



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E
AMBIENTAIS**

**USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA) PARA O
MAPEAMENTO E ANÁLISE DE MACROHABITATS NO
PANTANAL DE MATO GROSSO**

RODRIGO ADVERSI SILVA

**CUIABÁ-MT
2017**

RODRIGO ADVERSI SILVA

**USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA) PARA O
MAPEAMENTO E ANÁLISE DE MACROHABITATS NO
PANTANAL DE MATO GROSSO**

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Manzon Nunes

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, para exame de qualificação, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

**CUIABÁ-MT
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

A244u Adversi Silva, Rodrigo.
USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA
(RPA) PARA O MAPEAMENTO E ANÁLISE DE
MACROHABITATS NO PANTANAL DE MATO GROSSO /
Rodrigo Adversi Silva. -- 2017
58 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Gustavo Manzon Nunes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato
Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Programa de
Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais,
Cuiabá, 2017.
Inclui bibliografia.

1. Áreas úmidas. 2. Sensoriamento remoto. 3. Análise de

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E
AMBIENTAIS

Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367 - Boa Esperança - Cep: 78060900 - CUIABÁ/MT
Tel : 3615-8685/3615-8641 - Email : secpgcfa@ufmt.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

TITULO : “Uso de Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) para o mapeamento e análise de macrohabitats no Pantanal de Mato Grosso”

AUTOR: RODRIGO ADVERSI SILVA

Dissertação defendida e aprovada em 27/03/2017

Composição da banca examinadora:

Presidente da Banca / Orientador: Gustavo Manzon Nunes
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador interno: Cátia Nunes da Cunha
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador externo: Evandro Orfanó Figueiredo
Instituição: EMBRAPA



RESUMO

USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA) PARA O MAPEAMENTO E ANÁLISE DE MACROHABITATS NO PANTANAL DE MATO GROSSO. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT. Orientador: Dr. Gustavo Manzon Nunes.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de dados obtidos por sensores a bordo de Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) para geração e análise de produtos visando o mapeamento e análise espacial de macrohabitats no Pantanal de Mato Grosso. Com o uso de Análise de Imagens Baseada em Objetos (OBIA), foi possível mapear a vegetação e diferentes macrohabitats na área de estudo. Os dados obtidos foram utilizados para extração de informações sobre fatores ambientais relacionados e a distribuição espacial. Também, através do mapeamento foi estudada a estrutura e distribuição do macrohabitat Florestas dominadas por *Vochysia divergens* Pohl (Cambarazal), a fim de compreender a distribuição no gradiente de inundação, através de modelo digital de elevação gerado com dados de RPA. A classificação foi eficiente para mapeamento da vegetação e dos macrohabitats em escala de detalhe. A vegetação da área distribui-se em um gradiente de inundação, sendo as áreas cobertas com Cerrado sensu lato, mais elevadas, áreas com Campos de murundus e Florestas dominadas por *Vochysia divergens* Pohl intermediárias, e áreas de Campo de mimoso (*Axonopus purpusii* (Mez) Chase) e Pântanos de plantas herbáceas (brejos) mais baixas. A comunidade de Florestas dominadas por *Vochysia divergens* Pohl possui forte dependência espacial, em relação a fatores ambientais, sendo o gradiente de inundação uma das variáveis.

Palavras-chave: Áreas úmidas, sensoriamento remoto, Análise de Imagens Baseada em Objetos (OBIA).

ABSTRACT

USE OF A REMOTELY PILOTED AIRCRAFT (RPA) FOR THE MAPPING AND ANALYSIS OF MACROHABITATS IN THE PANTANAL, MIDWESTERN BRAZIL. Dissertation (Master of Science in Forest and Environmental Sciences) Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, state of Mato Grosso. Advisor: Ph.D. Gustavo Manzon Nunes.

The present study aimed to assess the potential of data obtained through sensors onboard of a Remotely Piloted Aircraft (RPA) to generate and analyze products for the mapping and spatial analysis of macrohabitats in the Pantanal of the state of Mato Grosso, midwestern Brazil. The use of Object-based Image Analysis (OBIA) made possible mapping the vegetation and different macrohabitats in the study area. The data obtained were used to extract information on spatial distribution and related environmental factors. Also through mapping, the structure and distribution of the macrohabitat forest dominated by *Vochysia divergens* Pohl (Cambarazal) were studied to understand the distribution of the flooding gradient, through a digital elevation model generated with RPA data. The classification was efficient for the vegetation and macrohabitat mapping at a detailed scale. The area's vegetation is distributed along a flooding gradient. The areas covered with Cerrado *sensu lato* are the most elevated. The areas with Campos de murundus (grasslands associated with regularly spaced earth mounds) and areas dominated by *Vochysia divergens* Pohl occur at an intermediate elevation. Finally, grasslands covered with *Axonopus purpusii* (Mez) Chase and swamps with herbaceous plants (wetlands) are the least elevated areas. The forest community dominated by *Vochysia divergens* Pohl is strongly dependent on environmental factors, such as the flooding gradient variable.

Keywords: Wetlands, remote sensing, Object-based Image Analysis (OBIA).

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, PIRIZAL, MATO GROSSO, BRASIL, 2017.	24
FIGURA 2. VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO, MODELO ECHAR 20 A, UTILIZADO PARA O MAPEAMENTO	26
FIGURA 3. FLUXOGRAMA COM ETAPAS DE PROCESSAMENTO NO AGISOFT.	28
FIGURA 4. AMBIENTE DE TRABALHO DO AGISOFT, COM ORTOMOSAICO DA ÁREA DE ESTUDO E PONTOS DE CONTROLE.	28
FIGURA 5. ORTOFOTO DA ÁREA DE ESTUDO.....	29
FIGURA 6. FASES DO PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS: A) ORTOFOTO; B) ORTOFOTO SEGMENTADO; C) ORTOFOTO CLASSIFICADO.....	31
FIGURA 7. FLUXOGRAMA COM ETAPAS DE PROCESSAMENTO NO ECOGNITION.	32
FIGURA 8. LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS AMOSTRADAS.....	33
FIGURA 9. MAPA TEMÁTICO DA ÁREA DE ESTUDO COM OS MACROHABITATS CLASSIFICADOS.	36
FIGURA 10. MAPA TEMÁTICO DA ÁREA DE ESTUDO COM OS MACROHABITATS CLASSIFICADOS, E AS SUBCLASSES FLORAÇÃO EM FLORESTAS DOMINADAS POR <i>V. divergens</i> (CAMBARAZAL) E ILHAS DE VEGETAÇÃO ARBÓREA NA CLASSE CAMPUS DE MURUNDUS.....	37
FIGURA 11. RELAÇÃO ENTRE A DISTÂNCIA ESPACIAL E A DISSIMILARIDADE DE ESPÉCIES DA COMUNIDADE DE FLORESTA MONODOMINANTE DE <i>V. divergens</i> . COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE 0,80 (SIGNIFICATIVO A $P < 0,001$).....	43
FIGURA 12. CURVA DE ACUMULAÇÃO DE ESPÉCIES DA COMUNIDADE DE FLORESTA MONODOMINANTE DE <i>V. divergens</i> ..	44
FIGURA 13. DENDROGRAMA DE AGRUPAMENTO DE PARCELAS AMOSTRADAS POR ALTIMETRIA DO MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT), IDADE MÉDIA, E DOMINÂNCIA DE <i>V. divergens</i>	45
FIGURA 14. MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) DA ÁREA DE ESTUDO.....	47

FIGURA 15. DISTRIBUIÇÃO DE FLORESTA MONODOMINANTE DE <i>V. divergens</i> EM RELAÇÃO AO MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) DA ÁREA DE ESTUDO.	47
FIGURA 16. DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS CLASSES DE IDADE DOS INDIVÍDUOS AMOSTRADOS DE <i>V. divergens</i>	48
FIGURA 17. TIPO DE DISTRIBUIÇÃO DAS ESPÉCIES DE ACORDO COM O ÍNDICE DE MORISITA.	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	11
2.1	PANTANAL	11
2.2	FATORES RELACIONADOS À DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO DO PANTANAL MATO-GROSSENSE	12
2.3	AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS	13
2.4	HISTÓRICO DO USO DE RPAS.....	14
2.5	RPAS NO BRASIL	15
2.6	COMPONENTES DE UM VANT	16
2.7	SENSORES ACOPLADOS A RPAS	17
2.8	UTILIZAÇÃO DE RPAS PARA MONITORAMENTO DA VEGETAÇÃO.....	18
2.9	APLICAÇÕES PARA AVALIAÇÃO DE ESTRUTURA DE FLORESTAS.....	20
2.10	CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM OBJETOS GEOGRÁFICOS ...	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	24
3.2	AQUISIÇÃO DAS IMAGENS.....	25
3.3	PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS.....	26
3.3.1	GERAÇÃO DO ORTOMOSAICO E MODELOS DIGITAIS DE ELEVÇÃO	26
3.3.2	CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS	29
3.4	AMOSTRAGEM DA COMUNIDADE DE FLORESTA MONODOMINANTE DE <i>Vochysia diverges</i>	33
3.4.1	INVENTÁRIO DE CAMPO	33
3.4.2	ANÁLISE DOS DADOS DE CAMPO	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	MAPEAMENTO DOS MACROHABITATS	35
4.2	ESTRUTURA ESPACIAL DA FLORESTA MONODOMINANTE DE <i>V. divergens</i>	42
5	CONCLUSÕES	52
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1 INTRODUÇÃO

O Pantanal é considerado a maior área úmida continental do planeta. As áreas úmidas cobrem no mundo cerca de 250 milhões de hectares, tendo uma grande importância nos ciclos biogeoquímicos e como habitats para a vida silvestre de todos os tipos. Diferente de outras áreas úmidas, o Pantanal é uma planície intermitente e sazonalmente inundada. A flutuação anual do nível da água (pulso de inundação) regula os processos ecológicos que ali ocorrem (JUNK *et al.*, 1989).

A vegetação do Pantanal é heterogênea e influenciada por quatro biomas: Floresta Amazônica, Cerrado (predominante), Chaco e Floresta Atlântica (ADÂMOLI, 1982). Diferentes habitats, tipos de solos e regimes de inundação são responsáveis pela grande variedade de formações vegetais e pela heterogeneidade da paisagem, que abriga uma riquíssima biota terrestre e aquática (POTT; ADÂMOLI, 1999).

Áreas Úmidas (AUs) são ecossistemas na interface entre ambientes terrestres e aquáticos, continentais ou costeiros, naturais ou artificiais, permanentemente ou periodicamente inundados por águas rasas ou com solos encharcados, doces, salobras ou salgadas, com comunidades de plantas e animais adaptadas à sua dinâmica hídrica.

As AUs possuem um importante papel com a prestação de serviços ambientais, como efeito tampão hidrológico, diminuindo a amplitude entre cheias e secas, recarga de lençol freático, manutenção da biodiversidade, etc. No Brasil as AUs possuem sua importância subestimada, muitas vezes estes ambientes são convertidos em ambientes terrestres para aproveitamento econômico. Nunes da Cunha *et al.* (2014) propuseram um conceito e classificação para as AUs brasileiras, três níveis de classificação, sistemas de AUs, parâmetros hidrológicos e plantas superiores na estrutura de suas comunidades, dividindo em classes, subclasses e macrohabitats.

A definição de AU constitui um avanço importante para se compreender a complexidade destes ambientes, subsídio de políticas públicas para proteção e uso sustentável das áreas úmidas, um novo

desafio é mapear e quantificar essas áreas, sendo indispensável o uso de geotecnologias. Os mapas de distribuição da vegetação do Pantanal atualmente disponíveis, são na escala de 1:250.000, com base em dados de radar aerotransportado, coletados no projeto RADAM Brasil (1982). Trabalhos de pequena abrangência espacial foram desenvolvidos na planície para mapeamento de vegetação, utilizando imagens de satélite, como exemplo temos o de Ponzoni *et al.* (1989) para o Parque Nacional do Pantanal Mato-Grossense (135.000 ha), utilizando imagem Landsat 5 TM com escala de 1:250.000.

Atualmente têm-se verificado um grande interesse nas aplicações de imagens geográficas com diferentes níveis de resolução (como imagens orbitais por satélites óticos, radar, sensores aerotransportados, entre outras) para o mapeamento e monitoramento ambiental. Dentre as imagens geográficas de alta resolução espacial, as imagens obtidas através sensores a bordo de Aeronave Remotamente Pilotada (Remotely-Piloted Aircraft, RPA) tem grande potencial para mapeamento e monitoramento, permitindo a identificação da variabilidade espacial e alterações no estado da cobertura vegetal (QUILTER, 2001).

As principais vantagens do sensoriamento remoto realizado por RPAs, em relação ao transportado por aeronaves tripuladas e ao orbital, são a redução dos custos de obtenção de imagens aéreas e a maior flexibilidade de resolução temporal para aquisição de imagens de alta resolução espacial. A utilização de plataformas de RPAs, também pode suprir uma lacuna entre levantamentos de campos e imagens de satélites orbitais tanto em cobertura espacial como no monitoramento contínuo (HARDIN; JACKSON, 2005).

A utilização de RPAs, vem sendo adotado a pouco tempo no Brasil, possui grande potencial para mapeamento de AUs e seus ambientes, permitindo quantificar padrões não detectáveis por outros sensores através de imagens de alta resolução (eg. sensores aerotransportados, sensores orbitais, etc.), e outros produtos como modelos digitais de elevação. A utilização de RPAs permite compreender a complexidade do mosaico da paisagem de forma mais detalhada e os fatores ambientais associados a

distribuição da vegetação na paisagem, subsidiando informações para manejo e conservação.

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial dos dados obtidos por RPA para mapeamento e análise da cobertura vegetal e macrohabitats no Pantanal Mato-grossense. Os dados obtidos foram utilizados para extração de informações sobre fatores ambientais relacionados e a distribuição espacial da vegetação. Com a mapeamento foi estudada a estrutura e distribuição do macrohabitat de maior extensão na área de estudo, uma comunidade de Floresta dominada por *Vochysia divergens* Pohl, a fim de compreender a distribuição no gradiente de inundação, através de modelos de elevação produzidos com dados obtidos pela RPA.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 PANTANAL

Considerado a maior área úmida (AU) continental do planeta, o Pantanal é uma planície intermitente e sazonalmente inundada. Esta imensa planície de inundação foi declarada Patrim nio Nacional pela Constitui o Brasileira de 1988 e como área úmida de importância internacional pela Conserva o Ramsar, que pressupõe uma política para a gestão e prote o das AUs garantindo a presta o de serviços ecológicos. As a o es se concentraram na demarca o de sítios Ramsar, como o Pantanal, mas ainda faltam mapeamentos destas áreas com base científica (DIEGUES, 2002).

Em 2000 o Pantanal foi designado como Reserva da Biosfera pela Unesco (Patrim nio Natural da Humanidade), oferecendo oportunidade única para a conserva o da biodiversidade em conjun o com o desenvolvimento sustentável (HARRIS *et al.*, 2005).

O Pantanal   considerado oficialmente como um Bioma (IBGE, 2004), no entanto, essa visão   contestada por diferentes autores (Nunes da Cunha, 2014), que consideram o Pantanal como um mosaico de diferentes biomas (COUTINHO, 2006) ou mesmo como uma savana hipersazonal (EITEN, 1983). Para Sarmiento (1983), esse tipo de savana apresenta um período de estresse hídrico na seca e outro período úmido na esta o chuvosa. Para Nunes da Cunha (2014) o Pantanal uma área úmida que pertence às savanas do tipo periodicamente inundadas e parte do Bioma Cerrado.

O primeiro sistema para classificar a vegeta o do Pantanal foi elaborado por Loureiro *et al.*, (1982), que definiu cinco sub-regiões fitoecológicas: savana (cerrado), estepe savana (chaquenha), floresta sazonal semidecídua, floresta sazonal decídua, e áreas de tensão ecológica sujeitas a altera o es antropog nicas.

2.2 FATORES RELACIONADOS À DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO DO PANTANAL MATO-GROSSENSE

As oscilações dos níveis da inundação que ocorrem no Pantanal, causadas principalmente pela variação pluviométrica e mudanças na dinâmica sedimentológica, podem funcionar como um filtro ao estabelecimento e desenvolvimento de algumas espécies de plantas. Estas variações levam-nas a enfrentar mudanças frequentes e fundamentais das condições ambientais dos habitats, como as de extremo estresse hídrico, seja pela falta ou pelo excesso de água (JUNK & DA SILVA, 1999; COLLISCHONN *et al.*, 2001; VAN DER VALK 1981). Esta condição tem levado à permanência de grande quantidade de espécies pioneiras no Pantanal, que mantêm suas populações em altas densidades, de acordo com os requerimentos fisiológicos e ecológicos da espécie (POTT & POTT 1994; SILVA *et al.*, 2000).

A associação da heterogeneidade ambiental e tipo de manejo resultou em seis diferentes fitofisionomias que ocorreram nestas quatro unidades de paisagens, variando desde fisionomias Florestadas Abertas, Florestadas Densas, Campos Limpos, Campos de Murundus, campos em diferentes estágios de sucessão e pastagens exóticas; algumas apresentam designações típicas da região com aceitação científica (NUNES DA CUNHA, 2010).

Estudando a distribuição de diferentes fitofisionomias no Sítio de Amostragem de Longa Duração (SALD), Fantin-Cruz (2004) descreve que as unidades fitofisionômicas podem ser agrupadas em classes categóricas de inundação (intensidade e duração) e topografia. Nota-se que as unidades apresentam um nítido gradiente de distribuição entre os fatores analisados, com exceção do campo inundável. Com isso, podemos afirmar que a intensidade da inundação é o principal dos fatores avaliados que está influenciando a distribuição das unidades fitofisionômicas no Pantanal.

2.3 AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS

Há alguma confusão entre a definição de um aeromodelo e uma RPA. Os RPAs distinguem-se de aeromodelos pela capacidade de voo autônomo e georreferenciamento de imagens, sendo que ambos requerem um sistema de posicionamento global on-board (GPS). As RPAs também podem acomodar uma carga maior do que a maioria dos aeromodelos, além de câmeras (incluindo câmeras de vídeo), alguns RPAs são capazes de transportar sensores multiespectrais, sensores térmicos e até mesmo dispositivos hiperespectrais.

Uma RPA é definida como uma aeronave motorizada que não transporta um operador humano usa forças aerodinâmicas autopropelidas e pode voar autonomamente ou ser pilotado remotamente. Vários termos têm sido usados para descrever uma RPA, incluindo avião sem piloto, avião robótico, drone, veículo pilotado remotamente, aeronaves não tripuladas, veículos pilotados automaticamente, e os aviões operados remotamente (NEWCOME, 2004).

As plataformas de RPAs são uma opção potencial para a coleta de dados sobre o uso da terra, em tempo quase real (RANGO *et al.*, 2006). A tecnologia utilizada em plataformas de RPA amadureceu a partir de muitos anos de uso como hobby (HARDIN *et al.*, 2005.) e através de desenvolvimento da tecnologia para uso militar, como uma ferramenta para coletar informações de reconhecimento, sem colocar humanos em risco. O principal avanço em RPA surgiu com a miniaturização da eletrônica em câmeras especializadas em vídeo, navegação e sistemas de posicionamento global (GPS). Agora é possível equipar uma RPA para voar uma trajetória de voo específica e automaticamente acionar a câmera para coletar dados de GPS em locais pré-definidos, além disso, um sinal de vídeo em tempo real pode ser enviado para um receptor no solo.

Algumas RPAs podem ser feitas utilizando sistemas de navegação autônomos, e muitas das plataformas de asa fixa pode voar por várias horas, dependendo das configurações do motor. Estas plataformas podem carregar uma variedade de sensores para coleta de dados (HARDIN *et al.*,

2005). RPAs possuem limitações de carga útil, portanto os sensores e câmeras precisam ser relativamente leves. Os dados coletados oferecem múltiplas possibilidades e um desafio para interpretação, para pesquisadores e gestores públicos, encarregados de coleta de dados, inventário e monitoramento da ocupação e uso do solo, a fim de garantir uma gestão mais sustentável dos recursos naturais (RANGO *et al.*, 2006).

O desenvolvimento de RPAS vem se concretizando cada dia mais como uma ferramenta aplicada à agricultura e reflorestamento (HARDIN e JACKSON, 2005), fornecendo subsídios para estratégias do produtor, no intuito de aumentar a eficiência no gerenciamento da propriedade, tornando a rentabilidade mais atrativa e movimentando o agronegócio (ALONÇO *et al.*, 2005).

Para Zarco-Tejada *et al.*, (2014), o uso de RPAs destaca-se como uma abordagem de baixo custo que pode fornecer dados precisos comparáveis à sensores caros e computacionalmente mais complexos como o LIDAR, e possui alto potencial para aplicações agrícolas e ambientais.

2.4 HISTÓRICO DO USO DE RPAS

De acordo com Puscov (2002), a história das RPAs teve seu início em 1883, quando Douglas Archbald instalou um anemômetro a um fio em uma “pandorga” para poder medir a velocidade do vento em diferentes altitudes. No dia 20 de junho de 1888, na França, Arthur Batat acoplou uma câmara fotográfica a uma pandorga, sendo assim, o primeiro relato aerofotográfico registrado. Para Ruy *et al.* (2005), outro marco histórico da utilização das RPAs foi durante a guerra do Líbano, em 1982, no Vale do Bekaa, quando Israel conseguiu destruir 16 das 17 baterias antiaéreas Sírias após fazer reconhecimento do alvo com um RPA. Em 2002, o RPAS americano Predator foi utilizado na guerra do Afeganistão e ficou conhecido por ser o primeiro que possibilitava o lançamento de mísseis.

Fotografias obtidas por RPAs vieram mais tarde, por causa de uma ênfase inicial em controle robótico do veículo e capacidades de carga útil

relativamente pequenas. A primeira RPA relatada adaptada para a fotografia foi desenvolvida em 1955, quando a empresa Radioplane modificou seu alvo zangão OQ-19 Shelduck para voar com câmeras de filme (NEWCOME, 2004). A partir deste ponto em diante as RPAs vieram diminuindo de tamanho, enquanto que, ao mesmo tempo, os aeromodelos foram melhorando e tornando-se gradualmente mais capazes de levantar cargas mais pesadas.

2.5 RPAS NO BRASIL

O primeiro projeto com RPAs no Brasil, ocorreu na década de 80, quando o Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) iniciou pesquisas para fins militares. O projeto ficou desativado somente em 2007, reativado por uma iniciativa do governo de fomento ao desenvolvimento de RPAs no país. Na área civil, também na década de 1980, se destaca o projeto Helix, uma RPA de asa móvel que foi desativado nos anos seguintes por falta de mercado e fomento do governo. Mais tarde, o Cenpra desenvolveu o projeto do dirigível AURORA (Autonomus Unmanned Remote Monitoring Robotic Airship) (MEDEIROS, 2007), que serviu para capacitar a equipe de desenvolvimento. Dentre as aplicações civis, principalmente focado para uso agrícola surgiu o projeto ARARA (Aeronave de Reconhecimento Assistida por Radio e Autônoma) (JORGE, 2001). Seu principal objetivo foi a substituição de aeronaves convencionais utilizadas na obtenção de fotografias aéreas, para monitoramento de áreas agrícolas e áreas sujeitas a problemas ambientais, por RPAs de pequeno porte que executam missões pré-estabelecidas pelos usuários.

De 1999 a 2005 foi realizado um grande esforço no desenvolvimento da aeronave de asa fixa deste projeto patenteada pela Embrapa (JORGE, 2001), chegando a uma operação completamente autônoma em 2006 (TRINDADE JUNIOR; et al., 2004).

A empresa AGX Tecnologia, de São Carlos - SP, criada em 2002, utiliza a tecnologia ARARA para fins comerciais, utilizando uma nova versão de RPA, totalmente construída em fibra de vidro e alumínio

aeronáutico. De acordo com Medeiros (2007), as pesquisas nessa área, no Brasil, ainda são incipientes e os principais trabalhos com RPAs têm no escopo as aplicações civis, como vigilância policial de áreas urbanas e de fronteira, inspeções de linhas de transmissão de energia, monitoramento, atividades de áreas agrícolas, acompanhamento de safra, controle de pragas e de queimada.

A Embrapa investiu no desenvolvimento de outra plataforma e outra aeronave que fosse capaz de operar nas condições de campo adversas, que são áreas agrícolas, porém, com bom desempenho e baixo risco. Inspirados pelo exemplo da Yamaha, que iniciou o desenvolvimento do helicóptero sem piloto (RMax) (OZDEMIR, 2005) muito flexível e preciso durante a pulverização para controle de pragas em culturas de arroz, soja e trigo, a Embrapa iniciou a busca de uma solução por uma plataforma similar, desenvolvendo em conjunto com a Rotomotion uma nova solução para aplicações agrícolas.

Além da aeronave, estão sendo desenvolvidos softwares e sistemas de captura de imagens adequados para as diferentes aplicações agrícolas. Também no Brasil outras iniciativas criadas em universidades, se tornaram empresas que começam a atender o mercado com diferentes tipos de RPA, como, por exemplo, empresa Flight Solutions, a XMobots, a Airship, a Skydrones, dentre outras. Além das iniciativas destas empresas, com a facilidade de componentes disponíveis via internet, mais de 2000 sistemas já foram montados e se encontram em operação no Brasil.

2.6 COMPONENTES DE UMA RPA

Em geral, além da aeronave, uma RPA é composta de uma estação de controle em solo, o GCS (*Ground Control Station*) através da qual é possível planejar a missão a ser executada e acompanhar todo o trabalho realizado remotamente. Em geral possibilita visualizar o mapa do local a ser monitorado, com a referência da posição da RPA (OZDEMIR, 2005).

Segundo Neris (2001), as RPAs têm como componente principal um sistema de controle capaz de manter a aeronave estabilizada e de executar

manobras que a conduza através de uma rota e missão selecionada. O desenvolvimento de sistemas de controle de voo para esse tipo de aeronave está sendo favorecido e facilitado pelo grande desenvolvimento tecnológico verificado nos últimos anos e principalmente pela redução dos custos dos componentes eletrônicos. Isto permite que um grande número de empresas possam construir RPAs com sistemas de controle, para comercialização. Existem sistemas disponíveis gratuitamente na internet e, como o Ardupilot, que pode ser configurado por qualquer pessoa e funciona perfeitamente.

2.7 SENSORES ACOPLADOS A RPAS

O uso de RPAs em gestão de recursos naturais tem focado no uso de sensores baseados na espectroscopia de refletância, ou seja, em medidas da reflexão da radiação eletromagnética (REM) após interação com diferentes superfícies em diferentes comprimentos de onda, oriundas do chamado espectro refletido, mais especificamente abrangendo a região do visível (0.4-0.7 μm), Infravermelho próximo (0.7-1.3 μm) e Infravermelho de ondas curtas (1.3- 2.5 μm). Cada comprimento de onda da REM possui um comportamento particular em relação à superfície dos diferentes materiais, o qual pode ser medido quantitativamente com base na razão entre energia incidente (E - irradiância) e energia refletida (L - radiância) (NERIS, 2001).

A medida de reflectância do comportamento espectral da cultura, do solo ou água ao longo da REM é usualmente representada por um gráfico de eixo Y/reflectância vs eixo X/comprimento de onda, denominado assinatura espectral ou curva de reflectância. O comportamento espectral é resultado direto de suas propriedades físicas e químicas, bem como da estrutura atômica dos seus átomos, expressas nos segmentos de bandas através de características da curva de reflectância, como: depressões, ombros, área, curvatura e ângulos, compondo o que chamamos de feições espectrais diagnósticas. (NERIS, 2001).

Como indicador de estresse, os sensores se dividem em sensores que detectam a transpiração e a redução de absorção de CO₂ nas plantas ou a redução na fotossíntese. No caso de estresse hídrico, a temperatura aumenta, podendo ser detectada com câmeras térmicas ou termais. No caso de estresse nutricional pode ser observada a degradação do pigmento fotossintético. O padrão espectral da vegetação prove uma série de padrões para identificar o estágio fisiológico e de saúde das plantas. Em comprimentos de onda na região visível do espectro eletromagnético, refletância (medida proporcional da radiação refletida por um objeto) da vegetação está relacionada com os pigmentos fotossintéticos como a clorofila a, clorofila b, xantofilas, antocianinas e carotenoides (GUYOT, 1989; COCHRANE, 2000).

No espectro eletromagnético, na região do infravermelho próximo, a composição química e a anatomia foliar interferem na refletância (CHUVIECO, 1996; KUMAR, 1998), também influenciada determinada pelo teor de água (KAUFMAN, Y, J.; REMER, L. A., 1994), compostos químicos como a lignina, celulose, amido, proteínas e nitrógenos (KUMAR *et al.*, 2001).

No espectro visível (0,4 a 0,7µm) é possível obter imagens que auxiliam a visualização de solo exposto, indicando falhas em plantios agrícolas e florestais, por exemplo. Alguns processamentos, como a identificação de plantas com alterações espectrais, indicando ou estágio fenológico diferente ou alteração por alguma doença ou deficiência, são realizados com as imagens no visível. Muitos casos de análise das imagens de RPAs, devido a resolução ser maior, invariavelmente, pode-se acompanhar o crescimento da planta no campo, permitindo assim estudos de fenotipagem (CHUVIECO, 1996; KUMAR, 1998).

2.8 UTILIZAÇÃO DE RPAS PARA MONITORAMENTO DA VEGETAÇÃO

A obtenção de fotografias aéreas alta resolução possui várias aplicações no manejo de da vegetação, tais como monitoramento da dinâmica da vegetação, desenvolvimento de práticas de manejo de

pastagens nativas determinando as condições das mesmas, e avaliar a eficácia de técnicas de manejo e controle de pragas e plantas daninhas (RANGO *et al.*, 2006).

Estudos sobre a cobertura vegetal podem trazer informações importantes sobre relações e à estrutura de processos em ecossistemas, como ciclagem de nutrientes e energia, desenvolvimento de processos erosivos e desertificação (BRECKENRIDGE *et al.*, 2011).

Breckenridge *et al.*, (2011), avaliaram a viabilidade do uso de RPA para coleta de imagens úteis a discriminação de 6 tipos de cobertura do solo (Arbustos, arbustos mortos, gramíneas, herbáceas, serrapilheira, e solo exposto) em ecossistemas estépicos nos Estados Unidos, utilizando plataformas de asa fixa e asa móvel. Para correlação dos dados obtidos em campo, com dados extraídos da imagem sobre cobertura de vegetação, foram instaladas parcelas em campo, as extremidades de cada parcela foram sinalizadas com alvos alaranjados, para facilitar a localização nas imagens.

As imagens foram coletadas por uma câmara de 8 megapixels Canon Mark II com uma lente de 50 mm (f-stop 1:1.8) montada sob o corpo dos VANT de asa fixa e asa móvel. Os dados de campo foram avaliados utilizando um método de ponto quadrado conforme metodologia de Floyd e Anderson (1982). As imagens obtidas pelas duas plataformas apresentaram alto potencial para determinação da percentagem de cobertura dos seis tipos de vegetação, porém considerando a autonomia de voo, a RPA de asa fixa possui maior potencial para mapeamento de áreas mais extensas.

Considerando a falta de dados em tempo quase real e de melhores resoluções espaciais e espectrais BERNI *et al.*, (2009) utilizou como alternativa sensores de imagem multiespectrais térmicas e de banda estreita acoplados a uma RPA, para sobrevoo em campos agrícolas, com a obtenção de imagens térmicas na região 7,5-13- μ m (40 cm de resolução) e imagens multiespectrais de banda estreita na região espectral 400-800 nm (20 cm de resolução), para estimação de parâmetros biofísicos como índices de vegetação por diferença normalizada, absorção de

clorofila transformada no índice de reflectância - otimizado índice de vegetação ajustado ao solo e índice de reflectância fotoquímica (PRI).

Como resultado dos processamentos das imagens obteve-se como produtos imagem de índice de área foliar, teor de clorofila (A e B), e detecção de estresse hídrico a partir PRI temperatura e índice de cobertura. Demonstrando que os resultados obtidos com um sistema RPA de baixo custo são eficazes para aplicações agrícolas e produziu estimativas comparáveis, se não melhor, do que obtidas por sensores aéreos em plataformas tripuladas tradicionais. Trabalho semelhante foi desenvolvido por Panigada *et al.*, (2014), com o uso de imagens térmicas para detecção de estresse hídrico em culturas agrícolas.

2.9 APLICAÇÕES PARA AVALIAÇÃO DE ESTRUTURA DE FLORESTAS

Imagens de alta resolução obtidas por RPAs possuem uma ampla gama de aplicações e possibilita a obtenção de múltiplos tipos de informação através do processamento digital das imagens, incluindo a medição remota de atributos estruturais que podem ser aplicáveis para questões ecológicas. Em alguns casos, os dados de sensores remotos são combinados com outras fontes de dados mensurados em campo, por exemplo, usados para melhor descrever atributos ecológicos. A extração de informação sobre a estrutura de dados da floresta utilizando imagens de alta resolução espacial tem sido objeto de um grande número de estudos experimentais e empíricos. Uma abordagem tem sido baseada na classificação por pixel ou análises de regressão na qual os dados espectrais são utilizados para prever as classes ou variáveis contínuas de estrutura. Alguns exemplos incluem o seguinte:

- Estrutura fitossociológica de espécies e classificação da cobertura da vegetação (FRANKLIN SE *et al.*, 2000, KEY *et al.*, 2001).

- Estimativa do número de espécies de árvores através de contagem individual e fechamento de copa (COHEN *et al.*, 1995, 2001, GERYLO *et al.*, 1998).
- Estimativas de densidade e altura do fuste (FRANKLIN SE E MCDERMID 1993) e do volume e área basal (WULDER *et al.*, 2002).
- Classificação de idade, posição relativa ou estágio de desenvolvimento (COHEN *et al.*, 1995, 2001, FRANKLIN SE *et al.*, 2001, scarth *et al.*, 2001, NELSON *et al.*, 2003).

A utilidade destes estudos foi o desenvolvimento de uma compreensão de variáveis de floresta e ainda sistemas de sensores pode ser integrado num sistema operacional para a coleta de dados de inventário florestal. Devido ao alto investimento que a indústria florestal e agências governamentais fazem na produção de inventários de vegetação, é improvável que qualquer método único de sensoriamento remoto digital pode ser usado para substituir os estoques operacionais inteiramente. Em vez disso, dados de sensoriamento remoto devem ser considerados em múltiplas escalas em conjunto com, ou como um complemento ao atual sistema de coleta de dados em inventários florestais (WULDER *et al.*, 2004).

Uma abordagem promissora para o processamento de imagem ou de extração de informação de imagens obtidas por RPAs tem-se centrado na utilização de variáveis de textura e índices de vegetação calculados usando domínio espacial e combinações diferentes de banda de dados de imagem em altos níveis de detalhe espacial. Aplicações incluíram avaliação de produtividade florestal e área basal e área de copa (BLACKBURN & MILTON 1997), bem como o acompanhamento do estado das florestas.

Uma nova abordagem comumente considerando modelos emergentes de processamento de imagens tem sido o desenvolvimento com base em algoritmos de reconhecimento individual das árvores (CULVENOR, 2003). Os incentivos para o desenvolvimento de uma tal abordagem são óbvias. O isolamento das copas das plantas individuais em imagens digitais cria o potencial para a classificação mais precisa da

espécie de árvore, permitindo que os investigadores para construir compilações de fechamento na área da copa e densidade. Por sua vez, estas estimativas podem ser utilizadas nos modelos de volume do povoamento (HALL *et al.*, 1998). Vários métodos têm sido desenvolvidos para o isolamento de copas individuais (CULVENOR, 2003), e os méritos relativos continuam a ser testados numa variedade de ambientes florestais.

2.10 CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM OBJETOS GEOGRÁFICOS

A classificação de imagens digitais é fundamental para a construção de mapas temáticos, dentre eles, os mapeamentos de uso e ocupação do solo. O processo de classificação é baseado em técnicas de interpretação de imagens de satélites ou fotografias aéreas, de maneira automatizada, semi-automatizada ou totalmente manual (PONZONI, 2015). Os classificadores automáticos são separados em supervisionados ou não supervisionados conforme o grau de interação do intérprete no processo. Diferenciam-se também entre os tipos de classificadores, pixel-a-pixel ou contextuais (quando há segmentação).

Os métodos mais abordados na literatura sobre classificação digital utilizam o pixel como elemento de representação do mundo real, contudo desde os anos 2000, estudos em Processamento Digital de Imagens (PDI) e sensoriamento remoto utilizam da nova técnica contextual conhecida como Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos - GEOBIA (WIGGERS *et al.*, 2015).

A etapa primordial da classificação orientada a objetos é a segmentação, neste processo a imagem é fragmentada formando objetos espacialmente contínuos, disjuntos e homogêneos. Uma das vantagens da etapa de segmentação é a criação de objetos que representam os tipos de cobertura do solo que podem ser espectralmente variável no nível do pixel (WHITESIDE *et al.*, 2011). Com a GEOBIA surgiu uma abordagem na qual o procedimento de segmentação produz objetos que possibilitem a extração de informações geoespaciais, utilizadas para guiar a classificação e a modelagem de processos (WIGGERS *et al.*, 2015).

O procedimento desta técnica de classificação respeita a hierarquia da segmentação, partindo do nível mais grosseiro (superobjeto) para o nível mais detalhado (subobjeto). Durante o processo de classificação dos objetos, dois fatores devem ser considerados: os descritores dos objetos (características) que permitem o processo de diferenciação de cada classe e o classificador a ser utilizado (EISENBEISS, 2006).

O método de classificação é um processo interativo e cíclico, onde os objetos são classificados e reclassificados considerando o cálculo das distâncias entre as classes para os objetos presentes na rede hierárquica. Dentre as possibilidades de classificação, existem aquelas utilizadoras de algoritmos classificadores que executam a função *fuzzy* de pertinência, que podem ser usados para contextualizar os objetos ou regiões através de parâmetros espectrais e de forma (EISENBEISS, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área do presente estudo está localizada no município de Poconé, distrito de Pirizal (Pantanal Norte) (FIGURA 1). A região é caracterizada por um clima quente e úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, tipo AW. O clima é do tipo AW de acordo com classificação de Köppen com duas estações bem definidas: a estação seca, de maio para setembro e a estação chuvosa, de outubro para abril (CUNHA; JUNK 2004). A precipitação máxima é 1.384 mm, no mês de janeiro com precipitação mínima no mês de julho.

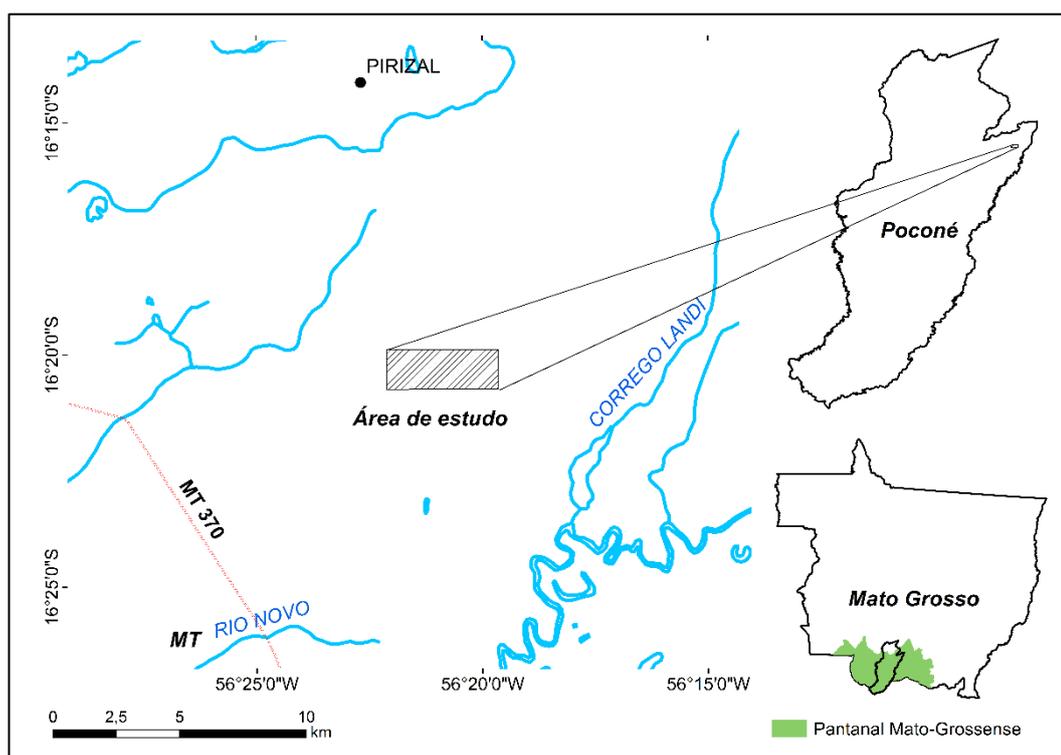


FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, PIRIZAL, MATO GROSSO, BRASIL.

A temperatura média anual é de 25,8 °C, sendo outubro o mês mais quente, enquanto julho é o mais frio (REBELLATO; CUNHA, 2005). No Pantanal duas estações são observadas durante o ano, sendo uma seca,

no período de maio a setembro e a outra chuvosa, de outubro a abril (CUNHA; JUNK, 2004).

3.2 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS

Após delimitação da área de estudo, foi realizado o reconhecimento da área, e coleta de pontos de controle, para georreferenciamento do ortomosaico, com um receptor GNSS de alta precisão (Topcon SR). Coletaram-se as coordenadas geográficas dos 41 pontos de controle distribuídos em toda área, com a instalação de alvos para a posterior visualização nas imagens.

Para a aquisição dos dados apresentados neste estudo específico, foi utilizada a RPA ECHAR, que possui entre suas principais características: envergadura de 2,17 metros, lançamento via catapulta, autonomia de voo de 40 a 70 minutos, terminal de dados GDT-S20A com comunicação para raios de até 20 km do local de lançamento, estação de controle em terra com display *touchscreen* e visualização em tempo real do voo por câmera de vídeo acoplada na RPA, *payload* de até 1 kg, módulo com sistema GPS na RPA e pouso via acionamento de paraquedas (NUNES *et al.*, 2014).

No planejamento da missão e sobrevoo foi utilizada a RPA ECHAR (FIGURA 2), no dia 15 de agosto de 2015, onde foi utilizada a altura de voo de 420 metros, com sobreposição longitudinal de 70% e lateral de 65 %, sendo que a mesma teve início as horas 09h58min e finalizada as 10h50min. Os dados foram obtidos pela câmera RGB modelo Canon EOS REBEL T3i de 18 Megapixels acoplada na RPA e configurada com uma distância focal de 28 mm, o que possibilitou a obtenção de fotografias com a altíssima resolução espacial de 6,6 centímetros.



FIGURA 2. AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA - RPA, MODELO ECHAR 20 A, UTILIZADA PARA O MAPEAMENTO. (Fonte: Xmobots).

3.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS

3.3.1 GERAÇÃO DO ORTOMOSAICO E MODELOS DIGITAIS DE ELEVÇÃO

Para aerotriangulação das imagens obtidas, geração do ortomosaico, modelos texturizados - modelo digital de superfície (MDS) e modelo digital do terreno (MDT), foi utilizado o *software Agisoft PhotoScan Pro* (Agisoft LLC, 2015) (FIGURA 4). A primeira fase de processamento no software é o alinhamento da câmera, onde o *software* analisa pontos em comum nas fotografias e os combina, de forma que a posição da câmera para cada foto é encontrada e com isto refinam-se os parâmetros de calibração da câmera. Como resultado, gera-se uma nuvem de pontos esparsos e um conjunto de posicionamentos para as câmeras.

A nuvem de pontos esparsos é o resultado do alinhamento das fotografias digitais. Esta nuvem não foi usada diretamente no procedimento de construção do modelo 3D final. Porém, foi utilizada para a construção de uma malha genérica para otimizar o alinhamento das fotografias, utilizando as coordenadas geográficas dos pontos de controle coletados em campo.

A próxima etapa consistiu na construção da nuvem de pontos densos com base nas posições estimadas da câmera e das fotografias, a nuvem densa foi construída pelo software. A nuvem de pontos densos foi

duplicada e classificada antes da construção dos modelos digitais de elevação.

Para gerar o MDT, utilizaram-se os pontos de controle coletados em campo. Inseriram-se tais informações no *Agisoft* e através do algoritmo *Classify Ground Points* foi possível isolar os objetos da superfície, restando apenas às informações do solo. Desta forma, o MDS foi gerado através da nuvem densa não classificada, contendo todos os objetos acima do nível do solo, e o MDT foi gerado através da nuvem densa classificada apenas com objetos ao nível do “solo”.

O terceiro estágio foi a construção da malha. O Photoscan reconstrói a malha poligonal 3D representando a geometria da superfície do terreno, baseada na nuvem de pontos densos através do algoritmo *Height Field*. Depois da geometria (malha) ser reconstruída, foi atribuído a ela uma textura para a geração de ortomosaico. A textura é importante porque melhora a qualidade visual da imagem. O método de texturização utilizado foi o ortomosaico, neste modo a superfície do objeto inteiro é texturizada na projeção ortográfica. As fases do processamento estão resumidas no fluxograma ilustrado na FIGURA 3.

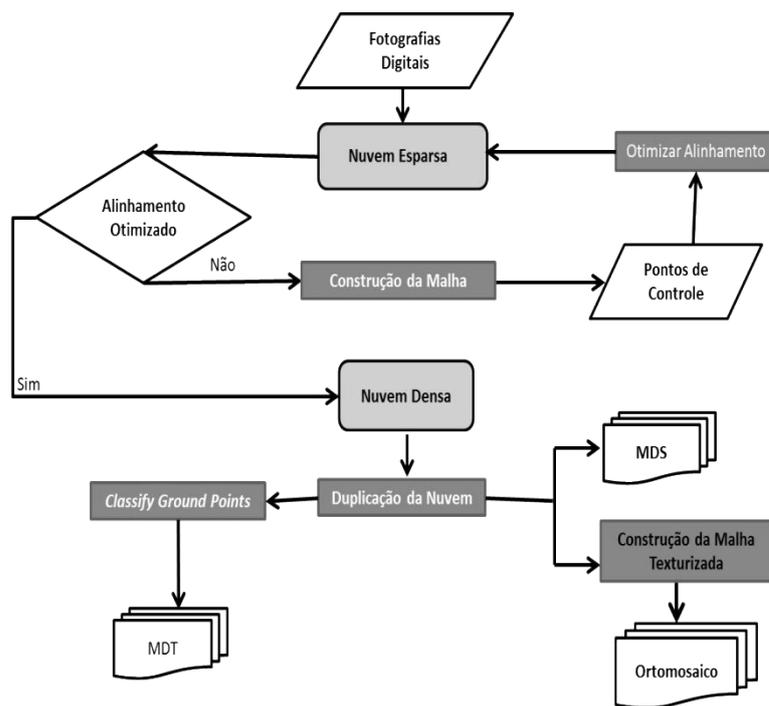


FIGURA 3. FLUXOGRAMA COM ETAPAS DE PROCESSAMENTO NO AGISOFT.

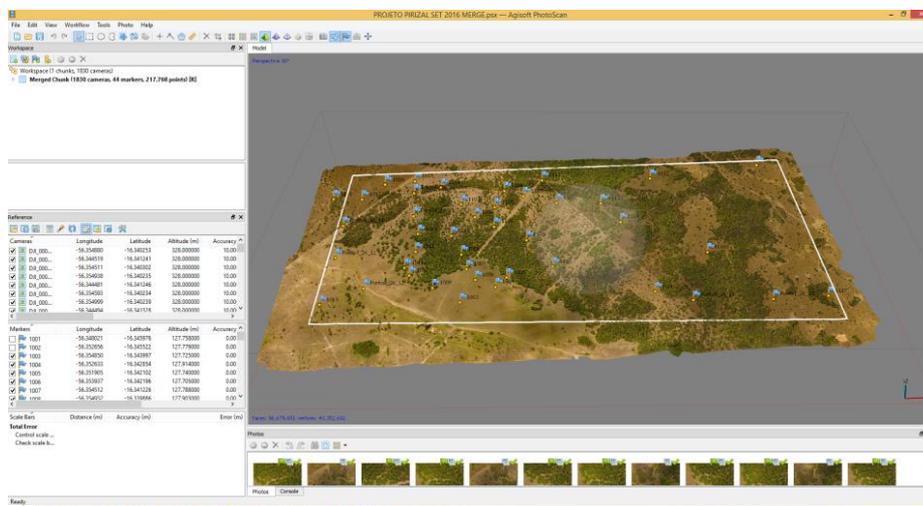


FIGURA 4. AMBIENTE DE TRABALHO DO AGISOFT, COM ORTOMOSAICO DA ÁREA DE ESTUDO E PONTOS DE CONTROLE.

3.3.2 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS

Para a classificação das imagens, utilizou-se a técnica de Classificação orientada a objetos geográficos – GEOBIA, utilizou-se o *software eCognition Developer*. A primeira etapa da classificação é a segmentação da imagem, que tem por objetivo criar objetos homogêneos, primeiramente baseados nas informações contidas no pixel (informações espectrais) e posteriormente baseada em outros atributos relacionados à cor, tonalidade e textura podem-se utilizar parâmetros relacionados ao tamanho, forma, padrão de sombra, padrão espacial, localização ou contextos.

Inseriu-se o MDT, MDS e o Ortomosaico (FIGURA 8), gerados na etapa anterior, e utilizando-se o algoritmo *Multiresolution Segmentation* ou segmentação em multirresolução criaram-se os objetos da imagem. Este algoritmo segmenta a imagem em objetos homogêneos com base no valor do pixel e na forma.

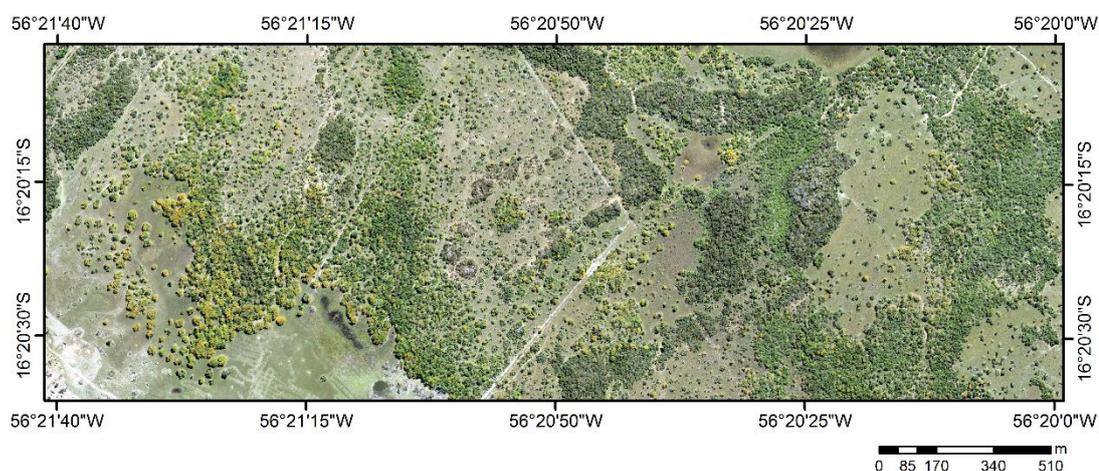


FIGURA 5. ORTOFOTO DA ÁREA DE ESTUDO.

Para executar do algoritmo de classificação, estabeleceram-se os seguintes parâmetros:

Peso das camadas da imagem: As camadas da imagem podem ser priorizadas dependendo da sua importância para a definição dos

objetos de interesse. O ortofoto é dotado de três camadas ou bandas espectrais (Vermelho-R, Verde-G e Azul-B), já o modelo digital de terreno e de superfície são imagens em nível de cinza, variando entre o preto como a menor intensidade e o branco como maior intensidade. Para a segmentação inicial foi utilizada apenas as camadas G e B.

Parâmetro de escala: O parâmetro de escala é um termo abstrato. Ele determina a heterogeneidade máxima permitida para os objetos da imagem. Em uma imagem muito heterogênea, os objetos resultantes, para um determinado parâmetro de escala, são menores que em imagens mais homogêneas. É possível variar os tamanhos dos objetos usando diferentes valores de escala, uma vez que para obter objetos maiores usa-se uma escala maior, e vice-versa. Para a segmentação foi determinado um valor 100.

Composição do critério de homogeneidade: Para definir a homogeneidade de um objeto, dois critérios devem ser considerados, os critérios de forma e de compacidade. É importante compreender que ambos os critérios possuem um critério oposto cuja soma entre eles acarretam no valor 1. O critério forma possui como oposto o critério cor, já o critério compacidade possui a suavidade como oposto. No trabalho foi utilizados os parâmetro 0.1/0.5 para forma/cor e 0.5/0.5 para compacidade/suavidade.

A classificação “Vizinho mais próximo” orientada a objeto (*Nearest Neighbor Object-Based Classification*) é uma técnica de classificação supervisionada que permite selecionar amostras para cada classe de cobertura do solo e os critérios, feito isso o software classifica o restante da imagem automaticamente.

Para classificação da imagem, foram definidas as classes: vegetação arbórea + arbustiva; vegetação herbácea; e brejo. O limite espectral da imagem, em virtude de a câmera utilizada não registrar informações na região do infravermelho próximo, não permitiu separar as classes de vegetação. Com a aplicação do índice de vegetação MPNR - MPRI – Modified Photochemical Reflectance Index (YANG, WILLIS e MULLER, 2008), conforme equação 1, foi possível realçar as

características da vegetação e áreas de solo exposto. Utilizou-se parâmetros do índice para incluir a subclasse cambará em floração, e a classe solo exposto.

$$MPRI = \frac{Green - Red}{Green + Red}$$

EQUAÇÃO 1. MPRI – *Modified Photochemical Reflectance Index*

Para auxiliar a classificação foi customizado a característica Modelo Digital de Superfície Normalizado (MDSn), que foi obtido pela subtração MDS e o MDT. Com isso utilizou-se o algoritmo Feature Space Optimization para descobrir qual característica apresenta maior separação entre as classes. Com base na diferença das características entre as amostras coletadas ficou definido que as características utilizadas seriam Hue, Sturation, Intensity e MDSn.

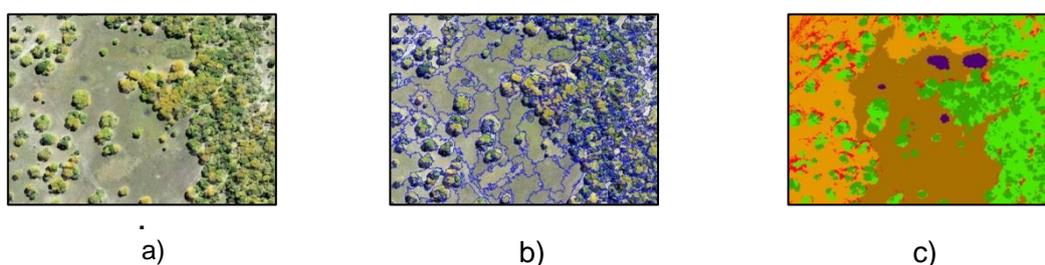


FIGURA 6. FASES DO PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS: A) ORTOFOTO; B) ORTOFOTO SEGMENTADO; C) ORTOFOTO CLASSIFICADO

Para refinar a classificação, incluir subtipos de vegetação de ocorrência na área, foi utilizada a ferramenta de edição manual, assim ficaram definidas as classes de cobertura do solo para a área, e os macrohabitats classificados de acordo com Nunes da Cunha et. al. 2014: Campos de murundus; Florestas dominadas por *V. divergens* (Cambarazal); Áreas cobertas com Cerrado sensu lato; Campo de mimoso

(*A. purpusii*); Florestas dominadas por *L. parvifolia* (Pimental); Pântanos de plantas herbáceas (brejos). Nas classes Florestas dominadas por *V. divergens* (Cambarazal) foi possível refinar a classificação, inserindo-se a classe floração, que coincidiu com o período de realização do mapeamento. Na classe Campus de murundus, foi possível distinguir as ilha de vegetação arbórea, que foi inserida como uma subclasse.

De posse da classificação refinada, exportaram-se os polígonos das classes, para as análises espaciais em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). As fases de classificação estão resumidas no fluxograma ilustrado na FIGURA 7.

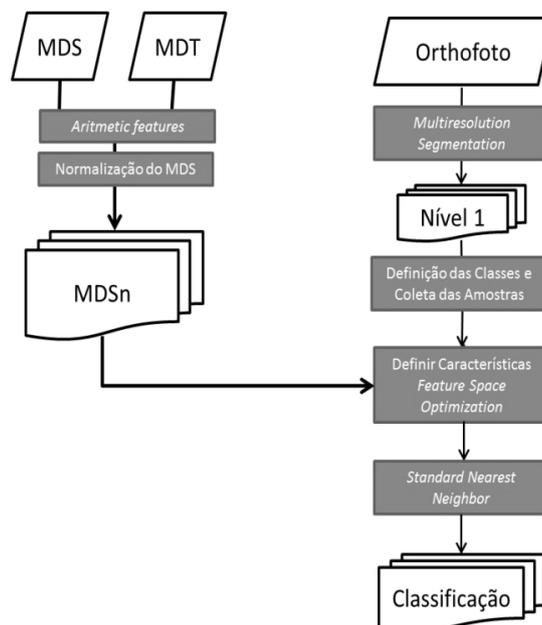


FIGURA 7. FLUXOGRAMA COM ETAPAS DE PROCESSAMENTO NO ECOGNITION.

3.4 AMOSTRAGEM DA COMUNIDADE DE FLORESTA MONODOMINANTE DE *Vochysia divergens*

3.4.1 INVENTÁRIO DE CAMPO

Com a área de Floresta Monodominante de *V. divergens* delimitada, realizou-se inventário de campo com inventário realizado através de amostragem aleatória simples (FELFILI 2002), com a instalação de 40 parcelas permanentes de 20 x 20 m na área (FIGURA 8). Em cada parcela foi realizado inventário incluindo-se todos os indivíduos com DAS_{30cm} (Diâmetro à altura do solo) > 5cm. Todas as árvores foram identificadas, medidas e plaqueadas. Para verificar a suficiência de amostragem foi realizada construída uma curva do coletor, por meio do estimador não-paramétrico Jackknife, que se baseia na ocorrência de espécies e no número de parcelas para estimar o total de espécies possíveis de serem encontradas.

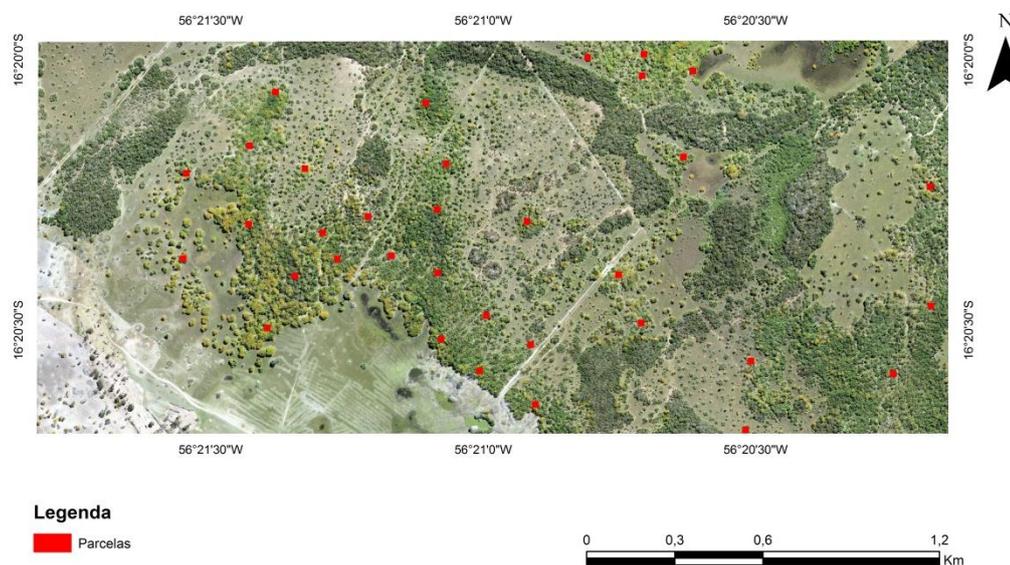


FIGURA 8. LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS AMOSTRADAS.

3.4.2 ANÁLISE DOS DADOS DE CAMPO

Para análise da estrutura horizontal da vegetação foram estimados os parâmetros fitossociológicos para valores absolutos e relativos de densidade, frequência e dominância. A soma desses parâmetros resultou no valor de importância (VI) das espécies. As estimativas serão realizadas de acordo com a proposta por Mueller-Dombois e Ellenberg (1974), para se estimar a diversidade da área, foram calculados os índices de diversidade de Shannon-Weaver (H').

A partir dos dados de diâmetro, estimou-se a idade de cada indivíduo de *V. divergens*, utilizando equação 2. proposta por Fortes., (2012), e as idades foram agrupadas em classes.

$$i = \sqrt[c]{\frac{b^c \cdot DAP}{a - DAP}}$$

EQUAÇÃO 2. Modelo para estimativa de idade de indivíduos de *V. divergens* a partir do diâmetro. Onde: i = idade, a , b e c , constantes ($a = 385,31$; $b = 415,44$; $c = 1,0$).

Através do teste de Mantel, foi verificada a dependência espacial da comunidade a fatores ecológicos, e através do índice Morista foi avaliado o padrão de distribuição espacial de cada espécie amostrada na comunidade. Com uma análise de agrupamento, as parcelas foram agrupadas quanto à altimetria obtida pelo modelo digital do terreno (MDT), dominância e idade média dos indivíduos de *V. divergens*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MAPEAMENTO DOS MACROHABITATS

A área de estudo representa uma típica paisagem do Pantanal, com diferentes comunidades vegetais, desde formações campestres a áreas de cerrado e florestas dominadas por *V. divergens* (Cambarazal). O mapeamento realizado foi compatível com a escala de 1:1000 representando preliminarmente um grande avanço em estudos realizados no Pantanal, principalmente devido a sua complexidade de habitats.

Os Campos de murundus cobrem maior parte da área, representam posteriormente, Florestas dominadas por *V. divergens* (Cambarazal). Áreas cobertas com Cerrado sensu lato, Campo de mimoso (*A. purpusii*), Florestas dominadas por *L. parvifolia* (Pimental) e Pântanos de plantas herbáceas (brejos) (FIGURA 9). A quantificação das classes é apresentada na TABELA 1, e a descrição, conforme nomenclatura proposta por Nunes da Cunha et al. 2014, na TABELA 2. Em um levantamento aéreo do Pantanal brasileiro Silva et al. (2000) identificou 16 classes de vegetação com base nas fitofisionomias, sendo os campos a fisionomia mais representativa (31%).

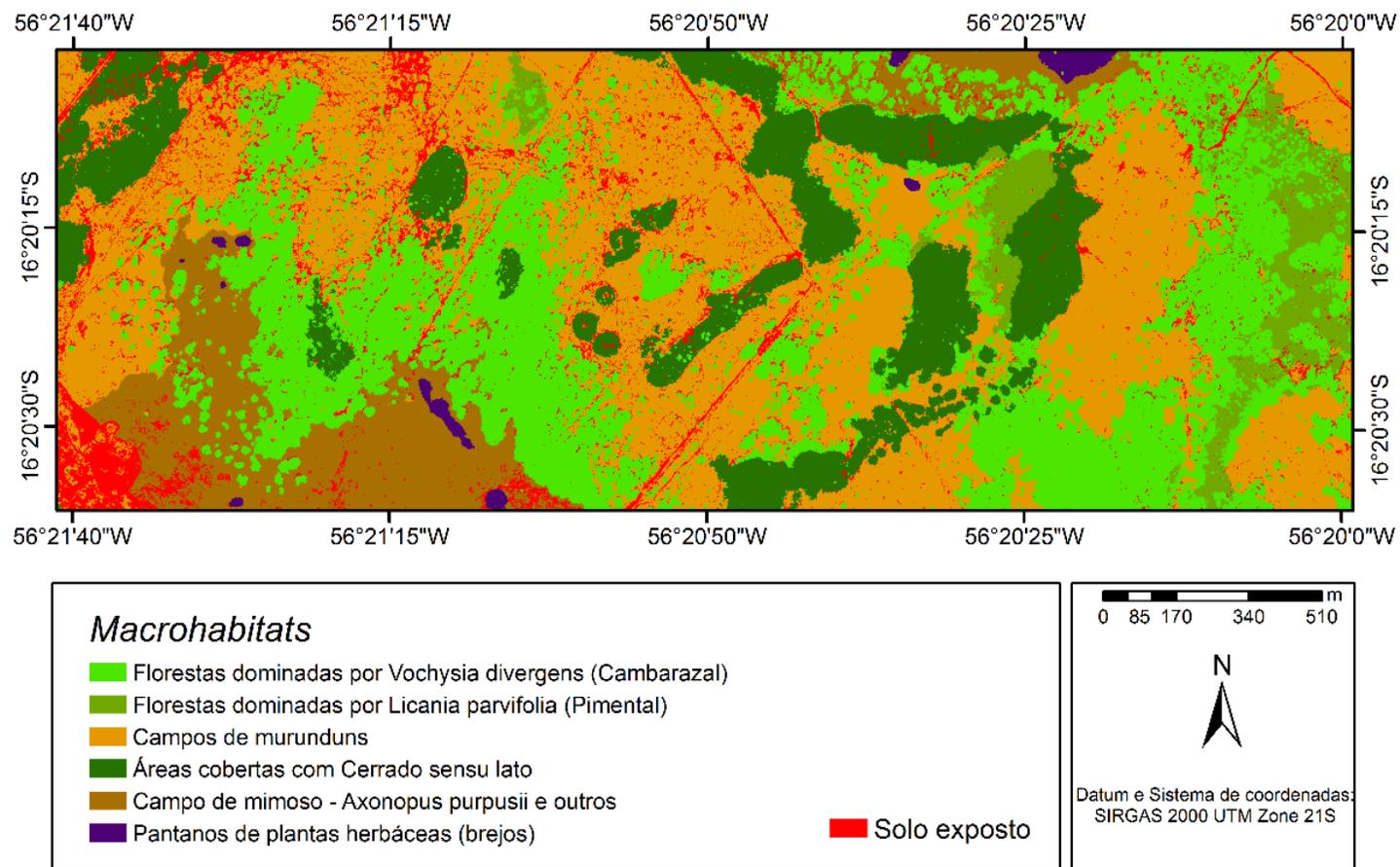


FIGURA 9. MAPA TEMÁTICO DA ÁREA DE ESTUDO COM OS MACROHABITATS CLASSIFICADOS.

O refinamento da classificação, permitiu inserir as subclasses floração em Florestas dominadas por *V. divergens* (Cambarazal) e Ilhas de vegetação arbórea na classe Campus de murundus, ilustradas na Figura 10.

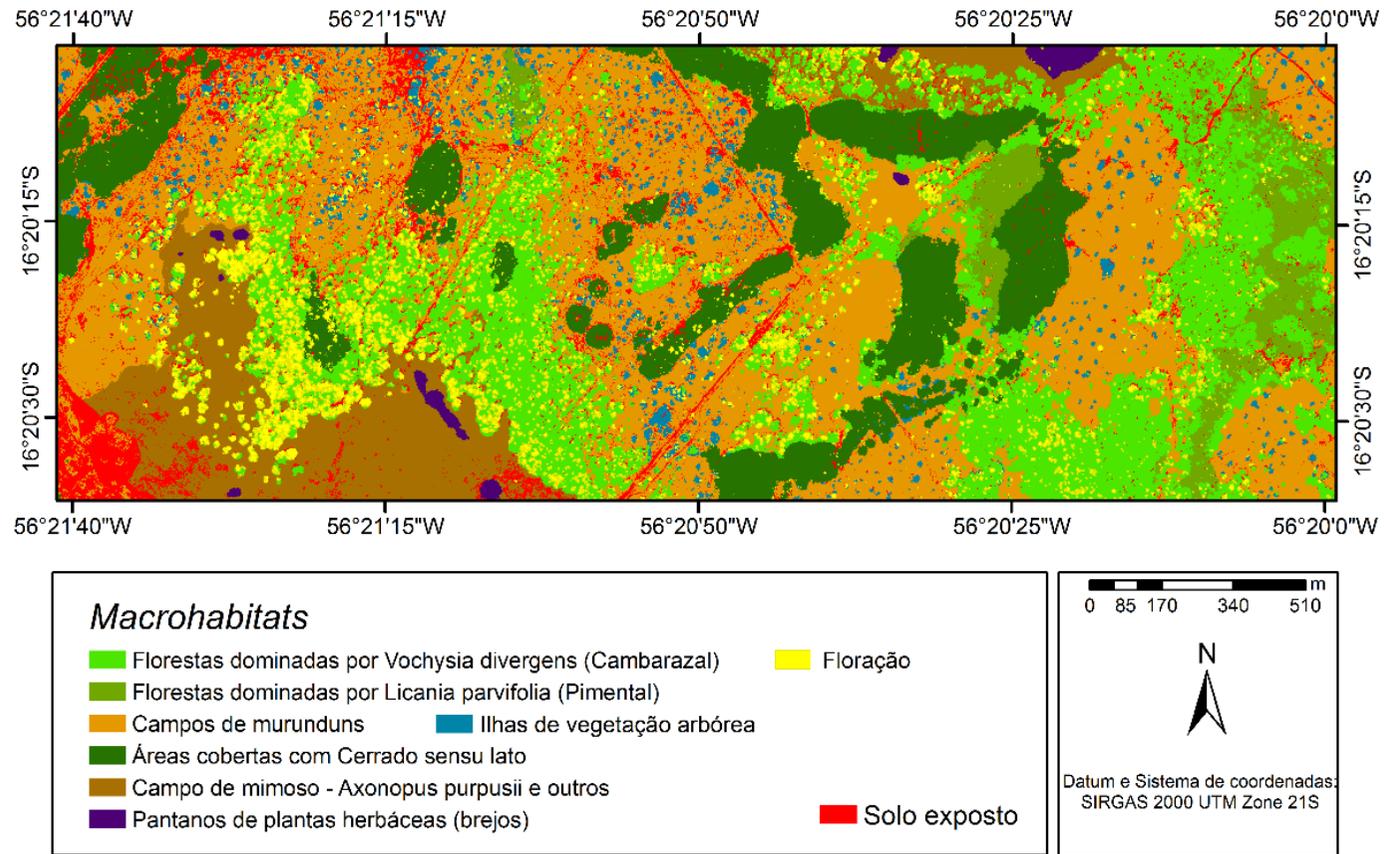


FIGURA 10. MAPA TEMÁTICO DA ÁREA DE ESTUDO COM OS MACROHABITATS CLASSIFICADOS, E AS SUBCLASSES FLORAÇÃO EM FLORESTAS DOMINADAS POR *V. divergens* (CAMBARAZAL) E ILHAS DE VEGETAÇÃO ARBÓREA NA CLASSE CAMPUS DE MURUNDUS.

As áreas que permanecem com água na maior parte do ano, Pântanos de plantas herbáceas (brejos), representam 0,76% da área estudada, Silva *et al.* (2000), estimaram que estes ambientes representam 7,4% da vegetação do Pantanal.

TABELA 1. REPRESENTAÇÃO EM PORCENTAGEM (%) DE COBERTURA DA ÁREA PARA CADA CLASSE. FICOU MUITO DISTANTE DA CITAÇÃO

Macrohabitat	Cobertura (%)
Campos de murundus	45,49
Florestas dominadas por <i>V. divergens</i> (Cambarazal)	27,48
Áreas cobertas com Cerrado sensu lato	12,75
Campo de mimoso (<i>A. purpusii</i>)	9,35
Florestas dominadas por <i>L. parvifolia</i> (Pimental)	4,17
Pântanos de plantas herbáceas (brejos)	0,76

TABELA 2. CLASSIFICAÇÃO DOS MACROHABITATS MAPEADOS NA REGIÃO DO PIRIZAL, PANTANAL DE POCONÉ, CONFORME NUNES DA CUNHA, 2014.

Unidade Funcional	Subclasse	Macrohabitat
3. Áreas terrestres (ATTZ)	periodicamente	
	3.2 Áreas cobertas com plantas herbáceas (campo limpo natural)	
	3.2.3 Inundado por cerca de 6 meses (campo de mimoso <i>A. purpusii</i> e outros)	
São áreas de vegetação predominantemente herbácea, com grande dinâmica de plantas anuais com a variação da inundação, com grande densidade de macrófitas na estação de cheia e predomínio de gramíneas no período seco.		
	3.3 Áreas com predominância de plantas herbáceas, arbustos e árvores agrupadas	
	3.3.1 Inundadas por algumas semanas (Campos de murundus)	
Os campos de murundus são áreas com vegetação herbácea e ilhas de vegetação lenhosa. Correspondem a matriz da paisagem na área. Sua formação está relacionada a dinâmica hídrica, e a ação de térmitas. A inundação nestas áreas é baixa, varia de solo encharcado até uma lâmina		

média de 10 cm. A inundação ocorre principalmente pelo acúmulo de água pluvial, e pode ter duração de até 6 meses.

3.6 Áreas com florestas monoespecíficas

3.6.2 Florestas dominadas por *V. divergens* (Cambarazal), inundadas por até 8 meses

Ocorre na área em diferentes estágios, com áreas mais antigas, com vegetação mais densa, até área em expansão com indivíduos jovens, principalmente sobre os campos de murundus. Nas áreas mais antigas, a vegetação é densa com dossel fechado, com ocorrência de espécies de savana e florestais. *V. divergens* possui vantagens adaptativas à inundação o que lhe confere vantagem sobre outras espécies o que permite a formações de florestas monodominantes, estas comunidades expandem em períodos úmidos e retrai em períodos secos principalmente pela ação de incêndios.

4. Áreas pantanosas (permanentemente inundadas ou encharcadas)

4.1 Pântanos de plantas herbáceas (brejos)

São áreas permanentes inundadas ou encharcadas, com abundância de *Aeschynomene fluminensis*. Representam áreas com importante prestação de serviços ambientais, como a filtragem de água, além de ser um refúgio para a fauna silvestre.

5. Áreas permanentemente terrestres

5.1 Capões, cordilheiras

5.1.1 Áreas cobertas com cerrado sensu lato

São áreas permanentemente terrestres, conhecidas popularmente como capões e cordilheiras. Sua origem está relacionada à dinâmica e sedimentação hídrica. As comunidades vegetais são formadas por espécies terrestres do domínio cerrado, geralmente não adaptadas à inundação.

Os macrohabitats distribuem-se em um gradiente de inundação, sendo as Áreas cobertas com Cerrado sensu lato, mais elevadas (CUNHA; JUNK, 2001), diminuindo o gradiente para formações campestres até Pântanos de plantas herbáceas (brejos) (COSTA *et al.*, 2010).

As oscilações dos níveis da inundação que ocorrem no Pantanal, causadas principalmente pela variação pluviométrica e mudanças na dinâmica sedimentológica, podem funcionar como um filtro ao estabelecimento e desenvolvimento de algumas espécies de plantas. Nestas áreas, a saturação ou completo alagamento do solo pela água

superficial ou subterrânea seleciona organismos com adaptações para viver em solos mal drenados (BRINSON, 1990).

Estas oscilações levam os organismos a enfrentar mudanças frequentes e fundamentais das condições ambientais dos habitats, como as de extremo estresse hídrico seja pela falta ou pelo excesso de água (JUNK; SILVA, 1999). Esta condição tem levado à permanência de grande quantidade de espécies pioneiras no Pantanal, que mantêm suas populações em altas densidades, de acordo com os requerimentos fisiológicos e ecológicos da espécie, como populações monodominantes de *V. divergens*, conhecidas como Cambarazais (POTT; POTT 1994; SILVA *et al.*, 2000).

Outro fator a ser considerado na formação da paisagem do Pantanal são as modificações antrópicas, dentre elas destacam-se a ocorrência de fogo e atividades de pecuária (POTT, 2009).

A classificação orientada demonstrou-se eficiente para determinação da área de solo exposto, que corresponde a 2,05% da área mapeada, de origem principalmente por degradação de pastagens e pisoteio do gado, evidenciando as potencialidades do uso de dados de obtidos por RPA para monitoramento da qualidade ambiental, estado de conservação do solo e pastagens naturais no Pantanal.

Breckenridge *et al.* (2011), destacam que o uso de RPAs pode ser um método rápido e seguro para monitoramento de recursos bióticos, como na avaliação do tipo de cobertura vegetal e da quantidade de solo exposto, que são fatores importantes para a compreensão da sustentabilidade de muitos ecossistemas, também podem atrelar-se informações sobre os processos nestes ambientes, como ciclagem de nutrientes e energia, desenvolvimento de processos erosivos e desertificação.

A partir da geração da matriz de confusão (TABELA 3) obteve-se um valor de índice de Exatidão Global de 86,06% e um índice de concordância Kappa, de 0.84. De acordo com a escala de índice Kappa proposta por Landis e Koch (1977) o índice obtido é classificado como muito bom e a classificação representativa (TABELA 2).

TABELA 3. MATRIZ DE CONFUSÃO DA CLASSIFICAÇÃO.

Classes / Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Soma (pixels)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	97	0	0	0	0	0	0	0	0	97
3	0	90	5	0	0	0	0	1	0	96
4	0	5	79	0	0	0	0	14	17	115
5	1	2	2	93	0	0	1	0	0	99
6	0	1	0	7	100	1	7	1	25	142
7	0	0	7	0	0	99	0	2	3	111
8	2	2	2	0	0	0	91	1	4	102
9	0	0	5	0	0	0	0	80	0	85
Soma (pixels)	100	100	100	100	100	100	99	99	49	847
Acurácia										86.06%
Kappa										0.8421

(Classes: 1 – Pântanos de plantas herbáceas (brejos); 2 – Subclasse floração em Florestas dominadas por *V. divergens*; 3 – Florestas dominadas por *V. divergens* (Cambarazal); 4 - Campo de mimoso (*A. purpusii*); 5 – Campus de murundus; 6 – Áreas cobertas com Cerrado sensu lato; 7 – solo exposto; 8 – Florestas dominadas por *L. parvifolia* (Pimental); 9 – Subclasse Ilhas de vegetação arbórea em Campos de murundus.

4.2 ESTRUTURA ESPACIAL DA FLORESTA MONODOMINANTE DE *V. divergens*

A comunidade de floresta monodominante de *V. divergens* possui alta correlação da dependência espacial em relação a fatores ambientais (FIGURA 11), o coeficiente de correlação do teste de Mantel foi de 0,80 (significativo a $p < 0,001$). A correlação está relacionada apenas à distribuição espacial da comunidade, e indica uma tendência importante ao se analisar a variável espacial em uma escala reduzida, ressaltando a influência de fatores ambientais na estruturação da comunidade.

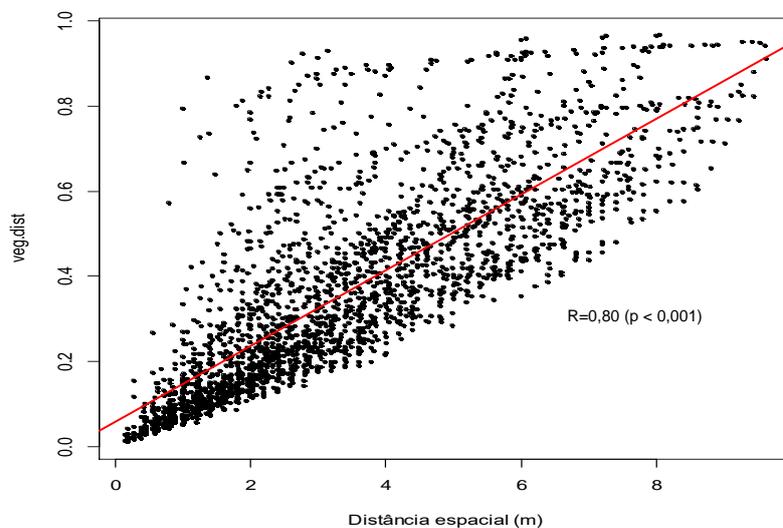


FIGURA 11. RELAÇÃO ENTRE A DISTÂNCIA ESPACIAL E A DISSIMILARIDADE DE ESPÉCIES DA COMUNIDADE DE FLORESTA MONODOMINANTE DE *V. divergens*. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE 0,80 (SIGNIFICATIVO A $P < 0,001$).

Por meio da construção da curva média de acumulação de espécies através do estimador não paramétrico Jackknife obteve-se uma estimativa de riqueza de 40 espécies para a comunidade (FIGURA 12). Na curva espécie área ilustrada na Figura 12, observa-se que a partir de 8.800 m² de área amostrada, ocorreu a estabilização da assíntota, considerando o desvio padrão do número de espécies amostradas, sendo a amostragem suficiente para representar a comunidade.

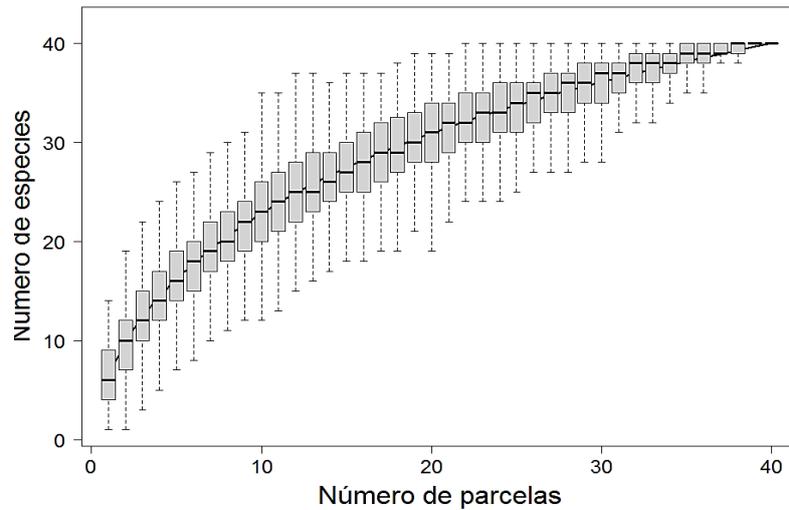


FIGURA 12. CURVA DE ACUMULAÇÃO DE ESPÉCIES DA COMUNIDADE DE FLORESTA MONODOMINANTE DE *V. divergens*.

A análise de agrupamento por altimetria do modelo digital do terreno (MDT), idade média, e dominância de *V. divergens*, separou as amostras em dois grupos (FIGURA 13). As amostras pertencentes ao primeiro grupo possuem árvores mais antigas, conseqüentemente com maior dominância, distribuídas áreas com menores elevações. O que indica que a proliferação da população ocorre a partir de um gradiente de inundação, de áreas com maior susceptibilidade de inundação para áreas mais secas.

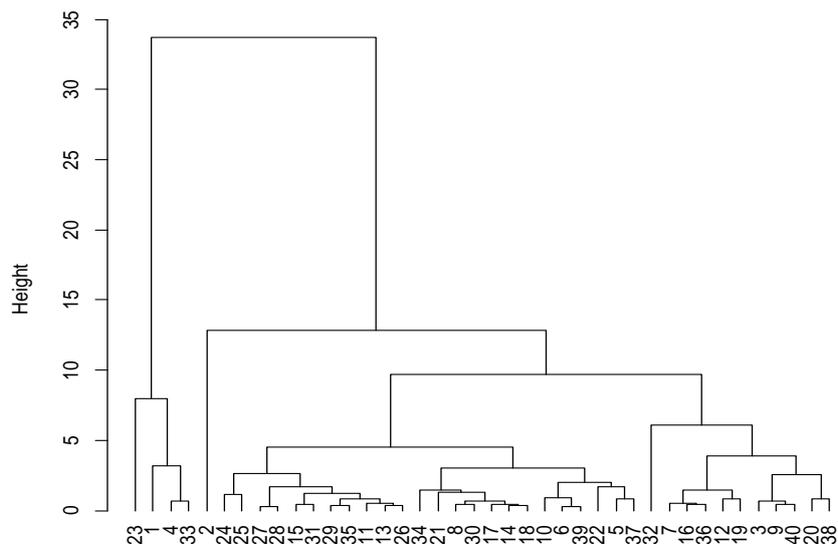


FIGURA 13. DENDROGRAMA DE AGRUPAMENTO DE PARCELAS AMOSTRADAS POR ALTIMETRIA DO MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT), IDADE MÉDIA, E DOMINÂNCIA DE *V. divergens*.

A causa da expansão destas populações de *V. divergens* parece estar relacionada à presença de ciclos plurianuais de inundações, nos quais períodos de grandes cheias e secas que ocorrem no Pantanal, em intervalos plurianuais, acarretam a retração e o aumento de populações de espécies pioneiras, dando à vegetação um caráter irregular no tempo e no espaço (JUNK & DA SILVA 1999; NUNES DA CUNHA & JUNK 2001; JUNK 2002).

Outras espécies formam populações no Pantanal, como *L. parviflora* (Pimental), *Handroanthus aureus* (Paratudal), dentre outras. *V. divergens* se destaca por se espalhar mais rapidamente, avançando sobre áreas campestres, constituindo uma preocupação a pecuaristas da região, e também ocupação de habitats, levando à perda de biodiversidade. Dentre as características que conferem vantagens à espécie no Pantanal, pode-se citar adaptações morfofisiológicas, resistência a seca, crescimento sob intensa luminosidade, produção de grande quantidade de propágulos (NUNES DA CUNHA *et al.* 2000).

Nunes da Cunha & Junk (2004) atentam para a coincidência da entrada de um período plurianual de grande cheia no Pantanal, iniciado em

1974, com o espalhamento de algumas espécies lenhosas, com formações conhecidas localmente como: Pimental (*L. parvifolia*), Pombeiral (*Combretum lanceolatum*) e Cambarazal (*V. divergens*). Outras pioneiras podem constituir formações monodominantes, comuns no Pantanal como savanas arborizadas inundáveis ou como florestas mais densas, tais como acurizal (*Attalea phalerata*), babaçual (*A. speciosa*), canjiqueiral (*Byrsonima orbignyana*), lixeiral (*Curatella americana*), paratudal (*Tabebuia aurea*), pindaival (*Xylopia aromatica*), piuval (*T. heptaphylla*). O Cambarazal também ocorre no Pantanal do Araguaia. Algumas herbáceas e arbustivas também podem dominar a fisionomia, como caetezal (*Thalia geniculata*), caronal (*Elyonurus muticus*), pirizal (*Cyperus giganteus*), pombeiral (*Combretum lanceolatum*) (POTT, 1994).

O avanço de espécies monodominantes, diminui a diversidade de espécies em formação vegetais no Pantanal. Quando relacionada ao gradiente de inundação, a diversidade de espécies apresenta relação inversa com a altura da lâmina de água (ARIEIRA & NUNES DA CUNHA, 2006; NASCIMENTO & NUNES DA CUNHA, 1989). O alto estresse da inundação parece exercer um papel limitante sobre a vegetação arbórea, selecionando poucas espécies adaptadas a estas condições (LÜTTGE 1997). A influência da inundação sobre a distribuição de espécies aponta para a importância deste fator, ora como estressor para comunidades de plantas, ora como promotor de diversidade de habitats e espécies (ARIEIRA & NUNES DA CUNHA, 2006).

A altimetria da área de acordo com o MDT, varia de 115,60 a 136,30 (FIGURA 14). Nas áreas de menor altitude ocorrem brejos e campos limpos naturais. A comunidade de Floresta dominadas de *V. divergens* distribui-se entre áreas intermediárias entre campos limpos e Campos de murundus.

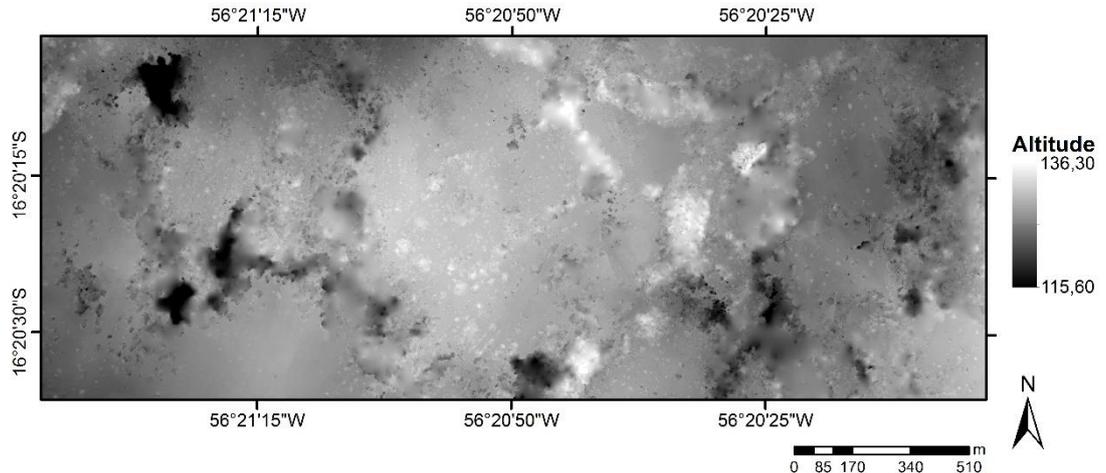


FIGURA 14. MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) DA ÁREA DE ESTUDO.

Observa-se através do mapa de distribuição da comunidade em relação ao MDT, um avanço de *V. divergens* sobre os campos de murundus (FIGURA 15).

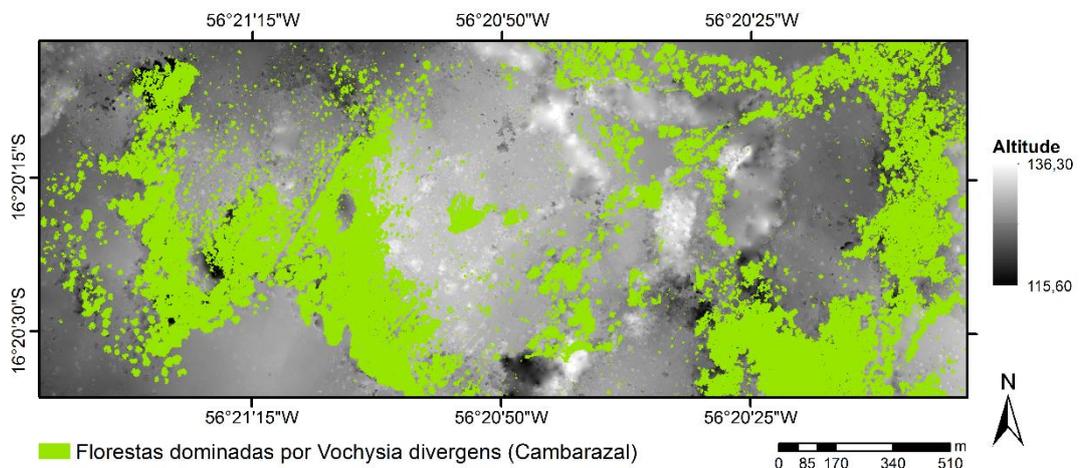


FIGURA 15. DISTRIBUIÇÃO DE FLORESTA MONODOMINANTE DE *V. divergens* EM RELAÇÃO AO MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) DA ÁREA DE ESTUDO.

Na análise de distribuição de frequência das idades dos indivíduos, a classe de 10 a 20 anos possui a maior parte dos indivíduos (36,67 %), seguida pela classe de 0 a 10 (33,83) e 20 a 30 anos (14,72 %), a idade máxima estimada para os indivíduos amostrados foi de 151 anos. Na

distribuição de classes de idade, à medida que aumenta a idade, a frequência diminui a partir de 70 anos, até chegar à idade máxima, caracterizando uma curva do tipo exponencial (FIGURA 16).

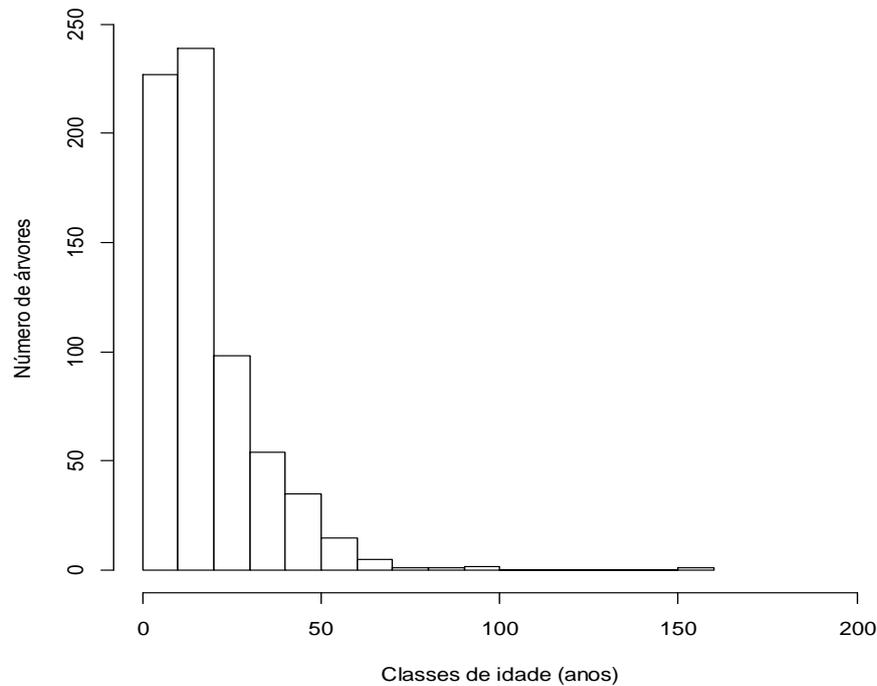


FIGURA 16. DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS CLASSES DE IDADE DOS INDIVÍDUOS AMOSTRADOS DE *V. divergens*.

O índice de Morisita indica que *V. divergens* é uma espécie com distribuição agregada, o que é característico de espécies onde as plântulas e indivíduos jovens permanecem próximos às árvores matrizes. Num total de 40 espécies amostradas, 13 espécies possuem distribuição agregada, 13 possuem distribuição aleatória e 14 espécies possuem tendência a agrupamento (FIGURA 17).

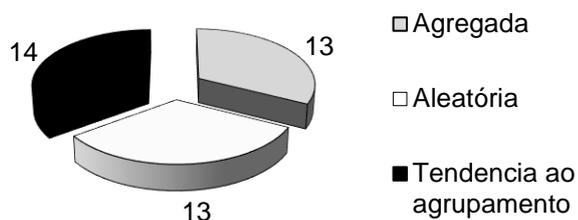


FIGURA 17. TIPO DE DISTRIBUIÇÃO DAS ESPÉCIES DE ACORDO COM O ÍNDICE DE MORISITA.

Em relação aos descritores fitossociológicos, *V. divergens* possui o maior valor de importância na comunidade, com dominância de $11,16 \pm 5,73 \text{ m}^2$, densidade de 423,71 indivíduos/ha, e frequência de 100 % nas parcelas amostradas (TABELA 4). A densidade da espécie representa 50,11% dos indivíduos da comunidade. As próximas espécies por ordem do valor de importância são *Calophyllum brasiliense*, *L. parvifolia*, *Curatella americana*, *Alchornea discolor*, *Astronium fraxinifolium* e *Dipteryx alata*. A matriz da paisagem estudada é Campos de murundus, que recobre maior parte da área estudada. A proliferação de *V. divergens* ocorreu sobre campos este macrohabitat, várias espécies características de savana, ocorrem na área de floresta amostrada, como *Curatella americana*, *Astronium fraxinifolium* e *Dipteryx alata*, evidenciando uma conversão de comunidades florestais a savânicas.

A densidade total por área é de $845,62 \pm 380,66 \text{ ind/ha}$ e área basal de $21,2 \pm 9,58 \text{ m}^2/\text{ha}$. O Índice de Shannon-Wiener (H') é igual a 1,86, o que indica baixa diversidade para a comunidade.

TABELA 4. ESTRUTURA HORIZONTAL DA COMUNIDADE DE FLORESTA DOMINADA POR *V. divergens* (CAMBARAZAL).

Espécie	DA (in/ha)	DR (%)	DoA (m ² /ha)	DoR (%)	FA (%)	FR (%)	VI (%)
<i>Vochysia divergens</i> Pohl	423,75	50,11	11,16	52,62	100	15,38	118,11
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	81,25	9,61	4,01	18,92	62,5	9,62	38,15
<i>Licania parvifolia</i> Huber	118,13	13,97	2,38	11,22	62,5	9,62	34,81
<i>Curatella americana</i> L.	58,75	6,95	1,61	7,6	67,5	10,38	24,93
<i>Alchornea discolor</i> Poepp.	52,5	6,21	0,24	1,13	70	10,77	18,11
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	23,13	2,73	0,31	1,46	37,5	5,77	9,96
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	8,75	1,03	0,32	1,52	25	3,85	6,41
<i>Ficus gomelleira</i> Kunth & C.D. Bouché	5,0	0,59	0,42	2,0	15	2,31	4,9
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich. ex DC.	9,38	1,11	0,05	0,23	20	3,08	4,42
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	5,63	0,67	0,05	0,25	17,5	2,69	3,6
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore	5,63	0,67	0,05	0,24	17,5	2,69	3,6
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	6,88	0,81	0,05	0,24	15	2,31	3,36
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	4,38	0,52	0,09	0,42	12,5	1,92	2,86
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	3,75	0,44	0,1	0,49	10	1,54	2,47
<i>Abuta grandifolia</i> (Mart.) Sandwith	5	0,59	0,04	0,19	10	1,54	2,32
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	2,5	0,3	0,02	0,1	10	1,54	1,94
<i>Ouratea discophora</i> Ducke	2,5	0,3	0,01	0,03	10	1,54	1,87
<i>Ficus insipida</i> Willd.	3,75	0,44	0,04	0,21	7,5	1,15	1,81
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	2,5	0,3	0,04	0,17	7,5	1,15	1,62
<i>Unonopsis lindmanii</i> R.E. Fr.	2,5	0,3	0,01	0,07	7,5	1,15	1,52
<i>Garcinia gardneriana</i> (Planch. & Triana) Zappi	3,13	0,37	0,02	0,08	5	0,77	1,22
<i>Copaifera</i> sp.	1,88	0,22	0,01	0,06	5	0,77	1,05
<i>Simarouba versicolor</i> A. St.-Hil.	1,25	0,15	0,02	0,09	5	0,77	1,01
<i>Andira cujabensis</i> Benth.	1,25	0,15	0,01	0,06	5	0,77	0,98
<i>Eugenia biflora</i> (L.) DC.	1,25	0,15	0,01	0,03	5	0,77	0,95
<i>Erythroxylum anguifugum</i> Mart.	1,25	0,15	0	0,01	5	0,77	0,93
<i>Mouriri guianensis</i> Aubl.	1,88	0,22	0,01	0,05	2,5	0,38	0,66
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C. Berg	0,63	0,07	0,04	0,17	2,5	0,38	0,63
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	0,63	0,07	0,02	0,11	2,5	0,38	0,57
<i>Pterocarpus rohrii</i> Vahl	0,63	0,07	0,01	0,04	2,5	0,38	0,5
<i>Sapium obovatum</i> Klotzsch ex Müll. Arg.	0,63	0,07	0,01	0,04	2,5	0,38	0,49
<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook. f.	0,63	0,07	0,01	0,03	2,5	0,38	0,49
<i>Diospyros hispida</i> A. DC.	0,63	0,07	0,01	0,02	2,5	0,38	0,48
<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St.-Hil.	0,63	0,07	0,01	0,02	2,5	0,38	0,48
<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel	0,63	0,07	0,01	0,02	2,5	0,38	0,47
<i>Bauhinia rufa</i> Graham	0,63	0,07	0,01	0,01	2,5	0,38	0,47
<i>Genipa americana</i> L.	0,63	0,07	0,01	0,01	2,5	0,38	0,47

<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Steud.	0,63	0,07	0,01	0,01	2,5	0,38	0,47
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	0,63	0,07	0,01	0,01	2,5	0,38	0,47
<i>Buchenavia tomentosa</i> Eichler	0,63	0,07	0,01	0,01	2,5	0,38	0,47
Total	845,63	100	21,2	100	650	100	300

FA = Frequência Absoluta, *FR* = Frequência Relativa; *DA* = Densidade Absoluta; *DR* = Densidade Relativa; *DoA* = Dominância Absoluta; *DoRi* = Dominância Relativa; *VI %* = Valor de Importância em porcentagem.

5 CONCLUSÕES

Os dados obtidos a bordo de sensores a bordo de RPA, e a classificação foram eficientes para mapeamento dos macrohabitats e a quantificação e detecção de padrões espaciais da paisagem, em escala de detalhe com boa acurácia para o mapeamento.

A vegetação da área distribui-se em um gradiente de inundação, sendo as Áreas cobertas com Cerrado lato senso, mais elevadas, áreas com Campos de murundus e Florestas dominadas por *V. divergens* intermediárias, e áreas de Campo de mimoso (*A. purpusii*) e Pântanos de plantas herbáceas (brejos) mais baixas.

Com o avanço tecnológico ocorrido nas últimas décadas o uso de RPAs vem crescendo em diferentes aplicações, e será cada vez mais implementado, considerando o aprimoramento destas tecnologias, o que há de torna-las mais acessíveis e com menor custo. A utilização de dados de alta resolução espacial obtidos por sensores a bordo de RPAs ainda apresenta limitações, mas já é uma alternativa viável para imageamento de pequenas áreas e mapeamento de macrohabitats.

A comunidade de Floresta monodominante de *V. divergens* possui forte dependência espacial, em relação a fatores ambientais, sendo o gradiente de inundação uma das variáveis. *V. divergens* é uma espécie com distribuição agregada, e o arranjo da população de acordo com a dominância, idade dos indivíduos e altimetria da área, distribui-se de áreas com menores à maiores altitudes, o que indica que a proliferação da população ocorre a partir de um gradiente de inundação, de áreas com maior susceptibilidade de inundação para áreas mais secas.

Definir os macrohabitats como unidades de gestão no Pantanal é a alternativa mais inteligente para gestão, manejo e conservação. Órgãos de fiscalização podem utilizar produtos de dados obtidos por RPAs para fiscalização, órgãos não governamentais, empresas privadas, para planejamento de propriedades rurais, conciliando com atividades de produção com uso racional de recursos naturais, para garantir preservação e a garantia de prestação de serviços ecossistêmicos das AU.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÂMOLI, J. O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados: discussão sobre o conceito de complexo do Pantanal. In: **Anais do 32º Congresso nacional da Sociedade Botânica do Brasil, Teresina**. Universidade Federal do Piauí, Teresina. 1982. p. 109-119.

ADÂMOLI, J. Fisiografia do Pantanal. In: ALLEM, A. C.; VALLS, J. F. M. **Recursos forrageiros do Pantanal Mato-Grossense**. Brasília: EMBRAPA-CENARGEN. 1987. P. 15-22 (EMBRAPA CENARGEN. Documentos, 8).

ARIEIRA, J.; NUNES DA CUNHA, C. Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *V. divergens* Pohl (Vochysiaceae), no Pantanal Norte, MT, Brasil.- **Acta Bot. Bras.** 20(3): 569-580. 2006.

BERNI, J. et al. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring From an Unmanned Aerial Vehicle. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 47, n. 3, p. 722–738, doi:10.1109/TGRS.2008.2010457, 2009.

BLACKBURN, G.A. & MILTON, E.J., Filling the gaps: remote sensing meets woodland ecology. **Global Ecology and Biogeography Letters**, 5, p. 175-191. 1996.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAM-BRASIL**. Folha SE. 21 Corumbá e parte da folha SE. 20: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. 1982. 448p.(Levantamento de Recursos Naturais, 27).

BRASIL/Ministério das Minas e Energia, Secretaria Geral, **Projeto RADAMBRASIL (Levantamento dos Recursos Naturais, 27)**, Rio de Janeiro, RJ:272-329.

BRECKENRIDGE, R. P. et al. Comparison of Unmanned Aerial Vehicle Platforms for Assessing Vegetation Cover in Sagebrush Steppe Ecosystems. **Rangeland Ecology & Management**, v. 64, n. 5, p. 521–532, doi:10.2111/REM-D-10-00030.1, 2011.

BRINSON, M. M. Riverine Forests. In: LUGO, M., BRINSON, M.; BROWN, S. (eds) **Ecosystems of the World 15. Forested Wetlands**. Oxford: Elsevier 1990.

BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L.; RÊGO, J.; ARANTES, A. E. Utilização de imagens aéreas de um Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT) para estimativa de cobertura verde das pastagens cultivadas em duas áreas experimentais no município de Uberlândia - MG. **Anais XVII Simpósio**

Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. 3ª ed. rev. Madrid: Ediciones Rialp, S. A. 1996. 568 p.

COCHRANE, M. A. Using vegetation reflectance variability for species level classification of hyperspectral data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 10, p. 2075-2087, 2000.

COHEN WB, MAIERSPERGER TK, SPIES TA, OETTER DR. Modelling forest cover attributes as continuous variables in a regional context with Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**. 22: 2279-2310. 2001.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. & CLARKE, R.T. Further evidence of changes in the hydrological regime of the river Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? **Journal of Hydrology**, 245: 218-238. 2001.

COSTA, C. P.; CUNHA, C. N.; COSTA, S. C. Caracterização da flora e estrutura do estrato arbustivo-arbóreo de um cerrado no Pantanal de Poconé, MT. **Biota Neotropica**, v.10, p. 61-73, 2010.

COSTA, C.P., CUNHA, C.N. & COSTA, S.C. Characterization of the flora and structure of the shrub-tree layer in a cerrado area in Pantanal do Poconé, MT. **Biota Neotrop.** v.10, p. 61-73, 2010.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Bot. Bras.** v. 20, p. 13-23, 2006.

CULVENOR D. 2003. Extracting individual tree information: A survey of techniques for high spatial resolution imagery. Pages. 255-277. in Wulder M, Franklin S, eds. **Remote Sensing of Forest Environments: Concepts and Case Studies**. Boston: Kluwer Academic.

CUNHA, C. N. et al. **Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**. 1. ed. Cuiabá: EdUFMT, v. 1. 2014. 157p.

CUNHA, C. N.; JUNK, W.J. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *V. divergens* in Pantanal grasslands. **Applied Vegetation Science** , v.7, p. 103-110, 2004.

DIAZ-VARELA, R. a et al. Automatic identification of agricultural terraces through object-oriented analysis of very high resolution DSMs and multispectral imagery obtained from an unmanned aerial vehicle. **Journal of environmental management**, v. 134, p. 117–26, doi:10.1016/j.jenvman.2014.01.006, 2014.

DIEGUES, A.C.S. **Povos e Águas**. - Núcleo de Apoio à Pesquisa sobre Populações Humanas e Áreas Úmidas Brasileiras, 2a. ed., São Paulo, Brazil: 2002, 597 p.

EISENBEISS H. **UAV Photogrammetry**. 2004. (online) Disponível em: http://www.igpdata.ethz.ch/berichte/blau_Berichte_PDF/105.pdf. Acesso em 23 de Novembro 2016.

EITEN, G. Classificação da vegetação do Brasil. **CNPq**, Brasília, Brazil: 1983. 305p.

FANTIN-CRUZ, I., GIRARD, P., ZEILHOFER, P., COLLISCHONN, W. & CUNHA, C.N. Meso-scale phytophysiognomic units in the Northern Pantanal and their relations with geomorphology. **Biota Neotrop**. v.10, p. 106-111, 2004.

FELFILI, J.M. & VENTUROLI, F. Tópicos em análise de vegetação. **Comunicações técnicas florestais**, v.2, n.2. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia florestal. 2000.

FLOYD, D. A., AND J. E. ANDERSON. A new point frame for estimating cover of vegetation. **Vegetation**. 50:185–186. 1982.

FORTES, C.F. **Estudo dendrocronológicos da espécie arbórea *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae) no Pantanal Norte Mato-grossense**, Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Cuiabá, 2006. 24p.

FRANKLIN S., et al. Incorporating texture into classification of forest species composition from airborne multispectral images. **International Journal of Remote Sensing**. 21: 61-79. 2000.

GERYLO GR, HALL RJ, FRANKLIN SE, ROBERTS A, MILTON EJ. Hierarchical image classification and extraction of forest species composition and crown closure from airborne multispectral images. **Canadian Journal of Remote Sensing**. 24: 219-232. 1998.

GUYOT, G.; GUYON, D.; RIOM, J. FACTORS AFFECTING THE SPECTRAL RESPONSE OF FOREST CANOPIES: A REVIEW. **GEOCARTO INTERNATIONAL**, V. 4, N. 3, p. 3-18, 1989.

HALL RJ. The roles of aerial photographs in forestry remote sensing image analysis. in Wulder M, Franklin S, eds. *Methods and Applications for Remote Sensing of Forests: Concepts and Case Studies*. Boston: **Kluwer Academic**. Pages. 47-75. 2003.

HARDIN, P. J.; JACKSON, M. W. An unmanned aerial vehicle for rangeland photography. **Rangeland Ecology & Management**, v. 58, n. 4, p. 439-442, 2005.

HARRIS, M.B. Desafios para proteger o Pantanal brasileiro: ameaças e iniciativas em conservação. **Megadiversidade**. V 1:156-164. 2005.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2004). Mapa de Biomas do Brasil, (1: 5.000.000), **Série "Mapas Murais"**. Disponível em: < ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

JORGE, L. A. C. **Determinação da cobertura de solo em fotografias aéreas do Projeto Arara**. 2001. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

JUNK, W.J. & Da Silva, C.J. O Conceito de Pulso de Inundação e suas implicações para o Pantanal de Mato Grosso. Pp.17-28. In: **Anais do II Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio- Econômicos do Pantanal: Manejo e Conservação**. Corumbá - MS, 1996. Brasília, Embrapa - CPAP. 1999.

JUNK, W.J. Flood tolerance and tree distribution in central Amazonian floodplains. In: HOLM-NIELSEN, L.B.; NIELSEN, I.C.; BALSLEV, H. (Eds): **Tropical Forests: botanical dynamics, speciation and diversity**. Academic Press, London: 47-64. 1989.

JUNK, W.J., DA SILVA, C.J. O Conceito de Pulso de Inundação e suas implicações para o Pantanal de Mato Grosso. pp.17-28. In: **Anais do II Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal: Manejo e Conservação**. Corumbá - MS, 1996. Brasília, Embrapa - CPAP. 1999.

KAUFMAN, Y, J.; REMER, L. A. Detection of forests using mid-IR reflectance: an application for aerosol studies. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 32, p. 672-683, 1994.

KEY T, WARNER TA, MCGRAW JB, FAJVAN MA. A comparison of multispectral and multitemporal information in high spatial resolution imagery for classification of individual tree species in a temperate hardwood forest. **Remote Sensing of Environment**. 75: 100-112. 2001.

KUMAR, L. **Modeling forest resources using geographical information systems and hyperspectral remote sensing**. 1998. 246 f. Tese (Doutorado)- University of New South Wales, Sydney, 1998.

LALIBERTE, a. S. e RANGO, A. Texture and Scale in Object-Based Analysis of Subdecimeter Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 47, n. 3, p. 761–770, doi:10.1109/TGRS.2008.2009355, 2009.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p. 159-174, 1977.

LINHARES, M.A.; ROCHA, N.C.C.; AMARAL, B.A.S. Análise do índice MPRI como indicador vegetativo através da correlação do mesmo com o índice NDVI. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 16, 2013, Curitiba. São José dos Campos: INPE, 2005, p. 8254-8260.

LOUREIRO, L.D.; LIMA, J.P.; FONZAR, B.C.; OLIVEIRA FILHO, L.C. Vegetação. **Folha SE.21**/Corumbá e parte da Folha SE.20. 1982.

MEDEIROS, F. A. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD. 2007. **Aviation accident database & synopses**. Available at: <http://www.ntsb.gov/ntsb/query.asp>. Accessed 7 April 2007.

NELSON T, NIEMANN KO, WULDER M. Spatial statistical techniques for aggregating point objects extracted from high spatial resolution remotely sensed imagery. **Journal of Geographical Systems**. 4: 423-433. 2003.

NERIS, L. O. **Um piloto automático para as aeronaves do projeto ARARA**. Dissertação (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

NEWCOME, L. R. Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles, 1st Edition. **American Institute of Aeronautics and Astronautics**, Inc., Reston, VA, 2004. 172 pp.

NUNES DA CUNHA, C.; JUNK, W.J.. Distribution of wood plant communities along the flood gradient in the Pantanal of Poconé, Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**, 27. 2001.

NUNES DA CUNHA, C.; JUNK, W.J.. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *V. divergens* in Pantanal grasslands. **Applied Vegetation Science**, 7: 103-110. 2004.

NUNES DA CUNHA, CÁTIA; PIEDADE, M. T. F. ; JUNK, W. J. . **Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats**. 1. ed. Cuiabá: EdUFMT, v. 1. 2014. 157p.

NUNES, G. M.; VIEIRA, D. J. E.; CARVALHO, S. P. C. Avaliação preliminar de dados obtidos por VANT em talhão florestal clonal de *Eucalyptus urograndis* H13 no Estado de Mato Grosso. In: **Anais XI SENGEF, XI Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal**. Curitiba-PR: UFPR. 2014. p.: 204-211.

OZDEMIR, S. **Multi objective conceptual design Optimization of na agricultural arerial robot**, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeroespacial) – Middle East Technical University, Turquia.

PANIGADA, C. et al. Fluorescence, PRI and canopy temperature for water stress detection in cereal crops. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 30, p. 167–178, doi:10.1016/j.jag.2014.02.002, 2014.

PONZONI, F. J.; HERNANDEZ FILHO, P. A fisionomia da cobertura vegetal do Parque Nacional do Pantanal Matogrossense (PNPM) identificada através do sensor TM/LANDSAT: uma análise temporal. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 5., Natal, RN. Anais... São José dos Campos: INPE, v.3, p.670-674, 1988.

POTT, A. & ADÂMOLI, J. Unidades de vegetação do Pantanal de Paiaguás. In: **Simpósio sobre Recursos Naturais e Socio-Econômicos do Pantanal, Manejo e Conservação**, Corumbá. Vol. 2. Embrapa, Corumbá. 1999. Pp.183-202.

POTT, A. & POTT, V.J. **Plantas do Pantanal**. Embrapa, Brasília. 1994.

POTT, A. & POTT, V.J. Flora do Pantanal – Listagem atual de fanerógamas. In **Anais do II Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal**, 1996, Manejo e Conservação. Embrapa Pantanal, Corumbá, p.298-325. 1999.

POTT, A., POTT, V.J. & DAMASCENO JÚNIOR, G.A. Fitogeografia do Pantanal. In **III CLAE e IXCEB, São Lourenço**, MG. p.1-4. 2009.

POTT, A.; ADÂMOLI, J. Unidades de vegetação do Pantanal dos Paiaguás. In: **II SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, MANEJO E CONSERVAÇÃO**. P. 183-192

PUSCOV, J. **Flight System Implementation in UAV**. Examensarbete utfört vid Fysikinstitutionen, KTH, SCFAB Sommaren-Hösten, 2002.

QUILTER, M. C.; V. J. ANDERSON. **A proposed method for determining shrub utilization using (LALS) imagery**, Journal Range Manage, v. 54, p. 378-381, 2001.

RANGO, A. et al. RESEARCH ARTICLE: Using Unmanned Aerial Vehicles for Rangelands: Current Applications and Future Potentials. **Environmental Practice**, v. 8, n. 03, p. 159–168, doi:10.1017/S1466046606060224, 2006.

REBELLATO, L.; CUNHA, C. N. **Efeito do “fluxo sazonal mínimo da inundação” sobre a composição e estrutura de um campo inundável no Pantanal de Poconé, MT, Brasil.** *Acta Botânica Brasilica*, v.19, p. 789-799, 2005.

SARMIENTO, G. The Savannas of Tropical America. In: GOODALL, D. W. (Ed.). **Ecosystems of the world – tropical savannas.** Elsevier, Amsterdam, 1983. pp. 245-288.

SILVA, M. P. et al. Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n.2, p.143-152, 2000.

SILVA, M.P.; MAURO, R.; MOURÃO, G.; COUTINHO, M. Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. **Rev. bras. Bot.**/ [online], vol.23, n.2, pp. 143-152. 2000.

SLOMPO, PAULO JORGE HARMUCH. **Utilização de um veículo aéreo não tripulado para obtenção de dados dentrométricos de *Eucalyptus benthamii*** Maiden et Cabbage - Guarapuava, 2013 xii, 38 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal. 2013.

SORIANO, B.M.A., Caracterização climática de Corumbá MS. **Boletim de Pesquisa**, 11. EMBRAPA/CPAP, Corumbá, 1997. 25 pp.

TRINDADE JUNIOR, O.; JORGE, L. A. C.; AGUIAR, J. G. B. Using UAVs for precision farming: first results. In: **UNMANNED SYSTEMS NORTH AMERICA**, 2004, Baltimore.

VAN DER VALK, A.G. Succession in wetlands: a Gleasonian approach. **Ecology** 62(3): 689-696. 1981.

WIGGERS, K. L.; RIBEIRO, S. R. A. GEOBIA em imagem Rapideye para classificação do uso e cobertura da terra mediante Self-Organizing Maps em uma área da Bacia do Pitangui – PR. **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, João Pessoa, Brasil, 25-29 de abril de 2015, INPE, p. 1439-1446.

WULDER M, NIEMANN O, GOODENOUGH D. Error reduction methods for local maximum filtering of high spatial resolution imagery for locating trees. **Canadian Journal of Remote Sensing**. 285: 621-628. 2002.

WULDER, M. a. et al. High Spatial Resolution Remotely Sensed Data for Ecosystem Characterization. **BioScience**, v. 54, n. 6, p. 511, doi:10.1641/0006-3568(2004)054 [0511:HSRRSD] 2.0.CO;2, 2004.

YANG, Z.; WILLIS, P.; MUELLER, R. Impact of Band-Ratio Enhanced AWIFS Image to Crop Classification Accuracy. In: **Pecora** – The Future of Land Imaging... Going Operational, 17. 2008, Denver, Colorado, USA. Proceedings... Maryland: (ASPRS), 2008. Disponível em: <<http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/pecora17/0041.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2012.

ZARCO-TEJADA, P. J. et al. Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. **European Journal of Agronomy**, v. 55, p. 89–99, doi:10.1016/j.eja.2014.01.004, 2014.