figura 3.3 Espectro de absorção da água superficial dos quatro pontos de coleta para os comprimentos de onda na faixa espectral do visível.

A temperatura da água não consta na Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil 2005), mas é importante por refletir bem as variações sazonais do ambiente. Segundo Esteves (1998) a temperatura tem influência direta na respiração dos organismos e em processos oxidativos, como decomposição de matéria orgânica, sendo que sua elevação aumenta a velocidade das reações, o que implica em maior consumo de oxigênio.

Damasceno et al. (2008) relatam que os valores de ORP permitem avaliar o processo de oxidação da matéria orgânica. Os mesmos autores relatam que a água poluída pode inferir medidas de ORP bem inferiores à de água não poluída e ainda, que estas reduções, indiquem que a água é de má qualidade e deficiente em oxigênio. O pH também possui forte relação com o ORP, uma vez que quanto mais alto o pH, menor o ORP devido a redução na oxidação.

Segundo Brasil (2006), o pH influencia na distribuição das formas livres e ionizada de diversos compostos químicos, além de contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de definir o potencial de toxicidade de vários elementos.

Tabela 3.3 Tabela com as médias dos parâmetros físico-químicos analisados e os padrões de qualidade da água determinados pela resolução do CONAMA nº 357/2005 e CECA/MS036 para curso d'água de classe 1.

	Temp.	pH	Condutividade elétrica	Oxigênio dissolvido	Sólidos dissolvidos Totais	ORP	Clorofila
Padrões: Conama e CECA/MS036	___ °C	6,0 a 9,0	___ μS/cm	≥ 6 mg O ₂ /L	≤ 500 mg/L	___ mV	≤ 10 μg/L
Ponto 1	25,22	4,6	9	6,75	4	194	1,161
Ponto 2	27,16	6,14	12	3,02	6	14	1,488
Ponto 3	23,32	4,87	10	6,83	5	164	3,157
Ponto 4	22,87	5,23	18	6,0	9	149	1,579

Legenda: Temp.=temperatura, ORP= potencial de oxido redução.

Observando a figura 3.3 nota-se que o ponto 3 possui maior quantidade de matéria orgânica dissolvida na água, pois de acordo com Moreira (2011) a medida que aumenta a matéria orgânica na água, reduz a refletância e aumenta a absorção de energia. No ponto 3 verificou-se a maior quantidade de clorofila (3,157 μg/L) e oxigênio dissolvido (6,83 mg O₂/L) (Tabela 3.3).

O Oxigênio é um dos mais importantes gases dissolvidos na água para caracterização de ecossistemas aquáticos (Esteves 1998) e as variações nos teores de oxigênio dissolvido estão associadas aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos corpos d'água (Brasil, 2006). Na manutenção da vida aquática aeróbia são necessários teores mínimos de oxigênio dissolvido na ordem de 2 mg/L a 5 mg/L, em acordo com o grau de exigência de cada organismo (Brasil 2014).

A condutividade elétrica da água representa capacidade de transmitir corrente em função da presença substâncias dissolvidas. Quanto maior seu valor, maior a quantidade de íons na água e, maior a capacidade de conduzir corrente elétrica (Brasil, 2014). A condutividade variou de 9 a 18 μS/cm. As águas naturais apresentam teores de condutividade 10 a 100 μS/cm e em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais podem chegar a 1000 μS/cm (Brasil, 2014).

Os sólidos totais dissolvidos são constituídos por partículas de diâmetro inferior a 10^{-3} μm e que permanecem em solução mesmo após a filtração, sua entrada na água pode ocorrer de forma natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou antropogênica (lançamento de lixo e esgotos) (Brasil, 2014). Levando em consideração o padrão para classe 1 segundo a resolução do CONAMA nº 357/2005, os pontos analisados atendem a legislação, uma vez que todos estão abaixo de 500 mg/L.

Em relação à Clorofila *a*, os pontos analisados atendem aos parâmetros da legislação vigente (Brasil, 2005), pois está abaixo de 10 $\mu\text{g/L}$. De maneira geral, o ponto de coleta 2 foi o que mais se diferenciou dos demais, isso pode ter acontecido por ser uma represa com pouca vazão em processo de eutrofização, fato que pode ser observado na figura 3.4B. O baixo valor de ORP (14 mV), a baixa quantidade de oxigênio dissolvido (3,02 mg O_2/L) e a baixa absorvância da água também são parâmetros que corroboram para esse fato.

3.5.2 Relação dos índices de vegetação com Clorofila

As análises dos dados foram realizadas para quatro pontos diferentes, que podem ser observados nas Figuras 3.2 e 3.4. Nota-se que nos pontos 1 e 2 os corpos hídricos estão visíveis na imagem (Figura 3.4A). Já os pontos 3 (Figura 3.4B) e 4 (Figura 3.4C), estão na mata de galeria, assim, os dados que envolvem a imagem Landsat 8 foram gerados apenas para os pontos 1 e 2.

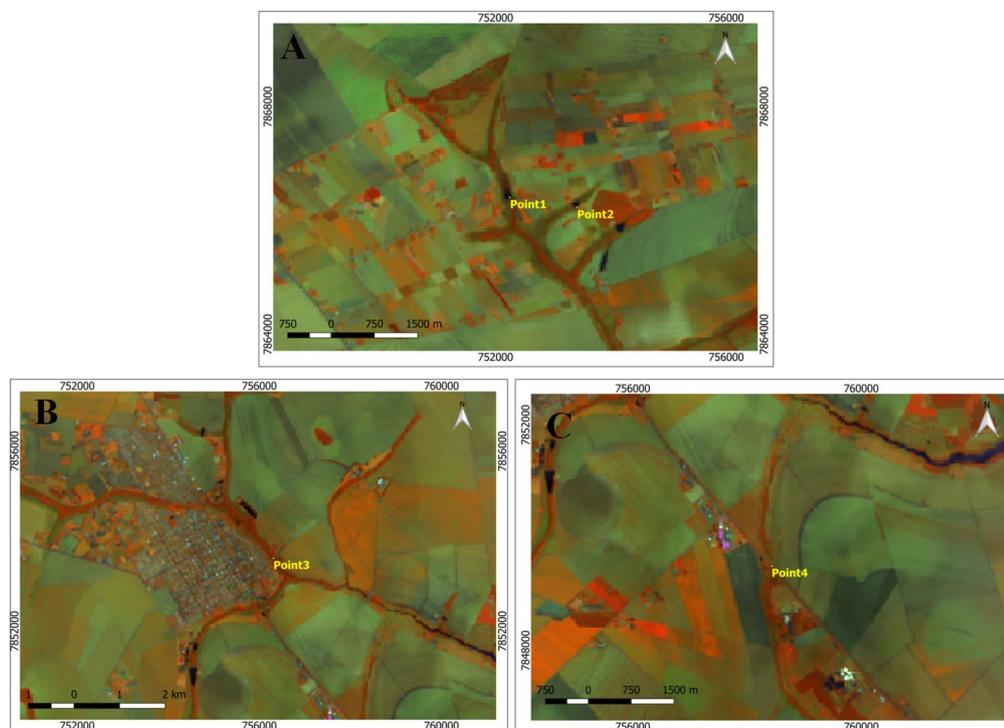


Figura 3.4 Imagem Landsat8 (composição R5 G6 B4) mostrando os pontos de coleta 1 e 2 (A), ponto 3 (B) e ponto4 (C). Na figura 4A é possível observar o corpo hídrico na imagem L8 (ponto 1 e 2), já nos pontos 3 (4B) e 4 (4C) observa-se somente a mata de galeria.

Tabela 3.4 Amplitude, média e desvio padrão dos índices de vegetação referentes aos corpos hídricos analisados.

Imagens	Ponto	Índices	Amplitude		Média	Desvio padrão
			Mínimo	Máximo		
Fotografias aéreas	Ponto 1	Ravi	0	3,8333	0,4596	0,0660
		Nravi	-0.1163	0.5862	-0.0082	0,01829
		ExG	-1	151	25,370	19,2899
	Ponto 2	Ravi	0	1,4872	0,5347	0,5250
		Nravi	-0,1667	0,2169	0,0113	0,0237
		ExG	-16	58	14,2184	16,8899
	Ponto 3	Ravi	0,7167	1,3529	0,9788	0,0517
		Nravi	-0,1650	0,1500	-0,0114	0,02582
		ExG	-19	55	19,244	12,6732
	Ponto 4	Ravi	0,7630	1,9697	0,9957	0,0868
		Nravi	-0,1344	0,3265	-0,0039	0,0393
		ExG	-10	70	13,3089	8,8495
Landsat 8	Ponto 1	Ravi	1,0649	1,2203	1,1211	0,0462
		Nravi	0,0314	0,0872	0,0610	0,0203
		ExG	-14	21	8,0714	11,5910
		NDVI	-0,2371	0,0723	-0,1282	0,1053
	Ponto 2	Ravi	1,1455	1,2581	1,2125	0,0406
		Nravi	0,0678	0,1181	0,0910	0,0169
		ExG	-13	-1	-6,625	3,8385
		NDVI	-0,2039	-0,3158	-0,1379	0,0688

Em relação aos índices gerados a partir das fotografias aéreas, em todos os pontos analisados, as maiores amplitudes foram verificadas no ponto 1 (Ravi=3.83, Nravi = 0.70 e ExG = 152) e as menores no ponto 3 (Ravi = 0.64, Nravi = 0.315 e ExG = 74). Nota-se que o ponto 1 onde ocorreram os maiores índices de vegetação foi o que apresentou a menor média de clorofila *a* (1,161mg/L) e o ponto 3 foi o que apresentou maior quantidade de clorofila *a* (3,157 mg/L).

Somente a clorofila absorve energia na região do vermelho (Ponzoni et al., 2015), dessa forma, onde houver maior quantidade de clorofila haverá maior absorção de energia nessa região, gerando valores baixos de refletância na região do vermelho e alto na região do verde causando um aumento na diferença entre a banda verde e vermelha (Coelho et al., 2011; Gitelson et al., 2002). Como os índices gerados utilizam a faixa do visível tendem a ficar

menores onde há mais clorofila, como é o caso do ponto 3 em que os índices possuem baixas amplitudes quando comparado com os demais pontos.

As imagens utilizadas para gerar os índices apresentam diferentes resoluções espaciais, espectrais e radiométricas, por esse motivo observam-se diferenças na amplitude dos índices calculados para a água (Tabela 3.4). A imagem do satélite Landsat 8 possui 16 bits de resolução radiométrica ou seja 65536 níveis de cinza enquanto que as fotografias aéreas tem 8 bits (256 níveis de cinza). Em relação à resolução espacial as imagens aéreas são de 4,5 cm e a imagem de satélite L8 30m.

Apesar das diferenças na amplitude, os índices gerados a partir das imagens suborbitais e orbitais se comportam de maneira semelhante, com valores mais altos nos locais com menores concentrações de clorofila, salva exceção do NDVI, que possui comportamento diferenciado dos demais índices por utilizar a faixa espectral do infravermelho próximo, nesse caso a maior amplitude foi verificada onde houve maior quantidade de clorofila.

Os índices gerados a partir da imagem Landsat 8 apresentaram maior amplitude no ponto 1. Os resultados demonstram que todos os índices possuem alta correlação com as concentrações de clorofila *a* presentes nos corpos hídricos (Tabela 3.5). As correlações dos índices que utilizam os comprimentos de onda na região do visível são negativas porque à medida que a clorofila *a* aumenta os índices reduzem. A menor correlação foi de -0,86 verificada no índice ExG ponto 1.

Tabela 3.5 Correlação de Pearson dos dados de clorofila *a* com os índices de vegetação RAVI, NRAVI, ExG e NDVI.

Imagens	Correlação				
	Pontos	Clorofila/ RAVI	Clorofila/ NRAVI	Clorofila/ ExG	Clorofila/ NDVI
Fotografias Aéreas	Ponto 1	-0,9228125	-0,9798255	-0,8660254	-----
	Ponto 2	-0,9977289	-0,9901745	-0,9878292	-----
	Ponto 3	-0,933207	-0,9624829	-0,9707253	-----
	Ponto 4	-0,958918	-0,9973936	-0,9707253	-----
Landsat 8	Lagoa 1 L8	-0,9987576	-0,999806	-0,9707253	0,9788183
	Lagoa 2 L8	-0,9273513	-0,9998575	-0,9912407	0,9932493

A análise de regressão (Tabela 3.6), apresentou alto coeficiente de determinação (R^2) e as equações geradas a partir dessa análise estatística foram essenciais para estimar a clorofila de cada ponto de coleta e pode ser usada para monitoramentos posteriores nesses mesmo locais.

Tabela 3.6 Equações e R² gerados a partir da análise de regressão para os diferentes índices e imagens analisadas.

Imagens	Pontos de Coleta	Índice	Fórmula	R ²
Fotografias aéreas	Ponto 1	Ravi	Y= 30,54-29,50X	0.8516
		Nravi	Y= 2,699+91,435X	0.9601
		ExG	Y= 2,317 -0,034	0.75
	Ponto 2	Ravi	Y= 14,77-12,72X	0.9955
		Nravi	Y= 4,25-36,06X	0.9804
		ExG	Y= 8,4408 -0,2101	0.9758
	Ponto 3	Ravi	Y= 21,26-18,57X	0.8709
		Nravi	Y= -10,7-264,9X	0.9264
		ExG	Y= 16,4394 -0,3188X	0.9423
	Ponto 4	Ravi	Y=13,91-12,52X	0.9195
		Nravi	Y= -5,922 -228,251X	0.9948
		ExG	Y= 6,7852 -0,3188X	0.9423
Imagem Landsat 8	Ponto 1	Ravi	Y= 2,723 -1,406X	0.9975
		Nravi	Y= 1,318 -3,036X	0.9996
		ExG	Y= 1,274231 -0,009154X	0.9423
		NDVI	Y=1,421+1,278	0.9581
	Ponto 2	Ravi	Y= 39,88 -32,85X	0.86
		Nravi	Y= 4,712 -34,578X	0.9997
		ExG	Y= 0,3855 -0,1790X	0.9826
		NDVI	Y= 4,079+17,218X	0.9865

A clorofila estimada a partir das equações geradas na análise de regressão apresentou bons resultados, com valores muito próximos aos obtidos em campo como pode ser observado na tabela 3.7.

Tabela 3.7 Dados de clorofila extraída em laboratório e clorofila estimada a partir de índices de vegetação.

	Pontos de Coleta	Clorofila na água	Clorofila estimada a partir dos índices			
			Ravi	Nravi	ExG	NDVI
Fotografias aéreas	1	1,161	1,164	1,163	1,161	—
	2	1,488	1,578	1,582	1,577	—
	3	3,157	2,690	3,154	3,155	—
	4	1,579	1,579	1,587	1,579	—
Imagem Lansat 8	1	1,161	1,161	1,161	1,161	1,161
	2	1,488	1,574	1,579	1,579	1,579

Essa semelhança entre os dados obtidos em laboratório e os estimados a partir dos índices de vegetação extraídos de imagens aéreas de VANT pode ser mais bem observada nas Figuras 3.5 e 3.6 para os dados obtidos por meio da imagem Landsat 8. Nota-se que quase não houve variação entre os dados analisados.

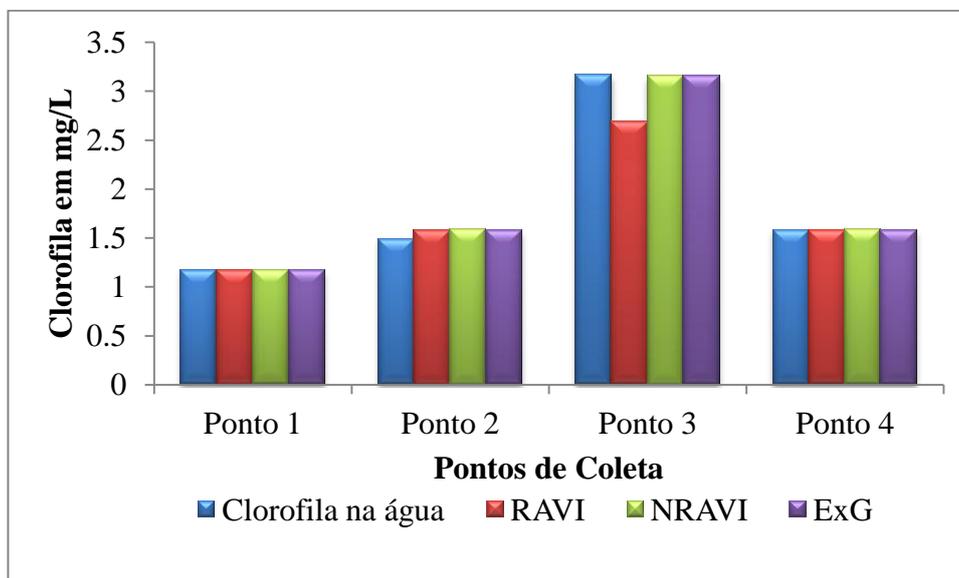


Figura 3.5 Comparação entre a clorofila extraída em laboratório com a estimada a partir dos índices de vegetação das fotografias aéreas.

Dentre os índices de vegetação extraídos das fotografias aéreas de VANT, o Nravi e o ExG foram os que apresentaram os melhores resultados, corroborando com Torres-Sánchez et al. (2014), que trabalharam com mapeamento de campos de trigo com VANT e concluiu que os índices de vegetação de fotografias aéreas convencionais (RGB) possuem grande capacidade em discriminar vegetação. Dentre os índices que esses autores adotaram, o ExG foi o mais adequado devido sua alta precisão, desempenho, coerência espacial e temporal.

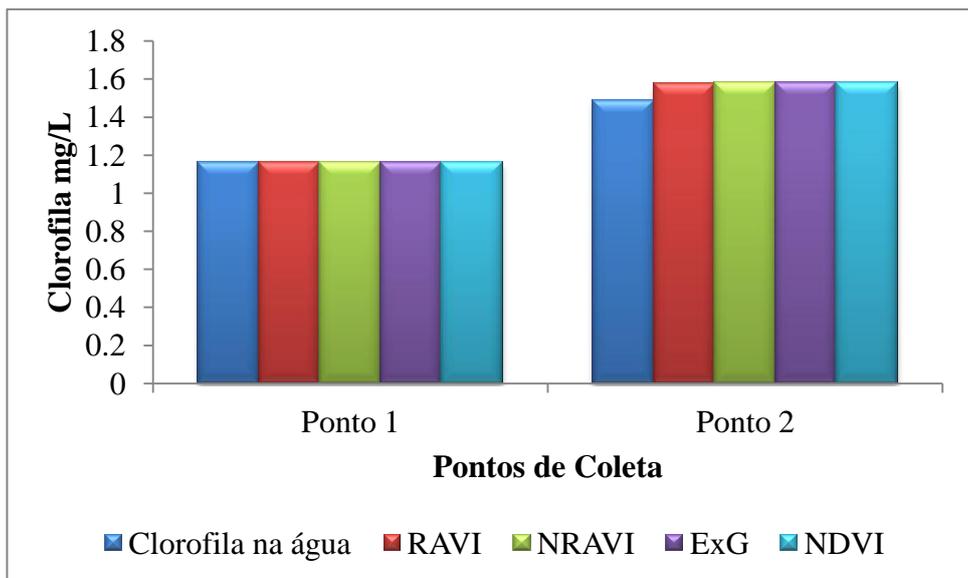


Figura 3.6 Comparação entre a clorofila extraída em laboratório com a estimada a partir dos índices de vegetação da imagem Landsat 8.

Com exceção do índice RAVI no ponto 3, a variação entre a clorofila extraída e a estimada aconteceu apenas nas casas decimais. Isso demonstra a eficiência da técnica aplicada e possibilita estimar a clorofila *a* para cenários futuros. No entanto, para que seja possível estimar esse pigmento é necessária uma amostra *in situ*, para que dessa forma seja possível realizar a análise de regressão linear e a partir da equação gerada fazer futuras quantificações da clorofila *a* para o corpo hídrico em questão reduzindo o árduo trabalho de laboratório.

3.6 CONCLUSÃO

A curva de absorvância da água nos comprimentos de onda do visível permitiu aferir qual corpo hídrico possuía maior quantidade de materiais dissolvidos na água.

Há diferenças na amplitude dos índices gerados a partir das imagens aéreas de VANT e do satélite Landsat 8, entretanto os mesmos se comportam de maneira semelhante, com valores mais altos nos locais com menores concentrações de clorofila, com exceção do NDVI, que possui comportamento diferenciado dos demais índices por utilizar a faixa espectral do infravermelho próximo e nesse caso a maior amplitude foi verificada no ponto 1 onde há maior quantidade de clorofila *a*.

Houve alta correlação entre os índices de vegetação gerados a partir das fotografias aéreas e da imagem Landsat 8 com a clorofila *a* da água extraída em laboratório. Os valores da clorofila *a* da água com a clorofila *a* estimada a partir dos índices ficaram muito próximos e são passíveis de utilização para previsão de cenários futuros.

Sugere-se o uso de fotografias aéreas de VANT para monitoramento de pequenos corpos hídricos pelo fato de apresentarem bons resultados e maior riqueza de detalhes devido à alta resolução espacial. A conservação de pequenos corpos hídricos possui importância social e ambiental e a realização de monitoramentos é de suma importância para garantir a manutenção do meio aquático, uma vez que a maioria são nascentes e afluentes que contribuem para a formação da rede de drenagem de uma região.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGISOFT. **Software Agisoft PhotoScan.** 2014. Disponível em: <<http://www.agisoft.ru/products/photoscan/professional/buy/educational/>>. Acesso em 20 de Julho 2014.

AGOSTIANO, A.; COSMA, P.; TROTTA, M.; MONSÙ-SCOLARO, L.; MICALI, N. Chlorophyll a behavior in aqueous solvents: formation of nanoscale self-assembled complexes. **The Journal of Physical Chemistry B**, v. 106, n. 49, p. 12820-12829, 2002.

BALLESTEROS, R.; ORTEGA, J. F.; HERNÁNDEZ, D.; MORENO, M. A. Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part I: Description of image acquisition and processing. **Precision Agriculture**, v. 15, n. 6, p. 579-592, 2014.

BRASIL, L. **Lei nº 9433, de 8 de Janeiro de 1997**, Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial, 1997.

BRASIL, **Resolução Conama n. 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília: MMA, 2005.

BRASIL. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde. 2012p. 2006.

BRASIL. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham com ETAS**. Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde. 116p. 2014.

COELHO, L.; ROCHE, K. F.; PARANHOS FILHO, A. C.; LEMOS, V. B. Uso do sensor CBERS/CCD na avaliação do estado trófico do Reservatório Lago do Amor (Campo Grande, MS). **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 6, n. 2, p. 221-232, 2011.

DAMASCENO, L. M. O.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA DIAS, N.; FRANCO, J. L. D.; FRANÇA, Ê. F. Qualidade da água do Rio Poty para consumo humano, na região de Teresina, PI. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 3, n. 3, p.116-130, 2008.

DEPARTMENT OF PHYSICAL GEOGRAPHY. SAGA - System for Automated Geoscientific Analyses: Versão 2.1.2. software livre. Hamburg, 2014. Disponível em: <<http://sourceforge.net/projects/saga-gis/files/>>. Acesso em: 13 Mai. 2014.

DUAN, H.; ZHANG, Y.; ZHANG, B.; SONG, K.; WANG, Z. Assessment of chlorophyll-a concentration and trophic state for Lake Chagan using Landsat TM and field spectral data. **Environmental monitoring and assessment**, v. 129, n. 1, p. 295-308, 2007.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Interciência, 1998, 602p.

GAGO, J.; DOUTHE, C.; COOPMAN, R. E.; GALLEGO, P. P.; RIBAS-CARBO, M.; FLEXAS, J.; ESCALONA, J.; Medrano, H. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 153, p. 9-19, 2015.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p.76-87, 2002.

HUNT, E. R.; DAUGHTRY, C. S. T.; EITEL, J. U.; LONG, D. S. Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. **Agronomy journal**, v. 103, n. 4, p. 1090-1099, 2011.

HUNT JÚNIOR, E. R.; DORAISWAMY, P. C.; MCMURTREY, J. E.; DAUGHTRY, C. S.; PERRY, E. M.; AKHMEDOV, B. A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, p. 103-112, 2013.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora. 2009. 604 p.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. **Geocarto International**, v. 16, n. 1, p. 65-70, 2001.

MOREIRA, A, M. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 4 ed. Viçosa, MG, Editora UFV, 2011, 422p.

MUSH, E. A. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. **Arch. Hydrobiol. Beih. Stuttgart**, v. 14, p.14-36, 1980.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação: Atualizada e ampliada**. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. Geographic Information System: versão 2.8.0 Wien. Software livre. 2015. Disponível em: <http://qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html>. Acesso em 15 Jun. 2015.

ROUSE JR, J.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA special publication**, v. 351, p. 309-317, 1974.

R. DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing and graphics, version 3.2.0: R Foundation for Statistical Computing. Software livre, 2008. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 12 Jan. 2015

TORRES-SÁNCHEZ, J.; PEÑA, J. M.; DE CASTRO, A. I.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 103, p. 104-113, 2014.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote sensing of Environment**, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.

WOEBBECKE, D. M.; MEYER, G. E.; VON BARGEN, K.; MORTENSEN, D. A. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. **Transactions of the ASAE**, v. 38, n. 1, p. 259-269, 1995.

4 CLASSIFICAÇÃO DE BAÍAS E SALINAS A PARTIR DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO GERADOS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS DE VANT NO PANTANAL DA NHECOLÂNDIA

4.1 RESUMO:

O Pantanal é uma extensa planície alagada, rica em biodiversidade e considerado Reserva da Biosfera e Patrimônio da Humanidade. Possui grande complexidade e pode ser dividido em regiões por apresentar características distintas em cada uma delas. A Nhecolândia é uma região muito peculiar por ser constituída por milhares de lagoas de água doce e salobras. Esse trabalho teve como objetivo avaliar os parâmetros físico-químicos das lagoas da Nhecolândia e analisar índices de vegetação gerados a partir de fotografias aéreas de VANT a fim de identificar o que melhor distingue salina de baía e as diferentes feições da área de estudo. A coleta de dados em campo e imageamento foram realizadas no dia 20 de junho de 2015. As fotografias aéreas foram processadas para obtenção do mosaico e em seguida o mesmo serviu de base para gerar os índices de vegetação. As análises dos índices e dos comprimentos de onda na região do visível foram realizadas para cada uma das lagoas presentes na área. Observou-se que as baías e salinas possuem comportamento espectral diferenciado. E os índices de vegetação ExG e NExG apresentaram bons resultados para separar baías de salinas e as diferentes feições presentes na área de estudo.

Palavras-chave: DRONE, RPA, lagoas, fotografias aéreas de pequeno formato, geoprocessamento.

4.2 ABSTRACT:

The Pantanal is an extensive plain wetland, rich in biodiversity and is considered a Biosphere Reserve and World Heritage Site. It has great complexity and may be divided into regions by having different characteristics in each of them. The Nhecolândia is a very peculiar region to be made up of thousands of sweet and brackish water ponds. This study aimed to evaluate the physical and chemical parameters of the Nhecolândia ponds and analyze vegetation indices generated from aerial UAV photographs to identify the one that best distinguish salt bays and different features of the study area. Data collection in the field and imaging was performed on 20 June 2015. The aerial photographs were processed to obtain the mosaic and then the same was the basis to generate the vegetation index. The analysis of indices and wavelengths in the visible region were performed for each of the ponds present in the area. It was observed that the bays and salt have different spectral characteristics. And the EXG and NExG vegetation indices showed good results to separate salt bays and the different features present in the study area.

Keywords: DRONE, RPA, aerial photographs of small format, geoprocessing.

4.3 INTRODUÇÃO

A preocupação com a conservação dos recursos naturais tem sido crescente nas últimas décadas, especialmente em relação a biomas como o Pantanal, que é uma das maiores áreas úmidas do mundo, reconhecido como Reserva da Biosfera e Patrimônio da Humanidade. Alho (2011) relata que o Pantanal é um bioma que oferta importantes serviços ecossistêmicos como ciclagem de nutrientes, oferta de água doce, pesca, manutenção da paisagem e biodiversidade, o que por sua vez, contribui para a qualidade de vida humana.

Por apresentar uma grande complexidade em relação ao pulso de inundação e ampla diversidade de fauna e flora, esse bioma único é alvo de inúmeros estudos visando à conservação da biodiversidade (Alho, 2011; Alho & Sabino, 2011; Pott et al., 2011), a análise do uso e ocupação do solo (Bergier, 2013), a qualidade química e física do solo (Cardoso et al., 2011) e a caracterização das sub-regiões (Miotto et al., 2012), entre outros.

Devido às constantes alterações no uso e ocupação do solo que vêm ocorrendo no Pantanal, há a necessidade de obtenção de informações atualizadas e com acurácia, para que haja boa gestão ambiental do bioma. Nesse sentido as fotografias aéreas de pequeno formato obtidas por Veículos Aéreos Não Tripulados - VANT estão sendo amplamente utilizadas, apresentando logística viável e acessibilidade financeira (ABER, et al., 2010).

Uma importante consideração em termos de assinaturas espectrais de objetos representados em fotografias aéreas de pequeno formato é que devido à baixa altura de voo do VANT durante a aquisição das fotografias, há pouca degradação da radiação refletida e baixa dispersão e/ou absorção (ABER, et al., 2010). Os mesmos autores relatam que ao explorar a faixa espectral do visível e devido à baixa altura de voo do VANT há pouca interferência nas fotografias, uma vez que, os comprimentos de onda passam pela atmosfera com pouca dispersão ou absorção por parte das moléculas de gás, aerossóis ou poeira fina.

O uso de índices de vegetação que utilizam os comprimentos de onda na região do visível estão sendo amplamente utilizados em diversos trabalhos como Delegido et al. (2013) que trabalharam com área foliar, Jannoura et al. (2015) que monitorou a biomassa das culturas de ervilhas e aveia a partir de fotografias aéreas, Guijarro et al. (2011) que trabalharam com segmentação automática de textura voltado para agricultura de precisão e Gitelson et al. (2002) que estimaram fração de vegetação a partir de vários índices de vegetação. Outras aplicações no uso de fotografias aéreas são em relação a caracterização ambiental, como a realizada por Silva et al. (2016).

Entretanto quase não há aplicação desses índices que utilizam comprimento de ondas na região do visível em análises de qualidade de água e classificação de corpos hídricos. Nesse sentido, esse trabalho tem como objetivo avaliar os parâmetros físico-químicos das lagoas da Nhecolândia e analisar índices de vegetação gerados a partir de fotografias aéreas de pequeno formato a fim de identificar o que melhor distingue salinas de baías e as diferentes feições da área de estudo.

4.4 MATERIAIS E MÉTODOS

As análises foram realizadas na fazenda Barranco Alto no Município de Aquidauana, no Estado de Mato Grosso do Sul, situada às margens do Rio Negro (Figura 4.1) no Pantanal da Nhecolândia.

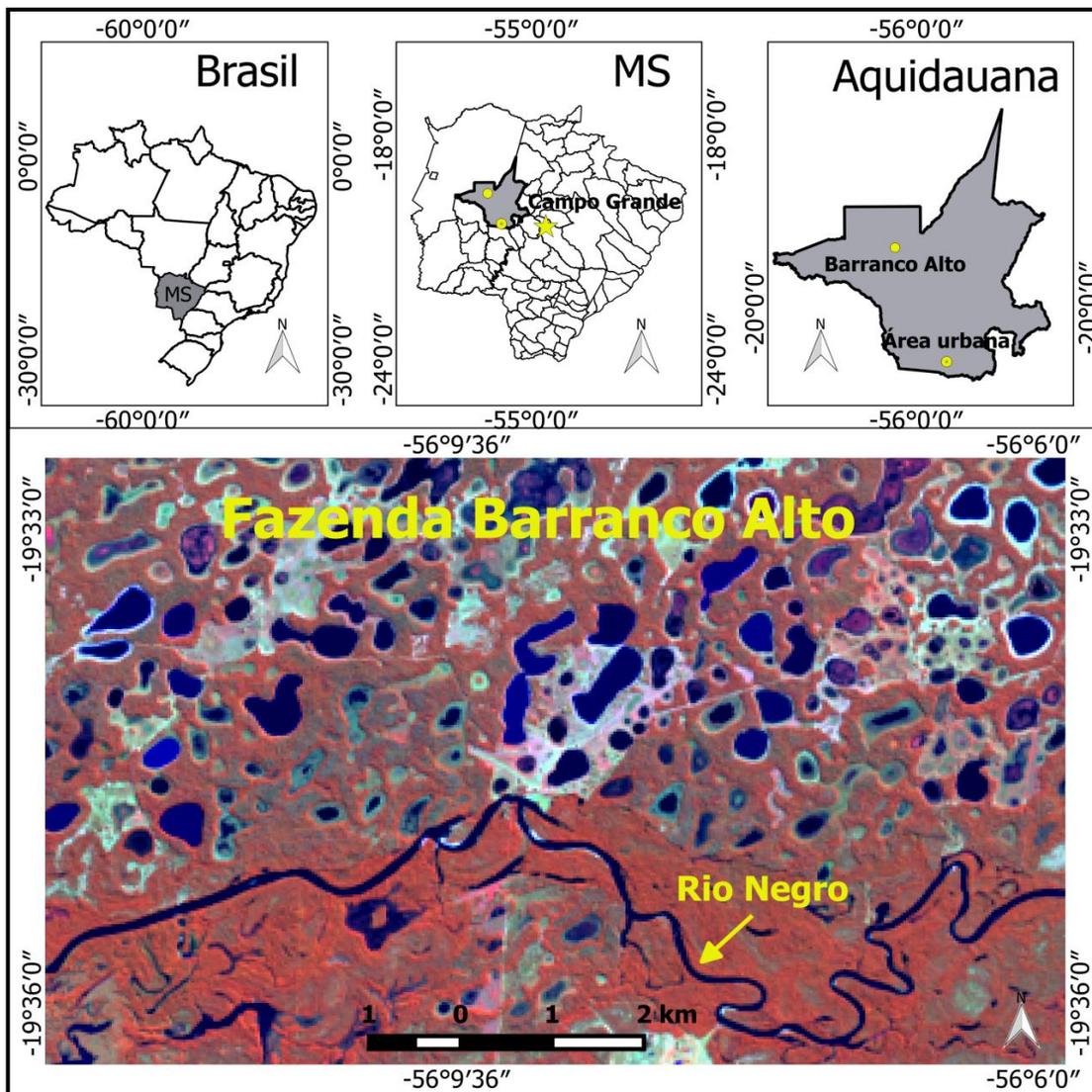


Figura 4.1 Localização da Fazenda Barranco Alto no Município de Aquidauana. A Fazenda está situada às margens do Rio Negro no Pantanal da Nhecolândia. Imagem Landsat 8 de 20 de junho de 2015.

O Pantanal da Nhecolândia faz fronteira com o Rio Negro ao sul e com o Rio Taquari ao norte e ocupa uma área de aproximadamente 20.210,00 km² (Mito et al., 2012). Esta sub-região apresenta uma grande diversidade de espécies de flora e fauna devido a grande heterogeneidade nesse ambiente como planície de inundação, cerrado, florestas e pastagens (Desbiez et al., 2009).

A Nhecolândia é formada por diversas lagoas com características físico-químicas diferenciadas, alguns autores classificam as de água doce como baías, as salobras chamam de salinas e as com características intermediárias, de salobras (Evans, et al. 2010 e Evans; Costa, 2013).

O imageamento com o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) foi realizado no dia 20 de junho de 2015 (Figura 4.2C). Nesse mesmo dia foram levantadas informações de localização através de receptor GNSS de dupla frequência com método RTK (Figura 4.2B) necessárias para a posterior correção geométrica do mosaico, também foram coletadas variáveis físico-químicas da água para a análise de qualidade (Figura 4.2A).

Na coleta dos parâmetros físico-químicos da água foram analisadas 12 lagoas, entre elas quatro salinas e seis baías e duas em transição. A qualidade da água das lagoas foi analisada por meio de sonda multiparamétrica Horiba U-53, considerando variáveis físicas como: temperatura, pH, Potencial de Óxido Redução (ORP), condutividade, turbidez, Oxigênio Dissolvido (OD), Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) e salinidade. Em cada uma das lagoas foram realizadas cinco leituras com a sonda multiparamétrica distribuídas dentro do corpo hídrico de forma bem representativa (Figura 4.2 A).



Figura 4.2 Etapas realizadas em campo. Coleta dos Parâmetros Físico-químicos da água (A). Levantamento de pontos de controle em Campo (B); Imageamento com Veículo Aéreo Não Tripulado (C).

Em relação aos pontos de localização para a correção geométrica do mosaico e do modelo digital de superfície foi utilizado um receptor GNSS da marca Topcon. O ponto da base foi rastreado por seis horas pelo método relativo estático e posteriormente foi processado

na página eletrônica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) pelo método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). Após o processamento da base, o levantamento dos pontos em campo foi realizado em modo RTK, o qual já fornece os dados corrigidos.

Na área de estudo foram coletados pontos com o RTK para a obtenção da localização das lagoas e ao longo da área, para correção geométrica das imagens. Nesse caso, foram realizadas marcações no solo (pó branco) com boa distribuição geográfica para facilitar a identificação dos pontos de controle nas imagens.

A missão realizada com o VANT foi planejada e executada no *software* livre *Mission Planner* (Osborne, 2014). Na análise da área estudada, foi utilizado como apoio o Google Earth (GOOGLE, 2015). Na a execução do voo alguns parâmetros foram definidos no *Mission Planner* como: altura de voo de modo que atenda o GSD (resolução em *cm/pixel*) programado para o trabalho, área a ser imageada, os locais de pouso e decolagem, a sobreposição lateral e vertical levando em consideração a resolução e distância focal da câmera, o espaçamento entre as linhas de voo de forma que atenda o planejamento das sobreposições, a cobertura da área e a autonomia da bateria do VANT.

O voo foi executado quando as condições meteorológicas estavam propícias, com ventos de baixa velocidade, pouca nebulosidade e inclinação solar adequada (próximo ao meio dia). Antes do voo foi realizado um *check-list* do equipamento (Bússola, GPS, motor, bateria, memória para armazenamento dos dados). A câmera utilizada foi uma Sony DSC – W320 de 14 Megapixels. A área imageada foi de aproximadamente 480 ha, com altura de voo em torno de 300 m, e a resolução obtida foi de 10 *cm/pixel*.

Após o imageamento, no *software Mission Planner* foi realizado o geotag nas fotografias. Nessa etapa foram transferidas informações sobre localização e altura, do log de voo para as imagens. Posteriormente, as mesmas (410 fotografias) foram processadas no *software Agisoft Photoscan* (Agisoft, 2014), *software* que usa as coordenadas centrais de cada fotografia obtidas através do geotag. Durante o processamento foram inseridos os pontos de controle de campo (GPS/ RTK) para a correção geométrica do modelo.

No cálculo dos índices, o mosaico de fotografias foi decomposto, onde os canais (RGB) que compõem uma fotografia convencional foram separados, gerando três arquivos contendo informações dos comprimentos de ondas do espectro eletromagnético correspondentes ao vermelho (R), Verde (G) e Azul (B). Esse procedimento foi realizado no *software SAGA 2.1* (Department of Physical Geography 2014) a partir da ferramenta “Split RGB bands” (Split Image orfeo).

Com as bandas individualizadas utilizando a ferramenta “calculadora raster” do *software* QGIS 2.8 (QGIS Development Team 2015) foram gerados os índices de vegetação RAVI (*Ratio Aquatic Vegetation Index*), NRAVI (*Normalized Ratio Aquatic Vegetation Index*), ExG (*Excess Green*) e NExG (*Normalized Excess Green*) (Tabela 4.1).

Tabela 4.1. Equações utilizadas para gerar os índices de vegetação RAVI, NRAVI, ExG e NExG.

Nome	Equação	Referências
Índice de vegetação verde-vermelho	$RAVI = \frac{GREEN}{RED}$	Tucker 1979
Índice de Diferença normalizada verde-vermelho	$NRAVI = \frac{(GREEN - RED)}{(GREEN + RED)}$	Tucker 1979
Excesso de verde	$ExG = 2GREEN - RED - BLUE$	Woebbecke et al. 1995
Excesso de verde Normalizado	$NExG = \frac{(2*GREEN - RED - BLUE)}{(GREEN + RED + BLUE)}$	Woebbecke et al. 1995

Onde: GREEN, RED, BLUE, NIR correspondem a refletância dos comprimentos de ondas do espectro eletromagnético referente ao verde, vermelho, azul e infravermelho próximo respectivamente.

Para obter os valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão dos índices e do mosaico em cada lagoa, foi gerado um limite por vetorização e posteriormente, o mesmo serviu de base para recortá-las em cada Banda (R, G e B) individualizada e em cada um dos índices calculados. A partir dos recortes os valores de cada lagoa foram obtidos nos metadados localizados em propriedades da camada raster.

Em relação às figuras os *layouts* foram feitos no *software* QGIS 2.8, o sistema de projeção utilizado foi o UTM com datum WGS 84. Os dendogramas foram gerados no *software* PAST (Hammer et al., 2016) utilizando o algoritmo vizinho mais próximo e índice de Similaridade Gower. Nesse mesmo *software* também foram feitos os gráficos das médias e desvio padrão. Já os gráficos referentes à refletância das lagoas nos comprimentos de onda referentes ao Azul, Verde e Vermelho foram elaborados no Excel (Microsoft Excel, 2010).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Análise da qualidade da água das lagoas da Nhecolândia

No mosaico disposto na figura 4.3 é possível observar a espacialização dos pontos de coleta e diferenciar visualmente as Salinas de Baías. As baías possuem intensa cobertura vegetal sobre a água. As salinas, devido a alguns parâmetros físico-químicos como alto pH e

salinidade, inviabiliza a sobrevivência da vegetação. A coloração mais esverdeada de algumas salinas deve-se a floração de microalgas e cianobactérias que possuem intensa atividade fotossintética (Silva, 2015). Também há lagoas que estão em processo de transição entre baías e salinas, como é o caso das lagoas 9 e 11 cujos parâmetros físico-químicos expressam essa condição.

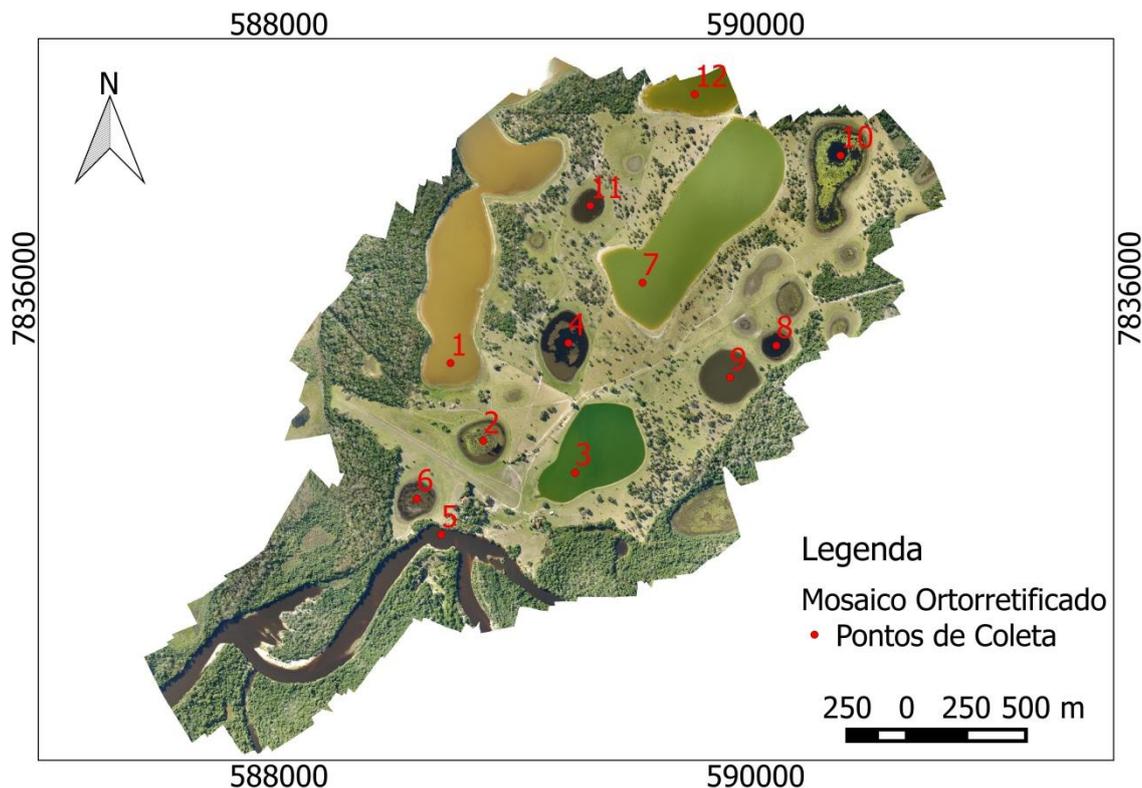


Figura 4.3 Mosaico de fotografias aéreas da área de estudo, e localização dos pontos de coleta. Os pontos 1, 3, 7 e 12 são referentes às salinas, os pontos 2, 4, 5, 6, 8, 10 são as Baías e os pontos 9 e 11 as lagoas estão em processo de transição.

Os parâmetros físico-químicos coletados em campo estão apresentados na tabela 4.2. Nota-se que as lagoas salinas possuem pH mais básico variando de 9,65 (lagoa 1) a 10,76 (lagoa 7), já nas Baías o pH varia de 7,72 (lagoa 6) a 9,27 (lagoa 8). Já as lagoas em transição os pH são de 9,42 e 9,63 nas lagoas 11 e 9 respectivamente.

Os maiores valores do Potencial de Oxidação Redução (ORP) foram verificados nos pontos 6 (312,75) e 5 (271,75). Nesses pontos foram verificados os menores valores de pH, o que colabora para a oxidação e acarreta em acréscimo no ORP (Tabela 4.2).

Os maiores valores de condutividade elétrica foram observados nas lagoas 12 (2,050 mS/cm) e 7 (1,820 mS/cm), assim como a maior quantidade de Sólidos Totais Dissolvidos (TDS), sendo de 1,31 e 1,25 g/L para os pontos 12 e 7 respectivamente. Nessas lagoas também foram observados os maiores valores de pH e a maior salinidade. A semelhança

físico-química nas lagoas 7 e 12 pode ser devida a uma grande cheia que ocorreu em 2012 que gerou uma conexão entre as duas lagoas (Oliveira, 2014). Silva (2012) classifica as águas das lagoas da Nhecolândia de acordo com a condutividade elétrica, nesse parâmetro as lagoas 7 e 12 são classificadas como alta salinidade e as lagoas 1 e 11 com média salinidade.

Tabela 4.2. Dados de qualidade de água dos pontos coletados.

Ponto /img	T. °C	PH pH	ORP mV	Cond. mS/cm	Turb. NTU	OD mg/L	TDS g/L	Sal. ppt	Tipo
1	22,23	9,65	208,75	0,294	48,07	10,30	0,191	0,1	Salina
2	22,67	8,41	212,75	0,216	9,89	6,61	0,140	0,1	Baía
3	21,38	9,89	219,75	0,227	72,28	15,60	0,147	0,1	Salina
4	21,85	9,02	244,00	0,219	2,00	12,42	0,143	0,1	Baía
5	26,51	7,90	271,75	0,039	7,94	14,50	0,025	0,0	Baía
6	21,98	7,72	312,75	0,030	11,23	12,65	0,019	0,0	Baía
7	22,77	10,76	181,25	1,820	21,38	14,43	1,25	1,0	Salina
8	24,17	9,27	233,75	0,069	12,62	9,85	0,045	0,0	Baía
9	24,28	9,63	206,25	0,127	19,10	11,42	0,083	0,1	Transição
10	19,82	8,40	178,25	0,073	6,06	10,05	0,047	0,0	Baía
11	21,20	9,42	199,75	0,317	33,13	11,67	0,206	0,18	Transição
12	22,64	10,72	172,00	2,050	16,50	9,94	1,31	1,0	Salina

Os maiores valores de turbidez na água foram verificados nas lagoas 3, 1 e 11, com 72,28 NTU, 48,07 NTU e 33,13 NTU respectivamente. De maneira geral, as salinas possuem maior turbidez quando comparadas com as Baías. As lagoas 11 e 9 apresentaram turbidez superiores as da Baías, isso deve-se ao fato das mesmas estarem em processo de transição entre baía e salina, uma vez que apresentaram salinidade de 0,18 ppt (lagoa 11) e 0,1 ppt (lagoa 9), ORP próximo ao das salinas e Condutividade elétrica maior que o das Baías. Oliveira (2014) também encontrou lagoas em fase de transição de baías para salinas e sugeriu mais estudos nesses corpos d'água.

A maior turbidez foi verificada na salina que possui a água com coloração mais esverdeada (Ponto 3). Silva (2015) também constatou maior turbidez nas salinas em águas mais esverdeadas, cuja autora chama de salinas verdes. A lagoa 3, além da alta turbidez possui alta taxa de oxigênio dissolvido. Isso ocorre devido à grande atividade fotossintética por parte dos microrganismos autótrofos nela presente. Segundo Grant (1990) a cor esverdeada em lagoas alcalinas é devido à química da água e a predominância de microrganismos autótrofos como cianobactérias.

4.5.2 Análise da resposta espectral das lagoas para os comprimentos de onda RGB e para os índices de vegetação

Analisando a refletância média das bandas Azul, Verde e Vermelha para cada lagoa é possível observar que as salinas possuem valores médios distintos para cada banda, ou seja, as curvas estão mais espaçadas, já nas Baías o comportamento dos três comprimentos de onda são semelhantes para a maioria das lagoas, com exceção das baías 2 e 10 onde o comprimento de onda azul se difere do verde e vermelho (figura 4.4).

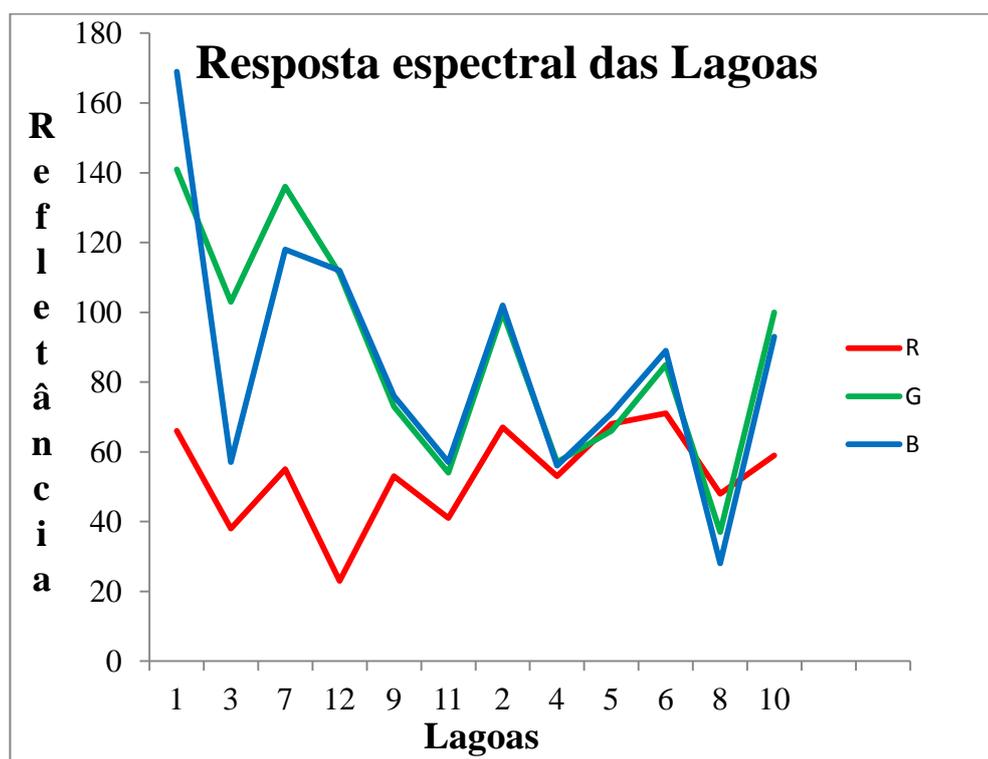


Figura 4.4 Refletância média das lagoas analisadas para os comprimentos de onda na região do Azul, Verde e Vermelho.

Nas Baías 2 e 10, que possuem maior quantidade de vegetação flutuante, nota-se que os comprimentos de onda na faixa espectral do azul é baixo e alto no verde e vermelho. Já nas baías que possuem pouca vegetação flutuante, nota-se que o valor médio de refletância é semelhante em todos os comprimentos de onda (R, G e B).

Já as lagoas 9 e 11 que estão em transição possui a resposta espectral na região do azul e verde semelhantes, diferenciando apenas no vermelho. Em relação às Salinas, a lagoa 3 e 7 possuem comportamento diferenciado quando comparado com as demais, a refletância na banda verde se sobressai as bandas azul e vermelha. As demais Salinas possuem alta refletância nos comprimentos de onda Vermelho e Verde e baixo no azul (Figura 4.4).

4.5.3 Comportamento espectral de classes de cobertura do solo para os índices Ravi, Nravi, ExG e NExG

A classe água apresentou o maior desvio padrão sendo uma classe com diferentes feições (vegetação, sedimentos, algas...) que se comportam de forma diferente diante do espectro eletromagnético na região do visível (RGB) (Tabela 4.3). Isso ocorre devido à complexidade desse ecossistema, onde é comum encontrar lagoas de água doce e salobras uma ao lado da outra, fato comprovado na Figura 4.6. Devido a grande quantidade de vegetação flutuante em cima das baías, os índices Ravi e Nravi apresentam grande amplitude nesses locais (Figura 4.6A e 4.6B).

Tabela 4.3. Valor máximo, médio, mínimo e desvio padrão das classes água (baías mais salinas), lagoa Salina, lagoa Baía, lagoa Baía sem vegetação, telhado de casas, solo exposto, vegetação rasteira e vegetação arbórea para os índices Ravi, Nravi, ExG e NExG.

Classes		Ravi	Nravi	ExG	NExG
Água (Baías + Salinas)	Máximo	2,086	0,949	137	0,601
	Média	1,165	0,057	71,106	0,257
	Mínimo	0,394	-0,435	-17	-0,193
	Desvio Padrão	0,360	0,126	37,693	0,175
Salina	Máximo	2,639	0,450	125	0,755
	Média	1,179	0,060	84,596	0,309
	Mínimo	1,792	-0,116	26	0,051
	Desvio Padrão	0,363	0,135	26,628	0,157
Baía	Máximo	1,685	0,949	142	0,364
	Média	1,120	0,047	29,537	0,096
	Mínimo	0,368	-0,461	-19	-0,280
	Desvio Padrão	0,349	0,093	36,709	0,119
Baía sem Vegetação	Máximo	3,555	0,561	48	0,245
	Média	1,082	0,226	-5,107	-0,028
	Mínimo	0,672	-0,196	-29	-0,124
	Desvio Padrão	0,302	0,120	3,601	0,018
Telhado	Máximo	1,008	0,004	30,000	0,044
	Média	0,818	-0,103	-6,365	-0,018
	Mínimo	0,645	-0,215	-46,000	-0,119
	Desvio Padrão	0,107	0,063	20,154	0,041
Solo Exposto	Máximo	1,004	0,002	28,000	0,045
	Média	0,935	-0,033	17,181	0,027
	Mínimo	0,903	-0,050	8,000	0,013
	Desvio Padrão	0,024	0,012	3,263	0,005
Vegetação Rasteira	Máximo	1,268	0,118	96,000	0,392
	Média	1,002	0,001	59,414	0,134
	Mínimo	0,861	-0,074	23,000	0,047
	Desvio Padrão	0,039	0,020	11,783	0,041
Vegetação Arbórea	Máximo	2,684	0,457	125,000	0,692
	Média	1,177	0,074	58,827	0,210
	Mínimo	0,944	-0,028	21,000	0,045
	Desvio Padrão	0,227	0,085	24,007	0,108

As classes telhado e solo exposto apresentaram valores máximos parecidos, entretanto diferem um do outro na média, onde o solo exposto na região de estudo apresenta valores mais altos devido à alta reflexão do solo arenoso. Esse comportamento foi verificado em cada um dos quatro índices analisados (Tabela 4.3). O solo arenoso favorece a refletância da energia eletromagnética devido à sua granulometria, pelo fato das partículas terem diâmetros maiores que a argila, há maior quantidade de espaços porosos no solo facilitando a propagação da energia entre eles fazendo com que a média seja maior no solo do que no telhado (Stoner e Baumgardner,1981).

Formaggio et al. (1989) relatam que em fotografias aéreas solos de textura finas usualmente apresentam um tom mais escuro que os solos grosseiros e isso está atribuído a retenção de água e ao teor de matéria orgânica. Os mesmos autores complementam que as diferenças em umidade e na concentração de matéria orgânica mascaram as diferenças em textura, mas no caso da Nhecolândia o solo é muito arenoso e dificulta o acúmulo de matéria orgânica e a retenção de umidade.

4.5.4 Análise dos índices de vegetação nas lagoas

Analisando os índices gerados a partir das fotografias aéreas nota-se que através do índice de vegetação verde-vermelho (Ravi) e o índice de diferença normalizada verde-vermelho (NRavi) não foi possível diferenciar as lagoas em Baías e Salinas (4.5A e 4.5B). Já em relação aos índices excesso de verde (ExG) e excesso de verde normalizado (NExG) há maior distinção entre salinas e baías (Figura 4.5C e 4.5D).

Dentre as lagoas estudadas, a Salina do ponto 3 é a que obteve o maior valor em todos os índices analisados. Observa-se na figura 4.3 que a mesma possui coloração verde bem intensa, quando comparada com as demais. Essa coloração esverdeada nas salinas é decorrente das florações de cianobactérias. O alto pH e alcalinidade dificulta a sobrevivência de outras espécies, reduzindo a competição e favorecendo o desenvolvimento das cianobactérias e microalgas (Silva, 2015).

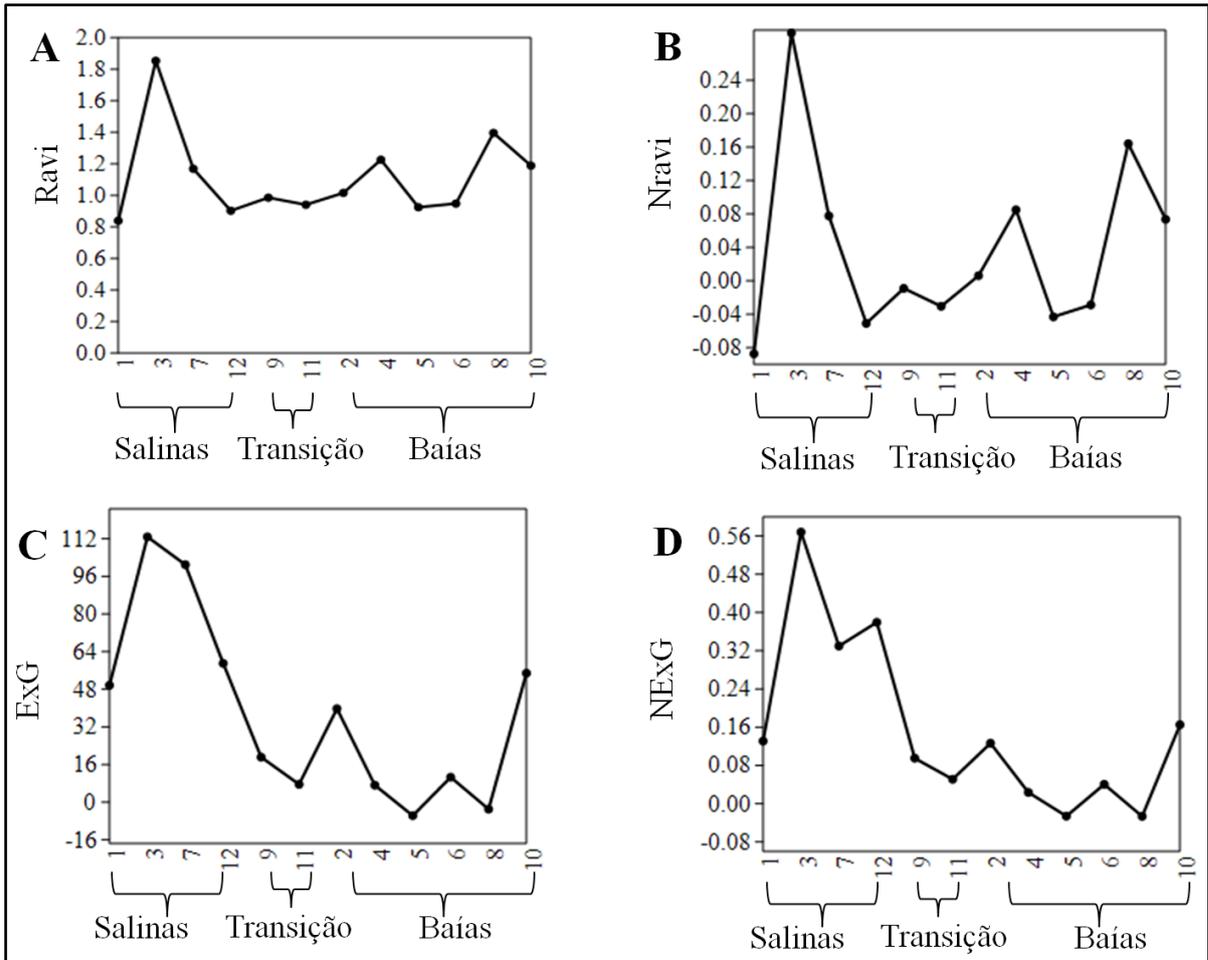


Figura 4.5 Média dos índices gerados do mosaico de fotografias aéreas em cada uma das lagoas estudadas. (A) índice Ravi, (B) índice Nravi, (C) índice ExG e em (D) índice NExG.

Em relação às Baías na figura 4.5C e 4.5D observa-se valores mais elevados nas lagoas 2 e 10. Os altos índices nessas Baías é devido a grande quantidade de vegetação flutuante sobre as águas (Figura 4.3), onde é possível notar que as referidas Baías possuem a vegetação flutuante mais esverdeada. As plantas absorvem mais energia na região do vermelho e refletem na região do verde (Ponzoni et al., 2015), com isso, através da resposta espectral nos diferentes comprimentos de onda é possível analisar o comportamento da vegetação por meio desses índices.

Analisando o desvio padrão (DP) dos índices em cada lagoa, nota-se que as baías são mais heterogêneas quando comparadas com as salinas (Figura 4.6C e 4.6D), onde houve pouca variação no DP. As Baías possuem grande quantidade de vegetação sobre a água, com isso há grande variação nos índices, sendo os valores mais altos representados pela vegetação e os valores mais baixos determinados pela água. A maior heterogeneidade aconteceu nas baías com maior quantidade de vegetação verde flutuante, como é o caso das Baías 2 e 10 (Figura 4.6).

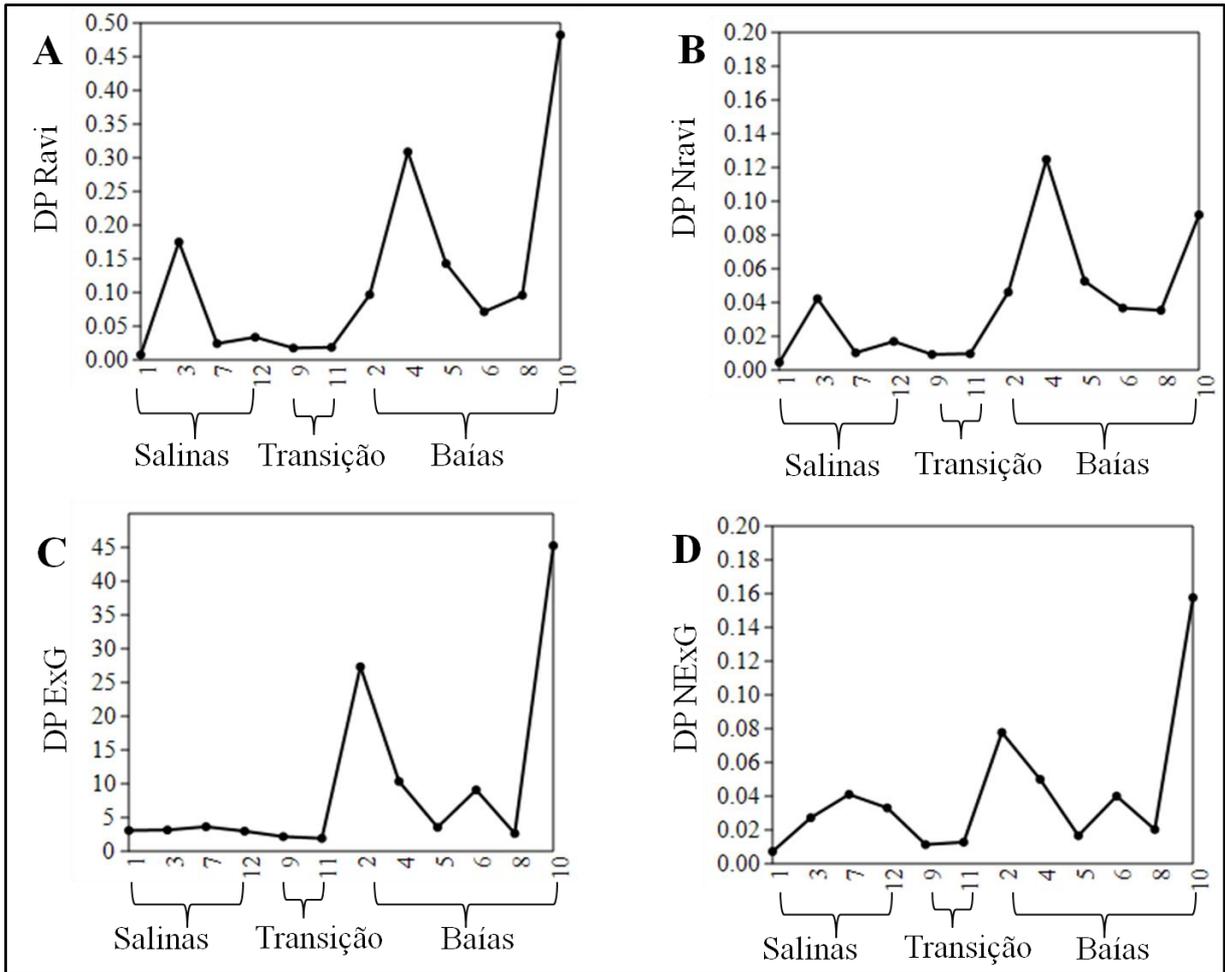


Figura 4.6 Desvio padrão dos índices gerados a partir do mosaico de fotografias aéreas em cada uma das lagoas estudadas. (A) índice Ravi, (B) índice Nravi, (C) índice ExG e em (D) NExG.

As lagoas salinas apresentam valores de índices de vegetação maiores e baixo desvio padrão principalmente para os índices ExG e NExG. Para esses índices os comportamentos das Baías e das lagoas em transição são semelhantes, com valores mais baixos onde há maior quantidade de água sem cobertura vegetal, como é o caso do Rio Negro (ponto 5) e dos pontos 8, 9 e 11, e altos para as Baías com maior quantidade de vegetação flutuante como é o caso das lagoas 2 e 10.

As lagoas na Nhecolândia são heterogêneas com grande variação nos parâmetros físico-químicos (Tabela 4.2). Abdon et al. (1998) relatam que no Pantanal da Nhecolândia há grande diversidade de plantas aquáticas nas Baías e de algas nas Salinas.

Cada uma das salinas analisadas possuem características únicas, fato que pode ser visto nos parâmetros físico-químicos assim como através das diferentes colorações que aparece nos índices Ravi e Nravi, sendo a lagoa 1S (vermelha), 3S (verde), 7S (laranja claro) e 12S (laranja escura com tons vermelhos na borda) (Figuras 4.7 e 4.8).

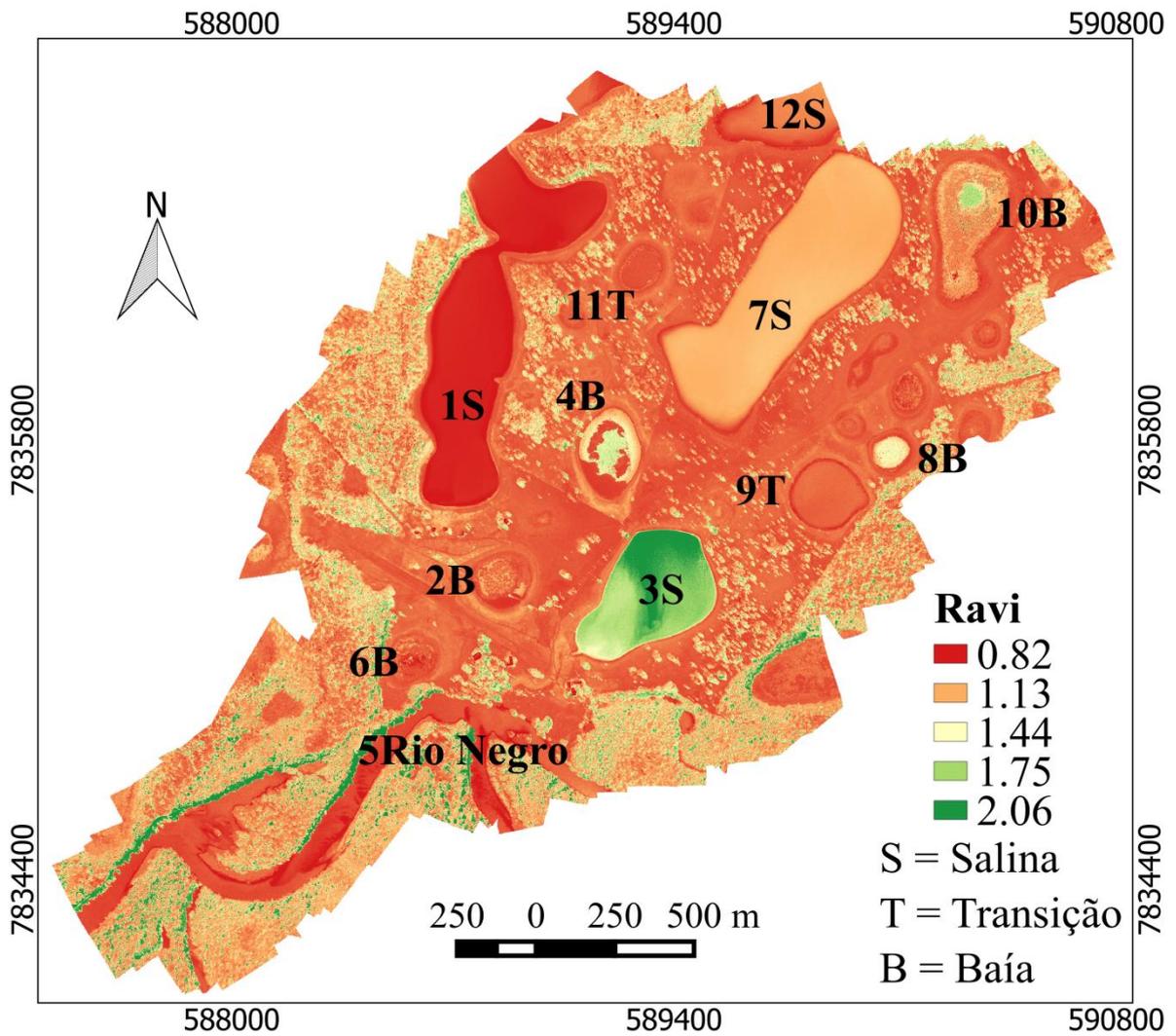


Figura 4.7 Índice de Vegetação verde-vermelho (Ravi) gerado a partir de um mosaico de fotografias aéreas obtidas por VANT.

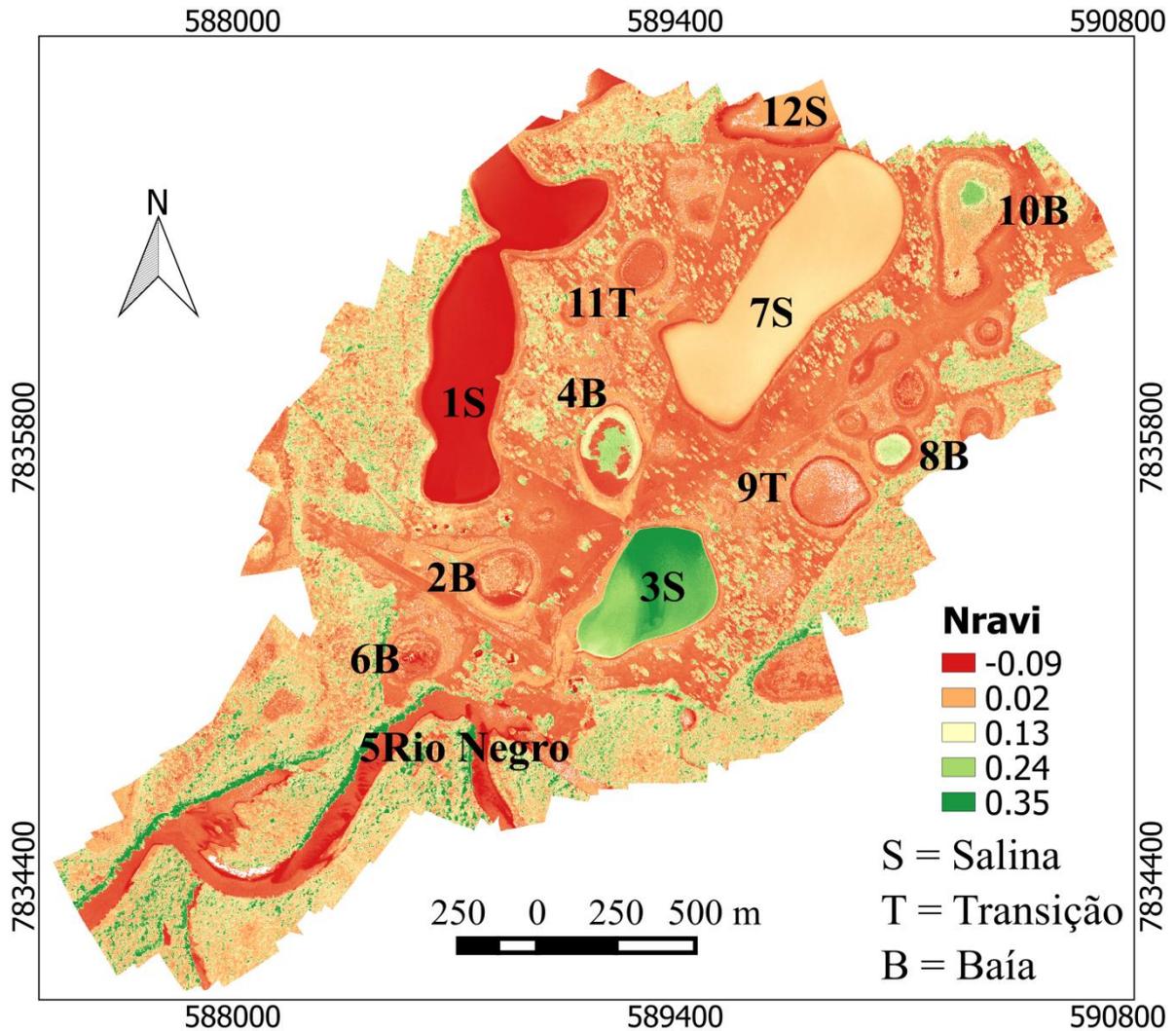


Figura 4.8 Índice de Vegetação por diferença normalizada verde-vermelho (Nravi) gerados a partir de um mosaico de fotografias aéreas obtidas por VANT.

Em relação aos índices Excesso de Verde (ExG) e Excesso de Verde Normalizado (NExG) nota-se que as Baías e o Rio Negro possuem coloração avermelhada, ou seja valores mais baixos, enquanto que locais com maior quantidade de clorofila, como nas vegetações flutuantes em cima das Baías (2B e 10B), em algumas salinas (3S, 7S e 12S) e regiões de vegetação arbórea arbustiva, os valores são maiores tendendo para a coloração verde (Figura 4.8).

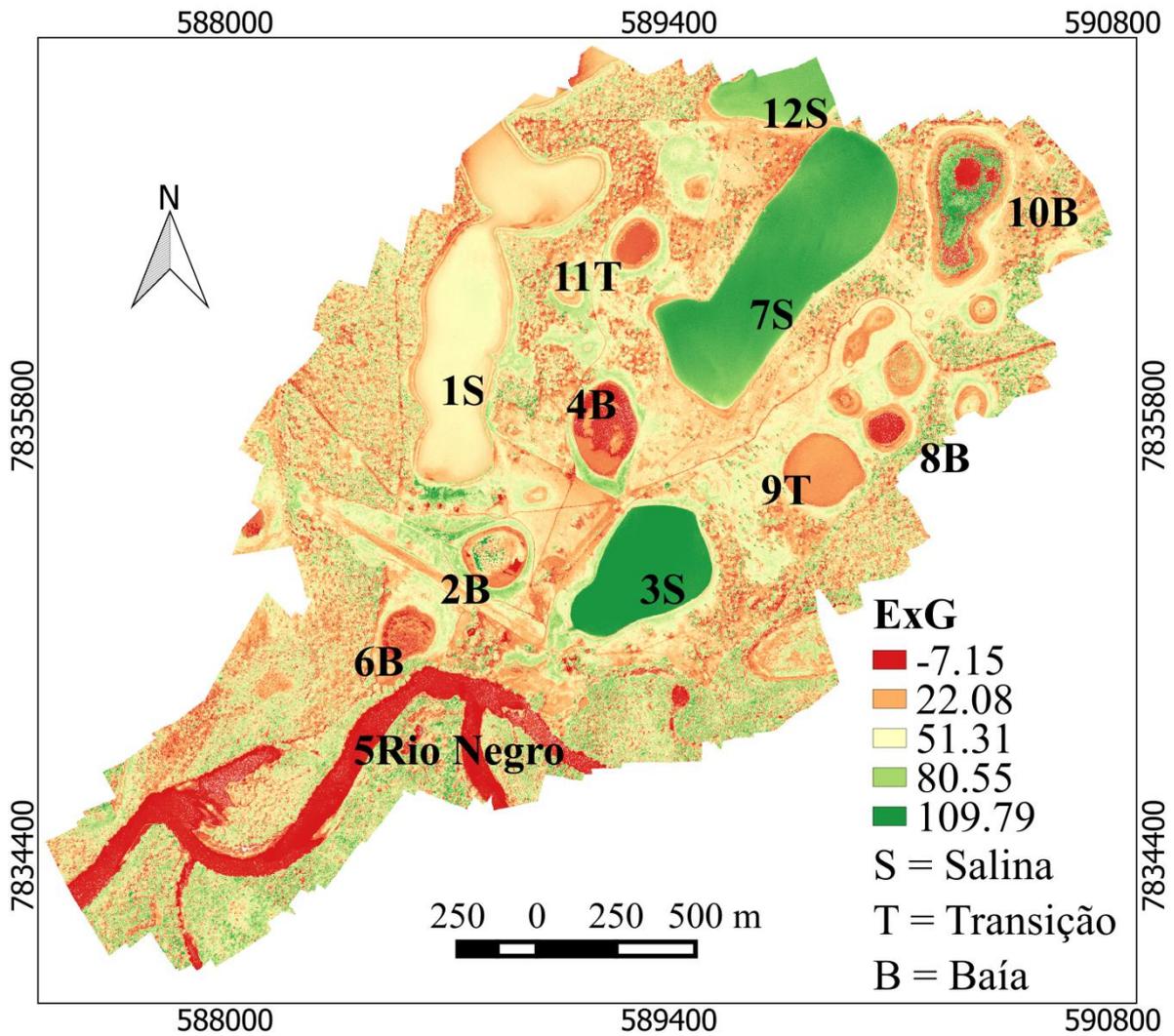


Figura 4.9 Índice de Vegetação Excesso de Verde (ExG) e Excesso de Verde Normalizado (NExG) gerados a partir de um mosaico de fotografias aéreas obtidas por VANT.

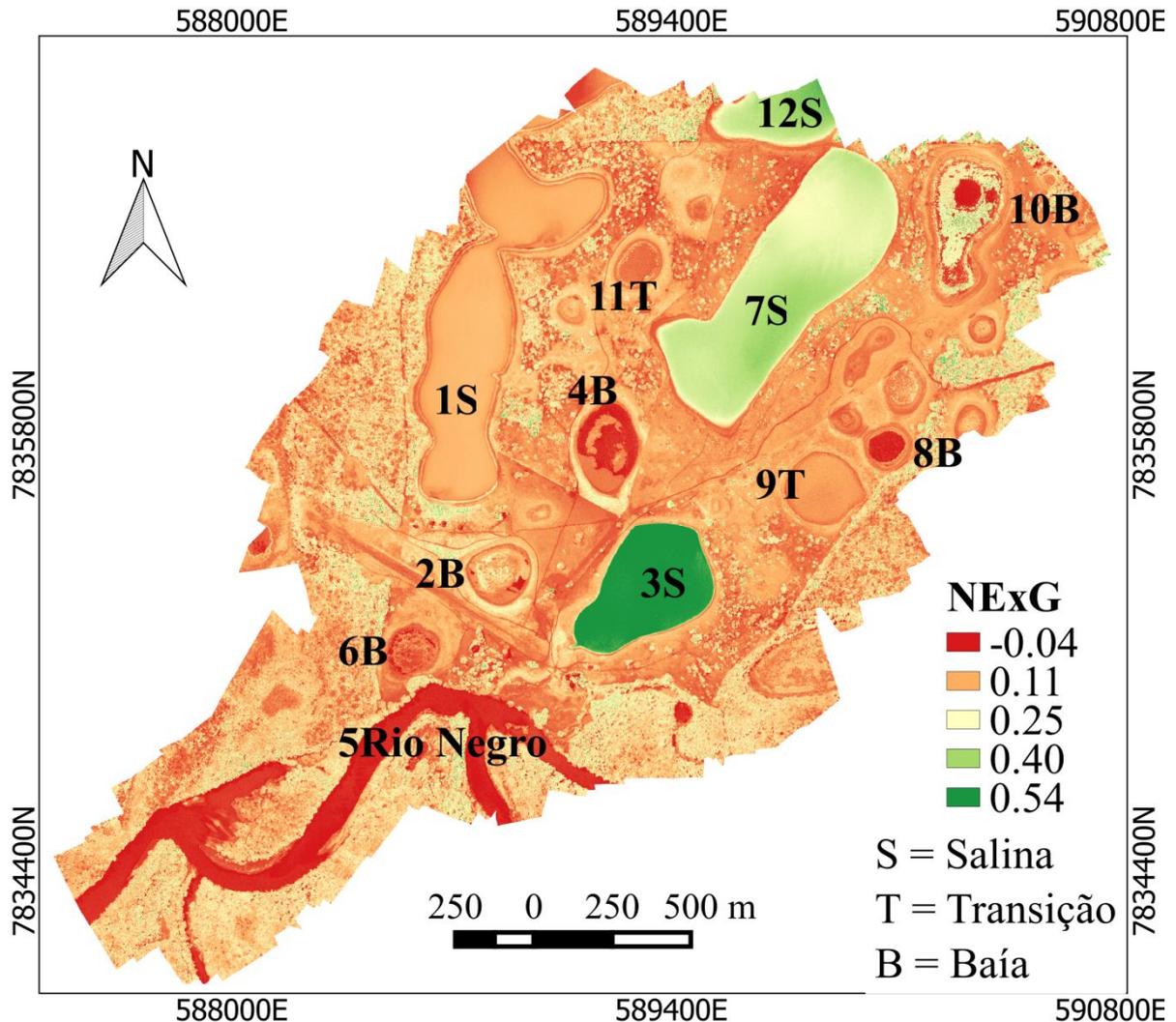


Figura 4.10 Índice de Vegetação Excesso de Verde Normalizado (NExG) gerado a partir de um mosaico de fotografias aéreas obtidas por VANT.

Observando as figuras 4.9 e 4.10 verifica-se que onde há água doce, o índice apresenta valores baixos, ou seja, coloração avermelhada, como pode ser observada na Tabela 4.3, onde a média do ExG foi de 29 na baía e 85 na salina. O mesmo comportamento foi verificado para o ExG normalizado cuja a média variou de 0,096 na Baía para 0,309 na Salina.

Ao compararmos as informações espectrais da água das baías em locais sem vegetação flutuante essa diferença fica ainda mais evidente, uma vez que, nesses locais a média do índice possui valor negativo para o ExG (-5,107) e NExG (-0,028). Essas diferenças permitem que os índices ExG e NExG, aliados a outros parâmetros, possam ser usados para diferenciar Baías de salinas.

4.5.5 Análise de agrupamento dos índices de vegetação com parâmetros físico-químicos da água

Analisando os índices de vegetação juntamente com os dados de qualidade da água em cada uma das lagoas, nota-se que apenas os índices ExG e NExG separaram as baías das salinas e agruparam as lagoas 2 e 10 que se destacam devido a grande quantidade de vegetação flutuante (Figura 4.11).

A análise de Cluster entre os índices e os parâmetros físico-químicos da água mostram que as Salinas 7 e 12 são estatisticamente idênticas em todos os índices (Figura 4.9). As lagoas em transição (9 e 11) ficaram próximo as lagoas Salinas nos quatro índices analisados, isso se deve aos parâmetros físico-químicos, assim como os índices que são semelhantes as das salinas.

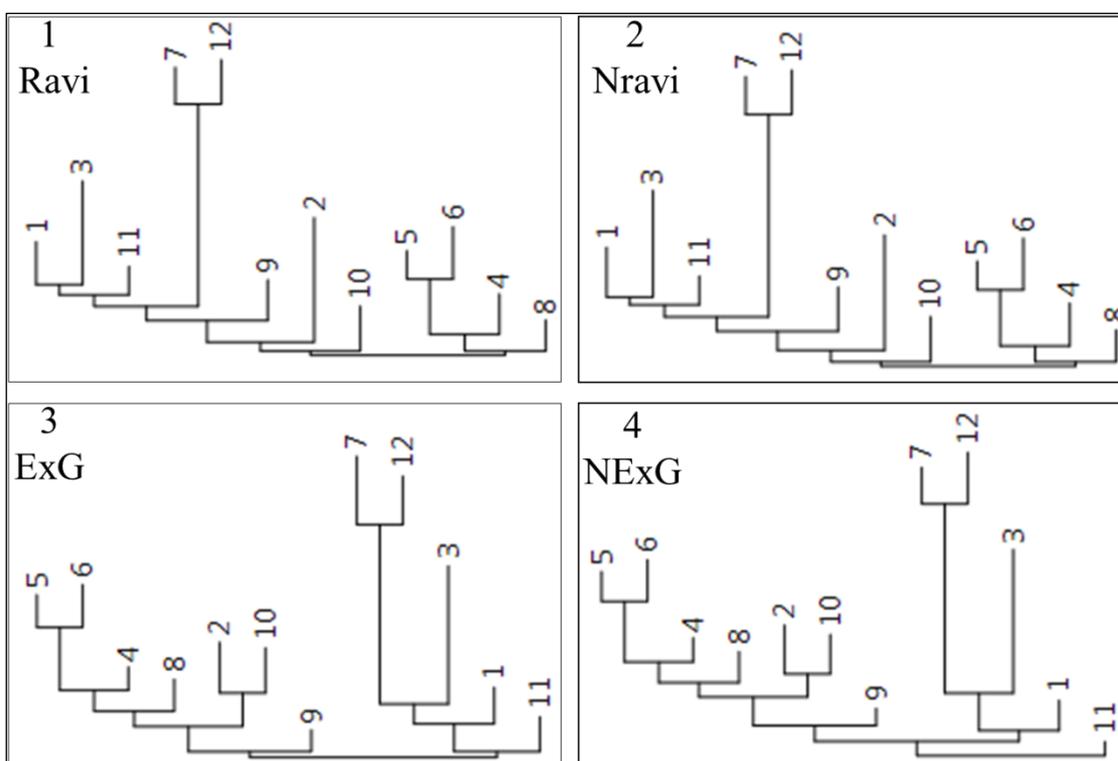


Figura 4.11 Dendograma expressando os índices e dados de qualidade da água (pH, Condutividade Elétrica, Turbidez, Oxigênio Dissolvido, Sólidos Totais Dissolvidos e Potencial de Oxido Redução (Algoritmo Vizinheiro mais próximo e índice de Similaridade Gower).

Os bons resultados apresentados pelos índices ExG e NExG estão vinculados ao fato de se usar duas vezes a banda verde, uma vez que, quanto mais vegetação, maior a refletância nesse comprimento de onda. Outro fator relevante que corrobora para esse resultado foi a utilização da banda azul que, segundo Paranhos Filho et al. (2016), devido aos comprimentos de ondas serem menores no Azul, há maior penetração nos corpos hídricos favorecendo discriminação de salinas e baías.

Em relação à lagoa 11, no dendograma (Figura 4.9) a mesma foi separada das salinas, mas permaneceu próximo devido as suas características físico-químicas que são parecidas com as das lagoas Salinas (Tabela 4.2). Acredita-se que as Baía 9 e 11 esteja em processo de transição, uma vez que a turbidez, a condutividade elétrica, os Sólidos Totais Dissolvidos e a salinidade são maiores que os das Baías e menores que os das salinas.

4.6 CONCLUSÃO

Os parâmetros físico-químicos da água são diferenciados nas lagoas da Nhecolândia. As Salinas, em geral, possuem pH básico, com grande quantidade de sólidos totais dissolvidos e maior condutividade elétrica. A maior turbidez, verificada na lagoa 3, resultou da alta floração de cianobactérias, o que pode ser a causa da alta turbidez.

As baías e salinas possuem comportamento espectral diferenciado, uma vez que as baías são mais heterogêneas em relação às salinas, devido à quantidade de vegetação flutuante nas mesmas.

Dentre os índices analisados Ravi, Nravi, ExG e NExG os que apresentaram melhor resultado foram os ExG e NExG, por diferenciar melhor as feições da região e permitir a caracterização das lagoas em Salinas e Baías.

As baías com maior quantidade de vegetação flutuante apresentaram valores dos índices maiores em relação às demais. Nessas, o comprimento de onda do azul é baixo e alto no verde e vermelho. As demais Baías com menor quantidade de vegetação apresentaram valores baixos no ExG e NExG. Nessa o comportamento das faixas R, G e B são semelhantes.

Em relação às Salinas, a maioria possui baixa refletância na região do azul e alta na faixa do vermelho e verde gerando índices com altos valores nessas lagoas. E nas salinas com alta floração de cianobactérias (grande quantidade de clorofila) os índices ExG e NExG são ainda maiores, devido a alta refletância na região do verde e baixa nas faixas do vermelho e azul.

4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABER, J. S.; MARZOLFF, I.; RIES, J. B. Basic Principles of Small-Format Aerial Photography. In: ____. **Small-format aerial photography: principles, techniques and geoscience applications**. Elsevier, 2010. ISBN: 978-0-444-53260-2. Cap.2, p. 15-22.

ABDON, M. M., POTT, V. J., & SILVA, J. D. S. V. Avaliação da cobertura por plantas aquáticas em lagoas da sub-região da Nhecolândia no Pantanal por meio de dados Landsat e SPOT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 13, p. 1675-1681, 1998.

AGISOFT. **Software Agisoft PhotoScan**. 2014. Disponível em: <<http://www.agisoft.ru/products/photoscan/professional/buy/educational/>>. Acesso em 20 de Julho 2014.

ALHO, C. J. R.; SABINO, J. A conservation agenda for the Pantanal's biodiversity. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 327-335, 2011.

ALHO, C. J. R. Concluding remarks: overall impacts on biodiversity and future perspectives for conservation in the Pantanal biome. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 337-341, 2011.

BERGIER, I. Effects of highland land-use over lowlands of the Brazilian Pantanal. **Science of the Total Environment**, v. 463, p. 1060-1066, 2013.

CARDOSO, E. L.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Ferreira, M. M. & Freitas, D. A. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 02, p. 613-622, 2011.

COSTA, M. P. F.; TELMER, K. H. Utilizing SAR imagery and aquatic vegetation to map fresh and brackish lakes in the Brazilian Pantanal wetland. **Remote sensing of Environment**, v. 105, n. 3, p. 204-213, 2006.

DELEGIDO, J. et al. A red-edge spectral index for remote sensing estimation of green LAI over agroecosystems. **European Journal of Agronomy**, v. 46, p. 42-52, 2013.

DESBIEZ, A. L. J.; BODMER, R. E.; SANTOS, S. A. Wildlife habitat selection and sustainable resources management in a Neotropical wetland. **International Journal of Biodiversity and Conservation**, v. 1, n. 1, p. 011-020, 2009.

DEPARTMENT OF PHYSICAL GEOGRAPHY. **SAGA** - System for Automated Geoscientific Analyses: Versão 2.1.2. software livre. Hamburg, 2014. Disponível em: <<http://sourceforge.net/projects/saga-gis/files/>>. Acesso em 13 Mai. 2014.

EVANS, T. L.; COSTA, M.; TELMER, K.; SILVA, T. S. Using ALOS/PALSAR and RADARSAT-2 to map land cover and seasonal inundation in the Brazilian Pantanal. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 3, n. 4, p. 560-575, 2010.

EVANS, T. L.; COSTA, M. Landcover classification of the Lower Nhecolândia subregion of the Brazilian Pantanal Wetlands using ALOS/PALSAR, RADARSAT-2 and ENVISAT/ASAR imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 128, p. 118-137, 2013.

FORMAGGIO, A. R. Interação da radiação eletromagnética com os solos. In: Formaggio, A.R.; Tardin, A.T.; Rudorf, B.; Assunção, G.V.; Epiphanyo, J.C.N.; Moreira, M.A.; Chen, S.C.; Duarte, V. **O sensoriamento remoto na agricultura: conceitos básico, metodologia e aplicações**. São José dos Campos: INPE, 1989. p. 31-52. (INPE-4806-MD/39).

GITELSON, A. A., KAUFMAN, Y. J., STARK, R., & RUNDQUIST. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 76-87, 2002.

GOOGLE Earth-Mapas. **Imagem DigitalGlobe**. 2015. Disponível em: <<http://earth.google.com/gallery/index.html>>. Acesso em: 02 Jul. 2015.

GRANT, W. D.; MWATHA, W. E.; JONES, B. E. Alkaliphiles: ecology, diversity and applications. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 6, n. 2-3, p. 255-269, 1990.

GUIJARRO, M., PAJARES, G., RIOMOROS, I., HERRERA, P. J., BURGOS-ARTIZZU, X. P., & RIBEIRO, A. Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 75, n. 1, p. 75-83, 2011.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.T. & RYAN, P.D. **Paleontological Statistics - PAST**. 2016. Version 3.11. Disponível em < <http://folk.uio.no/ohammer/past/>>: acesso em: 19 Abr. 2016.

JANNOURA, R., BRINKMANN, K., UTEAU, D., BRUNS, C., & JOERGENSEN, R. G. Monitoring of crop biomass using true colour aerial photographs taken from a remote controlled hexacopter. **Biosystems Engineering**, v. 129, p. 341-351, 2015.

MICROSOFT OFICE. **Microsoft Excel**. Software, 2010.

MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C. & ALBREZ, E. do A. Contribuição à caracterização das sub-regiões do pantanal. **Entre-Lugar**, v. 3, n. 6, p. 165-180, 2012.

OBORNE, M. **Mission Planner, versão 2.35**. Software livre. APM multiplataform autopilot, 2014. Disponível em: <http://planner.ardupilot.com/>. Acesso em 05 de Jun. 2014.

OLIVEIRA, C. S.; Ferreira, G. D.; Sansão, J. P. H.; Monzelli, L. A. & Silva Júnior, M. C. Determinação da orientação em linhas de cultura: investigando métodos de processamento de imagens para aplicação na agricultura de precisão. In. **Anais...** Conference on Graphics, Patterns and images – SIBGRAPI. Ouro Preto, p. 53-58, 2012. Disponível em: < http://www.decom.ufop.br/sibgrapi2012/e proceedings/wuw/102824_1.pdf>. Acesso em: 4 Jun. 2014.

PONZONI, F. J., SHIMABUKURO, Y. E., & KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

POTT, A.; OLIVEIRA, A. K. M.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A. & SILVA, J. S. V. Plant diversity of the Pantanal wetland. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 265-273, 2011.

QGIS Development Team. Geographic Information System: versão 2.8.0 Wien. Software livre. 2015 Disponível em: <http://qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html>. Acesso em 15 Jun. 2015.

SILVA, Mauro Henrique Soares da. **Análise da Paisagem do Pantanal da Nhecolândia: estudo de caso das lagoas salitradas sob a perspectiva do Modelo GTP (Geossistema-Território-Paisagem)**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente.

SILVA, Gabriela Machineski da. **Diversidade taxonômica e funcional de comunidades microbianas em lagoas salino-alcálicas do Pantanal brasileiro**. 2015. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz.

SILVA, F. C. M. da; SILVA, N. M.; CÂNDIDO, A. K. A. A. Seleção de técnicas de classificação de fotografias aéreas derivadas de VANT na análise ambiental de área de cerrado. **REDE-Revista Eletrônica do Prodepa**, v. 10, n. 1, 2016.

STONER, Eric R.; BAUMGARDNER, M. F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, n. 6, p. 1161-1165, 1981.

WOEBBECKE, D. M., MEYER, G. E., VON BARGEN, K., & MORTENSEN, D. A. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. **Transactions of the ASAE**. v. 38, n. 1, p. 259–269, 1995.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Introdução Geral

BARROS, F. da. S.; CARDOSO, D. C. S.; SILVA, R. G. da; VAZ, J. R. P.; ALCÂNTARA, A. da S.; FERREIRA, E. H. F. e; SANTOS, A. C. R. dos. Projeto e construção de um veículo aéreo não tripulado (VANT) aplicado para monitoramento ambiental. 2013. *XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Gramado, RS.*

BRASIL, G. G. Monitoramento ambiental com a utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs). 2012. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor Tecnológico da Universidade Federal do Paraná. 113p.

BONATTO, F.; MARTINS, A. K. E.; BARROS, E. K.; Uso de geotecnologia para a classificação de pastagens em diferentes níveis de degradação da bacia do Ribeirão Matança localizada no Município de Pium – TO. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis, Anais... Florianópolis: INPE, 2007, p. 791-798.

Liu, P.; Chen, A. Y.; Huang, Y.; Han, J.; Lai, J.; Kang, S.; Wu, T.; Wen, M.; Tsai, M. A review of rotorcraft Unmanned Aerial Vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering. **Smart Struct. Syst**, v. 13, n. 6, p. 1065-1094, 2014.

NEX, F.; REMONDINO, F. UAV for 3D mapping applications: a review. **Applied Geomatics**, v. 6, n. 1, p. 1-15, 2014.

5 ANEXO 1

Artigo referente ao terceiro capítulo desta tese, publicado na revista *Water, Air, & Soil Pollution*. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11270-016-2919-7>>.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; PARANHOS FILHO, A. C.; HAUPENTHAL, M. R.; SILVA, N. M.; SOUSA, J. C.; RIBEIRO, M. L. Water Quality and Chlorophyll Measurement Through Vegetation Indices Generated from Orbital and Suborbital Images. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, n. 7, p. 1-11, 2016.

Water Quality and Chlorophyll Measurement Through Vegetation Indices Generated from Orbital and Suborbital Images

Anny Keli Aparecida Alves Cândido · Antonio Conceição Paranhos Filho ·
Marcelo Ricardo Haupenthal · Normandes Matos da Silva · Jonas de Sousa Correa ·
Maria Lucia Ribeiro

Received: 8 March 2016 / Accepted: 31 May 2016
© Springer International Publishing Switzerland 2016

Abstract The study was developed at the Municipality of São Gabriel do Oeste, State of Mato Grosso do Sul, Brazil, where were performed analyses of water samples, including physical and chemical aspects, obtained through Hanna multi-parameter probe into four different parts of the study area. Landsat satellite 8 (L8) and unmanned aerial vehicle (UAV) was also used to generate vegetation indices, using the visible spectral range for both types of images and normalized difference vegetation index (NDVI) just for L8. Later, these ratios were correlated to chlorophyll *a* that has a key role in photosynthesis. Regarding the physical and chemical parameters, the collection point 2 was the most differed to the others; this may have happened to be a dam with little flow in an eutrophication process. Through the water absorbance curve in the visible wavelengths, it is possible to estimate comparatively water body that has

larger amounts of dissolved materials in the water. There was a high correlation between vegetation indices generated from aerial photographs and L8 image, with chlorophyll *a* extracted from water in the laboratory. In this sense, they are likely to use to forecast future scenarios. It is suggested the use of aerial photographs of UAVs for monitoring the environmental quality of small water bodies, considering its high spatial and temporal resolution.

Keywords Drone · Water body · Remotely piloted aircraft systems (RPAS) · Remote sensing · Aerial photography

1 Introduction

The management of water resources is a political and technological challenge due to various conflicts of use affecting the quality and quantity of water (Tundisi 2008). To guarantee and ensure its availability as proposed in the Brazilian policy of water resources (Brasil 1997), it is necessary technical knowledge and efficient management.

To obtain information about the physical environment, remote sensing is increasingly being used to measure and monitor biophysical characteristics and human activities on Earth (Jensen and Epiphanyo 2009).

Within this science, vegetation indices are increasingly being employed, such as Duan et al. (2007) who

A. K. A. A. Cândido (✉) · A. C. P. Filho ·
M. R. Haupenthal · J. de Sousa Correa · M. L. Ribeiro
Federal University of Mato Grosso do Sul, GIS Laboratory for
Environmental Enforcement, Unit 7A, CEP 78720-100 Campo
Grande, Mato Grosso do Sul, Brazil
e-mail: anny.keli@hotmail.com

N. M. da Silva
Federal University of Mato Grosso, Laboratory of Geotechnology,
Sagrada Familia district, MT 270 Highway, km 6, CEP
678735-910 Rondonópolis, Mato Grosso, Brazil

worked with Landsat TM to assess the concentration of a chlorophyll and the trophic status of the Chagan Lake located in northeastern China and from Coelho et al. (2011) who used images of the CBERS sensor/CCD in the evaluation of the trophic status of Amor Lake reservoir in Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

The paperwork of Duan et al. (2007) and Coelho et al. (2011) showed satisfactory results using medium spatial resolution satellite images; however, for analysis in smaller water bodies comes the need of employing high spatial resolution images. In this scope, the unmanned aerial vehicles (UAV) emerge as important tools for monitoring small areas, due to the emergence of new algorithms included in the data analysis system, techniques to extract information derived from UAV products, and the possibility of shaping the spectral, radiometric, spatial, and temporal resolution to meet the objectives of the work to be done (Ballesteros et al. 2014).

Gago et al. (2015) report that the advantage of the UAV in relation to other platforms (manned aircrafts and satellites) is the ability to fly at low altitudes, increasing the spatial resolution and the low cost images and platform, which facilitates more frequent monitoring. Another relevant factor is embedded cameras in the aircraft, which mostly are low cost (non-metric sensors) and what reduces the monitoring cost. Furthermore, multi-spectral or infrared sensors are miniaturized, that makes viable the use of RGB cameras, NIR and related aboard the UAV (Ballesteros et al. 2014).

The majority of embedded cameras in UAVs is small format, deeper meaning, conventional cameras (RGB) only capture wavelengths in the visible spectral range, but currently several studies are being conducted aiming to extract information from these images. In this sense, Ballesteros et al. (2014) report that vegetation indices as normalized difference vegetation index (NDVI) may be replaced by other indices based on RGB bands of information, such as aquatic vegetation indices NRAVI and RAVI (Tucker 1979), ExG (Woebbecke et al. 1995), $VARI_{green}$ and VI_{green} (Gitelson et al. 2002), GLI (Louhaichi et al. 2001), and TGI (Hunt et al. 2011).

Most of these indices are being generated from UAV flight images and applied in tasks involving vegetation and precision agriculture, such as Torres-Sánchez et al. (2014), Hunt Júnior et al. (2013), and Gitelson et al. (2002).

Knowing the importance of chlorophyll *a* to maintain the production chain present in all phytoplankton organisms and having a key role function in photosynthesis (Agostiano et al. 2002), this work proposed to evaluate

the water quality of a water spring area at São Gabriel do Oeste from the spectral response, coupled with the physical and chemical parameters, estimating the chlorophyll *a* present in the water by means of generated indices from orbital and suborbital images.

2 Materials and Methods

The study area is located on the plateau of São Gabriel do Oeste, Mato Grosso do Sul, Brazil. To analyze water quality, two points were considered in the water spring area (points 1 and 2), one inside the urban area (point 3), and the other in a stream that crosses through the highway called BR163 (point 4) upstream of a pig farm refrigerator (Fig. 1).

The gathering of physical and chemical parameters of the water was held on November 14, 2013. Each one of the points were analyzed through Hanna HI 9828 multi-parameter probe, considering physical variables such as pH, temperature, dissolved oxygen, conductivity, solids, transparency, oxide reduction potential, and salinity.

The laboratory analyses of chlorophyll *a* and the water absorbance were collected in three bottles of 1.5 L of water per analyzed point. It had been previously identified and wrapped in aluminum foil to prevent light interference, a necessary procedure for chlorophyll analysis. To compose each of the samples, three portions of water were collected then they have been homogenized in a larger container and then bottled and stored in an ice cooler.

In the laboratory, using the Gold Spectrumlab 53 spectrophotometer, the water light absorbance was obtained from each of the collection points. Readings were done in the visible spectral range. To perform this procedure, the collected material was placed in a transparent cube of 1 cm and inserted into a spectrophotometer.

The chlorophyll *a* analysis was performed using the Nush method (1980). Two hundred fifty milliliters of water was filtered through a fiber glass filter. Subsequently, the filter was placed in soaking in a testing tube with 10 mL of 80 % alcohol, received thermal shock, and kept in standby for 24 h, then the concentration determined by spectrophotometric reading at 665 to 750 nm wavelength.

In the same day of the water collection at São Gabriel do Oeste, imaging surveys were carried out with unmanned aerial vehicle—UAV. To perform the imaging, surveys were asked the notice to airmen (NOTAM), the

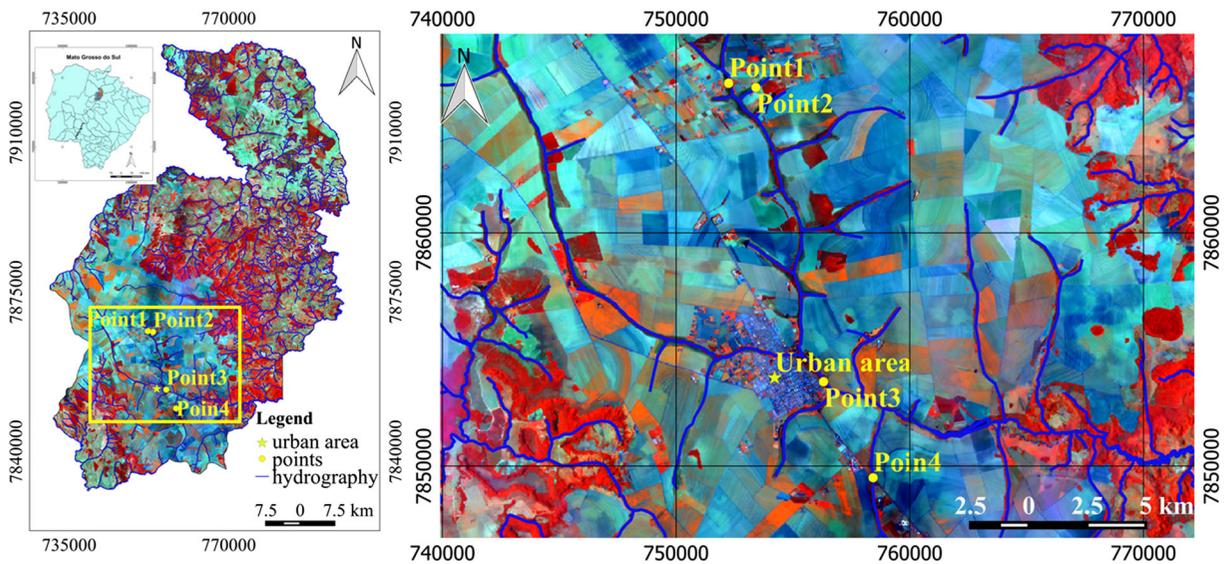


Fig. 1 Location of collection points in São Gabriel do Oeste (Landsat 8, Operational Land Imager sensor (OLI), orbit point 225/73 of November 14, 2013)

Second Integrated Center for Air Defense, and Air Traffic Control—CINDACTA II and it has been published on October 31, 2013 (E3871/2013). In the imaging surveys, we used a fixed wing electrically powered aircraft to perform three imaging surveys. The first imaging overlaid an area of 2,000,000 m² corresponding to points 1 and 2, the second and third imaged the points 3 and 4, with areas of approximately 1,000,000 m² in each. Table 1 shows some parameters of the mission performed by the UAV on November 14, 2013.

From the aerial images from orthorectified flights, mosaics of collection points in Agisoft photoscan software (Agisoft 2014) were generated and from these images, some vegetation indices were calculated through map algebra. Later, they were correlated with physical-chemical parameters of water.

Landsat 8 (L8), Operational Land Imager sensor (OLI), and orbit point 225/73 of 11.14.2013 images were used and before calculating vegetation indices, the L8 image underwent an atmospheric correction process. For the L8 satellite image, besides the calculated indices for the aerial photographs of mosaics, normalized difference vegetation index (NDVI) was generated which uses the spectral bands corresponding to red and near infrared.

To generate indices were separated the channels that make up the mosaic generating three files containing information on the electromagnetic spectrum wavelengths corresponding to red (R), green (G), and blue

(B). This procedure was performed in SAGA 2.1 software (Department of Physical Geography in 2014) from the tool “Split RGB bands.”

With individual bands using the tool “Raster Calculator,” QGIS 2.4 software (QGIS Development Team 2015) generated ratio aquatic vegetation index (RAVI), normalized ratio aquatic vegetation index (NRAVI), and excess green (ExG) from the formulas (Table 2).

The samplings of the indices were randomly made and with three replications for each treatment. Later, a Pearson’s correlation and a linear regression analysis of chlorophyll *a* data with RAVI, NRAVI, and ExG were held in the R statistical software (R Development Core Team 2008). To estimate the chlorophyll *a* arithmetic

Table 1 Setting parameters for mission performed by the UAV in São Gabriel do Oeste

Camera	Sony DSC-W320
Camera resolution	14 megapixels
Scene mode	Boundless
Focal distance	4.7 mm
Vertical coverage	60 %
Horizontal coverage	80 %
Spatial resolution (GSD)	0.045 m
Flight altitude	200 m
Speed:	48 km/h
Imaged area	1.86 km ²

Table 2 Equations used to generate the RAVI, NRAVI, and ExG vegetation indices

Name	Equation	Reference
Ratio aquatic vegetation index	$RAVI = \frac{GREEN}{RED}$	Tucker 1979
Normalized ratio aquatic vegetation index	$NRAVI = \frac{(GREEN-RED)}{(GREEN+RED)}$	Tucker 1979
Excess green	$ExG = 2GREEN - RED - BLUE$	Woebbecke et al. 1995
Normalized difference vegetation index	$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}$	Rouse et al. 1974

Where GREEN, RED, BLUE, and NIR correspond to the wavelengths of the electromagnetic spectrum referring to the green, red, blue, and near infrared, respectively

mean, three samples of each index was taken and replaced in formula obtained by linear regression analysis. Regarding the layout figures, it had been made in QGIS 2.8 software and graphics in Microsoft Excel 2010.

3 Results and Discussion

3.1 Relation Beside Water Absorbance and Physicochemical Parameters

The physical and chemical parameters of water were collected with a multi-parametric probe into two dammed springs (1 and 2) and two stream water bodies (points 3 and 4); the collection points can be seen in Fig. 2.

According to Moreira (2011), the liquid water has high energy absorption. In the 380 to 700 nm spectral range, the reflectance of the water is relatively low, exceeding a little more than 5 %. Suspended materials in the water are factors that directly interfere in their discussions (Moreira 2011; Jensen and Epiphanió 2009). When comparing the energy absorbance of muddy water to pure water, it is observed that the energy absorption is greater in pure water, due to the inorganic and organic materials present in turbid water increase their reflectivity and hence reduces its absorbance (Moreira 2011).

Analyzing Fig. 3, it is observed the low absorbance of point 2 in relation to other collection points and that it has higher turbidity. At this point, there is the highest temperature (27.16 °C), lower amount of dissolved oxygen (O₂ 3.02 mg/L), higher pH (6.14), and lower oxide reduction potential—ORP (14 mV) among the analyzed points (Table 3).

It is noted from Fig. 3 that the points have a greater amount of dissolved material are the water dams, namely point 2 followed by the point 1. This might be

explained by the fact that studied dams receive runoffs from entire surroundings and not possess the gallery forest protection (Fig. 4a, b).

The water temperature is not in the National Council for the Environment (CONAMA) Resolution No. 357/2005 (Brasil 2005) (Table 3), but it is important for good reflectance of the seasonal variations of the environment. According to Esteves (1998), the temperature directly influences the organisms breathing and oxidative processes such as decomposition of organic matter and its elevation increases the speed reactions, which results in higher oxygen consumption.

Damasceno et al. (2008) report that the oxide reduction potential (ORP) value allow evaluate the oxidation process of organic matter. The same authors report that the polluted water can lead to ORP measures much lower than the unpolluted water and also that these reductions indicate that the water is of poor quality and lacking in oxygen. The pH also has strong relation with the ORP, since the higher is the pH, lower the ORP due to decreased oxidation. According to Brasil (2006), the pH influences the distribution of free and ionized forms of various chemical compounds besides contributing to bigger or smaller solubility degrees of the substances and defines the toxicity potential of several elements.

Analyzing Fig. 5, it is noted that point 3 has more organic matter dissolved in water and according to Moreira (2011), as the organic matter in the water is increased, it reduces reflectance and increases energy absorption. The highest chlorophyll *a* amount (3.157 g/L) and dissolved oxygen (O₂ 6.83 mg/L) were found at point 3 (Table 3).

Oxygen is one of the most important gases dissolved in the water for characterization of aquatic ecosystems (Esteves 1998) and changes in dissolved oxygen levels are associated with physical, chemical, and biological processes that occur in water bodies (Brasil 2006). To maintain aerobic aquatic life, a minimum dissolved

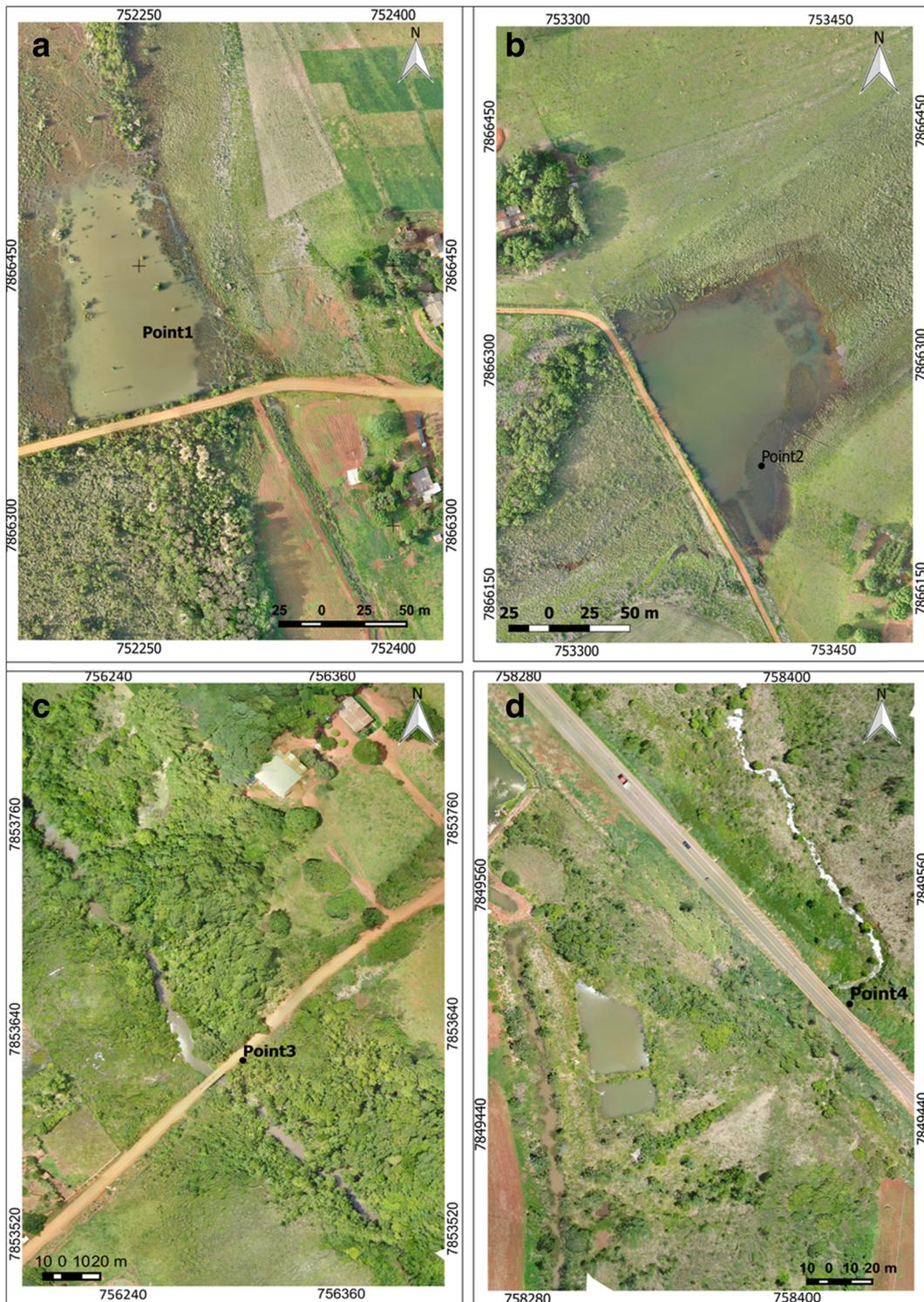


Fig. 2 UAV images obtained from collection points where the high resolution enables observation of details in the field

oxygen level of 2 to 5 mg/L is required, according to the requirement degree of each organism (Brasil 2014).

The electrical conductivity of the water represents its capacity of transmitting power due to the presence of

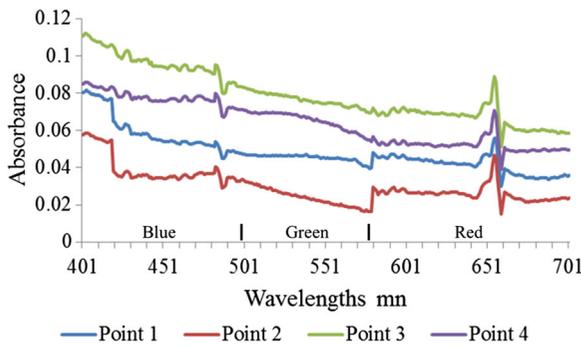


Fig. 3 Spectrum absorption of surface water of the four collection points for wavelengths in the visible spectral range

dissolved substances. The higher its value, the greater the amount of ions in the water, the greater ability to conduct electrical current power (Brasil 2014). The conductivity varied from 9 to 18 S/cm. Natural waters show conductivity levels 10–100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and in polluted environments by domestic and industrial wastepipe can reach 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Brasil 2014).

Total dissolved solids are made of particles of diameter less than 10^{-3} μm that remain in solution even after the filtration, its entry in water can occur naturally (erosive processes, organisms, and organic waste) or anthropogenic (solid waste and sewage release) (Brasil 2014). Considering that standard for class 1 according to the resolution of CONAMA 357/2005, the analyzed points respect the legislation, since all are below 500 mg/L.

Regarding the chlorophyll *a*, the sampled points respect the parameters of existing legislation (Brasil 2005) because it is below 10 mg/L. The collection point 2 was the most differed from the others; this may have happened to be a dam with little flow in the eutrophication process, which can be seen in Fig. 4b. The low ORP

value (14 mV), low amount of dissolved oxygen (O_2 3.02 mg/L), and low absorbance of water are also parameters that lead to this fact.

3.2 Relationship Between Vegetation Indices with Chlorophyll *a*

Data analysis was performed to four different points, which can be observed in Figs. 2 and 4. Note that in points 1 and 2, water bodies are visible in the image (Fig. 4a). In addition, points 3 (Fig. 4b) and 4 (Fig. 4c), are in the gallery forest, so the data involving the image Landsat 8 were generated only for the points 1 and 2.

In relation to the indices generated from aerial photographs, at every point, the largest amplitudes were observed in point 1 (RAVI=3.83, NRAVI=0.70, and ExG=152) and the smallest in point 3 (RAVI=0.64, NRAVI=0.315, and ExG=74). Note that the point 1, where the greatest vegetation indices occurred, was the one with the lowest average chlorophyll *a* (1.161 mg/L) and point 3 showed the biggest amount of chlorophyll *a* (3.157 mg/L). Table 4 shows the amplitude, mean, and standard deviation of vegetation indices related to analyzed water bodies.

Only chlorophyll absorbs energy in the red region (Ponzoni et al. 2012), thus, where there has to have the greater amount of chlorophyll, there will be increased energy absorption in this region, resulting in low reflectance values in the red region and bigger in the green region causing an increase in the difference between the green and red band (Coelho et al. 2011; Gitelson et al. 2002). The generated indices use the visible range tend to be lower where there is more chlorophyll, like in the case of point 3 wherein the indices have low amplitudes when compared with the other points.

Table 3 Table with the means of physicochemical parameters analyzed and the water quality standards set by the Resolution CONAMA 357/2005 and CECA/ MS036 for watercourse class water 1

	Temp	pH	Electrical conductivity	Dissolved oxygen	Total dissolved solid	ORP	Chlorophyll <i>a</i>
Patterns: Conama and CECA/ MS036	— °C	6.0 and 9.0	— $\mu\text{S}/\text{cm}$	≥ 6 mg O_2/L	≤ 500 mg/L	— mV	≤ 10 $\mu\text{g}/\text{L}$
Point 1	25.22	4.6	9	6.75	4	194	1.161
Point 2	27.16	6.14	12	3.02	6	14	1.488
Point 3	23.32	4.87	10	6.83	5	164	3.157
Point 4	22.87	5.23	18	6.0	9	149	1.579

Temp temperature, ORP redox potential

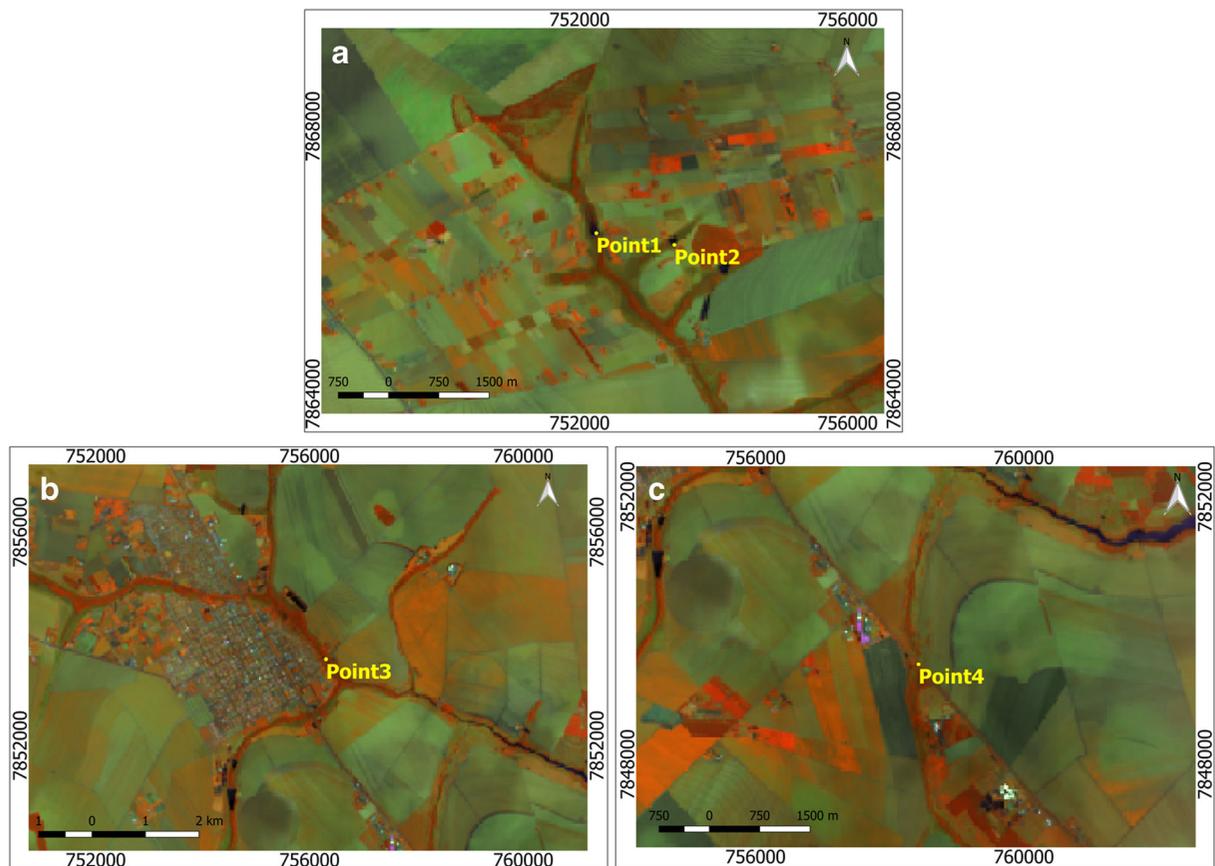


Fig. 4 Landsat 8 (composition R5 G6 B4) image showing the collection points 1 and 2 (a), point 3 (b), and point 4 (c). In a is observable the water body in the image L8 (points 1 and 2), in

points 3 (b) and 4 (c) observes gallery forest on the edge of the water body

The images used to generate the indices have different spatial resolutions, spectral and radiometric, therefore these differences were observed in the ratios range for calculated water (Table 4). The Landsat 8 satellite image features have 16-bit resolution radiometric, meaning, 65,536 gray levels while the aerial photographs have 8 bits (256 levels of gray). Regarding the spatial resolution, aerial images are of 0.045 m and satellite image L8 30 m.

Despite the amplitude differences, the indices generated from the suborbital and orbital images behave similarly, with higher values in areas with lower chlorophyll *a* concentrations, exception to NDVI areas, which have different behavior from the other indices due to the use of the near infrared spectrum, and then the highest amplitudes were observed where there was a greater amount of chlorophyll *a*.

The generated indices obtained from the Landsat 8 image showed greater amplitude in point 1. The results show that all indices have high correlation with chlorophyll *a* concentrations present in water bodies (Table 5).

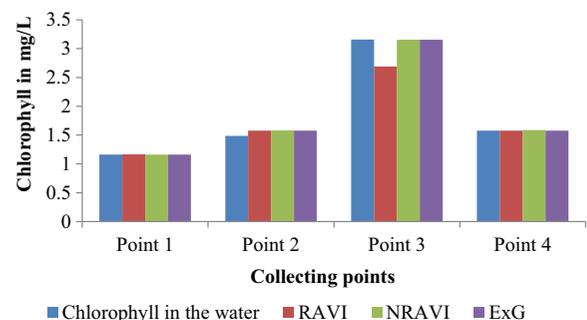


Fig. 5 Comparison of extracted chlorophyll *a* in a laboratory to the estimated from vegetation indices of aerial photographs

Table 4 Range, standard deviation of the mean, and vegetation indices related to water bodies analyzed

Images	Point	Indices	Amplitude		Mean	Standard deviation
			Minimum	Maximum		
Aerial photos	1	RAVI	0	3.8333	0.4596	0.0660
		NRAVI	-0.1163	0.5862	-0.0082	0.01829
		ExG	-1	151	25.370	19.2899
	2	RAVI	0	1.4872	0.5347	0.5250
		NRAVI	-0.1667	0.2169	0.0113	0.0237
		ExG	-16	58	14.2184	16.8899
	3	RAVI	0.7167	1.3529	0.9788	0.0517
		NRAVI	-0.1650	0.1500	-0.0114	0.02582
		ExG	-19	55	19.244	12.6732
	4	RAVI	0.7630	1.9697	0.9957	0.0868
		NRAVI	-0.1344	0.3265	-0.0039	0.0393
		ExG	-10	70	13.3089	8.8495
Landsat 8	1	RAVI	1.0649	1.2203	1.1211	0.0462
		NRAVI	0.0314	0.0872	0.0610	0.0203
		ExG	-14	21	8.0714	11.5910
		NDVI	-0.2371	0.0723	-0.1282	0.1053
	2	RAVI	1.1455	1.2581	1.2125	0.0406
		NRAVI	0.0678	0.1181	0.0910	0.0169
		ExG	-13	-1	-6.625	3.8385
		NDVI	-0.2039	-0.3158	-0.1379	0.0688

The correlation of the indices using the wavelengths in the visible region is negative because as chlorophyll *a* increases to reduce the indices. The smallest correlation was -0.86 checked in ExG point 1 index.

The regression analysis (Table 6) showed high coefficient of determination (R^2) and the equations generated from this statistical analysis were essential to estimate the chlorophyll *a* of each collection point and can be used for further monitoring in these very same locations.

The estimated chlorophyll *a* from equations generated in the regression analysis shown good results, with very similar values to those obtained in field values as shown in Table 7.

The similarity between the data obtained in the laboratory and the estimated from vegetation indices extracted air UAV images can be better seen in Figs. 5 and 6 to the data obtained by Landsat 8. Note that there was bare variation among the analyzed data.

Table 5 Pearson correlation of chlorophyll *a* data with RAVI, NRAVI, ExG, and NDVI vegetation indices.

Images	Point	Correlation			
		Chlorophyll <i>a</i> /RAVI	Chlorophyll <i>a</i> /NRAVI	Chlorophyll <i>a</i> /ExG	Chlorophyll <i>a</i> /NDVI
Aerial photos	1	-0.9228125	-0.9798255	-0.8660254	-
	2	-0.9977289	-0.9901745	-0.9878292	-
	3	-0.933207	-0.9624829	-0.9707253	-
	4	-0.958918	-0.9973936	-0.9707253	-
Landsat 8	1	-0.9987576	-0.999806	-0.9707253	0.9788183
	2	-0.9273513	-0.9998575	-0.9912407	0.9932493

Table 6 Generated equations and R² from regression analysis for the different analyzed indices and images

Images	Collection points	Indices	Formula	R ²
Aerial photos	1	RAVI	$Y = 30.54 - 29.50X$	0.8516
		NRAVI	$Y = 2.699 + 91.435X$	0.9601
		ExG	$Y = 2.317 - 0.034$	0.75
	2	RAVI	$Y = 14.77 - 12.72X$	0.9955
		NRAVI	$Y = 4.25 - 36.06X$	0.9804
		ExG	$Y = 8.4408 - 0.2101$	0.9758
	3	RAVI	$Y = 21.26 - 18.57X$	0.8709
		NRAVI	$Y = -10.7 - 264.9X$	0.9264
		ExG	$Y = 16.4394 - 0.3188X$	0.9423
	4	RAVI	$Y = 13.91 - 12.52X$	0.9195
		NRAVI	$Y = -5.922 - 228.251X$	0.9948
		ExG	$Y = 6.7852 - 0.3188X$	0.9423
Landsat 8 images	1	RAVI	$Y = 2.723 - 1.406X$	0.9975
		NRAVI	$Y = 1.318 - 3.036X$	0.9996
		ExG	$Y = 1.274231 - 0.009154X$	0.9423
		NDVI	$Y = 1.421 + 1.278$	0.9581
	2	RAVI	$Y = 39.88 - 32.85X$	0.86
		NRAVI	$Y = 4.712 - 34.578X$	0.9997
		ExG	$Y = 0.3855 - 0.1790X$	0.9826
		NDVI	$Y = 4.079 + 17.218X$	0.9865

Among the vegetation indices extracted from the UAV flight, the NRAVI and ExG shown the best results, corroborating to Torres-Sánchez et al. (2014), who worked with wheat field mapping with UAV and concluded that the vegetation indices of conventional aerial photography (RGB) has great capacity to discriminate vegetation. Among the indices that these authors adopted, the ExG was the most suitable due to its high performance and precision spatial and temporal coherence.

Aside from RAVI index in point 3, the variation between the extracted chlorophyll *a* and the estimated happened only in decimals. This demonstrates that the applied technique was efficient and made it possible to estimate the chlorophyll *a* to future scenarios. However, before you can estimate this pigment, it is necessary to sample it in situ, so this way you can perform linear regression analysis and from the equation generated make future measurements of chlorophyll *a* to the water body in question reducing the hard work lab.

Table 7 Chlorophyll *a* data extracted in laboratory and estimated chlorophyll *a* from vegetation indices

	Collection points	Chlorophyll <i>a</i> in water	Estimated chlorophyll <i>a</i> from vegetation indices			
			RAVI	NRAVI	ExG	NDVI
Aerial photos	1	1.161	1.164	1.163	1.161	—
	2	1.488	1.578	1.582	1.577	—
	3	3.157	2.690	3.154	3.155	—
	4	1.579	1.579	1.587	1.579	—
Landsat 8 images	1	1.161	1.161	1.161	1.161	1.161
	2	1.488	1.574	1.579	1.579	1.579

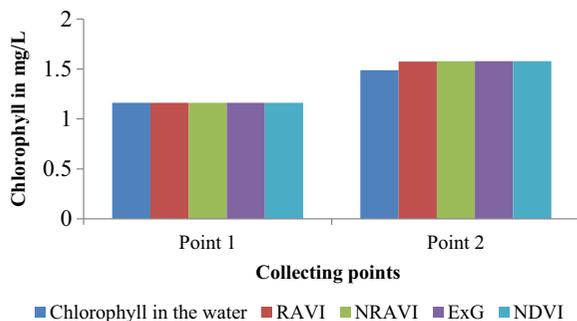


Fig. 6 Comparison of chlorophyll *a* extracted in the laboratory to the estimated from the Landsat 8 image vegetation indices

4 Conclusion

The water absorbance curve at the visible wavelength allowed to asset which water body which had higher amount of dissolved materials in the water.

There are differences in the range of generated indices from the aerial images of UAV and Landsat 8 satellite, however they behave similarly, with higher values in places with lower chlorophyll *a* concentrations, except for the NDVI, which has different behavior from the other indexes by using the near infrared spectral range and in this case the greatest amplitude was observed in point 1 which has greater amount of chlorophyll *a*.

There was a high correlation between vegetation indices generated from aerial photographs and Landsat 8 image with chlorophyll *a* water extracted in the laboratory. The amounts of water chlorophyll *a* with chlorophyll *a* estimated from the ratios were very close and are likely to use to forecast future scenarios.

It is suggested that the use of aerial photographs of UAVs for monitoring small water bodies have good results and greater detailing due to the high spatial resolution. The preservation of small water bodies has social and environmental importance and conducting monitoring is of utmost importance to ensure the maintenance of the aquatic environment, since most are springs and tributaries that contribute to the formation of the drainage system of a region.

Acknowledgments The authors would like to thank CAPES for granting PhD scholarship level to two authors and CNPq for financial support under the research projects (process 561923/2010–8, 310724/2011–2, and 305300/2012–1).

The authors also thank the Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul—FUNDECT, by the scholarship of Desenvolvimento Científico Regional granted to Gustavo Marques e Amorim, who translated this material.

References

- Agisoft (2014). *Software Agisoft PhotoScan*. <<http://www.agisoft.ru/products/photoscan/professional/buy/educational/>>. Acesso em 20 de Julho 2014.
- Agostiano, A., Cosma, P., Trotta, M., Monsù-Scolaro, L., & Micali, N. (2002). Chlorophyll *a* behavior in aqueous solvents: formation of nanoscale self-assembled complexes. *The Journal of Physical Chemistry B*, 106(49), 12820–12829.
- Ballesteros, R., Ortega, J. F., Hernández, D., & Moreno, M. A. (2014). Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part I: description of image acquisition and processing. *Precision Agriculture*, 15(6), 579–592.
- Brasil, L. (1997). Lei nº 9433, de 8 de Janeiro de 1997, Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial*.
- Brasil (2005). Resolução n 357 de 17 de março de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes*. Brasília.
- Brasil (2006). *Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano*. Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde. 2012p.
- Brasil (2014). *Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham com ETAS*. Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde. 116p.
- Coelho, L., Roche, K. F., Paranhos Filho, A. C., & Lemos, V. B. (2011). Uso do sensor CBERS/CCD na avaliação do estado trófico do Reservatório Lago do Amor (Campo Grande, MS). *Revista Brasileira de Cartografia*, 6(2), 221–232.
- Damasceno, L. M. O., de Andrade Júnior, A. S., da Silva Dias, N., Franco, J. L. D., & de França, Ê. F. (2008). Qualidade da água do Rio Poty para consumo humano, na região de Teresina, PI. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 3(3), 116–130.
- Department of Physical Geography (2014). SAGA - System for Automated Geoscientific Analyses: Versão 2.1.2. software livre. Hamburg. Disponível em: <<http://sourceforge.net/projects/saga-gis/files/>>. Acesso em 13 Mai. 2014.
- Duan, H., Zhang, Y., Zhang, B., Song, K., & Wang, Z. (2007). Assessment of chlorophyll-*a* concentration and trophic state for Lake Chagan using Landsat TM and field spectral data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 129(1), 295–308.
- Esteves, F.A. (1998). *Fundamentos de limnologia*. Interciência, 602p.
- Gago, J., Douthe, C., Coopman, R. E., Gallego, P. P., Ribas-Carbo, M., Flexas, J., & Medrano, H. (2015). UAVs challenge to

- assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*, 153, 9–19.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Stark, R., & Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 76–87.
- Hunt Júnior, E. R., Doraiswamy, P. C., McMurtrey, J. E., Daughtry, C. S., Perry, E. M., & Akhmedov, B. (2013). A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 103–112.
- Hunt, E. R., Daughtry, C. S. T., Eitel, J. U., & Long, D. S. (2011). Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. *Agronomy Journal*, 103(4), 1090–1099.
- Jensen, J. R. & Epiphany, J. C. N. (2009). *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos: Parêntese Editora. 604 p.
- Louhaichi, M., Borman, M. M., & Johnson, D. E. (2001). Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, 16(1), 65–70.
- Moreira, A. M. (2011). *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. 4 ed. Viçosa, MG, Editora UFV, 422p.
- Nush, E. A. (1980). Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Archives of Hydrobiology Beih. Stuttgart*, 14, 14–36.
- Ponzoni, F. J., Shimabukuro, Y. E., & Kuplich, T. M. (2012). *Sensoriamento Remoto da Vegetação. 2. Atualizada e ampliada—São Paulo: Oficina de textos*.
- QGIS Development Team (2015). *Geographic Information System: versão 2.8.0* Wien. Software livre. 2015 Disponível em: <http://qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html>. Acesso em 15 Jun. 2015.
- Rouse, J., Jr., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Special Publication*, 351, 309–317.
- R. Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing and graphics, version 3.2.0: R Foundation for Statistical Computing. Software livre. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em 12 Jan. 2015.
- Torres-Sánchez, J., Peña, J. M., De Castro, A. I., & López-Granados, F. (2014). Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103, 104–113.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150.
- Tundisi, J. G. (2008). *Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções*. Estudos avançados, 22(63), 7–16.
- Woebbecke, D. M., Meyer, G. E., Von Barga, K., & Mortensen, D. A. (1995). Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE*, 38(1), 259–269.