

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

MALCON MIRANDA MIKAMI

**ARQUITETURA DE SOFTWARE PARA OTIMIZAÇÃO DO USO DE
AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS NA AGRICULTURA DE
PRECISÃO UTILIZANDO RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS**

PONTA GROSSA
2017

MALCON MIRANDA MIKAMI

**ARQUITETURA DE SOFTWARE PARA OTIMIZAÇÃO DO USO DE
AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS NA AGRICULTURA DE
PRECISÃO UTILIZANDO RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, curso de Mestrado em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Alaine
Margarete Guimarães.
Coorientador: Prof. Dr. Petraq
Papajorgji.

PONTA GROSSA
2017

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

Mikami, Malcon Miranda
M636 Arquitetura de software para otimização
do uso de
aeronaves remotamente pilotadas na
agricultura de
precisão utilizando raciocínio baseado em
casos/ Malcon Miranda Mikami. Ponta
Grossa, 2017.
105f.

Dissertação (Mestrado em Computação
Aplicada - Área de Concentração:
Computação para Tecnologias em
Agricultura), Universidade Estadual de
Ponta Grossa.

Orientadora: Prof^a Dr^a Elaine Margarete
Guimarães.

Coorientador: Prof. Dr. Petraq
Papajorgji.

1.Mineração de dados. 2.NDVI. 3.Drone.
4.VANT. 5.Processamento de imagem aérea.
I.Guimarães, Elaine Margarete. II.
Papajorgji, Petraq. III. Universidade
Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em
Computação Aplicada. IV. T.

CDD: 006.3

TERMO DE APROVAÇÃO

Malcon Miranda Mikami

**“ARQUITETURA DE SOFTWARE PARA OTIMIZAÇÃO DO USO
DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS NA AGRICULTURA DE
PRECISÃO UTILIZANDO RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS”.**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora:


Dr.ª Elaine Margarete Guimarães
UEPG


Dr.ª Maria Salete Marcon Gomes Vaz
UEPG


Dr.ª Mauren Louise Sguariso
UTFPR-PG/PR

Ponta Grossa, 06 de março de 2017.

Dedico este trabalho à minha
querida esposa Keila e nossa filha
Thaís.

AGRADECIMENTOS

À minha querida família, Keila e Thaís, que compreenderam a minha ausência e sempre me deram apoio, amor e carinho, fortalecendo-me sempre.

Aos meus pais que sempre me apoiaram e acreditaram em mim.

A professora Dra. Alaine Margarete Guimarães, minha orientadora e amiga, por ter me dado a oportunidade de realizar este curso e que nos anos de convivência, muito me incentivou e ensinou.

Ao professor Dr. Petraq Papajorgji, meu coorientador, com quem comecei este trabalho de pesquisa e seus ensinamentos visando meu amadurecimento como pesquisador.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa quais tive prazer em conhecer, por seus ensinamentos e auxílios.

Aos colegas do laboratório de informática aplicada às ciências agrárias e ambientais - InfoAgro, pela amizade e momentos inesquecíveis no laboratório e atividades em campo.

Aos demais amigos da pós-graduação, pelo companheirismo.

RESUMO

O uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) na agricultura de precisão (AP) está em constante evolução, sendo um processo que compreende as etapas de: determinação do objetivo, captura e processamento das imagens, e análise dos dados obtidos. Apesar de existirem alguns softwares e hardwares para essas etapas, a dificuldade ainda reside na integração dos dados coletados, sua confiabilidade, e na interpretação das informações resultantes para tomada de decisão. Este trabalho propõe uma arquitetura de software para o uso de RPA na AP que permite a execução de todas as etapas do processo utilizando os padrões arquiteturais *Domain-Driven Design* e *Command e Query Responsibility Segregation*. Esta arquitetura, quando utilizada por pesquisadores, permite a integração de novos módulos de processamento de imagem, utilizando raciocínio baseado em casos (RBC) para sua avaliação. A arquitetura foi avaliada em um estudo de caso sob os seguintes aspectos: a confiabilidade dos métodos de processamento de imagem implementados e a adequação do método de RBC ao determinar o melhor algoritmo de processamento de imagem para objetivos específicos. O resultado do algoritmo de processamento de imagem para estimativa do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi comparado aos resultados obtidos em equipamento de campo (Greenseeker) e pelo processamento via software Pix4D. Foi verificado que tanto os softwares quanto o equipamento geraram valores similares, com diferença média de 7%. Nas simulações de escolha do melhor algoritmo a ser utilizado automaticamente pelo usuário final, o software selecionou o algoritmo correto indicando para o mesmo a maior probabilidade de acerto. Além dos benefícios técnicos, a arquitetura desenvolvida permite que resultados de análises de experimentos em campo, associados aos algoritmos utilizados, alimentem a base de conhecimento do software para que o mesmo gere melhores parametrizações nas execuções feitas pelo usuário final. A arquitetura desenvolvida neste trabalho permitiu a integração das diversas etapas que envolvem o uso de RPA na AP, facilitando o uso por pesquisadores e usuários finais. A utilização conjunta de pesquisadores e usuários finais em um mesmo ambiente, pode ser uma alternativa interessante para publicação de novos e melhores métodos de processamento de imagem, fornecendo aos usuários finais mais informações sobre sua cultura e resultados mais confiáveis.

Palavras-chaves: Mineração de Dados, NDVI, Drone, VANT, Processamento de Imagem Aérea, DDD, CQRS

ABSTRACT

The use of remotely piloted aircrafts (RPA) in precision agriculture (PA) is constantly evolving being a process comprised of the following steps: objective determination, capture and processing of images and the analysis of the obtained data. Although there is software and hardware made for those steps, the challenge remains being the integration of the collected data, its reliability, and the interpretation of the resulting data for decision making. This work proposes a software architecture to make use of RPA on PA, allowing to perform all steps of the process using the Domain-Driven Design and Command and Query Responsibility Segregation architectural patterns. The architecture, when used by researchers, allows the integration of new image processing modules, making use of case-based reasoning (CBR) for its evaluation. The architecture was evaluated in a case study under the following aspects: the reliability of the image processing methods and the adequacy of the CBR method when determining the best image processing algorithm for the specified objective. The results of the image processing algorithm for estimate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were compared to the results obtained by the field equipment (Greenseeker) and by processing made with the Pix4D software. Both the software and the equipment produced similar results, with a difference of about 7%. When doing the simulation for the best algorithm to be automatically used by the end user, the software correctly selected the algorithm with the highest probability of generating a correct outcome. In addition to the technical benefits, the developed architecture allows the results of field experiments analysis, associated with the algorithms used, to feed the knowledge base of the software so that it generates better parametrizations in the executions made by the end user. In addition to the technical benefits, the developed architecture allows the results of field experiments, associated with the used algorithms, to feed the knowledge base of the softwares that it generates better parametrizations when executed by the end user. The developed architecture in this work made possible integrating the several steps when using RPAs in PA, making easier its use by researchers and end users. The joint use by researchers and end users in the same environment could be an interesting alternative to publish new and better methods for image processing, giving to the end users more reliable results and more information about the crops.

Keywords: Data Mining, NDVI, Drone, UAV, Digital Image Processing, DDD, CQRS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo da agricultura convencional e agricultura de precisão.	17
Figura 2 - Curvas espectrais em diferentes tipos de materiais.	19
Figura 3 - RPA de asas fixas – Projeto ARARA	21
Figura 4 - Asa Voadora desenvolvida pela Elbit Systems	21
Figura 5 - Helicóptero Yamaha RMAX G1.....	21
Figura 6 - Hexacoptero.....	21
Figura 7 - Terminologia da foto aérea.	24
Figura 8 - Geometria da fotografia: terreno plano.	25
Figura 9 - Proporção entre a distância da imagem projetada sobre a distância correspondente no chão.....	25
Figura 10 - Sobreposição a frente.	27
Figura 11 - Sobreposição lateral.	28
Figura 12 - Estrutura básica do plano de voo.....	29
Figura 13 - Exemplo das etapas do plano de voo.	30
Figura 14 - Exemplo de padrões possíveis de serem gerados no plano de voo: (a) uma passagem; (b) duas passagens, (c) centralizada, (d) pela linha mediana.....	31
Figura 15 - Ciclo de execução do RBC.	33
Figura 16 - Representação da arquitetura CQRS.	38
Figura 17 - Fluxo de planejamento de missão.....	43
Figura 18 - Fluxo de processamento de missão.....	44
Figura 19 - Classe RequestResponseFactory.....	49
Figura 20 - Implementação de handler.....	50
Figura 21 - Utilização do padrão query.	50
Figura 22 - Classes Farm, ProductionArea, Fields, Crop e Variety.	51
Figura 23 - Classes Vehicle, FrameType e APMType.....	52
Figura 24 - Implementação do objeto UAVWeigthValidation.....	53
Figura 25 - Implementação da fábrica UAVFactory.....	53
Figura 26 - Diagrama de classes da implementação da fábrica UAVFactory. .	54
Figura 27 - Entidades FlightPlan, Mission, Leg, Stage, TakeOff, Approach, Landing, LegType.....	55
Figura 28 - Implementação tipos de legs pertencentes a LegTypes.	56

Figura 29 - Implementação do serviço ExportMissionToFileService.	57
Figura 30 - Entidades Mission, MissionStatus OrthorectificationProcess e ProcessResult.	58
Figura 31 - Interface limageProcessing.	58
Figura 32 - Implementação de algoritmo de processamento.	59
Figura 33 - Entidades criadas relacionadas ao RBC.	61
Figura 34 - Implementação do padrão Repository.	62
Figura 35 - Implementação do repositório de fazendas (FarmRepository).	62
Figura 36 - Croqui de tratamento da área utilizada para experimento.	64
Figura 37 - Área de experimento - Ângulo a.	64
Figura 38 - Área de experimento - Ângulo b.	65
Figura 39 - Área da Fazenda Escola “Capão da Onça”, com destaque (retângulo vermelho) na área de interesse do estudo de caso.	66
Figura 40 - Parâmetros do RPA.	66
Figura 41 - Parâmetros de configuração da câmera.	67
Figura 42 - Plano de voo com demarcação das linhas de voo.	68
Figura 43 - Marcação do centro de captura e área das fotos obtidas.	68
Figura 44 - Inclusão manual de objetivo.	69
Figura 45 - Imagens capturadas em diferentes resoluções: GSD 5 cm/pixel (a), GSD 10 cm/pixel (b) e GSD 15 cm/pixel (c).	70
Figura 46 - Recorte de imagens da área de estudo em diferentes resoluções: GSC 5cm/pixel (a), GSD 10 cm/pixel (b) e GSD 15 cm/pixel (c).	70
Figura 47 - Distorção radial em imagem JPEG.	72
Figura 48 - Distorção radial em imagem RAW.	72
Figura 49 - Correção geométrica: (a) antes da correção; (b) após a correção.	72
Figura 50 - Tela de processamento e ortomosaico gerado.	73
Figura 51 - Início de uma nova missão.	74
Figura 52 - Plano de voo e área das imagens obtidas a partir da simulação. ..	75
Figura 53 - Pesos para o cálculo de inferência.	76
Figura 54 - Tela de acompanhamento de missão.	78
Figura 55 - Tela de aquisição das imagens.	79
Figura 56 - Tela de resultados e clusterização.	80

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Exemplo de representação do modelo de caso com a estratégia atributo-valor.	60
TABELA 2 - Parâmetros definidos.....	67
TABELA 3 - Parâmetros sobre o plano de voo calculados pelo sistema com base nos parâmetros definidos no experimento.....	69
TABELA 4 – Relação entre a altitude e a resolução GSD utilizadas.	70
TABELA 5 - Simulação de altitudes e tempos de voo para Canon Power Shot S110 e EBee Sensefly	75
Tabela 6 - Resultado da inferência.....	77
TABELA 7 - Comparação de resultados de NDVI obtidos com o equipamento GreenSeeker e com o software Pix4D Mapper com imagens de diferentes resoluções.....	82
Tabela 8 - Comparação de resultados de NDVI obtidos com o equipamento GreenSeeker e com o processamento do algoritmo NDVI.dll com imagens de diferentes resoluções.	84
TABELA 9 - Teste de hipótese entre GreenSeeker e Pix4D na resolução de 5cm	85
TABELA 10 - Teste de hipótese entre GreenSeeker e Pix4D na resolução de 10cm	85
TABELA 11 - Teste de hipótese entre GreenSeeker e Pix4D na resolução de 15cm	86
TABELA 12 - Teste de hipótese entre GreenSeeker e algoritmo NDVI.dll na resolução de 5cm	86
TABELA 13 - Teste de hipótese entre GreenSeeker e algoritmo NDVI.dll na resolução de 10cm	86
TABELA 14 - Teste de hipótese entre GreenSeeker e algoritmo NDVI.dll na resolução de 15cm	86

LISTA DE SIGLAS

AD	Árvores de Decisão
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AP	Agricultura de Precisão
ARARA	Aeronave de Reconhecimento Assistida por Rádio e Autônoma
ARP	Aeronaves Remotamente Pilotadas
CCD	Charge Copled Device
Cfb	Clima temperado úmido com verão temperado
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
CQRS	Command and Query Responsibility Segregation
CTA	Centro Tecnológico Aeroespacial
DDD	Domain-Driven Design
DTO	Data Transfer Object
FAB	Força Área Brasileira
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sample Distance
IA	Inteligência Artificial
MD	Mineração de Dados
MDA	Model-Driven Architecture
MDD	Model Driven Design
MLP	MultilayerPerceptron
MP	MegaPixels
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near Infrared
PDI	Processamento digital de imagem
RBC	Raciocínio Baseado em Casos
RBR	Sistema Baseado em Regras
RNA	Redes Neurais Artificiais
RPA	Remotely Piloted Aircraft
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UEPG	Universidade Estadual de Ponta Grossa
VANT	Veículos Aéreos Não Tripulados
WP	Waypoint

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	MOTIVAÇÃO	12
1.2	OBJETIVOS.....	14
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	16
2.2	SENSORIAMENTO REMOTO.....	18
2.3	AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS.....	20
2.3.1	Imagens obtidas por RPA	22
2.3.2	Plano de voo.....	28
2.4	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM.....	31
2.5	RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS	32
2.5.1	Árvore de decisão.....	34
2.5.2	Rede Neural Artificial	34
3	TECNOLOGIA DA INFOMAÇÃO: CONCEITOS E PADRÕES	36
3.1	ARQUITETURA DE SOFTWARE.....	36
3.1.1	CQRS	37
3.1.2	DDD	39
4	ARQUITETURA DE SOFTWARE PARA USO DE RPA NA AP	42
4.1	ESCOPO DA ARQUITETURA – FLUXO DO SISTEMA E FUNCIONALIDADES	42
4.2	MÓDULO PESQUISADOR.....	45
4.3	MÓDULO USUÁRIO FINAL.....	47
4.4	CAMADAS DA ARQUITETURA PROPOSTA.....	48
4.4.1	Camada de serviços de aplicação	48
4.4.2	Camada de domínio	50
4.4.3	Serviços de infraestrutura	61
5	ESTUDO DE CASO.....	63
5.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	63
5.2	PROCESSAMENTO PELO PESQUISADOR	65
5.2.1	Inclusão de objetivo e algoritmos.....	69
5.2.2	Ortorretificação e correção geométrica.....	71
5.3	PROCESSAMENTO PELO USUÁRIO	73
5.4	RESULTADOS FINAIS	80
6	CONCLUSÃO.....	89
6.1	TRABALHOS FUTUROS.....	90
7	ANEXOS.....	99

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

O interesse em Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA - do inglês, Remotely Piloted Aircraft), também conhecidas como Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) ou Unmanned Aerial Vehicle (UAV), ou ainda popularmente chamados de drones (zangão, em inglês), tem crescido ao redor do mundo. Os sistemas autônomos estão se tornando mais sofisticados e confiáveis e, em virtude da sua capacidade para assumir missões de alto risco e seu baixo custo em relação à aeronave tripulada, o uso de RPAs pode ser uma alternativa viável para diferentes segmentos, entre eles a agricultura de precisão (AP).

Uma das principais aplicações das RPA na AP é na obtenção de imagens aéreas para, por meio delas, obter dados que levem a compreensão da variabilidade espacial das culturas. Essa variabilidade pode indicar áreas afetadas por pragas ou com deficiência de nutrientes, entre outras características que interferem na produtividade das culturas.

Assim, para a obtenção das imagens de áreas agrícolas por RPAs deve-se levar em consideração vários aspectos, entre eles a finalidade das imagens, ou seja, que tipo de informação pretende-se obter das mesmas. Além disso, a obtenção das imagens consiste em uma das várias etapas para o efetivo uso dessa tecnologia na AP, visto que vários passos pré e pós captura da imagem precisam ser cuidadosamente seguidos para que se obtenha imagens das quais possa ser extraído conhecimento efetivamente útil do ponto de vista da aplicação agronômica.

As etapas para o uso de RPA compreendem desde a determinação do objetivo, até a captura, processamento e análise das imagens obtidas. As pesquisas relacionadas ao uso de RPA utilizam várias soluções de software nas diferentes etapas.

Assim, pesquisadores e agricultores precisam conviver com uma heterogeneidade de softwares para realizar seus experimentos e aplicações, sendo que a maioria dos softwares se restringe a geração dos dados de imagens, deixando uma lacuna em relação à análise dos mesmos.

Em relação à heterogeneidade de softwares, a integração entre eles normalmente ocorre de forma manual através de intervenção do usuário. Este deve aprender a manipular diversos pacotes de software e seus diferentes formatos de entrada e saída de dados, os quais podem ser incompatíveis, requerendo a realização de conversões. A interoperabilidade entre sistemas através da padronização da comunicação e processos envolvidos no uso de RPAs na AP é um desafio para os atores envolvidos no processo como: pesquisadores, agrônomos, agricultores, fornecedores de equipamentos, indústria, comunidade acadêmica, entre outros.

Existem diversas soluções no mercado visando atender a uma demanda tecnológica de uso de RPA na AP, porém, as soluções atuais não atendem todas as etapas do ciclo e/ou são soluções proprietárias que não permitem modificação, ou ainda, são apenas fabricantes de equipamentos de software/hardware que disponibilizam seus produtos no mercado.

O ciclo de uso de RPA na AP envolve desde conceito sobre o equipamento e sua configuração, passando por aspectos relacionados a resolução da imagem em função do tipo de informação a ser extraída da mesma, chegando até as diferentes técnicas de análise da imagem. Assim, é de se esperar que agrônomos e profissionais da área tenham dificuldade de executar de forma eficiente todas as etapas do processo, visto que ainda não existe um padrão já pré-definido sobre quais são as configurações ideais a serem adotadas. Isso estará variando em função de vários fatores, principalmente, o objetivo do estudo. Imagens para estimativa de produtividade terão características e forma de análise diferente do que seria tendo-se outro objetivo, como estudo de doença em plantas. Além disso, a parametrização de uma etapa depende das demais.

O aprendizado baseado em casos de sucesso do uso da tecnologia de RPA na AP poderão trazer um padrão a ser seguido, facilitando sua adoção. A medida que diferentes configurações de métodos e equipamentos são executadas para avaliar sua eficácia, elas são armazenadas como padrões em uma biblioteca de casos. As execuções futuras podem então se valer de casos

passados semelhantes afim de encontrar uma solução adequada para o novo problema.

Assim, o desenvolvimento de uma arquitetura que integre as diferentes etapas do ciclo de uso de RPA na AP, permitindo a integração de novos módulos de processamento de imagem e que permita a avaliação da adequação destes módulos em diferentes objetivos de uso da aplicação, utilizando os conceitos de raciocínio baseado em casos, pode ser uma solução apropriada para construção de sistemas RPA na AP.

1.2 Objetivos

O objetivo desse trabalho é propor uma arquitetura de software flexível que promova a integração das etapas de um sistema para uso de RPA para obtenção e análise de imagens em AP, utilizando o conceito de raciocínio baseado em casos para a geração de padrões de configuração de uso.

Associado ao objetivo central estão os seguintes objetivos:

- Fornecer elementos para apoiar e facilitar o desenvolvimento para incorporação de novos algoritmos de processamento de imagem e mineração de dados para implementação de novos objetivos ou ainda, aprimoramento de algoritmos já existentes para melhoria de resultados;
- Implementação de uma Inteligência Artificial (IA) utilizando Raciocínio Baseado em Casos (RBC), para otimizar os parâmetros de voo da RPA e determinação de melhor algoritmo de extração de resultado;
- Possibilitar o uso da ferramenta para dois tipos distintos de público: o primeiro alimentará a base de algoritmos de mineração e processamento de imagens para os mais diversos tipos de objetivo onde normalmente o público alvo se dá por pesquisadores, comunidade acadêmica ou empresas ligadas ao desenvolvimento de produtos na área agrícola; o segundo público usará os algoritmos desenvolvidos para obtenção de resultados, sendo considerado o público alvo, agrônomos, agricultores e empresas de prestação de serviços do ramo agrônomo.

Para atender esse objetivo, a arquitetura proposta especifica uma arquitetura de referência para sistemas de informação para agricultura de precisão para uso de UAV, a especificação da arquitetura se apoia nos estudos realizados no domínio da arquitetura de software e nos padrões para desenvolvimento de sistemas através da segregação de responsabilidade e desenvolvimento orientado a domínio.

1.3 Organização do trabalho

A seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre as aeronaves remotamente pilotadas e seu uso na agricultura de precisão, os fundamentos do sensoriamento remoto e do processamento digital de imagens. Apresenta ainda, os conceitos necessários para a adoção de métodos de raciocínio baseado em casos como um recurso para a manipulação do conhecimento para compreensão de todas as etapas e aspectos a serem considerados para a criação da arquitetura proposta neste trabalho.

A seção 3 apresenta os conceitos e tecnologias utilizadas para criação da arquitetura de software.

A seção 4 apresenta o fluxo do processamento da arquitetura proposta detalhando a integração das informações entre os fluxos de pesquisadores e usuários finais, e os pontos mais importantes das principais camadas que o software foi dividida.

A seção 5 apresenta o estudo de caso usado para validar a implementação das ideias deste trabalho. Os resultados dos experimentos do plano de voo, detecção de melhor algoritmos e processamento do voo.

A seção 6 apresenta a conclusões e trabalhos futuros.

Ao final, são apresentadas as referências bibliográficas e anexos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção apresenta uma revisão abrangente dos estudos da AP, sensoriamento remoto, o uso de RPA e o RBC. É feita a identificação das atuais tecnologias utilizadas, os principais problemas dos atuais sistemas de informação para agricultura de precisão e áreas correlatas e identificar os requisitos para entender os problemas do uso de veículos aéreos não tripulados na agricultura de precisão.

2.1 Agricultura de precisão

O termo agricultura de precisão surgiu em 1929, nos Estados Unidos, porém tornou-se mais conhecido na década de 80, devido aos avanços e a difusão dos sistemas de posicionamento geográfico, sistemas de informações geográficas, monitoramento de colheita e também a informática (MOLIN, 2013).

A AP possui várias formas de ser abordada, porém o objetivo é sempre o mesmo: utilizar estratégias para resolver os problemas da não uniformidade das lavouras e se possível tirar proveito dessas não uniformidades. São práticas desenvolvidas com diferentes níveis de complexidade e com diferentes objetivos (MOLIN, 2013).

Para melhor entender o emprego da AP a Figura 1 ilustra as relações das etapas da agricultura convencional disposta no círculo interno, comparando-a com as etapas da agricultura de precisão, dispostas no círculo externo.

O ciclo do uso da agricultura de precisão inicia-se normalmente pela colheita, através do mapa de produtividade onde podemos obter a variabilidade de produção em uma determinada área. Os dados necessários para geração deste mapa são obtidos normalmente pelas colhedoras, sendo estas, ligadas a um sistema de posicionamento global (GPS - do inglês *Global Positioning System*) marcando as informações de produtividade em um mapa georreferenciado. A análise do mapa de produtividade permite analisar os níveis de produtividade em determinada área e de fatores nutricionais e de limitações das características do solo.

Na etapa de fertilidade do solo, pode-se fazer o mapeamento georreferenciado de amostras do solo, identificando o teor de cada nutriente em seu respectivo ponto. A geração de um mapa de aplicação pode ser feita através da interpolação dos mapas de produtividade e teor de nutrientes no solo, permitindo correção localizada de nutrientes evitando o desperdício de fertilizantes.

A etapa de plantio, pode ser realizada a taxas variadas, isto é, variando a densidade de sementes por linhas e seu espaçamento de plantio. A nutrição correta da cultura permite a planta chegar ao estágio de maturação em condições de maximizar sua produção, aumentando a produtividade e consequentemente a rentabilidade da área.

O acompanhamento da lavoura através de mapas de aplicação gerados por sensores utilizando GPS, permite a redução dos custos de defensivos evitando a sobreposição de aplicação na cultura, diminuindo o desperdício.

Figura 1 - Ciclo da agricultura convencional e agricultura de precisão.



Fonte: ARGUS, 2014.

De acordo com uma série de trabalhos publicados identifica-se que as RPAs para AP podem ser utilizadas em diversas etapas do seu ciclo. Dos Santos et al. (2014) utilizaram uma RPA para estimar falhas em plantio de soja. Tanaka et al. (2013) empregaram RPAs na comparação do método manual e por processamento de imagens em falhas no plantio de cana de açúcar, enquanto que Jacintho et al. (2014) utilizaram RPA para geração de mapas do solo. Garcia-Ruiz et al. (2013) compararam os resultados de identificação de doenças em laranjeiras utilizando imagens de voos aéreos tradicionais com imagens obtidas através de RPAs. Também com o emprego de RPA, Zarco-Tejada et al. (2013) estimaram o nível de carotenoides em vinhas. O mesmo grupo de pesquisa, em outro trabalho (ZARCO-TEJADA et al., 2012) utilizou RPA para detecção de stress hídrico pomar de citros.

2.2 Sensoriamento remoto

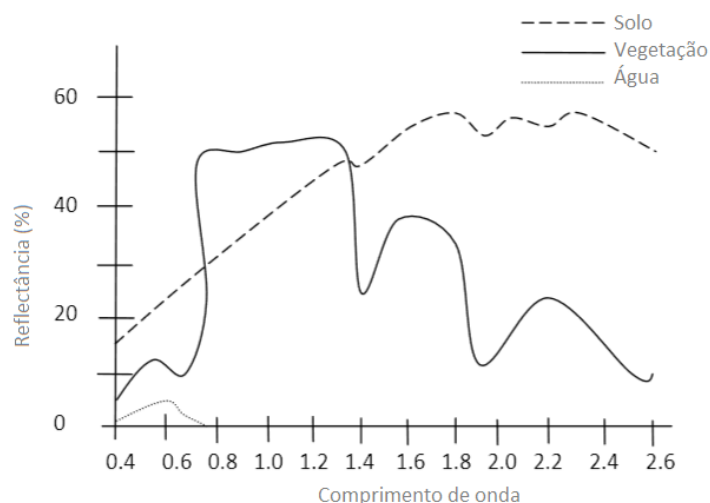
O termo sensoriamento remoto trata da aquisição de dados geoespaciais, ou seja, o processo de obtenção de imagens e dados da superfície terrestre. A obtenção de imagens é feita através do registro e captação da energia eletromagnética refletida pela superfície, sem que haja contato físico entre os sensores e o objeto (ESQUERDO et al., 2014).

Uma das medidas mais importantes para realizar a análise do objeto alvo é a refletância, definida como a razão entre a quantidade de energia radiante que deixa uma unidade de área no terreno (radiância) pela quantidade de energia incidente naquela área (irradiância), medida no mesmo instante de tempo. Como irradiância e radiância são densidades de fluxo, o valor dessa razão torna-se adimensional, sendo, portanto, expresso em porcentagem. Qualquer alvo no terreno poderá refletir uma porcentagem entre 0% e 100% da radiação nele incidente (MENEZES e ALMEIDA, 2012).

Alguns materiais refletem a luz incidente em determinados comprimentos de onda, enquanto outros absorvem a luz nos mesmos comprimentos. A Figura 2 mostra as curvas de refletância espectral típicas para três alvos básicos: vegetação saudável, solo exposto seco e água cristalina de um lago.

Segundo McWilliam et al. (2005) cada um dos alvos gera uma curva espectral que serve para distingui-lo e caracterizá-lo. Em geral, a configuração das curvas é um indicador do tipo e condição dos recursos a que se aplicam. Embora o coeficiente de reflexão das características individuais variará consideravelmente acima e abaixo da média, estas curvas demonstram alguns pontos fundamentais da refletancia espectral.

Figura 2 - Curvas espectrais em diferentes tipos de materiais.



Fonte: Menezes e Almeida, 2012

Os primeiros trabalhos sobre SR aplicado a agricultura surgiram por volta da década de 1950. (KOHN, 1951 *apud* DRAEGER e MCCLELLAND, 1977) utilizou fotografias aéreas para analisar áreas rurais. (COLWELL, 1955 *apud* DRAEGER e MCCLELLAND, 1977) utilizou fotografias aéreas para determinar a prevalência de doenças no cultivo de cereais. (MCCLELLAN et al. 1962 *apud* DRAEGER e MCCLELLAND, 1977) publicaram um estudo sobre a refletância espectral sobre as plantas (KANEMASU, 1974 *apud* DRAEGER e MCCLELLAND, 1977) utilizou o SR para identificar padrões de refletância na soja, sorgo e trigo.

Trabalhos recentes estão utilizando o SR para estimar valores nutricionais em plantas. Lee et al. (2010) apresentam uma revisão sobre o uso de tecnologias de sensores remotos na AP. Os trabalhos de Feng et al. (2014) e Sridhar et al. (2011) utilizam SR para identificar se as concentrações de metais pesados na superfície do solo interferem no desenvolvimento na cultura de soja.

O imageamento das áreas agrícolas pode ser feito com sensores que utilizam diferentes regiões do espectro, como o visível e o infravermelho próximo. Alguns sensores podem ser ditos multiespectrais ou hiperespectrais. Segundo Jorge (2014), se por um lado o sensor multiespectral é capaz de dividir o espectro eletromagnético em poucas bandas os sensores hiperespectrais são capazes de registrar centenas de bandas contínuas através de diversas dimensões do espectro permitindo assim gerar uma curva detalhada do comportamento espectral de um alvo.

2.3 Aeronaves remotamente pilotadas

Uma aeronave remotamente pilotada é definida como uma aeronave com capacidade de voo com certa autonomia, controlável remotamente e que opera sem tripulação humana. A ideia de uma aeronave sem piloto não é um conceito novo, remonta de 1849, onde austríacos utilizaram balões não tripulados carregados de explosivos para atacar Veneza (HARDGRAVE, 2014).

No Brasil, os primeiros relatos de RPAs ocorreram na década de 80, quando o Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) desenvolveu o projeto Acauã, que, segundo Oliveira (2005), tinha como objetivo principal o desenvolvimento de uma plataforma de ensaio visando a ampliação do nível de conhecimento da área de eletrônica (controle, telecomando e telemetria).

Existem diferentes tipos de RPA, sendo os principais: asa fixa, asa rotativa e multirotores:

- As RPAs de asa fixa possuem uma superfície rígida que gera a elevação e sustentação em voo da aeronave. Devido a essa asa rígida, estas têm maior capacidade de deslizamento natural e são mais tolerantes aos erros técnicos. As aeronaves de asa fixa também são capazes de transportar mais peso ou cobrir distâncias mais longas com menor custo de energia.
- As RPAs de asa rotativa têm em sua totalidade ou grande parte da sua elevação e sustentação gerada a partir de um sistema de asa rotativa, a qual contém apenas um rotor. A melhor capacidade deste tipo de aeronave é a sua capacidade de decolar

e pousar verticalmente, pairar e realizar manobras de giro em seu próprio eixo. Por outro lado, necessita de processos de manutenção e reparação mais complicados.

- As RPAs multirotores consistem em várias pás de rotor, que giram em torno de um mastro fixo. Estas RPAs podem conter 3 rotores (tricopter), 4 rotores (quadrotores), 6 rotores (hexacopters), 8 rotores (octocopters). As aeronaves multirotores têm as mesmas qualidades que RPAs de asa rotativa, mas são mais estáveis e mais fáceis de controlar. Isso possibilita o seu uso em missões onde é necessária uma maior precisão no voo. Pelo fato de possuir multirotores, costumam ter tempo de voo curto.

As Figuras 3 a 6, apresentam alguns modelos de RPAs disponíveis atualmente.

Figura 3 - RPA de asas fixas – Projeto ARARA



Fonte: Razi, 2008.

Figura 4 - Asa Voadora desenvolvida pela Elbit Systems



Fonte: Valavanis, 2007.

Figura 5 - Helicóptero Yamaha RMAX G1



Fonte: Razi, 2008.

Figura 6 - Hexacoptero.



Fonte: Garcia-Ruiz et al., 2013.

2.3.1 Imagens obtidas por RPA

As imagens sendo capturadas por RPAs podem ser de diferentes tipos, dependendo do sensor acoplado a RPA que está sendo utilizado. Entre os sensores, as câmeras digitais são as mais usadas atualmente, inclusive por apresentar um custo reduzido em relação a outros sensores. As principais câmeras em uso são:

- Câmeras RGB: conhecidas como câmeras digitais comuns assim como na fotografia tradicional. A imagem obtida é formada pelos canais vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*) que operam dentro do espectro visível do olho humano, compreendendo os comprimentos de onda entre 400nm e 700nm. D'Oleire-Oltmanns et al. (2012), utilizaram câmeras RGB para monitorar a erosão do solo ao invés do uso de satélites. Lucier et al. (2014) utilizaram câmeras RGB para análise e monitoramento do ecossistema de musgos da Antártica.
- Câmeras de infravermelho-próximo (NIR - do inglês *Near InfraRed*): câmeras capazes de obter imagens dentro do espectro de cor do infravermelho-próximo no comprimento de onda próximo a 850nm, NIR podendo fornecer detalhes adicionais que não podem obtidos câmeras de imagem espectro visível padrão ou são invisíveis a olho nu. Hunt et al. (2010) utilizaram uma câmera NIR modificada para monitorar campos de trigo.
- Câmeras termais: câmeras capazes de capturar a energia no infravermelho (o calor) emitidas pelos objetos. Tejada et al. (2011), utilizaram uma câmera micro-hiperespectral e termal para determinar a fluorescência, temperatura e banda estreita para determinar stress hídrico.
- Câmeras *Red-Edge*: atuam na faixa próxima a borda superior do espectro (700nm) da cor vermelha (*Red-Edge*). Essas câmeras conseguem detectar com maior precisão a clorofila nas faixas de 680 nm a 730 nm, onde ela tem a sua maior refletância. Delegido et al. (2013), utilizaram câmeras RedEdge para estimar o índice de área foliar.

- Câmeras Multiespectrais e Hiperespectrais: câmeras que capturam imagens em múltiplas faixas de comprimento de onda, podendo ter combinações entre espectros visíveis, infravermelho próximo, *Red-Edge*, entre outros. Tejada et al. (2013), utilizam câmeras hiperespectrais e termais para estimar o teor de carotenoides em folha de vinha.

Um ponto importante em relação a captura de imagens utilizando câmeras digitais em RPA é determinar seu GSD (*Ground Sample Distance*) – distância da amostra em relação ao chão. Em uma imagem com um GSD de 10 centímetros, cada pixel representa uma área de terreno de 10cm x 10cm. Para realizar o cálculo do GSD é necessário entender como a imagem é capturada pelo sensor, como elas devem ser obtidas pela RPA e suas possíveis correções necessárias.

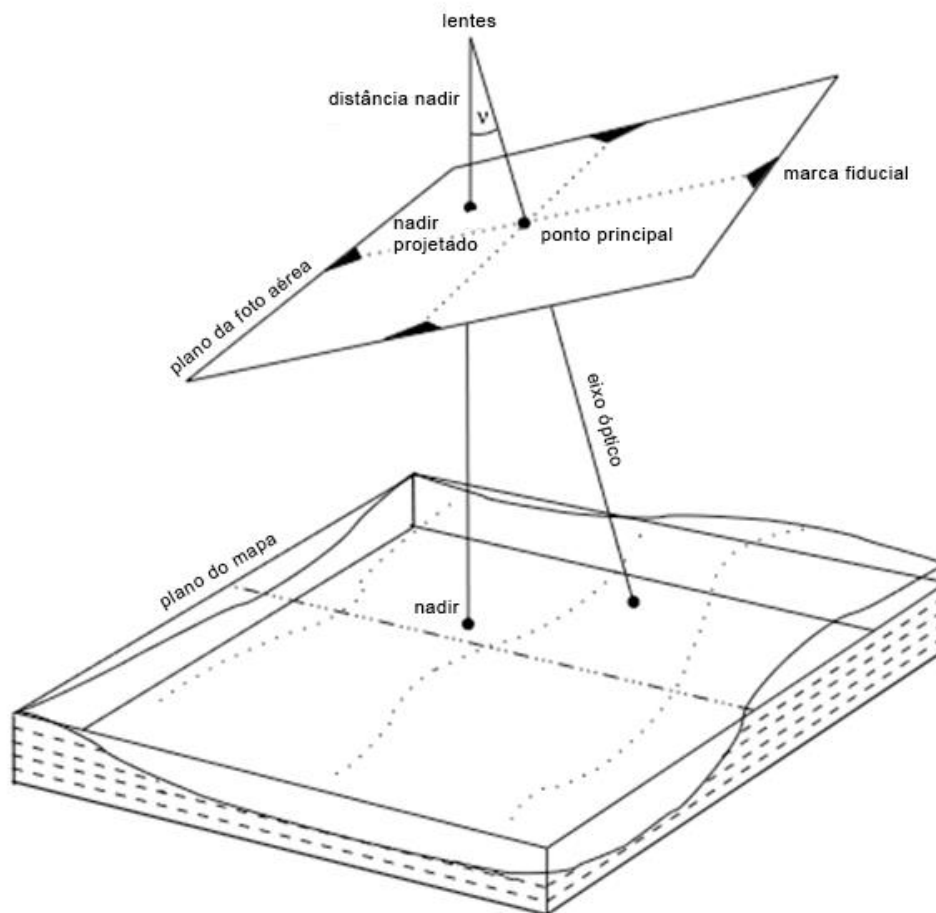
O plano focal de uma câmera aérea é o plano onde todos os raios incidentes provenientes do objeto estão focados. Com a introdução de câmaras digitais, o plano focal é ocupado pela matriz CCD (Charge Copled Device) ou CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor). Quando realiza a obtenção da imagem, todos os pixels do sensor são expostos simultaneamente, produzindo assim uma moldura digital (Figueiredo, 2005). A quantidade de pixels que o sensor consegue capturar em uma única imagem é chamada de resolução.

O tamanho da matriz CCD e distância focal da lente acoplada com a altitude de voo (acima do solo) determina a escala da imagem ou a resolução do solo da imagem. A resolução de uma câmera é medida em megapixels (MP), resultando da multiplicação do número de pixels por linha pelo número de colunas do sensor. Se a câmera tem um sensor com 4000 pixels de altura por 4000 pixels de largura, ela é considerada uma câmera de 16 MP (16.000.000 pixels).

As fotografias aéreas podem ser classificadas em verticais e oblíquas. As fotos verticais são tiradas verticalmente em relação ao aparelho. Uma foto obtida com inclinação de 0° é chamada de fotografia vertical verdadeira. Se a inclinação da foto for igual ou inferior a 3° em cada sentido, a imagem é

chamada de imagem verticalmente inclinada (Figura 7). Se a inclinação for superior a 3° , ela é considerada como uma imagem oblíqua. (NETELER E MITOSOVA, 2004).

Figura 7 - Terminologia da foto aérea.



Fonte: Adaptado de Neteler e Mitosova, 2004.

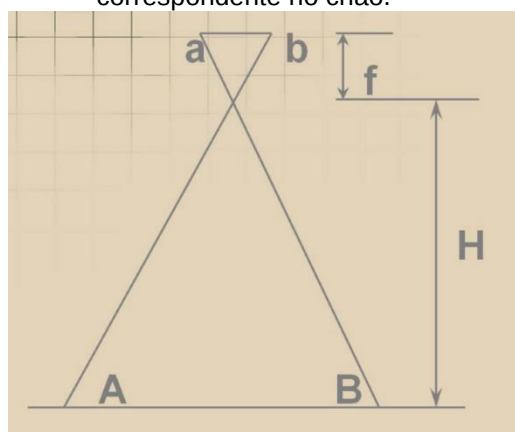
A Figura 8, ilustra a geometria de uma fotografia vertical tomada a partir do ponto de exposição L . Segundo Wolf et al. (2014), geometricamente, o plano positivo (a, b, c, d) está situado a uma distância ($L - o$) igual à distância focal, sendo o plano negativo (a', b', c', d') uma inversão da geometria dos objetos, também situada a uma distância focal ($L - o'$), este, do tamanho do sensor dentro da câmera. De acordo com a escolha da lente, a distância focal muda, variando assim a distância ($L - o$) e também a distância do plano negativo até o plano positivo.

Figura 8 - Geometria da fotografia: terreno plano.
Zr

Fonte: Adaptado de Wolf et al., 2014.

A dimensão de uma imagem é a proporção entre a distância da imagem projetada sobre a distância correspondente no chão. Na Figura 9, a distância no solo AB será projetada sobre a imagem na linha ab.

Figura 9 - Proporção entre a distância da imagem projetada sobre a distância correspondente no chão.



Fonte: Abdullah, 2016.

Portanto, a escala da imagem pode ser calculada usando a Equação 1 (ABDULLAH, 2016). É possível através de semelhança de triângulos obter a relação entre o tamanho do sensor (ab), o tamanho do terreno coberto pela foto (AB), a distância focal (f) e a altitude de voo (H').

$$S = \frac{ab}{AB} = \frac{f}{H'} \quad (1)$$

Abdullah (2016) observa que a escala de uma foto vertical é diretamente proporcional ao comprimento focal da câmera (distância da imagem) e inversamente proporcional à altura de voo acima do solo (distância objeto). Logo, uma câmera com sensor maior irá cobrir a mesma área em menor tempo ou mapear áreas maiores com o mesmo tempo que câmeras com sensores menores. O grande problema de se usar câmeras com sensores cada vez maiores é a elevação dos custos e do peso do equipamento.

Para uma câmera possa registrar as imagens em um menor tempo possível, é necessário obter o máximo possível de luz e convergir sobre um ponto de projeção. O uso de lentes auxilia na concentração da luz em um único ponto focal, porém gera distorções.

Existem duas principais distorções criadas pelo uso de lentes: distorção radial e distorção tangencial.

A distorção radial apresenta distorções visíveis localizadas nos pixels próximos a borda da imagem. O processo de calibração é gerado a partir de um modelo matemático para as distorções, estimando os parâmetros baseados nas relações das medições reais e das métricas extraídas da imagem capturada. O valor da distorção é 0 no centro da imagem e aumenta à medida que nos aproximamos da borda.

A documentação existente da biblioteca de manipulação de imagens OpenCV (OPENCV 2.8, 2014) sugere a utilização de um código automatizado para estimação dos parâmetros de distorções radiais. Este processo é utilizado apenas para descobrir os índices de correção que devem ser aplicados posteriormente a cada imagem. Uma vez que esses parâmetros sejam calculados, elas podem ser salvas para serem utilizados posteriormente para correção das imagens. Para maioria das imagens, usa-se os dois primeiros termos, que se convencionou a chamar de k_1 e k_2 . Para imagens altamente distorcidas, podemos utilizar um terceiro parâmetro, k_3 .

O modelo de calibração utilizado no OpenCV utiliza o modelo matemático para correção radial expresso nas equações 2 e 3.

$$x_{corrigido} = x(1 + k_1.r^2 + k_2.r^4 + k_3.r^6) \quad (2)$$

$$y_{corrigido} = y(1 + k_1.r^2 + k_2.r^4 + k_3.r^6) \quad (3)$$

Onde x e y correspondem a localização original do ponto distorcido e $x_{corrigido}$ e $y_{corrigido}$ correspondem ao novo local do resultado da correção.

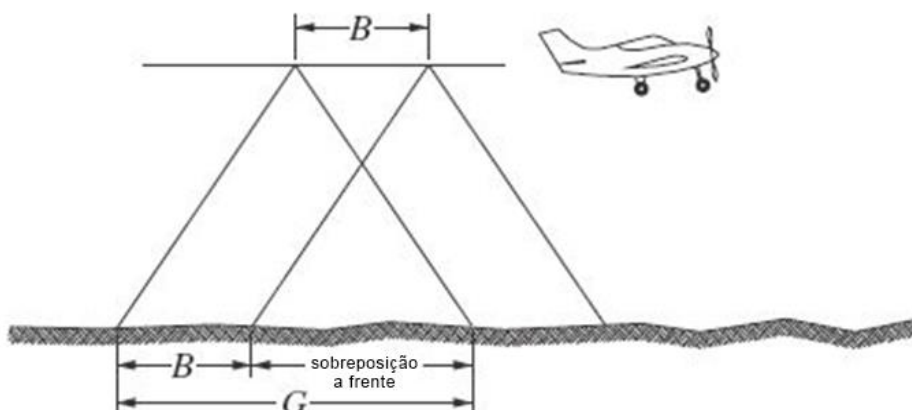
Para a maioria das rotinas de distorção utilizadas pelo OpenCV utiliza-se um vetor de distorção com os parâmetros k_1 , k_2 , p_1 , p_2 e k_3 se necessário. A matriz de distorção é dada pela Equação 6. Os coeficientes de distorção serão os mesmos independentemente das resoluções da câmera usada.

$$Distorção_{coeficientes} = |k_1 k_2 p_1 p_2 k_3| \quad (4)$$

Os voos para coleta das imagens são planejados para que se obtenha áreas com sobreposição, ou seja, a mesma área da superfície terrestre deverá ser captada em duas ou mais imagens distintas. Existem dois diferentes tipos de sobreposição: sobreposição a frente e sobreposição lateral.

A sobreposição à frente (*forward lap*), também chamada de (*end lap*), é o termo da fotogrametria para descrever a quantidade de sobreposição de imagem introduzida intencionalmente entre fotos sucessivas ao longo de uma linha de voo. O objetivo da sobreposição é permitir a visualização tridimensional e a restituição estereoscópica da imagem. A Figura 10 ilustra a captura de duas fotografias com sobreposição a frente. Os centros das duas fotografias estão separados pela distância B e cada fotografia cobre uma distância G no chão.

Figura 10 - Sobreposição a frente.

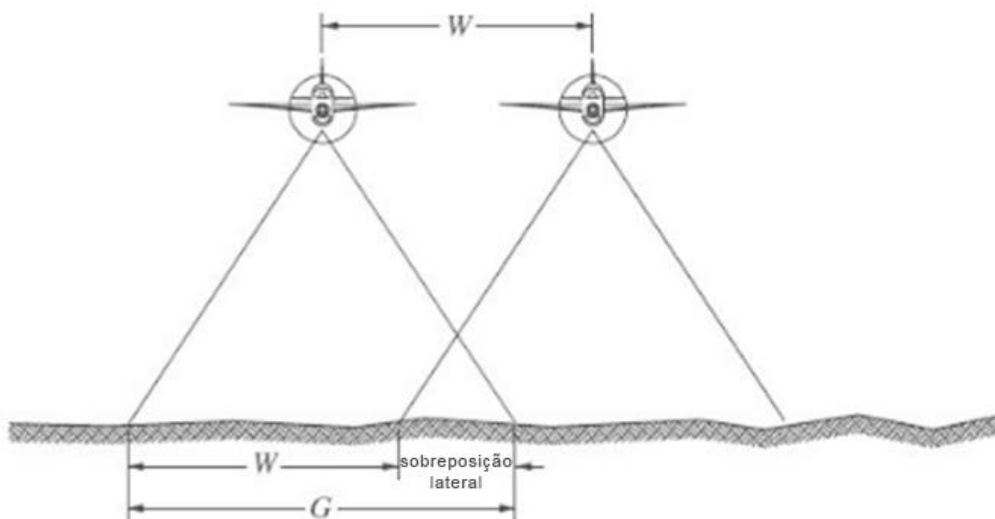


Fonte: Adaptado de Abdullah, 2016.

A sobreposição lateral (*lap side*) é o termo usado na fotogrametria para descrever a quantidade de sobreposição entre as linhas de voo adjacentes

(Figura 11). A distância entre as duas linhas de voo (W) é chamada de espaçamento de linha.

Figura 11 - Sobreposição lateral.



Fonte: Adaptado de Abdullah, 2016.

Os valores de sobreposição são medidos como uma porcentagem da cobertura total da imagem. Os valores típicos de sobreposição a frente e lateral para trabalhos fotogramétricos são de 30%. Para Abdullah (2016), os valores recomendados para sobreposição a frente e lateral são de 70% e 40% respectivamente, devido ao baixo peso das RPAs e consequentemente a forte influência do vento na dinâmica do voo.

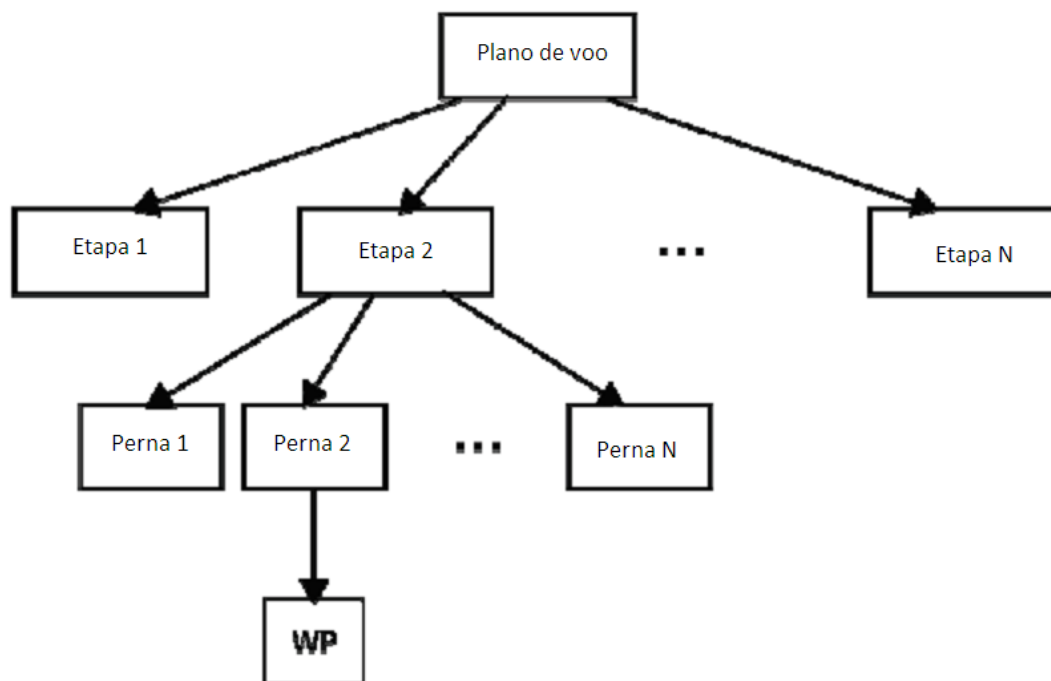
2.3.2 Plano de voo

Para cumprir o objetivo de voo de uma RPA é necessário traçar antecipadamente um plano de voo onde vários itens devem ser considerados: área a ser percorrida, pontos de interesse, diferenças de altitude do terreno, locais de decolagem e aterrissagem, razões de subida e descida, razões de ângulos de curvas, pontos de passagem, consumo/duração de combustível/baterias, e pesos máximos de decolagem.

Um plano de voo sugerido por Santamaria et al. (2007) segue uma estrutura hierárquica, sendo composto por estágios (etapas), pernas (*legs*) e pontos de passagem (*waypoint* - WP) (Figura 12). Os estágios constituem

blocos de construção de alto nível para a especificação do plano de voo, correspondendo as fases de voo que serão executadas sequencialmente.

Figura 12 - Estrutura básica do plano de voo.



Fonte: Adaptado de Santamaria et al., 2007.

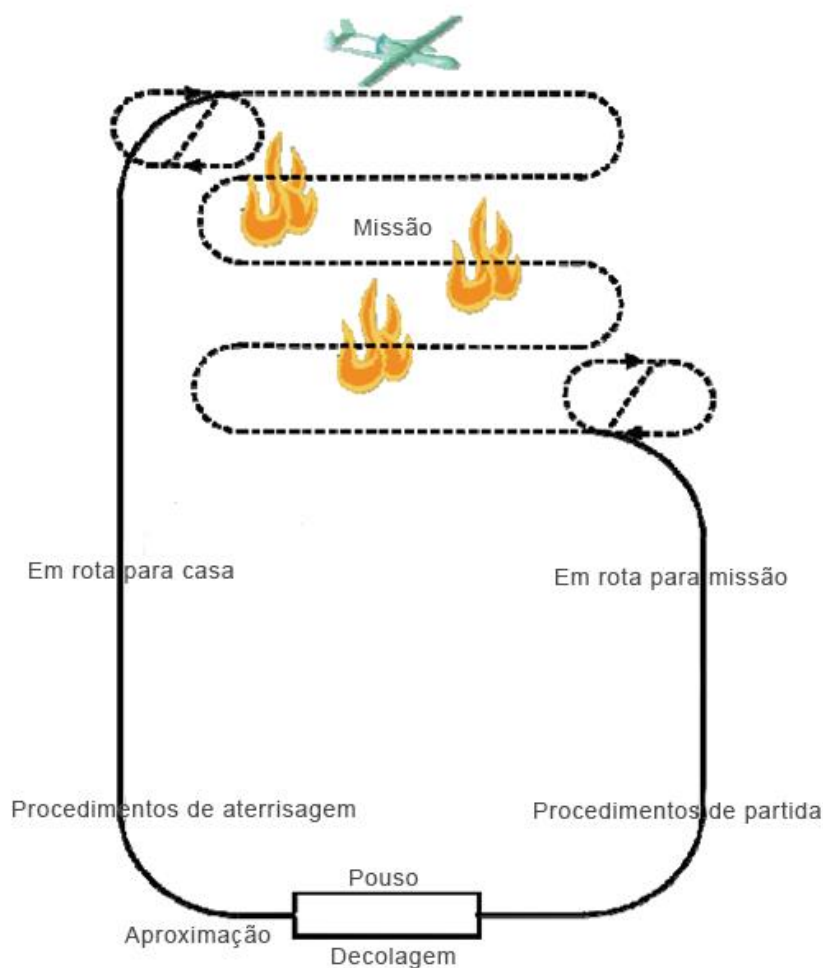
Segundo Abdullah (2014) *waypoint* é definido como um conjunto de coordenadas geográficas que identifica um ponto no espaço físico. Normalmente utilizado por profissionais de mapeamento, os quais utilizam um conjunto de coordenadas para localizar o ponto inicial e final de cada linha do voo. Estes pontos ainda contém as informações de altitude e velocidade.

As pernas (*legs*) especificam o caminho que o veículo deve seguir, a fim de chegar a um *waypoint* de destino a partir do *waypoint* anterior. As pernas que buscam um propósito comum são agrupadas em um mesmo estágio, e podem ser do tipo básicas (*Basic-Legs*) ou paramétricas (*Parametric-Legs*).

A Figura 13 mostra um plano de voo completo com todas as fases no âmbito de uma missão de combate a incêndios. O plano de voo começa com a decolagem (*Take-Off*). Uma vez que a aeronave estiver no ar ela irá executar um procedimento de partida (*Departure Procedure*), para ajustes de altura e velocidade. Após, ela irá encaminhar-se para o estágio de missão do voo (En

Route to Mission), neste caso, a área do incêndio florestal. Na chegada ao local, a missão (*Mission*) começará. Quando este estágio for concluído, a RPA irá encaminhar-se para a área de pouso (*Route to Landing*). Um procedimento de chegada (*Arrival Procedure*) será executado para verificações de aproximação (*Approch*) e por último, ocorre a etapa de aterrissagem (*Landing*).

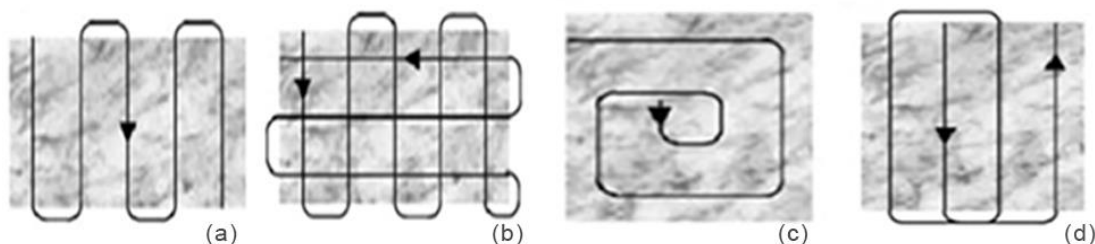
Figura 13 - Exemplo das etapas do plano de voo.



Fonte: Adaptado de Santamaria et al., 2007.

As pernas do tipo paramétricas oferecem flexibilidade ao sistema. Estas podem gerar diferentes conjuntos de waypoints em padrões repetitivos dependendo dos parâmetros de entrada como área, altitude ou velocidade. A Figura 14 demonstra padrões possíveis de serem gerados, sugeridos por Barbier (2004).

Figura 14 - Exemplo de padrões possíveis de serrem gerados no plano de voo: (a) uma passagem; (b) duas passagens, (c) centralizada, (d) pela linha mediana.



Fonte: Adaptado de Barbier, 2004.

A utilização de padrões paramétricos, além de automatizar e aumentar a eficácia de voos, pode fornecer ferramenta de validação e segurança do voo. Devido às novas regras e regulamentações ICA 100-40 (2015) da Força Área Brasileira (FAB) e da RBAC-E nº 94 (2015) da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), existem limites de altitude de voo e de proximidades em relação a aeroportos e áreas de segurança. Rotas próximas a estas áreas podem ser contornadas e suas altitudes máximas e mínimas corrigidas.

2.4 Processamento digital de imagem

A principal função do processamento digital de imagem (PDI) é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas (SILVA, 2001).

Segundo Gonzales e Woods (2008), o PDI é composto por diversas etapas que vão de sua aquisição da imagem até a sua interpretação. Para extração de dados das imagens obtidas por RPAs com finalidade agrícola, as etapas mais importantes são o pré-processamento e extração de características de cada pixel, a qual corresponde a resposta espectral do alvo.

Como cada pixel de uma imagem tem o registro da radiância do alvo medida por centenas de bandas, um detalhado espectro de refletância pode

ser obtido de cada pixel, por processamento. Menezes e Almeida (2012) exemplificam:

“Quando observamos nas imagens hiperespectrais uma área de solo exposto, devemos encontrar e mapear quais são os pixels que identificam a composição desse solo, o que pode ser em termos de sua composição mineral em porcentagem de hematita ou goethita, e não simplesmente se é uma classe de solo mais rica ou pobre em óxidos de ferro, que é o máximo possível do tipo de informação que se pode inferir com as imagens de sensores multiespectrais. No caso de uma rocha, teremos uma boa chance de descobrir os tipos de minerais dominantes na sua composição e assim termos uma informação mais precisa da litologia. Essa é uma mudança de paradigma. Deixamos de lado a "macro" identificação dos alvos com os sensores multiespectrais, para entrarmos na quantificação de observações de caráter mais microscópicos da matéria, presentes nos espectros de cada pixel. ”

2.5 Raciocínio baseado em casos

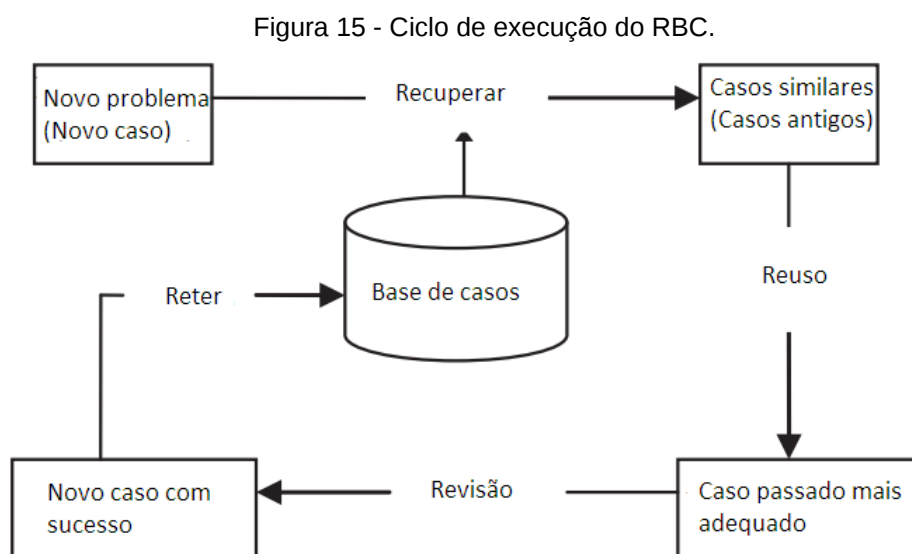
O conceito básico do raciocínio baseado em casos (RBC) é resolver um novo problema baseado em uma situação anterior similar e então reutilizar a informação e conhecimento daquela situação (VITORINO, 2009). RBC é um produto da ciência cognitiva e é uma imitação do mecanismo de resolução de problemas dos seres humanos (LI e SUN, 2011).

Vários pesquisadores têm buscado desenvolver sistemas de informação mais eficientes, baseados no conhecimento de casos de sucesso, Burgos-Artizzua et al. (2009) utilizaram RBC para determinar o melhor método de processamento digital de imagens para avaliação de infestação de plantas daninhas. Wen (2006) desenvolveu um sistema baseado em regras (RBR – do inglês Rule Based Reasoning) para a venda de produtos agrícolas de um e-commerce para análise financeira e previsão de venda para gerentes tomarem decisões sobre as vendas pela internet. Li e Sun (2011) utilizaram o RBC combinado com análise de componentes principais para melhorar a predição de insucesso de negócios na China.

Segundo Quo et al. (2011), um sistema RBC consiste de quatro partes: (i) a recuperação de casos passados semelhantes a partir da biblioteca de

casos, (ii) a reutilização dos casos do passado afim de encontrar uma solução adequada para o novo problema, (iii) a revisão da solução proposta, e (iv) o arquivamento da nova solução, retendo-a na base de casos existente.

Todos os casos, bem ou malsucedidos são armazenados em uma biblioteca de casos, permitindo que situações similares sejam resolvidas de forma imediata. O ciclo de execução do RBC é ilustrado na Figura 15.



Fonte: Adaptado de Guo et al., 2011.

Segundo Vitorino (2009) e Han e Kamber (2006), a qualidade de um sistema RBC depende do número de casos relevantes que fazem parte da biblioteca de casos, sendo que sua precisão e eficiência evoluem a medida que a biblioteca de casos aumenta.

Mesmo tendo inúmeros casos similares em uma base de casos, um dos problemas é sua qualidade de recuperação. A experiência tem demonstrado que a aquisição de casos para o uso do RBC pode ser uma tarefa quase tão complexa quanto a construção de modelos, devido ao número de casos e variabilidades necessárias para constituir uma base de dados confiável. Porém, o RBC é dinâmico e adquire novos casos com tempo. Com isso, RBC apresenta a capacidade de aprender e melhorar o seu desempenho à medida que há a aquisição de novos casos.

Vários algoritmos de classificação e predição são baseados em seu método de recuperação ou no peso de um determinado recurso. Existem vários métodos conhecidos para recuperação dos casos. Entre os mais comuns, estão as árvores de decisão (AD) e as redes neurais artificiais (RNA).

2.5.1 Árvore de decisão

Árvore de decisão é uma estrutura de tipo árvore, onde cada nó não folha representa uma regra do teste e cada folha um atributo de valor. O nó mais alto da árvore é denominado nó raiz. A construção da árvore de decisão não requer conhecimento do domínio ou configuração dos parâmetros. A aprendizagem das árvores de decisão é simples e rápida, e em geral a classificação possui uma boa acurácia.

Alguns dos algoritmos de árvore de decisão são J48 (QUILAN, 1998), PART (FRANK e WITTEN, 1998) e *DecisionTables* (KOHAVI, 1995).

O algoritmo J48 é a implementação em Java do algoritmo C4.5, o qual é uma extensão do algoritmo de classificação ID3 com melhorias, sendo um dos mais clássicos algoritmos de árvore de decisão. A criação do modelo é gerada através do processamento de cada instância da base de conhecimento. Cada instância testada é classificada de acordo com a classe a que pertence. Ao final desta classificação o modelo de regras é gerado.

O algoritmo *DecisionTable* é expresso em forma de tabelas de decisão, esta é uma matriz que representa as condições e ações.

Segundo Souza (2000) as condições, são um conjunto de informações utilizadas para tomar as decisões. As ações são as operações que deverão ser executadas após a realização das combinações de condições e somente podem ser realizadas caso uma condição seja satisfeita.

O resultado das ações executadas através das regras criadas é denominado regras de decisão (BORGES, 2005).

2.5.2 Rede Neural Artificial

Algoritmos de rede neural artificial (RNA) originaram-se no estudo da psicologia e da neurobiologia utilizando computadores para simular os neurônios do cérebro. Basicamente, uma rede neural é um conjunto conectado de entradas e

saídas, onde cada conexão pode possuir um peso associado a ela. As RNAs são técnicas computacionais inspiradas na estrutura neural de organismos que adquirem o conhecimento através da experiência, ou seja, capaz de reconhecer padrões e de aprender por meio de casos de exemplo passados. As redes neurais possuem alta capacidade de aprendizado para diferentes formas de entrada sendo capazes de resolver problemas complexos em diversas áreas do conhecimento (BRAGA et al.,2007)

Dentre as topologias de RNA estão as redes *Perceptrons* de Múltiplas Camadas (MLP – do inglês *Multilayer Perceptron*), onde cada camada está organizada em ordem e os neurônios de uma camada estimulam somente os neurônios da camada seguinte.

3 TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO: CONCEITOS E PADRÕES

Esta seção apresenta conceitos, padrões e tecnologias da informação usadas na proposta deste trabalho, com especial ênfase a arquitetura de software. Neste estudo houve uma preocupação de se criar uma arquitetura que possa evoluir no sentido de atender múltiplas interfaces clientes, facilitar a implementação de novos conceitos nos domínios da aplicação, e manter a facilidade de integração de novos objetivos de processamento de imagem.

3.1 Arquitetura de software

A maioria das definições de arquitetura de software indica que ela esta relacionada à estrutura e ao comportamento, às decisões significativas, a um estilo arquitetural e é influenciada por seus interessados e seu ambiente. Bass et al. (2003) definem arquitetura de software como a estrutura ou estruturas do sistema, que compreendem elementos de software, as propriedades externamente visíveis de tais elementos, e as relações entre eles. Fowler (2003) a define brevemente como o conceito de mais alto nível de um sistema.

Existem diferentes padrões de arquitetura de software, entre eles o sistema em camadas, o qual é organizado hierarquicamente, onde cada camada fornece serviços para a camada acima e usa serviços da camada abaixo (GARLAN e SHAW, 1993). Sistemas baseados em camadas permitem aumento dos níveis de abstração, reutilização e ainda reduzem o acoplamento, pois podem esconder as camadas internas das outras, com exceção da camada adjacente (FOWLER, 2003) e desse modo, melhoram a reusabilidade.

Algumas abordagens da arquitetura podem levar ao desenvolvimento de aplicações de difícil manutenção e mudança. Assim é necessário garantir que a evolução da aplicação seja o mais simples possível. Para isso, foram aplicados os padrões de Segregação de Responsabilidade de Consulta e Comando (CQRS – do inglês *Command and Query Responsibility Segregation*) e de Projeto Orientado a Domínio (DDD - Domain-Driven Design). Tanto DDD como CQRS são retrabalhos da arquitetura multi-camadas clássica para maior interoperabilidade e de fácil manutenção.

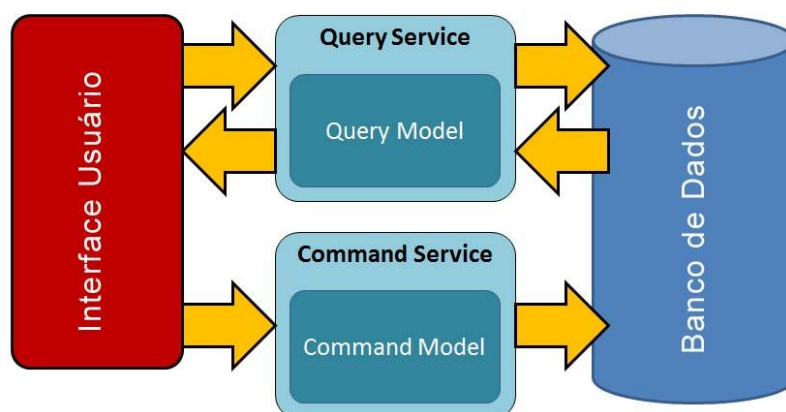
3.1.1 CQRS

O padrão de arquitetura denominado Segregação de Responsabilidade de Consulta e Comando (CQRS – do inglês *Command and Query Responsibility Segregation*) é um termo ambíguo e pode se referir a um estilo arquitetônico, padrão ou padrão de design. A mudança que o CQRS introduz é dividir um modelo conceitual em modelos; segregação de responsabilidade para realização de consulta e execução de comandos e terceirização de eventos (*Event Source*) através de um barramento de controle. Segundo Young (2010), CQRS é a criação de dois objetos onde antes havia apenas um. A separação tem por base a determinação de um método como um *command* ou *query*. Este padrão é caracterizado pela separação dos papéis e responsabilidades no sistema, de modo a que se torne muito consistente no final.

Muitas aplicações são, baseadas no fornecimento de métodos de criação, leitura, atualização ou exclusão de registros, conhecidos na área tecnológica como métodos CRUD (*Create Read Update Delete*). Porém, a medida que a necessidade do sistema se torna mais complexa, e se necessita gerar informações de registros através da combinação de informações de diferentes lugares, demandando que múltiplas representações da mesma informação sejam criadas para cada uma das diferentes requisições pode tornar o CQRS uma alternativa viável. Ainda, é direcionado para suportar um grande número de usuários e possibilita que o sistema possa crescer sem grandes complexidades e sem deteriorar a sua arquitetura.

A Figura 16 exemplifica o exemplo de comunicação do padrão CRQS. Toda comunicação é realizada através de mensagens, cada modelo tem a sua própria base de dados e não responde diretamente a base de dados de outro modelo.

Figura 16 - Representação da arquitetura CQRS.



Em termos gerais as vantagens da aplicação do padrão CQRS são:

- Permite dividir as operações de leitura e escrita, criando dois modelos distintos, cada um tendo as suas próprias características;
- Aumenta a facilidade de gestão de aplicações de alta performance, visto que ao separar as leituras das escritas permite separar a carga de trabalho e o escalonamento de forma separada;
- Possibilita a aplicação em apenas uma parte do sistema, visto que um sistema pode ter vários contextos e cada uma delas tem o seu próprio modelo (FOWLER, 2011);
- Utiliza otimizações apropriadas para as operações, podendo utilizar técnicas diferentes para *command* e *query*. Utilizando por exemplo cacheamento das informações para *query* e filas balanceadas para o processamento de comandos;
- Facilita a divisão dos métodos da arquitetura CRUD para CQRS, permitindo que seja feito em diferentes fases.

A adoção e disponibilidade de publicações sobre o CQRS ainda é insipiente, Korkmaz e Nilsson (2014) realizaram uma série de entrevistas com 7 pessoas para entender quais seriam os desafios da adoção destes conceitos. Concluíram que a adoção do CQRS poderia ser realizada em eventuais consultas e que é um conceito que pode facilitar a colaboração e divisão de trabalho. Rajković et al. (2013), utilizaram CQRS para avaliar a melhoria de

performance em uma aplicação médica, onde o tempo de resposta foi melhorando em torno de 40%.

A terceirização de eventos do CQRS está intimamente relacionada com a abordagem de Domain-Driven Design (DDD). A abordagem, descrita pela primeira vez por (EVANS e FLOWER, 2003), oferece técnicas para modelagem e utilização de domínios complexos.

3.1.2 DDD

A modelagem consiste em criar modelos para explicar características e comportamentos de um sistema para representar uma simplificação da realidade. Os modelos criados durante a modelagem ajudam o projetista a visualizar melhor o sistema, permitindo a especificação da estrutura ou do comportamento desse sistema, além de proporcionar um guia para o seu desenvolvimento e documentar as decisões tomadas (BOOCH et al., 2001).

O Model-Driven Architecture (MDA) e Domain-Driven Design (DDD) (EVANS e FLOWER, 2003), são abordagens de desenvolvimento dirigidas por modelos, que os utiliza em diversos níveis de abstração partindo de um modelo conceitual. A utilização desses padrões contribui para criação de softwares independentes da plataforma, com maior interoperabilidade e de fácil manutenção, já que os modelos criados podem ser alterados, ter novas funcionalidades adicionadas e serem recombinaados (MELLOR et al., 2005).

O DDD se baseia em refatorações e processos iterativos, uma vez que é difícil produzir um modelo de domínio perfeito desde o início. O modelo deve evoluir junto com o software e compreensão da equipe sobre domínio (ÖQVIST, 2011).

No DDD a linguagem de comunicação deve expressar o negócio em comunicação falada, em documentos, no próprio código, ou seja, em todo lugar (“ubíqua”). Utilizando a Linguagem Ubíqua cria-se um modelo de domínio através do Projeto Dirigido pelo Modelo (Model Driven Design – MDD). A ideia por trás de MDD é a de que o seu modelo abstrato deve ser uma representação perfeita do seu domínio. Tudo que existe na problemática envolvida deve aparecer no modelo e vice-versa.

A necessidade de terminologia padronizada muitas vezes é negligenciada na literatura. No entanto, é uma questão de importância crítica para uma série de razões. Segundo (SZYKMAN et al., 2000) essas razões envolvem a ambiguidade ao nível de modelagem, a singularidade a nível de conceito, e o desenvolvimento de uma terminologia padronizada.

Evans e Flower (2003) propuseram uma divisão do DDD em N-camadas, criando uma camada de domínio. Essa arquitetura propõe isolar o domínio de qualquer outra camada, já que o próprio domínio já será suficientemente complexo para também ter que lidar com outras questões da arquitetura do software. A modelagem do domínio se restringe a camada de domínio utilizando alguns padrões propostos em DDD os quais são chamados de blocos de construção. Esses blocos serão utilizados para representar o modelo abstrato e podem ser:

- Entidades – São as classes que necessitam de uma identidade global no domínio ou no contexto, no caso de um domínio com mais de um contexto;
- Objetos de Valores – Não possuem nenhuma identidade, apenas carregam valores;
- Raiz de Agregação – Serve para manter a integridade do modelo, sendo composta de Entidades ou Objetos de Valores que são encapsulados numa única classe. Quando alguma entidade quiser manipular dados de uma das classes que compõem a Raiz de Agregação, essa manipulação só poderá ser feita através da raiz;
- Fábricas – São classes-serviços responsáveis pela criação das Raízes de Agregação. Em casos em que a Raiz de Agregação é relativamente complexa e não se deseja colocar a lógica de criação dos objetos nas classes que a compõem, pode-se extrair então as regras de criação para uma classe externa: a fábrica; segundo Papajorgji e Pardalos (2013) a utilização de fábricas é uma boa prática de modelagem para tornar o processo de criação de objetos localizados, ou seja, se for preciso mudar a maneira de como os objetos são criados, essas mudanças ocorrerão em apenas um lugar no código;

- Serviços – São classes que fornecem alguns métodos necessários à aplicação, mas que não pertencem a nenhuma Entidade ou Objeto de Valor. Toda chamada a um mesmo serviço, dada uma mesma pré-condição, deve retornar sempre o mesmo resultado;
- Repositórios – Os repositórios de dados são classes responsáveis por administrar o ciclo de vida (operações de criação, alteração e remoção de objetos) dos outros objetos, normalmente Entidades, Objetos de Valor e Agregados;
- Módulos – São abstrações que têm por objetivos agrupar classes por um determinado conceito do domínio. A maioria das linguagens de programação oferece suporte a módulos (pacotes em Java, namespaces em .NET ou módulos em Ruby).

Assim, como a maioria das arquiteturas de camada, para que ela seja efetiva, as camadas devem seguir algumas premissas: estar completamente desassociada uma da outra se comunicando sempre através de interfaces, e a camada inferior nunca deve disparar operações na camada superior.

4 ARQUITETURA DE SOFTWARE PARA USO DE RPA NA AP

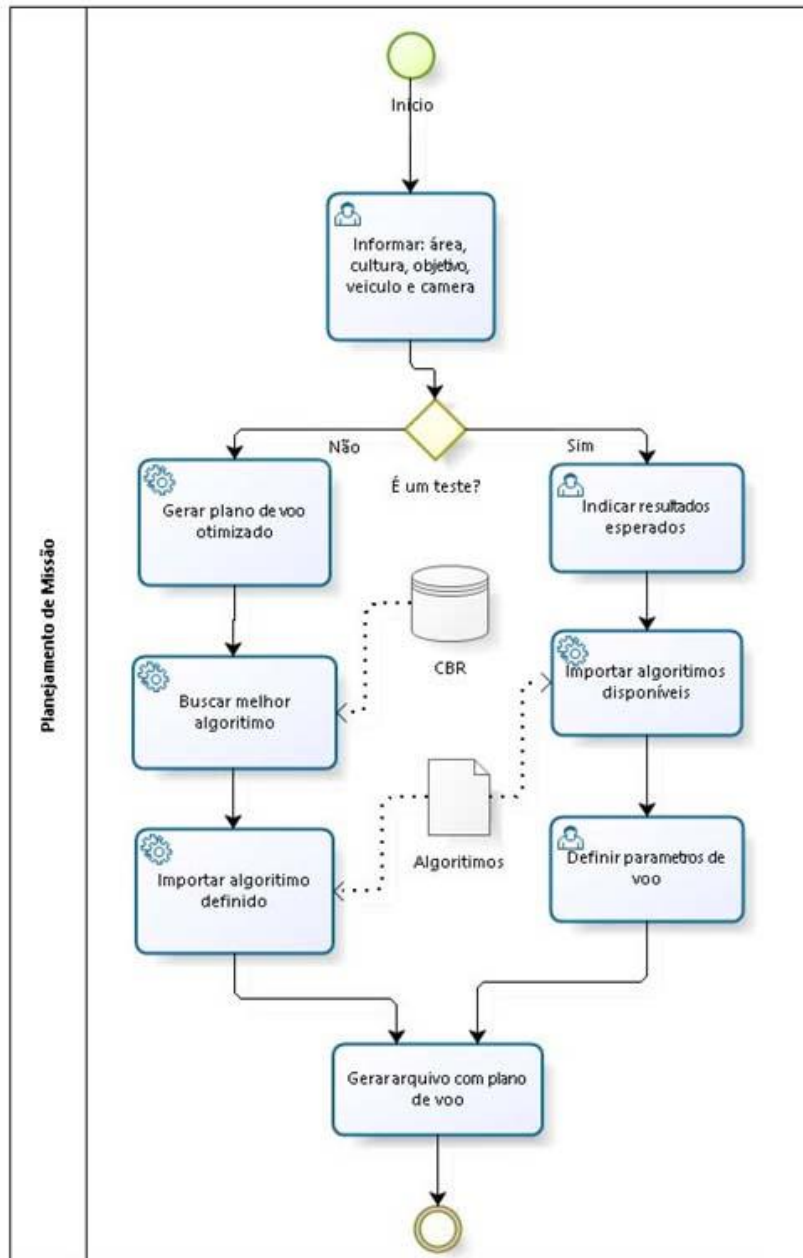
Esta seção apresenta a arquitetura proposta neste trabalho, a qual está baseada em padrões CQRS e DDD, e faz o uso da metodologia de raciocínio baseado em casos para evolução dos métodos de processamento e obtenção de melhores resultados. A implementação do RBC está apresentada na seção 4.2, que trata da camada de domínios.

4.1 Escopo da arquitetura – fluxo do sistema e funcionalidades

Este trabalho propõe uma arquitetura de software para integração e automação de etapas para: (i) criação e gerenciamento da missão de veículos aéreos não tripulados, (ii) extração e visualização de resultados, e (iii) implementação do aprendizado contínuo através dos resultados obtidos de missões passadas

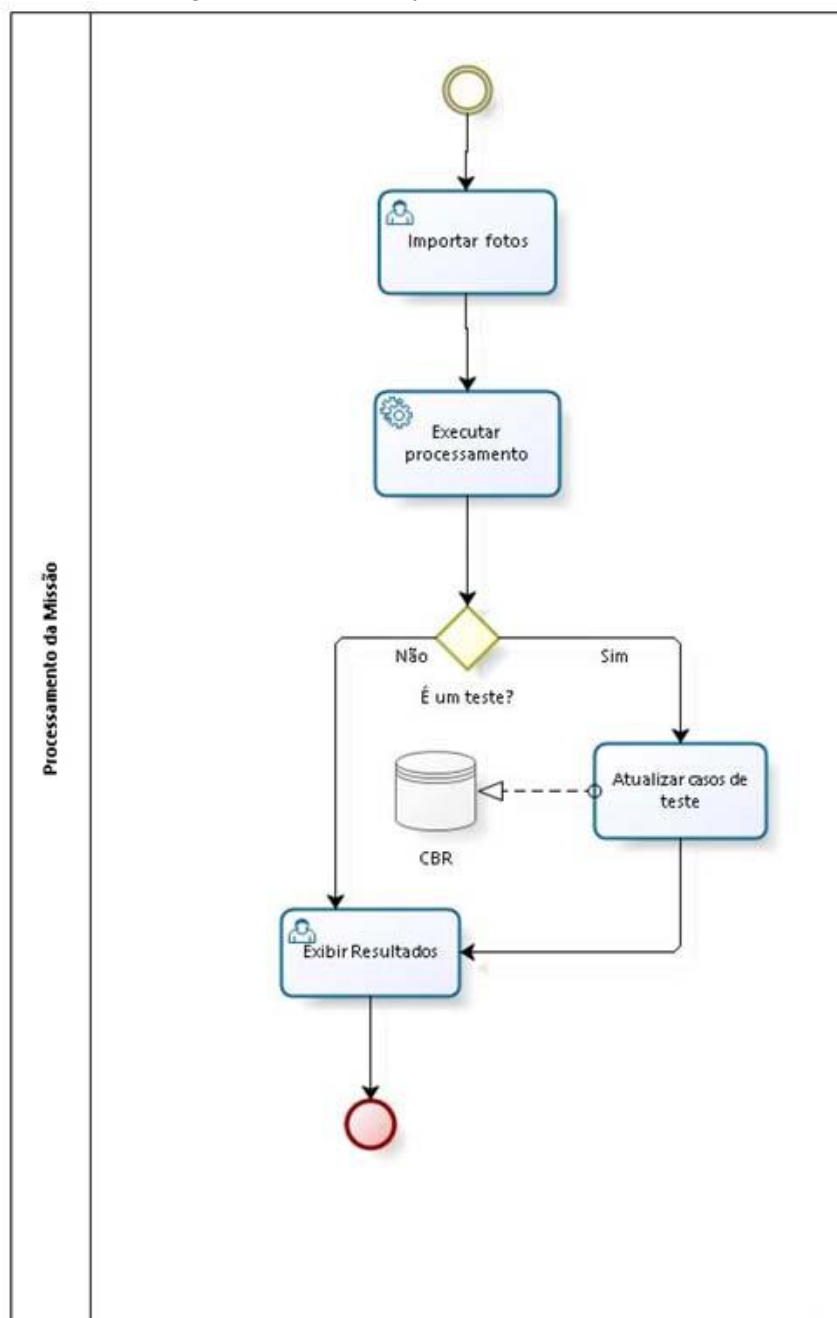
A arquitetura proposta, armazenando os dados em uma mesma base de dados permite que o software seja utilizado sob dois diferentes enfoques; pelo usuário final (agrônomo, por exemplo) e pelo pesquisador da área de uso de RPAs na agricultura. A integração destes atores, proporciona ao usuário final novos objetivos para coleta de informações e novos algoritmos de processamento de imagem à medida que pesquisadores evoluem em suas pesquisas. Essa evolução irá gerar umas novas parametrizações de uso, baseadas no aprendizado por RBC, as quais facilitam para o usuário final o uso tanto do RPAs como do software desenvolvido neste trabalho. As Figuras 17 e 18 apresentam, respectivamente, os fluxos de planejamento e de processamento da missão, os quais são detalhados nas seções 4.2 e 4.3.

Figura 17 - Fluxo de planejamento de missão.



O fluxo de processamento da missão, inicia quando o RPA retorna da missão e suas imagens e arquivos de configuração de voo são importados para aplicação.

Figura 18 - Fluxo de processamento de missão.



O usuário final pode utilizar o software aqui proposto para diferentes objetivos agrícolas, como cálculo de índice de vegetação (IV), estimativa de produtividade, percentual de área afetada por determinada doença, entre outros.

4.2 Módulo pesquisador

A utilização do software pelo pesquisador tem por objetivo avaliar a resposta de diferentes tipos de algoritmos de extração de informações das imagens combinadas com diferentes parâmetros do plano de voo, para objetivos específicos. A comparação do resultado obtido pelos algoritmos com o resultado esperado, este já conhecido pelos pesquisadores, gera um erro relativo, o qual é armazenado na base de conhecimento da arquitetura juntamente com os parâmetros e algoritmos utilizados.

Todo algoritmo de processamento existente no sistema é relacionado a um objetivo específico. Novos algoritmos de processamento podem ser desenvolvidos para criação de novos objetivos, ou ainda, novas técnicas de extração e classificação de informações podem ser desenvolvidas para otimizar os resultados para objetivos já existentes. A implementação de novos algoritmos pode ser feita por qualquer pesquisador, exclusivamente através da implementação da interface *ImageProcessing* detalhada na Figura 32 apresentada na seção 4.4.2. Essa interface fornece um contrato para criação de objetos concretos, permitindo que seus métodos sejam públicos enquanto a sua implementação e manipulação das informações continuam sendo privadas. (MURAKAMI, 2006).

A avaliação do processamento dos algoritmos disponíveis no sistema acontece por meio da criação de uma missão. Esta quando utilizada pelo pesquisador é composta por: objetivo, área a ser analisada, cultura, aeronave e câmera utilizadas e o resultado esperado expresso em representação numérica, como por exemplo o valor 0,75 para estimativa do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI – do inglês Normalized Difference Vegetation Index).

Tanto para cada aeronave como para cada câmera, existe um conjunto de parâmetros específicos de configuração que podem ser alterados e/ou selecionados de acordo com o objetivo da missão.

Quando uma missão é iniciada o sistema importa automaticamente todos os algoritmos que tem o mesmo objetivo do algoritmo selecionado pelo

pesquisador, afim de compará-los ao resultado esperado no final do processamento. Em seguida, um plano de voo padrão é gerado para a área selecionada, o qual pode ter seus parâmetros, como altitude, sobreposição a frente e lateral das imagens, alterados para que se possa avaliar o comportamento dos algoritmos em diferentes situações de voo.

Após, um arquivo contendo o plano de voo é gerado e deve ser enviado a RPA para realização da missão em campo. A integração entre o plano de voo gerado e a RPA ocorre de 2 formas: por um link de conexão wireless entre o software e a aeronave, ou através do envio de um arquivo contendo os pontos da rota.

Uma vez que a missão em campo tenha sido concluída, o pesquisador deve importar as imagens capturadas pela câmera da RPA e dar prosseguimento ao processamento da missão. Esse processamento envolve a correção geométrica e a ortorretificação das imagens, gerando o mosaico correspondente a área sobrevoada na missão.

De um mosaico pode-se realizar recorte da área a ser analisada quando se deseja extrair dados apenas de um segmento de interesse da imagem. Isso normalmente ocorre, pois, o voo idealmente cobre além da área de interesse, para que a mesma esteja o mais próximo possível do centro do mosaico, evitando distorções de imagem nessa área, as quais podem interferir nos resultados. O recorte da área que será analisada pelos algoritmos de processamento de extração de dados da imagem, atualmente é feito de forma manual. Porém, é possível que a tarefa de separação automática da área delimitada no início da missão seja incorporada em versões futuras do software.

Após delimitada a área de interesse, os algoritmos de processamento são executados através do padrão de arquitetura *reflection*. Segundo Bradley e Millsbaugh (2010) *reflection* é o processo de descobrir a estrutura interna dos objetos como: metadados, módulos e tipos de um aplicativo sem acessar o código-fonte. A implementação da execução dos algoritmos de processamento através deste processo, possibilita aos pesquisadores o desenvolvimento de

novos objetivos e novas técnicas de extração de dados sem a necessidade de conhecer ou ter acesso a arquitetura da aplicação, concentrando-se apenas no objetivo de seu processamento.

O resultado da execução dos algoritmos é comparado ao resultado esperado informado no início da missão. A diferença entre ambos gera o erro relativo do processamento, o qual é armazenado na base de conhecimento junto com todas as informações da missão.

Por exemplo, se o objetivo é estimar NDVI, o resultado gerado pelo algoritmo será o NDVI médio da área. Esse resultado é então comparado ao resultado esperado informado no início da missão. A diferença entre ambos gera o erro relativo do processamento, o qual é armazenado na base de conhecimento junto com todas as informações da missão. Finalmente, os resultados são apresentados de forma gráfica ao pesquisador.

4.3 Módulo usuário final

A utilização do software pelo usuário final segue a maioria dos passos já descritos na utilização do software pelo pesquisador. Ao iniciar uma missão o usuário final deve especificar o objetivo, a área a ser analisada, a cultura, e a aeronave e câmera a serem utilizadas. Como o resultado ainda não é conhecido este não deve ser especificado.

Utilizando a área informada e os parâmetros da RPA de velocidade de voo, razão de subida e duração da bateria, o sistema faz simulações de planos de voos, variando a altitude e ângulos de voo em relação ao terreno, selecionando o plano de voo que possua menor tempo total. Em seguida o software busca o algoritmo que possuir melhores resultados baseados em testes passados. Isso é feito por meio de um motor de inferência que atua de forma regressiva, levando em consideração a combinação de parâmetros e resultados de missões dos testes de pesquisadores sobre um determinado objetivo. Por meio de resultados existentes na base de conhecimento, o motor de inferência tenta chegar a uma conclusão que pareça ser mais adequada para os parâmetros do voo e objetivo, neste caso, qual algoritmo utilizar.

O algoritmo com maior percentual de assertividade é incorporado a missão do usuário. Com os parâmetros de voo e o algoritmo definido, o usuário gera o arquivo do plano de voo, para obtenção das imagens pelo RPA. Após o retorno das imagens, é realizado o processamento e extração de dados das mesmas.

O resultado da missão processada pelo algoritmo escolhido não atualiza a base de conhecimento, apenas expressa para o usuário, em forma numérica e em forma de mapa, o resultado do processamento da missão.

4.4 Camadas da arquitetura proposta

4.4.1 Camada de serviços de aplicação

A camada de serviço de aplicação atua como um middleware (uma camada intermediária) entre a camada de apresentação e as diversas fontes de informação, em nosso caso, os domínios e seus serviços. O serviço de aplicação implementado neste trabalho fornece uma infraestrutura de conectividade baseada no padrão CQRS.

Conforme já mencionado no item 3.1.1, o padrão CQRS deve ser dividido em duas partes: O padrão *command*, e o padrão *query*.

Para a implementação do padrão *command* (Figura 19), foi criada a classe *RequestResponseFactory*, responsável por identificar os tipos de entrada e a saída das mensagens, encontrar uma ação com os parâmetros de entrada e saída que foram passados e executar tal ação.

Figura 19 - Classe RequestResponseFactory.

```

public class RequestResponseFactory : IRequestResponseFactory
{
    private readonly Dictionary<Type, Type> _requestHandlerTypes;

    0 references
    public RequestResponseFactory()
    {
        _requestHandlerTypes =
            typeof(RequestResponseFactory).Assembly.GetTypes()
                .Where(t => !t.IsAbstract)
                .Select(t => new
                {
                    HandlerType = t,
                    RequestType = GetHandledRequestType(t)
                })
                .Where(x => x.RequestType != null)
                .ToDictionary(
                    x => x.RequestType,
                    x => x.HandlerType
                );
    }

    1 reference
    private static Type GetHandledRequestType(Type type)
    {
        var handlerInterface = type.GetInterfaces()
            .FirstOrDefault(i =>
                i.IsGenericType &&
                i.GetGenericTypeDefinition() == typeof(IRequestHandler<, >));

        return handlerInterface == null ? null : handlerInterface.GetGenericArguments()[0];
    }

    23 references
    public TResponse ProcessRequest<TRequest, TResponse>(TRequest request) where TRequest : IRequestData<TResponse>
    {
        if (!_requestHandlerTypes.ContainsKey(typeof(TRequest)))
            throw new ApplicationException("No handler registered for type: " + typeof(TRequest).FullName);
        var handlerType = _requestHandlerTypes[typeof(TRequest)];
        var handler = ObjectFactory.GetInstance(handlerType);
        var concreto = (IRequestHandler<TRequest, TResponse>)handler;
        return concreto.ProcessRequest(request);
    }
}

```

No padrão CQRS, cada comando está associado unicamente a uma ação, para isso, deve-se criar um *handler* específico, ou seja, uma classe com parâmetros de entrada e saída que satisfaçam a uma determinada requisição.

Como exemplo, a Figura 20 demonstra a implementação do comando de criar ou editar a parametrização de uma câmera. Nota-se explicitamente a declaração dos tipos de entrada e saída *CameraCreateEditRequest* e *CameraCreateEditResponse* para o *handler*. A tipagem dos parâmetros de entrada e saída, além de descrever o *handler* para a fábrica de interpretação de comandos, também faz o papel de DTO (*Data Transfer Object*), não expondo as entidades de domínio e lógicas de negócio para as camadas de apresentação.

Figura 20 - Implementação de handler.

```
public class CameraCreateEditHandler : IRequestHandler<CameraCreateEditRequest, CameraCreateEditResponse>
{
    private ICameraRepository _cameraRepository;
    private IUnitOfWork _unitOfWork;
    0 references
    public CameraCreateEditHandler(IUnitOfWork unitOfWork, ICameraRepository cameraRepository) [...]
    15 references
    public CameraCreateEditResponse ProcessRequest(CameraCreateEditRequest request) [...]
}
```

O padrão *query* é encapsulado em cada projeção de dados implementa pela *interface Iquery*. As projeções são representações, também conhecidas como visões (*Views*) dos dados em uma determinada estrutura. Ela pode conter os campos de uma ou mais entidades do sistema, campos novos de tipo simples ou calculados, ou ainda representar os dados em uma nova estrutura. Além de prover acesso aos dados, as projeções também encapsulam os critérios de uma consulta, disponibilizando recursos de filtros e ordenação da projeção. A implementação do padrão CQRS *query* é demonstrada na Figura 21.

Figura 21 - Utilização do padrão query.

```
//Command
var factory = ObjectFactory.GetInstance<IRequestResponseFactory>();
var farmRequest = new FarmCreateEditRequest { Nome = "UEPG farm", Cidade = "Ponta grossa" };
var farmResponse = factory.ProcessRequest<FarmCreateEditRequest, FarmCreateEditResponse>(farmRequest);
System.Console.WriteLine(farmResponse.Success);

//Query
var myQuery = ObjectFactory.GetInstance<IFarmQuery>();
var farms1 = myQuery.Executar();

var query = new SearchQuery<FarmProjection>();
query.AddFilter(f => f.Nome == "Some farm");
query.Take = 2;
query.Skip = 2;

query.AddSortCriteria(new ExpressionSortCriteria<FarmProjection, string>
    (x => x.Nome,
     SortDirection.Ascending));

var farms2 = myQuery.Executar(query);
```

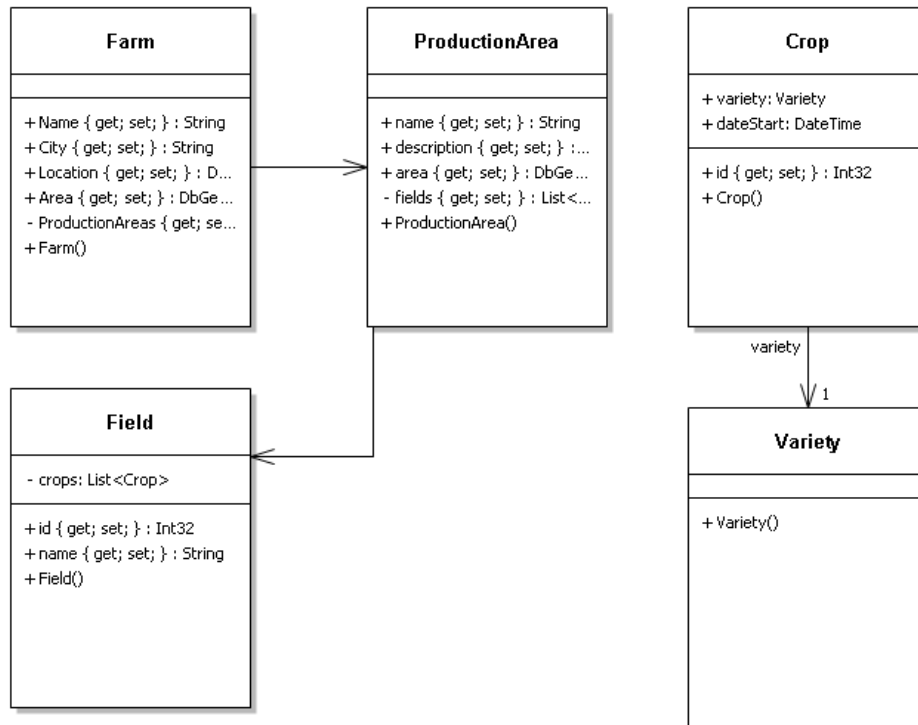
4.4.2 Camada de domínio

A camada de domínio tem por objetivo implementar o conhecimento e encapsular a lógica de negócios relevante para o domínio através de classes ignorando completamente os detalhes de persistência de dados.

Os principais objetos relacionadas a “agricultura” são: *Farm*, *ProductionArea* e *Fields*, para definição de áreas objetivo para missão, e *Crop*

e *Variety*, para designação da cultura. A Figura 22 mostra suas relações implementadas:

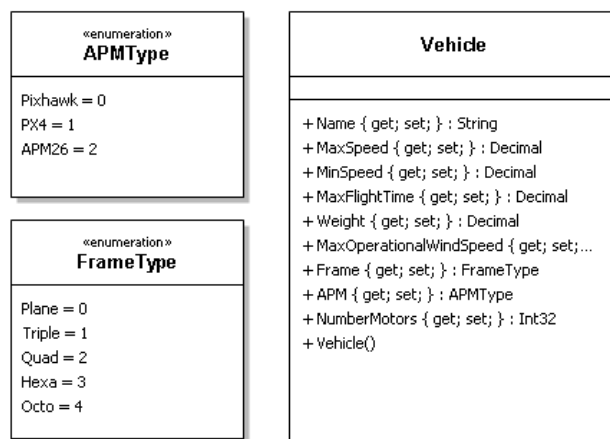
Figura 22 - Classes Farm, ProductionArea, Fields, Crop e Variety.



Os objetos relacionados a “RPA” estão os objetos *Vehicle*, *FrameType* e *APMType*, utilizadas para especificar a composição de uma RPA.

Do ponto de vista da aplicação, o usuário deve ser capaz de especificar uma RPA em relação as suas características, as quais podem impactar diretamente na geração e execução do plano de voo. Por exemplo, uma RPA que possui uma estrutura de asa fixa (*Plane*), não conseguiria ficar planando em um determinado local, tendo que permanecer em movimento para manter sua sustentação, ao contrário de estruturas com asas rotativas. A Figura 23 mostra as classes e seus atributos relacionadas as “RPA”.

Figura 23 - Classes Vehicle, FrameType e APMType.



Para a criação concreta de um objeto do tipo *Vehicle*, foi criada a fábrica *UAVFactory*, um serviço para para criação de objetos correlatos ou dependentes, sem a necessidade de especificar todos os objetos na classe concreta. Porém, a implementação da fábrica *UAVFactory*, por si só, não impõe qualquer restrição à criação de RPAs, contudo, essa liberdade nem sempre é desejável. Em alguns países há regras definidas em relação ao peso máximo do veículo, em outros, a distância máxima de operação. O conjunto de regras oriundas de especialista inseridas no software constituem uma parte importante do domínio. Tais limitações são importantes para garantir a integridade da geração do plano de voo e regulamentações da área. Qualquer combinação entre essas regras inseridas no sistema é possível, de modo que cada regra restringe um pouco mais a fábrica de RPAs, tornando-a menos genérica.

Segundo Evans e Fowler (2003), a utilização do padrão *Specification* para especificação de regras é a solução ideal para esse tipo de abordagem. Considera-se especificação um predicado que determina se um objeto satisfaz ou não um critério específico. Seu uso é aconselhado nas situações em que as regras de negócio não se enquadram na responsabilidade de nenhuma entidade ou objeto de valor.

Para especificar as regras de tipo de de montagem da aeronave (*Frame*), peso máximo de decolagem e número de rotores, foram implementadas as classes *UAVFrameTypeValidation*, *UAVWeigthValidation*, *UAVMotorsNumbersValidation*, respectivamente.

A especificação baseada em um limite máximo de peso foi implementada pela classe (*UAVWeightValidation*) afim de atender a regulamentação do país em relação ao peso máximo que a aeronave pode ter (Figura 24). Consequentemente, dada uma nova aeronave candidata criada pela fábrica, a especificação é satisfeita se, e somente se, o peso desta aeronave não ultrapassar o limite estabelecido.

Figura 24 - Implementação do objeto UAVWeightValidation.

```
1reference
public class UAVWeightValidation : BaseValidationService
{
    Vehicle _UAV;
    int _maxWeight;
    0references
    public UAVWeightValidation(Vehicle UAV, int maxWeight)
    {
        _UAV = UAV;
        _maxWeight = maxWeight;
    }

    0references
    public override BaseException Validate()
    {
        if (_UAV.Weight > _maxWeight)
        {
            return new WeightMaxException();
        }
        return null;
    }
}
```

As Figuras 25 e 26 demonstram a implementação da fábrica *UAVFactory* e o diagrama de classes gerados, respectivamente.

Figura 25 - Implementação da fábrica UAVFactory.

```
public Vehicle Factory(string Name, int NumberOfMotors, decimal Weight, FrameType frameType, APMTYPE APM)
{
    var vehicle = new Vehicle() { APM = APM,
        Frame = frameType,
        Weight = Weight,
        NumberMotors = NumberOfMotors
    };

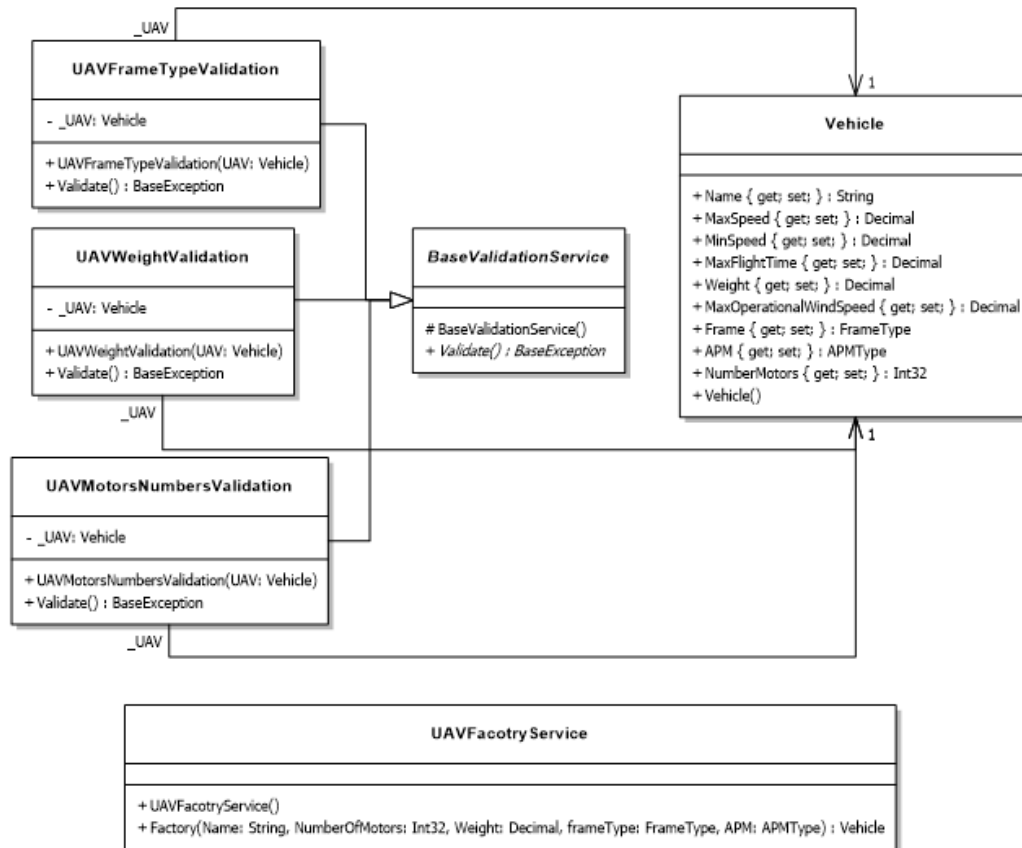
    BaseException resultadoDaValidacao = new UAVFrameTypeValidation(vehicle).Validate();
    if (resultadoDaValidacao != null)
        throw resultadoDaValidacao;

    resultadoDaValidacao = new UAVWeightValidation(vehicle).Validate();
    if (resultadoDaValidacao != null)
        throw resultadoDaValidacao;

    resultadoDaValidacao = new UAVMotorsNumbersValidation(vehicle).Validate();
    if (resultadoDaValidacao != null)
        throw resultadoDaValidacao;

    return vehicle;
}
```

Figura 26 - Diagrama de classes da implementação da fábrica UAVFactory.



Para implementação do plano de voo, foram criados os seguintes objetos: *FlightPlan*, *LegType*, *Leg*, *Stage*, *ParametricLegsServices*, *ParametricAreaType*, *ParametricTypePoints* (Figura 27) e as especificações dos tipos de estágios (*InitialFix*, *DepartureProcedure*, *RouteToMission*, *Mission*, *RouteToLanding*, *Approching*, *Landing*) a partir da classe *Stage*. (Figura 28). O plano de voo (*FlightPlan*) é composto por uma lista de estágios (*Stages*). Estes estágios do voo são compostos por uma ou mais pernas (*Legs*), sendo limitadas aos tipos pré-definidos no objeto de valor *LegType*. O conjunto destas classes compõe o plano de voo. A geração automatizada de planos de voo, para uma determinada área é realizada no serviço *ParametricLegsServices*. O método *GenerateFromArea* utiliza a implementação de geração do plano de voo do software *Mission Planner* (2014), esta, gera as linhas de voo utilizando a área e aeronave informadas e características do voo como altitude, velocidade e direção inicial.

Figura 27 - Entidades FlightPlan, Mission, Leg, Stage, TakeOff, Approach, Landing, LegType.

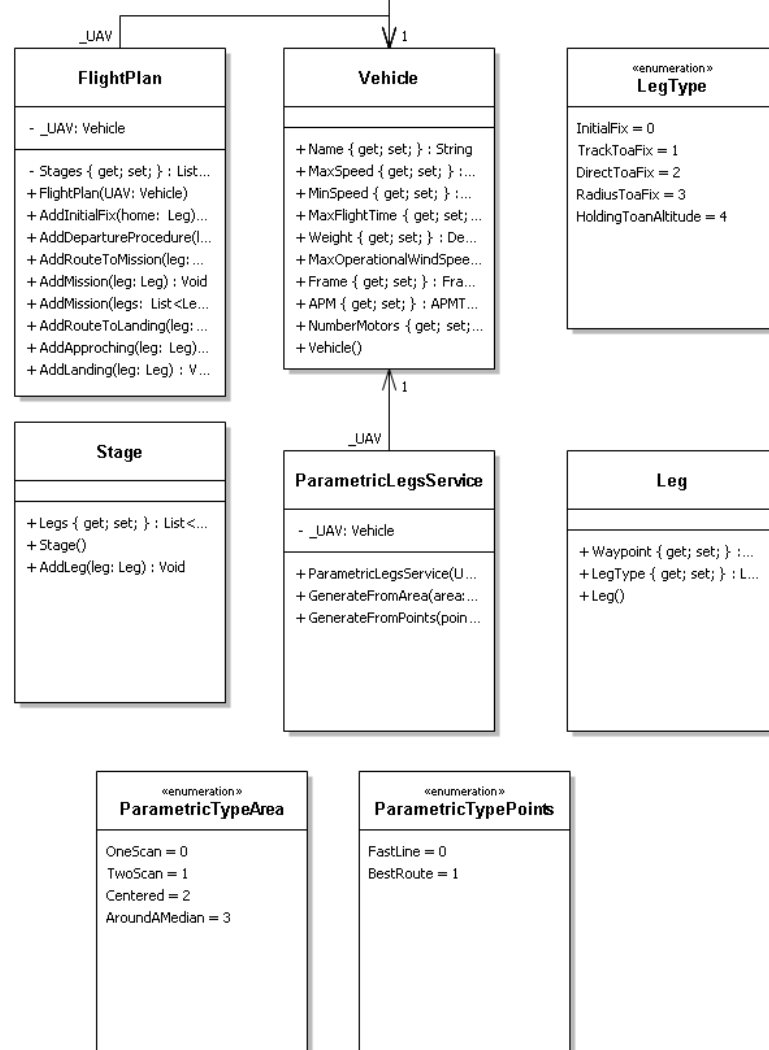
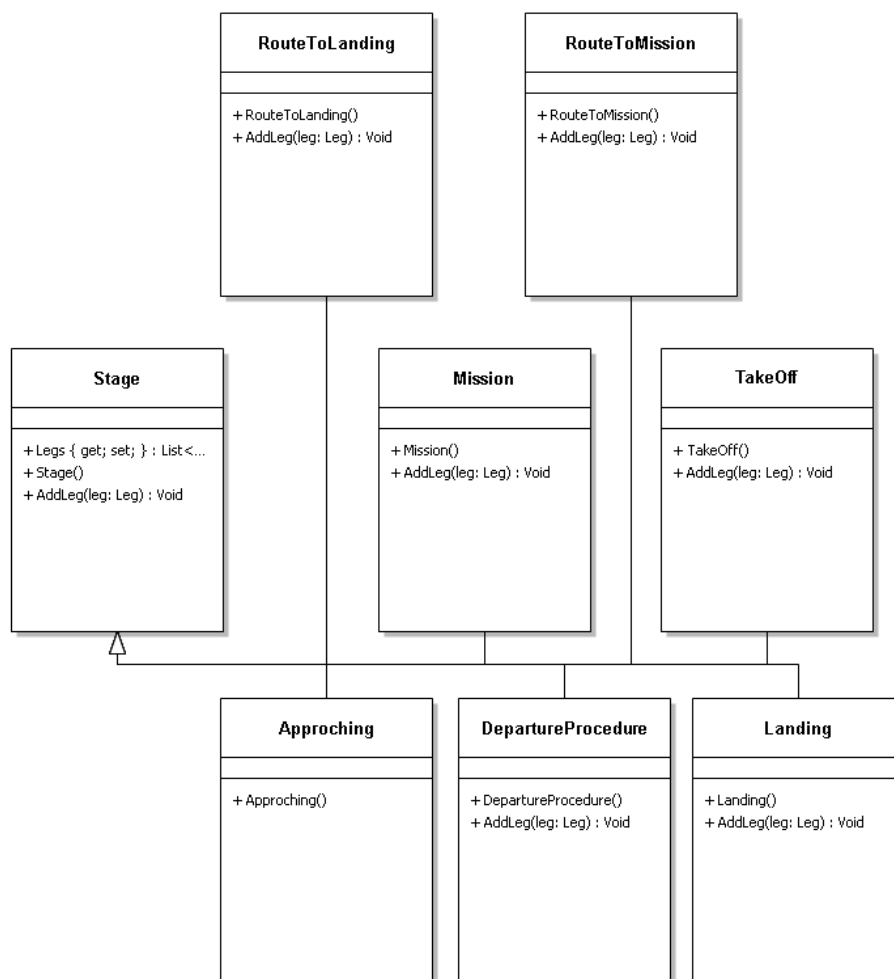
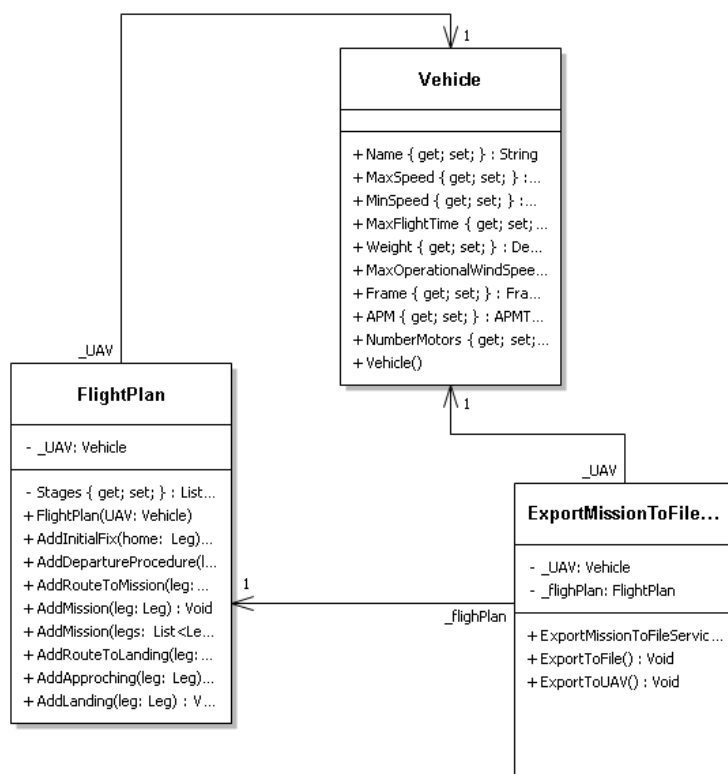


Figura 28 - Implementação tipos de legs pertencentes a LegTypes.



Para a criação do arquivo de exportação do plano de voo foi criado o serviço *ExportMissionToFileService* (Figura 29), o qual recebe um *Vehicle* e um *FlighPlan* como parâmetros de entrada. A saída do serviço *ExportToFile* é a geração do arquivo físico contendo os comandos da RPA e seus pontos de controle necessários para realização da missão.

Figura 29 - Implementação do serviço ExportMissionToFileService.



Quando o usuário final ou especialista inicia uma nova missão, o objeto *Mission* é criado contendo a área, seu status (*MissionStatus*), a aeronave, a câmera e o plano de voo. Esta classe será utilizada durante todas as fases (*MissionStatus*) do fluxo de processamento (*Configuring*, *ImageAquisition*, *ImageProcessing*, *Finished*, *Canceled*). Quando o pesquisador inicia uma missão de testes, a propriedade *IsTeste* deve ser sinalizada. A sinalização positiva desta propriedade identifica que o resultado obtido pelo pesquisador será usado como base de conhecimento. O controle das fases se faz necessário para determinar em qual parte do fluxo o processamento se encontra, evitando a repetição de etapas anteriores, e liberando funcionalidades futuras do fluxo.

O processo de ortorretificação é executado de forma externa pela aplicação Pix4DMapper (2016), por meio de uma chamada encapsulada na classe *OrthorectificationProcess*. Os algoritmos definidos a serem utilizados durante a missão são processados através da classe *ProcessResult*. Como já mencionado na seção 4.1, o processamento dos algoritmos ocorre através de chamadas utilizando *reflection*. O uso de *reflection* possibilita a inclusão de

novos algoritmos para processamento de imagem por um pesquisador sem a necessidade de modificações na aplicação. A implementação destes novos algoritmos pode ser feita a partir da criação de bibliotecas de classes em um novo projeto, utilizando a *interface IImageProcessing*. A Figura 30 demonstra as classes criadas e a interface *IImageProcessing* com seus métodos é descrita conforme a Figura 31.

Figura 30 - Entidades Mission, MissionStatus OrthorectificationProcess e ProcessResult.

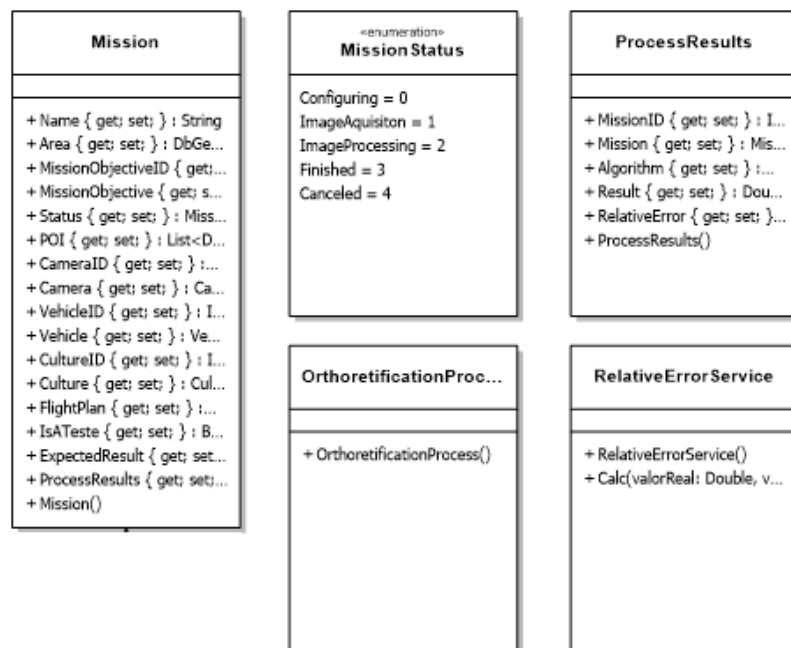


Figura 31 - Interface IImageProcessing.

```

6 references
public interface IImageProcessing
{
    3 references
    string MissionObjectiveName { get; }
    6 references
    string AlgorithmName { get; }
    3 references
    bool Processing(int id);
}
  
```

A implementação do método “*MissionObjectiveName*” deve retornar o objetivo deste algoritmo. O valor descrito neste método deve existir na lista de *MissionObjective* do sistema. Esse vínculo irá identificar corretamente os algoritmos de processamento de imagem criados pelos pesquisadores que pertencem ao mesmo objetivo de missão. A implementação do método

“*AlgorithmName*” deve retornar seu nome usual, normalmente o mesmo nome do *assembly* (parte de código pré-compilado que pode ser executado pelo ambiente em tempo de execução .NET). A implementação do processamento é realizada no método “*Processing*”, o qual será executado pela aplicação para extração de informações da imagem. A Figura 32 demonstra um exemplo de implementação.

Figura 32 - Implementação de algoritmo de processamento.

```
public class Process : IImageProcessing
{
    ImageResultHelper processHelper = new ImageResultHelper();
    3 references
    public string MissionObjectiveName
    {
        get { return "NDVI"; }
    }
    6 references
    public string AlgorithmName
    {
        get { return "NVDINotStandardizedBlueChannel"; }
    }
    3 references
    public bool Processing(int id)
    {
        try
        {
            string imagePath = processHelper.ImageAreaAnalysisPath(id);
            decimal resultValue = 0

            /*=====
             * Here your logic for processing ...
             * You can import other classes or packages
             * like OpenCV, R, Weka, any other.
             *===== */

            processHelper.SaveResult(id, AlgorithmName, resultValue);
            return true;
        }
        catch (Exception ex)
        {
            return false;
        }
    }
}
```

Para representação dos casos utilizou-se da estratégia de atributo-valor. Um exemplo de representação do modelo de caso é apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 - Exemplo de representação do modelo de caso com a estratégia atributo-valor.

Atributo	Valor
Algoritmo	“Algoritmo X”
Cultura	“Milho”
Tipo de Câmera	“NIR”
Velocidade do voo	12 m/s
Ângulo da Câmera	0
Overshoot 1	0
Overshoot 2	0
Sobreposição a frente	60%
Sobreposição lateral	40%
GSD	5 pixels/cm
Erro relativo	0,12

Os dados necessários para montar a biblioteca de conhecimento utilizam as informações da lista de objetos *Mission* sinalizadas como *IsTest*, ou seja, as missões realizadas pelos usuários especialistas. Os valores de parametrização de voo, cultura, câmera, aeronave, algoritmos de processamento entre outros, constituem o modelo de caso atributo-valor.

Ao iniciar uma missão como usuário final, este especifica o objetivo, a área a ser analisada, a cultura, a aeronave e câmera utilizada. O sistema gerar o plano de voo e infere ao motor do RBC à pergunta: “Qual dos algoritmos existentes, baseado nos parâmetros de entrada e nos parâmetros de voo tem o menor erro relativo?”. Ou seja, busca-se identificar qual caso passado que se assemelhe aos parâmetros de entrada informados e que possui erro relativo próximo ou igual 0 (zero).

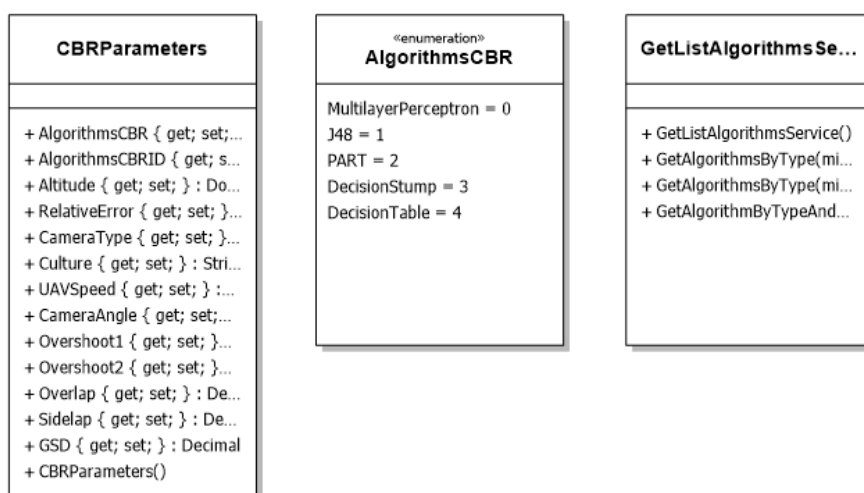
O processo de descoberta do melhor algoritmo de processamento de imagem que atende as especificações de entrada é realizado pelo serviço *GetBestParametersService*. Este recebe como parâmetro a missão do usuário e retorna uma nova missão com os dados do melhor algoritmo selecionado. Existem muitas ferramentas de aprendizado de máquina que podem ser utilizadas para descoberta de conhecimento. Para a implementação do motor de inferência na aplicação, realizou-se a integração da aplicação proposta com a biblioteca de componentes do ambiente WEKA (HALL et al, 2009).

O motor de inferência pode levar em consideração atributos que um usuário especialista defina como prioritários, fornecendo pesos a estes (classe

CBRParameters). Estes pesos dão maior importância a um determinado atributo qual o pesquisador considere mais relevante, baseado em sua experiência ou simulações.

Também é possível a escolha do algoritmo de aprendizado do RBC para a descoberta do algoritmo de processamento de imagem. Foram implementados na aplicação os seguintes algoritmos de aprendizado: *MultiLayerPerceptron (MLP)*, *J48*, *DesisionTable*. Estudos futuros podem indicar uma pré-disposição de melhores resultados para certo algoritmo de aprendizado baseado nas variabilidades dos parâmetros existentes. Os objetos relacionados ao RBC são: *CBRParameters*, *AlgorithmsCBR* e *GetListAlgorithmsService*, estas responsáveis pela definição de pesos e escolha do algoritmo de classificação e a implementações do serviço de busca de algoritmos, seu diagrama de classes pode ser visto na Figura 33.

Figura 33 - Entidades criadas relacionadas ao RBC.



4.4.3 Serviços de infraestrutura

A camada de serviços de infraestrutura é responsável por integrar os dados e serviços internos da aplicação com o meio externo, seja para persistir um dado ou interagir com outro sistema. Para realizar o acesso aos dados foi aplicado o padrão *Repository* (Figura 34). Segundo Evans (2003) o padrão *Repository* representa todos os objetos de um determinado tipo como um conjunto conceitual agindo como uma coleção, exceto quando há a necessidade de uma consulta mais elaborada.

Figura 34 - Implementação do padrão Repository.

```

public class Repository<TEntity> : IRepository<TEntity> where TEntity : class
{
    private IUnitOfWork unitOfWork;
    private DbSet<TEntity> dbSet;
    8 references
    public Repository(IUnitOfWork u)...
    1 reference
    public virtual IEnumerable<TEntity> Get(
        Expression<Func<TEntity, bool>> filter = null,
        Func<IQueryable<TEntity>, IOrderedQueryable<TEntity>> orderBy = null,
        string includeProperties = "")...

    8 references
    public virtual TEntity GetById(object id)...
    7 references
    public void Insert(TEntity entity)...
    1 reference
    public virtual void DeleteTodos()...
    1 reference
    public virtual void Delete(object id)...
    3 references
    public virtual void Delete(TEntity entityToDelete)...
    7 references
    public virtual void Update(TEntity entityToUpdate)...
    10 references
    public virtual IQueryable<TEntity> All()...
    2 references
    public virtual IList<TEntity> Todos()...
    1 reference
    public virtual TEntity Single(Func<TEntity, bool> predicate)...
    1 reference
    public virtual TEntity First(Func<TEntity, bool> predicate)...
    2 references
    public IEnumerable<TEntity> Find(Func<TEntity, bool> predicate)...
    private bool disposed = false;
    0 references
    protected virtual void Dispose(bool disposing)...
}

```

O acesso ao banco de dados pelas entidades que são raiz de agregação, deve ser feito através da criação de uma classe que implemente a interface *IRepository* e a classe *Repository*. Se necessário, essa classe pode implementar métodos específicos para cada repositório. O repositório de fazendas (*FarmRepository*) é representado através da Figura 35. Um método específico para retornar somente as fazendas de uma determinada cidade é implementado pelo método *GetByCity*.

Figura 35 - Implementação do repositório de fazendas (FarmRepository).

```

public class FarmRepository : Repository<Farm>, IFarmRepository
{
    0 references
    public FarmRepository(IUnitOfWork unitOfWork)
        : base( unitOfWork)
    {
    }

    1 reference
    public List<Farm> GetByCity(string city)
    {
        return this.Get(x => x.City == city).ToList();
    }
}

```

5 ESTUDO DE CASO

Esta seção tem como objetivo avaliar o estudo de caso sob os seguintes aspectos da confiabilidade dos métodos de processamento de imagem implementados e a adequação do método de RBC ao determinar o melhor algoritmo de processamento de imagem para objetivos específicos

5.1 Localização e caracterização da área de estudo

Os experimentos foram conduzidos na Fazenda Escola “Capão da Onça” da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), no município de Ponta Grossa, estado do Paraná, Brasil (25°24'56” S; 50°06'14” W), altitude de 1043 m. De acordo com a Carta Climática e com a Divisão Climática do Estado do Paraná, o clima é classificado como subtropical úmido mesotérmico (Cfb), sem estação seca definida, com geadas frequentes no inverno e temperaturas médias nos meses mais quentes de 21,4°C e nos meses mais frios de 13°C. A precipitação média anual é de 1.600 a 1.800 mm. O solo no local é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013). O sistema de cultivo adotado na área é o plantio direto na palha.

A cultivar de soja utilizada foi a NA 5909 RG, com a qual foi avaliado o efeito da aplicação isolada de indutores de resistência, e a associação destes a fungicida, sobre a incidência e severidade de doenças na soja. A semeadura foi realizada em sistema plantio direto, sobre palhada de trigo, em 18/12/2015 utilizando-se espaçamento entre linhas de 0,45 m com 15 sementes por metro para obter densidade de 12 plantas m^{-1} e população final de 250.000 plantas ha⁻¹.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com 11 tratamentos e quatro repetições, em parcelas medindo 4,5 por 4,0 m (18 m²), sendo a área total do experimento 50 por 16 m onde o croqui de tratamento é apresentado na Figura 36. Os tratamentos foram constituídos de aplicação foliar de 10 diferentes produtos, e da testemunha.

Figura 36 - Croqui de tratamento da área utilizada para experimento.

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
A	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
B	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	11
C	9	8	7	6	5	4	3	2	10	11	1
D	8	7	6	5	4	3	2	9	10	11	1

Os experimentos de voo ocorreram durante o ano de 2015 e 2016, sendo as imagens finais do experimento obtidas na data de 21/03/2016. Esta área de estudo em particular foi selecionada devido aos diferentes índices, entre eles o NDVI, obtidos através de tratamentos diversificados em uma mesma área (Figuras 37 e 38). O NDVI permite não só mapear a vegetação, mas também medir sua quantidade e condição em uma determinada cultura (KAIVOSOJA, 2014). O NDVI se traduz por um indicador numérico, que varia, teoricamente, de 0 (referente à vegetação sem folha, submetida a condição de estresse hídrico por déficit de água no solo) a 1,0 (relativo à vegetação com folhas, sem restrições hídricas e na plenitude de suas funções metabólicas e fisiológicas).

Figura 37 - Área de experimento - Ângulo a.



Figura 38 - Área de experimento - Ângulo b.



Apesar da discriminação dos tratamentos utilizados, não foi objetivo deste experimento avaliar os resultados dos tratamentos na área. O objetivo foi sim comparar os resultados obtidos pelo software proposto neste trabalho, por meio do cálculo do NDVI, a partir de imagens obtidas com RPA com diferentes altitudes de voo e algoritmos de processamento de imagens, com os resultados obtidos em outro software, o Pix4DMapper (2014), bem como a comparação com o NDVI obtido por outro sistema de detecção (Greenseeker Handheld, NTech Industries, Inc., Ukiah, CA).

5.2 Processamento pelo pesquisador

Para que se possa utilizar a mesma área em diversos estudos, foi necessário a criação de um objeto qual esta desse ser referenciada, denominada em um primeiro momento “Farm”. Esta interface além de conter um nome qual o usuário pode assimilar, contém uma área objetivo compostas por pontos geográficos. A geração de um do plano de voo baseado em uma mesma área, permite a RPA determina a área objetivo que o RPA deverá percorrer sempre que esta for selecionada. A Figura 39 demonstra uma parte da área da Fazenda Escola “Capão da Onça”.

Figura 39 - Área da Fazenda Escola “Capão da Onça”, com destaque (retângulo vermelho) na área de interesse do estudo de caso.



Uma vez criada, esta área pode ser reutilizada para delimitar o voo da RPA ou para realizar a comparação de resultados em diferentes voos.

Para criação do plano de voo, características importantes da RPA e da câmera devem ser inseridas no sistema. A aplicação exemplo permite cadastrar e parametrizar estas informações para automatizar os cálculos de plano de voo e captura de imagens. As principais características da RPA necessárias para os cálculos são: sua velocidade máxima e mínima, razão de subida e tempo máximo de bateria, conforme Figura 40.

Figura 40 - Parâmetros do RPA.

ID		1
Name	GiroFly 4x	
Max Speed (M/s)		10
Min Speed (M/s)		3
Max Rate Climb (M/s)		2
Battery Time (m)		20

Para a configuração das câmeras, é necessário definir os parâmetros: distância focal, altura e largura do sensor, altura e largura da imagem capturada e percentual de *overlap* e *overside* das imagens, conforme a Figura 41.

Figura 41 - Parâmetros de configuração da câmera.

ID		1
Name	CanonPowerShotS110_5.2_4048x3048 - NIR	
Focal len		4,4
Sensor Width		7,4
Sensor Height		5,6
Image Width		3048
Image Height		3048
Image OverLap (%)		50
Image OverSide (%)		50
OverShoot 1		0
OverShoot 2		0

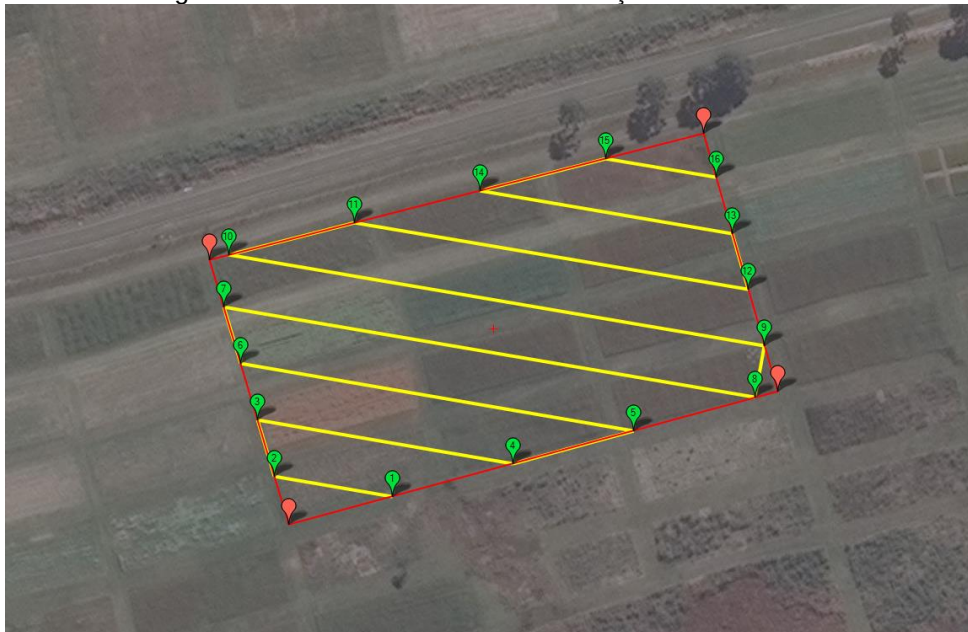
Uma vez que esses parâmetros sejam definidos, o pesquisador pode simular planos de voo diversos planos de voo, variando sua altitude, velocidade, taxas de sobreposição. Para exemplificação, foram definidos os parâmetros apresentados na Tabela 2:

TABELA 2 - Parâmetros definidos.

Parâmetro	Valor
Altitude	20 metros
Direção inicial de voo	100 graus - E- Leste
Overside	50%
Overlap	50%
Velocidade	10 m/s
Overshoot1	0
Overshoot2	0
RateClimb	2 m/s

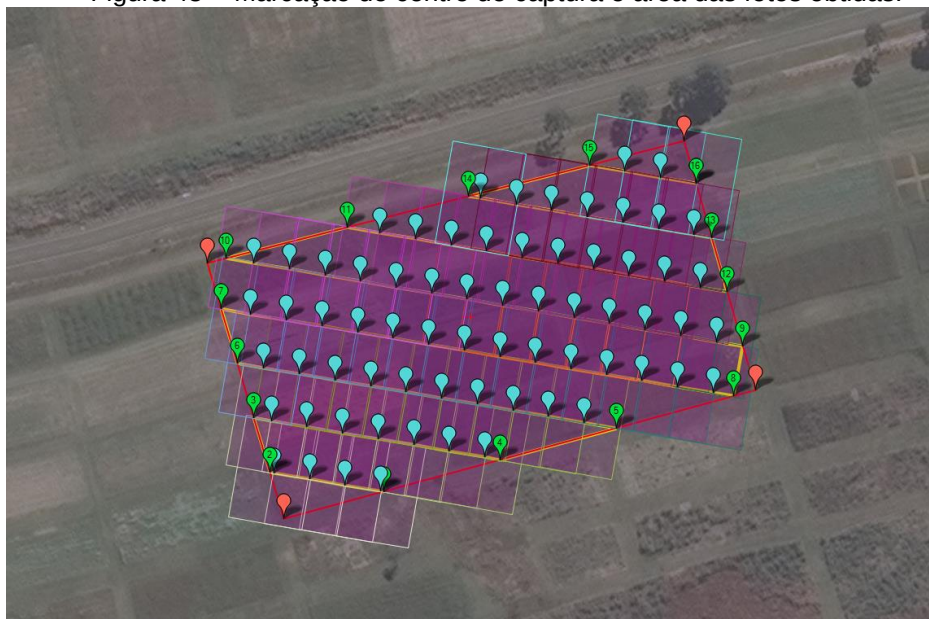
Como resultado, foi produzido um novo plano de voo conforme Figura 42. O retângulo em vermelho, representa a área a ser capturada. As linhas em amarelo representam o plano de voo previsto a ser executado, os pontos de início, retorno e finalização são demarcados pelos balões verdes numerados de 1 a 16.

Figura 42 - Plano de voo com demarcação das linhas de voo.



É possível ainda visualizar os pontos e áreas que serão capturas a cada foto realizada pela câmera embarcada na RPA (Figura 43). Os balões em azul, representam o centroide de cada foto a ser obtida, e seus respectivos retângulos em roxo, a área prevista de captura da imagem em relação aos parâmetros de voo.

Figura 43 - Marcação do centro de captura e área das fotos obtidas.



Para este plano de voo os seguintes parâmetros foram calculados pelo sistema: área coberta, distância percorrida, tempo estimado de voo, número de fotos, tempo entre fotos e resolução (GSD). Os valores calculados para estes parâmetros estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 - Parâmetros sobre o plano de voo calculados pelo sistema com base nos parâmetros definidos no experimento.

Parâmetro	Valor
Área coberta	14.170 m ²
Distância percorrida	1,04 km
Tempo estimado de voo	2:30 minutos
Número de fotos	69
Tempo entre fotos	1,27 segundos
Resolução (GSD)	0,835 cm/pixel

5.2.1 Inclusão de objetivo e algoritmos

Para obter diferentes resultados a partir de diferentes técnicas de processamento e extração de dados combinadas com parâmetros de voo diferentes, foi criado um experimento de testes para avaliar 3 diferentes algoritmos em 3 diferentes altitudes de voo.

A inclusão de um novo objetivo pode ser feita de forma manual ou automatizada. A inclusão manual necessita que o usuário forneça as informações de nome e descrição deste objetivo, conforme a Figura 44.

Figura 44 - Inclusão manual de objetivo.



A inclusão automatizada baseia-se nos parâmetros internos dos algoritmos de processamento importados para o sistema. Para exemplificar, foram criados três algoritmos para o objetivo NDVI:

- O primeiro, NVDI.DLL, contém o processamento padrão do NDVI, extraído a partir da literatura (KRIEGLER et al., 1969), conforme a Equação 8.

$$NDVI = \frac{p_{NIR} - p_{red}}{p_{NIR} + p_{red}} \quad (5)$$

Onde:

P_{nir} = refletância da banda no infravermelho próximo;

P_{red} = refletância da banda do vermelho;

- O segundo, NVDIAdd20Percent.DLL, contém o cálculo padrão do NDVI onde será acrescido 20% para mais até o limite de máximo do NDVI (1 ponto).
- O terceiro, NVDIRandon.DLL, onde este gera um valor aleatório entre 0 e 1.

Após a importação dos três algoritmos, criou-se três planos de voo para a mesma área, variando a resolução GSD em função da altitude, conforme Tabela 4 e Figuras 45 e 46.

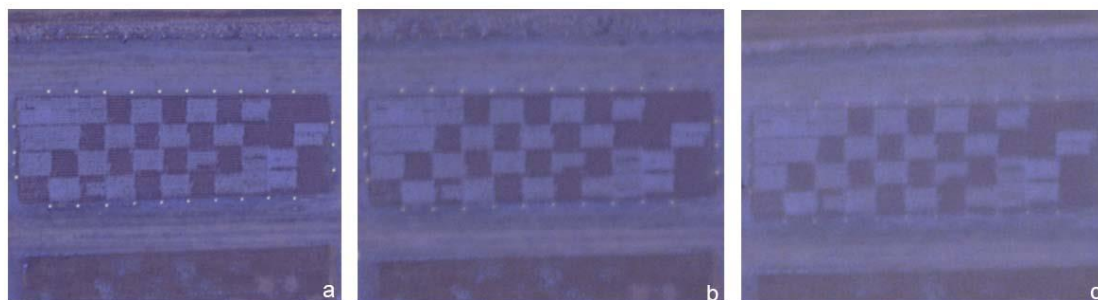
TABELA 4 – Relação entre a altitude e a resolução GSD utilizadas.

GSD	Altitude
5 cm/pixel	119,80 m
10 cm/pixel	239,50 m
15 cm/pixel	359,30 m

Figura 45 - Imagens capturadas em diferentes resoluções: GSD 5 cm/pixel (a), GSD 10 cm/pixel (b) e GSD 15 cm/pixel (c).



Figura 46 - Recorte de imagens da área de estudo em diferentes resoluções: GSD 5cm/pixel (a), GSD 10 cm/pixel (b) e GSD 15 cm/pixel (c).



Os dados resultantes de todos os testes gerados por pesquisadores no sistema geram resultados de erro relativo da técnica de extração de informações contra os resultados esperados para cada um dos algoritmos disponível no sistema. Esta técnica alimenta automaticamente uma base de dados de resultados e parâmetros utilizados, os quais serão utilizados pelo motor de inferência embutido no sistema para selecionar automaticamente os melhores algoritmos de processamento de imagem. Essa seleção de algoritmos é utilizada pelos usuários finais quando iniciam uma nova missão. Os resultados dos processamentos são apresentados na seção 5.4 e os dados obtidos estão disponíveis nos anexos.

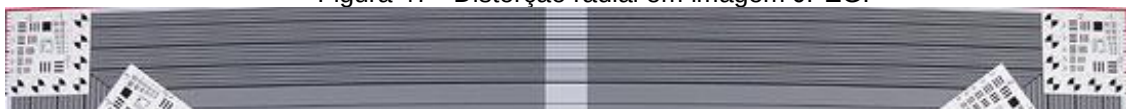
5.2.2 Ortorretificação e correção geométrica

Uma etapa muito importante do processo é realizar a correção e junção das imagens quando a RPA retorna ao solo, sendo possível também o acesso ao log de voo. Caso as imagens capturadas não possuam uma coordenada geográfica referente ao centro da imagem é possível atribuir estes valores através do evento de *shutter* do arquivo log. Sabendo que o momento em que o shutter foi acionado corresponde à posição da aeronave no momento em que a imagem foi capturada, pode-se assim atribuir essas informações posteriormente a imagem.

Uma vez que as imagens são marcadas com as informações de coordenada geográfica o software executa os processamentos internos e externos sobre estas:

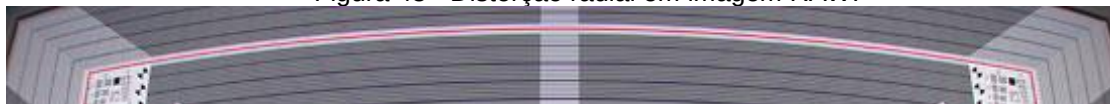
O processamento interno realiza a correção da distorção radial de cada imagem, apenas quando necessário. Nesse estudo, a câmera utilizada para captura das imagens foi uma Canon S110 NIR. Segundo Canon S110 (2016), esta câmera possui uma distorção média (cerca de 1,1%) em arquivos formato JPEG (Figura 48) e muito grande (cerca de 4,6%) em arquivos formato RAW (Figura 49). As figuras 47 e 48 mostram a distorção radial de uma mesma área em imagem JPEG e RAW, respectivamente.

Figura 47 - Distorção radial em imagem JPEG.



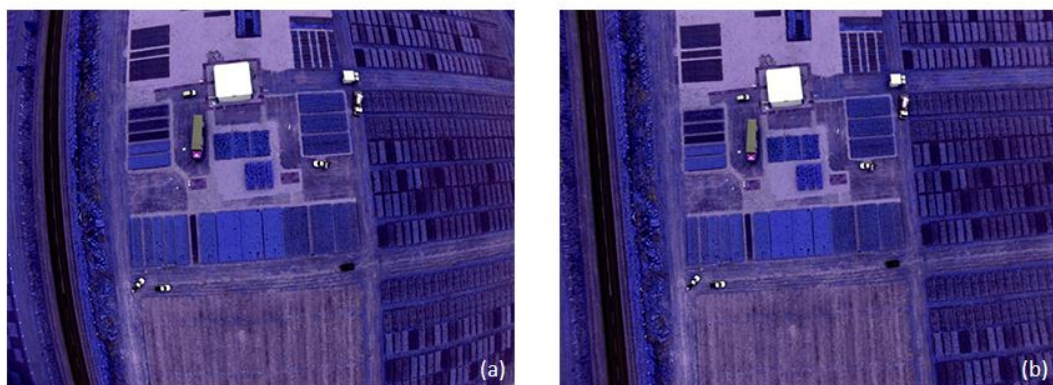
Em imagens RAW, a distorção é maior, em cerca de 4,6% conforme Figura 48.

Figura 48 - Distorção radial em imagem RAW.



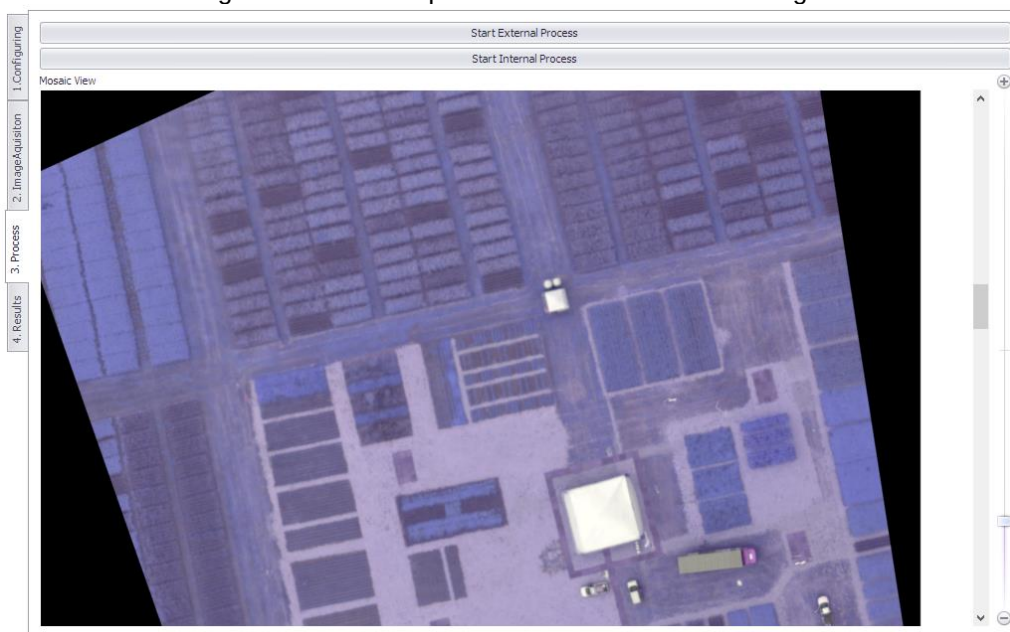
A implementação da correção utilizou os parâmetros k_1 , k_2 e k_3 , detalhados na seção 3.3.1. Os valores previamente calculados e adotados foram $k_1 = 0.02413$, $k_2 = -0.13243$ e $k_3 = 0.04812$. A Figura 49 demonstra um exemplo de imagem de uma determinada área, antes e após a aplicação da correção geométrica.

Figura 49 - Correção geométrica: (a) antes da correção; (b) após a correção.



O processamento externo executa a geração do ortomosaico através de uma integração com o software Pix4DMapper, via linha comando. O ortomosaico resultante do processamento das imagens pode ser visualizado na Figura 50.

Figura 50 - Tela de processamento e ortomosaico gerado.



Após o término de ambos os processamentos interno e externo, a área objetivo do teste, a qual foi previamente delimitada no início da missão, será processada pelos algoritmos para extração das informações calculando a acurácia de cada algoritmo.

5.3 Processamento pelo usuário

Com a plataforma já alimentada com diversos testes com variação de algoritmos e parâmetros de voo, pode-se realizar um fluxo completo para o usuário não técnico. Este deve iniciar uma nova missão, dando um nome a mesma, selecionando qual a RPA e câmera irá utilizar, a cultura, o objetivo da missão e a área de voo, conforme a Figura 51.

Figura 51 - Início de uma nova missão.

The image shows a web-based form for creating a mission. It has the following fields and sections:

- Mission Name:** A text input field containing "Teste 999".
- UAV Section:**
 - Select UAV:** A dropdown menu with "GiroFly 8x" selected.
 - Select Camera:** A dropdown menu with "CanonPowerShotS110_5.2_4048x3048 - NIR" selected.
- Agriculture Section:**
 - Select Culture:** A dropdown menu with "SoyBean" selected.
 - Select Objective:** A dropdown menu with "NDVI" selected.
 - Select Area:** A dropdown menu with "Fazenda Escola UEPG" selected.
- Test Section:**
 - Is a test?:** An unchecked checkbox.
 - Expected result:** A numeric input field with "0" and up/down arrow controls.
- Create Mission:** A large button at the bottom of the form.

Tendo já parametrizado as interfaces de Farm, Câmera e UAV, a aplicação pode automatizar e otimizar o plano de voo baseada em simulações. Para isso, criam-se simulações de diversos planos de voo variando sua altitude em intervalos de 10 metros até o limite máximo da aeronave ou de regulamentação de voo com sua velocidade definida em 80% da velocidade máxima da aeronave. Planos de voo com altitude maior, possuem uma distância menor a ser percorrida, porém um tempo maior para atingir esta altitude. Ao contrário, planos de voo com altitude menor, possuem distância maior a ser percorrida, mas um tempo menor para atingir a altitude necessária.

A área selecionada para criação da simulação foi a área da Fazenda Escola “Capão da Onça” a qual possui 14.170 m² de área delimitada, aeronave EBee Sensefly e câmera NIR Canon Power Shot S110 com o canal azul modificado para captura do canal NIR, configurada para resolução 4048x3048. A Tabela 5 detalha os dados de altitude e tempo de voo das simulações:

TABELA 5 - Simulação de altitudes e tempos de voo para Canon Power Shot S110 e EBee Sensefly

Altitude (m)	Tempo de voo (s)
10	243
20	150
30	121
40	106
50	96
60	107
70	90
80	124
90	140
100	120
110	130
120	140
130	150
140	160
150	170

Pode-se verificar pela simulação que o menor tempo de voo é de 90 segundos, onde a altitude será de 70 metros. A Figura 52 apresenta o resultado gráfico da simulação de voo, onde as imagens a serem obtidas estão com parâmetros de *Overlap* e *Sidelap* de 50% e possuem um GDS de 2,92 cm/pixel.

Figura 52 - Plano de voo e área das imagens obtidas a partir da simulação.



Após, o sistema inicia o motor de inferência que analisa os resultados de testes passados e ajusta o melhor algoritmo para a área e, novamente, seus parâmetros de voo. Os pesos utilizados pelo especialista para o cálculo da inferência são vistos na Figura 53.

Figura 53 - Pesos para o cálculo de inferência.

Parameter	Weight
Camera Type	0,01
Culture	0,01
UAV Speed	0,01
Camera Angle	0,00
Overshoot1	0,00
Overshoot2	0,00
Overlap	0,01
Sidelap	0,01
GSD	0,35
Relative Error	0,55

Para exemplificar o resultado, foi selecionada a rede MLP, pois esta apresenta resultado satisfatório para problemas envolvendo alto grau de não linearidade. O treinamento aplicado às MLPs é do tipo supervisionado e seu algoritmo se baseia em regras de aprendizagem que buscam corrigir o erro durante a fase de treinamento (HAYKIN, 2001).

Os parâmetros podem ter diferentes pesos, que representam a importância do parâmetro para o mecanismo de inferência. Nesse caso, os parâmetros definidos como de maior peso são o erro relativo (Relative Error) e a GSD. O erro relativo foi definido com peso 0,55 (55%) e corresponde ao resultado dos algoritmos desenvolvidos por pesquisadores. A GSD foi definida com peso 0,35 (35%) e corresponde a resolução (pixel/cm) sendo utilizada na obtenção das imagens. Os parâmetros overshoot1, overshoot2 receberam peso 0,00 (zero), o que significa que o motor de inferência deverá ignorar esses parâmetros para o cálculo. Os demais parâmetros possuem peso de 0,01 (1%) apenas para que o motor não os ignore. Vale salientar que esses

parâmetros não foram analisados extensivamente, podendo variar após maiores estudos para obtenção de melhores resultados.

O resultado da inferência foi calculado automaticamente utilizando estes parâmetros e três algoritmos diferentes para o cálculo do NDVI: (a) o cálculo correto do NDVI; (b) o cálculo do NDVI acrescido de 20% de erro; (c) um erro randômico de NDVI. Utilizando uma base de 396 amostras de comparação, a simulação de escolha do melhor algoritmo a ser utilizado automaticamente pelo usuário final elegeu o algoritmo correto (a) com indicando para o mesmo a maior de probabilidade de acerto (59%) conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Resultado da inferência

Algoritmo	Probabilidade
NDVI.DLL (a)	59,543%
NVDIAdd20Perc.DLL (b)	35,441%
NDVIRand.DLL (c)	4,903%

Todas as parametrizações e ações que o usuário deve fazer para obter o resultado final estão contidas em uma única tela, separadas em quatro passos, sendo eles: configuração (Configuring), aquisição da imagem (ImageAquisition), processamento (Process) e resultados (Results). A tela de acompanhamento da missão, com os quatro passos elencados, é apresentada na Figura 54.

Figura 54 - Tela de acompanhamento de missão.

The interface is divided into four main sections: Configuration, Map, Results, and Statistics.

1. Configuring (Left Panel):

- Missão:** ID: 60, Name: 13123123, Area: (empty), Mission Objective: (empty), Status: Con..., Camera: CanonPow, Culture: Sugarcane.
- 2. ImageAquisition:** UAV Speed: 10,00, Altitude: 65,00, Initial Direction (degrees): 256,00.
- 3. Process:** Line Distance: 55, SideLap: 50,0, OverLap: 50,0, OverShoot 1: 0, OverShoot 2: 0, LeadIn: 0.
- 4. Results:** GSD: 2,71... (with checkboxes for: centro fotos, mostra bordas, fotos areas, voo, mudança direcao).
- Buttons:** Generate Flight.

Map (Center): An aerial view showing a rectangular flight area outlined in red. A yellow line indicates the flight path, with numbered points (1, 2, 3, 4) marking specific locations. The area is divided into a grid of smaller rectangles.

Statistics (Right Panel):

- Flight Time: 20,38 Seconds
- Total Distance: 0,16 km
- Total Area: 14170 m²
- GSD: 2,71 cm
- Dist between lines: 41 m
- No of Strips: 1
- Total photos: 4
- Area photos: 109,3 x 82,7 m
- Time between photos: 4,14 Seconds

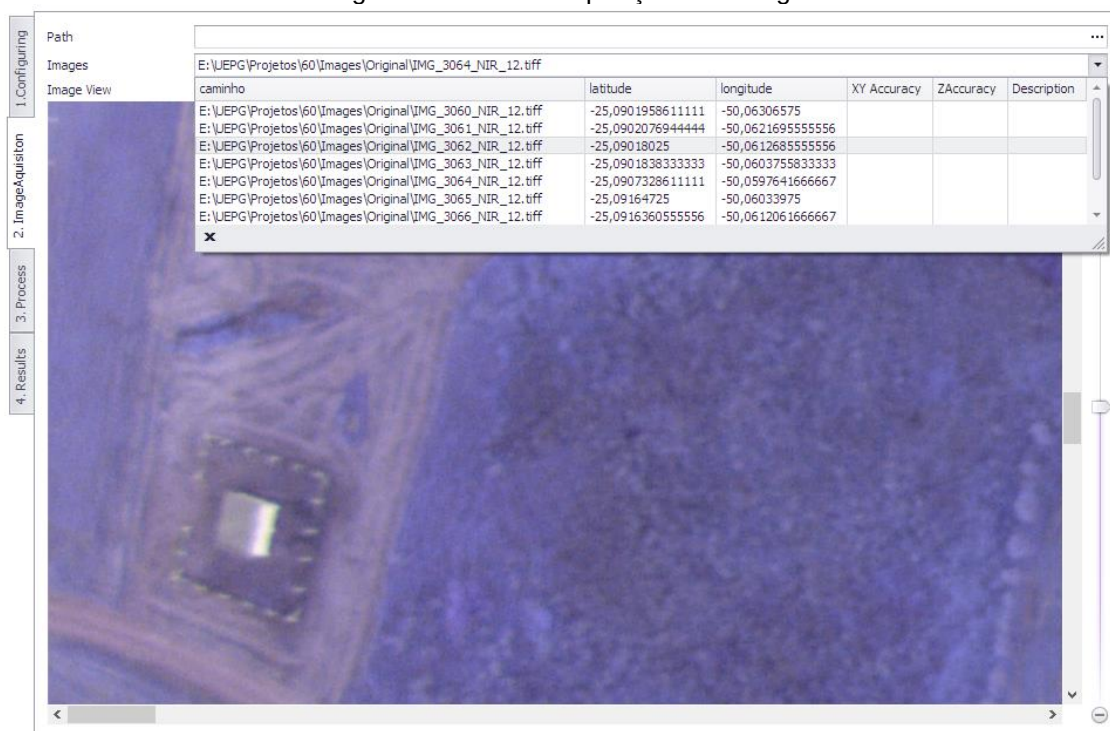
©2016 Microsoft Corporation. ©2016 NAVTEQ. ©2016 Image courtesy of NASA

O primeiro passo é a configuração (*Configuring*) onde o usuário visualiza os parâmetros de voo automaticamente definidos, a área sobre a qual o voo irá ocorrer, e dados informativos como tempo de voo, área percorrida pela RPA, área total que será imageada, número de fotos e resoluções das mesmas. Ainda nesta tela, o usuário gera o arquivo contendo o plano de voo a ser enviado para a RPA.

Quando a aeronave retorna ao solo é possível ter acesso às imagens capturadas e ao log de voo que detalha o momento em que alguns eventos aconteceram. Nesta tela, o usuário pode selecionar individualmente cada uma das imagens, aplicar zoom, e eliminar alguma imagem, se for o caso. A Figura 55 mostra esta etapa.

Na etapa de aquisição das imagens (*ImageAquisition*), o usuário deve selecionar a pasta que contém as imagens e, se for o caso, o log de voo.

Figura 55 - Tela de aquisição das imagens.



Após importar as imagens, a etapa de processamento (*Processing*), é executada e realiza as correções conforme seção 6.1.4.

Após o término de ambos os processamentos interno e externo, a área objetivo do teste, a qual foi previamente delimitada no início da missão, será processada pelos algoritmos para extração das informações. Neste momento, o sistema invoca a DLL do algoritmo correspondente ao melhor processamento definido pelo motor de inferência.

Na etapa de resultados (*Results*), os resultados são apresentados de forma gráfica e numérica. Na tela desta etapa, tem-se o nome algoritmo que foi processado e o valor do NDVI resultante. Nesse caso, o algoritmo NVDI.DLL gerou um NDVI de 0,64. Os resultados visuais podem ser agrupados em clusters utilizando os algoritmos *K-Means* e *MeanShift*, afim de particionar a observações dentre “n” grupos onde cada um pode receber uma identificação ou tratamento diferente. O agrupamento em cluster pode ser utilizado como forma de segmentar a área em diversos níveis, permitindo ao usuário visualizar a área de maneira mais uniforme. A Figura 56 apresenta a tela de resultados com imagem dos clusters estabelecidos.

Figura 56 - Tela de resultados e clusterização.



5.4 Resultados finais

Para validar o erro relativo do algoritmo inserido do sistema, era necessário que o resultado esperado esteja informado ao sistema. Para o cálculo do NDVI, obtivemos o resultado esperado através de dois diferentes métodos:

- Utilizando um sensor ótico ativo comercial (Greenseeker Handheld, NTech Industries, Inc., Ukiah, CA). Este sensor emite radiação ativa em dois comprimentos de onda, 660 nm (+ 10 nm, vermelho) e 770 nm (+ 15 nm, infravermelho próximo), e capta a refletância dos alvos independente das condições de luminosidade, e calcula o NDVI. As leituras foram feitas manualmente, a 1,0 m de distância do alvo, como recomendado pelo fabricante, passando o sensor sobre todas as 44 parcelas amostrais.
- Utilizando outro software para extração do NDVI a partir de imagens. Foi utilizada a RPA eBee (SENSEFLY, 2016) acoplada a uma câmera Canon S110 NIR, resolução de 12 Megapixel com o canal NIR no

comprimento de onda 850 nm, vermelho no comprimento 650 nm e verde no comprimento 550 nm. Foram realizados três voos com GSD de 5 cm/pixel, 10 cm/pixel e 15 cm/pixel. Após o voo, foi utilizado o software Pix4Dmapper para extração dos índices NDVI das 44 parcelas amostrais.

Os resultados obtidos pelo GreenSeeker e o Pix4D se encontram detalhados na Tabela 7.

TABELA 7 - Comparação de resultados de NDVI obtidos com o equipamento GreenSeeker e com o software Pix4DMapper com imagens de diferentes resoluções.

Parcela	GreenSeeker	Pix4D 5 cm	Pix4D 10 cm	Pix4D 15 cm
A01	0,786	0,623	0,589	0,601
A02	0,754	0,605	0,573	0,585
A03	0,685	0,571	0,551	0,550
A04	0,357	0,380	0,371	0,380
A05	0,713	0,590	0,555	0,574
A06	0,388	0,400	0,386	0,332
A07	0,689	0,583	0,552	0,561
A08	0,369	0,391	0,379	0,376
A09	0,751	0,599	0,543	0,567
A10	0,359	0,373	0,368	0,361
A11	0,357	0,366	0,356	0,348
B01	0,704	0,588	0,572	0,568
B02	0,757	0,610	0,592	0,583
B03	0,395	0,405	0,389	0,389
B04	0,738	0,581	0,554	0,558
B05	0,395	0,412	0,400	0,401
B06	0,744	0,581	0,552	0,568
B07	0,387	0,390	0,384	0,370
B08	0,759	0,601	0,583	0,560
B09	0,388	0,380	0,376	0,372
B10	0,364	0,376	0,363	0,377
B11	0,725	0,614	0,588	0,589
C01	0,740	0,599	0,579	0,579
C02	0,379	0,385	0,375	0,373
C03	0,676	0,564	0,544	0,551
C04	0,370	0,370	0,359	0,370
C05	0,722	0,583	0,562	0,562
C06	0,375	0,381	0,363	0,441
C07	0,716	0,568	0,535	0,537
C08	0,345	0,356	0,340	0,349
C09	0,646	0,598	0,528	0,524
C10	0,764	0,622	0,568	0,557
C11	0,393	0,384	0,378	0,355
D01	0,379	0,404	0,387	0,399
D02	0,720	0,605	0,591	0,589
D03	0,619	0,499	0,471	0,498
D04	0,707	0,568	0,545	0,553
D05	0,386	0,403	0,387	0,405
D06	0,685	0,576	0,552	0,557
D07	0,343	0,375	0,360	0,364
D08	0,615	0,507	0,493	0,500
D09	0,613	0,539	0,525	0,513
D10	0,730	0,601	0,587	0,571
D11	0,345	0,370	0,365	0,363

Utilizando a arquitetura proposta, para o objetivo de extração do NDVI a partir do algoritmo de processamento do algoritmo NDVI.dll, utilizou-se a câmera Canon S110 NIR, resolução de 12 Megapixel com o canal NIR no comprimento de onda 850 nm, vermelho no comprimento 650 nm e verde no comprimento 550 nm. Foram realizados três voos com GSD de 5 cm/pixel, 10 cm/pixel e 15 cm/pixel.

Os resultados obtidos pelo GreenSeeker e a arquitetura proposta se encontram detalhados na Tabela 8.

Tabela 8 - Comparação de resultados de NDVI obtidos com o equipamento GreenSeeker e com o processamento do algoritmo NDVI.dll com imagens de diferentes resoluções.

Parcela	GreenSeeker	NDVI.dll 5cm	NDVI.dll 10cm	NDVI.dll 15cm
A01	0,786	0,795	0,645	0,647
A02	0,754	0,781	0,624	0,662
A03	0,685	0,728	0,567	0,604
A04	0,357	0,479	0,362	0,378
A05	0,713	0,755	0,600	0,642
A06	0,388	0,495	0,386	0,394
A07	0,689	0,760	0,601	0,636
A08	0,369	0,489	0,374	0,371
A09	0,751	0,771	0,635	0,674
A10	0,359	0,459	0,348	0,350
A11	0,357	0,460	0,347	0,341
B01	0,704	0,753	0,598	0,639
B02	0,757	0,783	0,627	0,668
B03	0,395	0,495	0,372	0,390
B04	0,738	0,745	0,578	0,627
B05	0,395	0,508	0,393	0,409
B06	0,744	0,745	0,585	0,614
B07	0,387	0,488	0,370	0,370
B08	0,759	0,766	0,607	0,647
B09	0,388	0,470	0,374	0,367
B10	0,364	0,461	0,357	0,366
B11	0,725	0,809	0,631	0,669
C01	0,740	0,767	0,610	0,660
C02	0,379	0,472	0,365	0,365
C03	0,676	0,711	0,550	0,597
C04	0,370	0,462	0,352	0,364
C05	0,722	0,750	0,588	0,629
C06	0,375	0,467	0,355	0,367
C07	0,716	0,687	0,546	0,569
C08	0,345	0,439	0,332	0,343
C09	0,646	0,699	0,543	0,567
C10	0,764	0,806	0,640	0,700
C11	0,393	0,480	0,366	0,366
D01	0,379	0,497	0,378	0,393
D02	0,720	0,784	0,638	0,678
D03	0,619	0,611	0,477	0,510
D04	0,707	0,723	0,569	0,611
D05	0,386	0,495	0,381	0,388
D06	0,685	0,743	0,579	0,623
D07	0,343	0,468	0,345	0,352
D08	0,615	0,665	0,512	0,534
D09	0,613	0,698	0,533	0,554
D10	0,730	0,782	0,633	0,682
D11	0,345	0,467	0,359	0,355

Para validação do teste de hipótese entre os resultados apresentados pelo GreenSeeker, Pix4D e os resultados obtidos através da implementação do algoritmo do NDVI, foram gerados os testes de hipótese de equivalência utilizados o Teste Z (BUTLER, 1985) devido ao tamanho da amostra ($n > 30$), com nível de significância de 10%, para:

$$H_0: p_1 = p_2 \text{ versus } H_1: p_1 \neq p_2.$$

Onde, se o z crítico $\geq$ ao Z , devemos rejeitar a hipótese. Os resultados são apresentados nas tabelas 9,10,11,12 e 13.

TABELA 9 - Teste de hipótese entre GreenSeeker e Pix4D na resolução de 5cm

Variáveis Estatísticas	GreenSeeker	Pix4D5cm
Média	0,559243256	0,494209244
Variância conhecida	0,0301	0,0105
Observações	43	43
Hipótese da diferença de média	0	
Z	2,116468238	
$P(Z \leq z)$ uni-caudal	0,017152502	
z crítico uni-caudal	1,281551566	
$P(Z \leq z)$ bi-caudal	0,034305004	
z crítico bi-caudal	1,644853627	

TABELA 10 - Teste de hipótese entre GreenSeeker e Pix4D na resolução de 10cm

Variáveis Estatísticas	GreenSeeker	Pix4D10cm
Média	0,559243256	0,47398843
Variância conhecida	0,0301	0,0089
Observações	43	43
Hipótese da diferença de média	0	
Z	2,830876313	
$P(Z \leq z)$ uni-caudal	0,002321033	
z crítico uni-caudal	1,281551566	
$P(Z \leq z)$ bi-caudal	0,004642067	
z crítico bi-caudal	1,644853627	

TABELA 11 - Teste de hipótese entre GreenSeeker e Pix4D na resolução de 15cm

Variáveis Estatísticas	GreenSeeker	Pix4D15cm
Média	0,559243256	0,476261221
Variância conhecida	0,0301	0,0091
Observações	43	43
Hipótese da diferença de média	0	
Z	2,748370477	
P(Z<=z) uni-caudal	0,002994615	
z crítico uni-caudal	1,281551566	
P(Z<=z) bi-caudal	0,005989229	
z crítico bi-caudal	1,644853627	

TABELA 12 - Teste de hipótese entre GreenSeeker e NDVI.dll na resolução de 5cm

Variáveis Estatísticas	GreenSeeker	NDVI.dll 5cm
Média	0,559243256	0,625013721
Variância conhecida	0,0301	0,0194
Observações	43	43
Hipótese da diferença de média	0	
Z	-1,938485431	
P(Z<=z) uni-caudal	0,026282013	
z crítico uni-caudal	1,281551566	
P(Z<=z) bi-caudal	0,052564027	
z crítico bi-caudal	1,644853627	

TABELA 13 - Teste de hipótese entre GreenSeeker e NDVI.dll na resolução de 10cm

Variáveis Estatísticas	GreenSeeker	NDVI.dll 10cm
Média	0,559243256	0,488025116
Variância conhecida	0,0301	0,0138
Observações	43	43
Hipótese da diferença de média	0	
Z	2,228910304	
P(Z<=z) uni-caudal	0,012909937	
z crítico uni-caudal	1,281551566	
P(Z<=z) bi-caudal	0,025819873	
z crítico bi-caudal	1,644853627	

TABELA 14 - Teste de hipótese entre GreenSeeker e NDVI.dll na resolução de 15cm

Variáveis Estatísticas	GreenSeeker	NDVI.dll 15cm
Média	0,559243256	0,512155756
Variância conhecida	0,0301	0,0178
Observações	43	43
Hipótese da diferença de média	0	
Z	1,410821613	
P(Z<=z) uni-caudal	0,07914861	
z crítico uni-caudal	1,281551566	
P(Z<=z) bi-caudal	0,15829722	
z crítico bi-caudal	1,644853627	

Para cinco dos seis testes de hipótese realizados, a hipótese é válida, ou seja, os resultados são similares entre as amostras. No teste de hipótese entre o GreenSeeker e o algoritmo NDVI.dll apresenta hipótese não válida, pois, o valor de z crítico é superior ao valor de Z máximo.

Também foi verificado que o software Pix4D, a arquitetura proposta utilizando o cálculo do NDVI correto e o equipamento GreenSeeker, geraram valores similares de NDVI, com diferença média de 7%, essa diferença pode ter ocorrido devido aos fatores:

- Utilização do equipamento GreenSeeker, onde a área de captura do NDVI para cada parcela, limitava-se a área de alcance lateral do sensor ativo do equipamento, assim, os valores de NDVI gerados por parcelas, limitavam-se a área central das mesmas, e não a toda sua área.
- Para geração dos valores NDVI utilizando o software Pix4D e a arquitetura proposta, foi necessário a demarcação e recorte manual de cada parcela para análise, pois, a área da parcela é muito pequena (16 m²) para planejamento e execução de voos individuais. Não se pode garantir que o recorte individual de cada parcela selecionasse exatamente os mesmos pixels para a mesma parcela em diferentes softwares nas GSDs nas quais foram obtidas. A medida que a altura do voo aumentava, a quantidade de pixels disponíveis para seleção era reduzida. A caráter de exemplo, as parcelas quando capturas a um GSD de 15 cm/pixel, produziam imagens de 25 x 25 pixels e o recorte adicional ou inferior deste, suprimia ou adicionava novos valores NDVI para o resultado médio da parcela.

A utilização do RBC para detecção automática do melhor algoritmo também se mostrou promissora, sendo que nos testes realizados apontava a utilização correta do melhor algoritmo com probabilidade de acerto de 59%.

Assim como Burgos-Artizzuet al. (2009), que chegaram a um índice de 79,1% de assertividade na classificação de imagens, uma melhor combinação de métodos e o valor de seus parâmetros de entrada pode contribuir para uma melhora nos resultados.

Alinhados com o objetivo macro deste trabalho, Colomina e Molina (2014) concluem em sua revisão do uso de RPAs para fotogrametria, que a diversidade de tecnologias envolvidas é evidente, e que os sistemas para controle e uso de RPA já estão suficientemente maduros e vem crescendo a cada ano, apoiando o desenvolvimento de novos produtos e serviços de geoinformação com um alto nível de automação para atender a um mercado cuja força de trabalho é, em geral, menos especializada que mercado aeronáutico e espacial.

No trabalho de Shi et al. (2015) onde foram avaliadas imagens de RPA em uma série de pesquisas, foi demonstrada a necessidade de desenvolvimento de linguagem e objetivos para integração das equipes, requerendo um grande planejamento e coordenação. Verificou-se também que há estudos entre a qualidade das imagens obtidas e sua relação com a altitude do voo, resolução da câmera e GSD das imagens, sendo que em situações de resoluções espaciais elevadas há uma necessidade de assegurar a não existência de pixels borrados devido ao movimento da aeronave. Em relação a qualidade dos mosaicos produzidos, a taxa de captura das imagens pela câmera juntamente com a velocidade do veículo aéreo pode limitar o percentual de sobreposição para a frente, o que é essencial para a criação de bons mosaicos. Assim, câmeras de RPA devem ter alta resolução, altas taxas de quadros e curto tempo de exposição. Diretamente ao encontro deste trabalho, Shi et al (2015) complementam em trabalhos futuros, a necessidade de desenvolver protocolos de voo e de coleta de dados para experimentar novos sensores e desenvolver métodos de análise que facilitem as decisões do mundo real. À medida que os objetivos e metas evoluem, a importância de desenvolver uma linguagem compartilhada entre engenheiros, processadores de dados e cientistas de campo continuará a ser crítica para o sucesso do uso das RPAs na AP. Com isso em mente, os adotantes iniciais terão desafios importantes a superar, onde a tecnologia deve ser transferida para a comunidade de usuários de maneira prática. Finalmente, muitas tarefas de análise de imagem consomem muito tempo, então escrever código para automatizar processos repetitivos é uma necessidade importante em trabalhos futuros.

6 CONCLUSÃO

Como atividade inicial deste trabalho foram realizados estudos sobre sistemas de informação para uso na agricultura de precisão, sistemas para controle e gerenciamento da missão do RPA e sistemas de informações geográficas. Esses estudos mostraram problemas diversos que vão desde interfaces do usuário não padronizadas e pouco amigáveis, até problemas de integração e capacidade de evolução. Os resultados do estudo sobre sistemas de informação para AP permitem verificar que, independentemente da origem dos sistemas, comerciais ou experimentais, o problema em grande parte está no caráter proprietário da maioria das iniciativas e em como as arquiteturas desses sistemas são projetadas. Com base nessa verificação, foi realizado um estudo sobre a alternativa viável quanto à interoperabilidade, capacidade de evolução e baixo custo. O estudo realizado focou também na arquitetura de software, e dele se concluiu que a combinação dos estilos arquiteturais em camadas, orientado a serviços e com separação de domínios é o mais adequado para o desenvolvimento da aplicação.

A arquitetura de software desenvolvida apresenta os componentes essenciais para o uso de aeronaves remotamente pilotadas para agricultura de precisão sendo eles: apresentação, serviço de aplicação, domínio, serviços de infraestrutura e componentes para criação de novos algoritmos de processamento permitindo ser extensível a novas plataformas e flexível a mudanças.

A implementação de uma *interface* para padronização de novos módulos de processamento de imagem e seu uso através de *reflection*, permitiu criar novos objetivos de missão e novas variações de algoritmos de forma simplificada, fornecendo aos pesquisadores uma solução rápida para geração de novos testes comparativos.

O uso do RBC permitiu a avaliação e classificação destes módulos de processamento de imagem de forma integrada, comparando os resultados dos módulos em diferentes altitudes e de áreas.

A integração das diversas etapas que envolvem o uso de RPA na AP, facilitou o uso para pesquisadores e usuários finais, que agora não necessitam

operar diferentes softwares afim de produzir um resultado. Ainda, utilização conjunta de pesquisadores e usuários finais em um mesmo ambiente, pode ser uma alternativa interessante para publicação e disponibilização de novos e melhores métodos de processamento de imagem, fornecendo aos usuários finais mais informações sobre sua cultura e resultados mais confiáveis.

6.1 Trabalhos futuros

Alguns trabalhos futuros, motivados pela possibilidade de consolidação das ideias apresentadas neste trabalho, são sugeridos em ordem de prioridade considerada importante para que seja alcançado um nível maior de usabilidade.

O primeiro passo é remover a dependência de um software terceiro diretamente acoplada para geração do ortomosaico. Soluções com código aberto estão disponíveis na internet em diversas linguagens, podendo ser implantadas sem maiores dificuldades.

Após, seria importante a consolidação das ideias apresentadas por meio da disponibilização da aplicação a diversos experimentadores da área de AP para que sejam obtidos diversos resultados e consequentemente exista um maior número de casos para que o motor de inferência possa gerar conhecimentos mais precisos. A implementação de novos algoritmos de processamento para tratamento e análise de dados, resultantes de pesquisa e não disponíveis em softwares proprietários seria uma contribuição importante para complementá-los como novos objetivos.

Finalmente, em paralelo aos demais passos devem ser continuados os estudos para evolução dos conceitos apresentados nesta dissertação, como por exemplo: *Grid Computing*, *Web Services*, Comunicação sem fio com RPAs e computação móvel.

A disponibilização de uma versão web, afim de centralizar o processamento em robustas unidades computacionais pode reduzir a dependência de usuários finais a hardwares mais sofisticados para processamento e extração de dados de grandes volumes de imagens.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH Q. A. **Geospatial Applications of Unmanned Aerial Systems (UAS) MGIS program**, The Pennsylvania State University. Disponível em <www.e-education.psu.edu/geog892/node/658>. Acesso em 18/08/2016.

AGROXML: **XML dialect for representing and describing farm work**. Disponível em: <www.agroxml.de>. Acesso em 11/10/2014.

ARGUS. **Tecnologia para agricultura de precisão**. Disponível em: <http://www.argus.com.br/publicacoes_exibe.html?id=1>. Acesso em 26/10/2014.

BARBIER M.; CHANTHERY, E., Autonomous Mission Management for Unmanned Aerial Vehicles. **Aerospace Science and Technology**, v. 8, p. 359-368, 2004.

BASS, L.; CLEMENTS, P.; KAZMAN, R. **Software Architecture in Practice**. . Addison-Wesley. Second Edition, 2003.

BOEING, E.L.; CATEN, A.T.; VITALIS, F.A. Aplicação de veículo aéreo não tripulado para o mapeamento. **In V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento**. Gramado. 2014.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J. J. I. **The Unified Modeling language user guide**. Addison-Wesley, 1999.

BRADLEY, J.C.; MILLSPAUGH, A. **Programming in Visual C# 2008**. McGraw-Hill, New York. 2010.

BRAGA, A.P. et al. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. Ed. 2 p. 225 – 226. 2007.

BURGOS-ARTIZZUA, X. P.; RIBEIRO, A; TELLAECHÉ, A; PAJARES, G; FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C. Improving weed pressure assessment using digital images from an experience-based reasoning approach. **Computers and electronics in agriculture**, v. 65, p. 176–185. 2009.

BUTLER, C. **Statistics in Linguistics**. B. Blackwell, p. 86. 1985.

CANON S110 OPTICS. 2016. Disponível em <<http://www.imaging-resource.com/prods/canon-s110/canon-s110a4.htm>>. Acesso em 07/08/2016.

COLOMINA, I.; MOLINA, P.; Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 92, p 79 - 97. 2014.

COLWELL, R.N.; Determining the prevalence of certain cereal crop diseases by means of aerial photography: **Hilgardia**, v. 26, n. 5, p. 223-286, 1956.

DELEGIDO, J.; VERRELST, J.; MEZA, C.M., RIVERA, J.P.; ALONSO, L.; MORENO, J. A Red-Edge spectral index for remote sensing estimation of green LAI over agroecosystems. **European Journal of Agronomy**. Ed 46. 2013.

DOC. OPENCV 2.8. **Camera Calibration with OpenCV**. 2016. Disponível em: <http://docs.opencv.org/doc/tutorials/calib3d/camera_calibration/camera_calibration.html>. Acesso em 01/04/2016.

DOS SANTOS, R. A. F.; MION, R. L. DA SILVA, T. J. A.; VILIOTTI, C.A. Veículo aéreo não tripulado para estimar falhas em plantio de soja no estado de Mato Grosso. **In XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Campo Grande – MS. 2014.

DRAEGER, W. C. MCCLELLAND, D. T. A selected bibliography, remote sensing applications in agriculture. **USGS Online Publications Directory**. Technicolor Graphic Services, Inc. 1977.

D' OLEIRE-OLTMANN, S.; MARZOLFF, I.; PETER, K.; RIES, J. Unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. **Remote Sense**. ed. 4, 2012.

ELMASRI, R.; e NAVATHE, S. **Sistemas de banco de dados**. Pearson Addison Wesley. 2005.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, p. 412. 2013.

ESQUERDO, J. C. D. M.; CRUZ, S. A. B.; MACÁRIO, C. G. do N.; ANTUNES, J. F. G.; DA SILVA, J. dos S. V.; COUTINHO, A. C. Tecnologias da Informação Aplicadas aos Dados Geoespaciais. **In Tecnologias da Informação e**

Comunicação e suas relações com a agricultura. EMBRAPA. P. 139-156. 2014.

EVANS, E.; FOWLER, M. **Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software.** Prentice Hall. 2003.

FENG, W., GUO, B.-B., WANG, Z.-J., He, L., SONG, X., WANG, Y.-H., and GUO, T.-C. Measuring leaf nitrogen concentration in winter wheat using double-peak spectral reflection remote sensing data. **Field Crops Research**, 159. 43 – 52. 2014.

FIGUEIREDO, D. Conceitos Básicos do Sensoriamento Remoto. **Companhia Nacional De Abastecimento – CONAB.** Brasília – DF, 2005. Disponível em <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf>. Acesso 20/08/2016.

FOWLER, M. **CQRS.** Disponível em: <<http://martinfowler.com/bliki/CQRS.html>> Acesso em 05/05/2015.

FOWLER, M. **Who needs an architect?** IEEE Software, 2003.

FRANK, E., WITTEN, I. H Generating Accurate Rule Sets Without Global Optimization. In **Fifteenth International Conference**, São Francisco, CA. 1998.

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

GARLAN, D.; SHAW, M. Advances in Software Engineering and Knowledge Engineering, Volume I, edited by V. Ambriola and G. Tortora, **World Scientific Publishing Company**, New Jersey, 1993.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing.** v. 3. 2008.

GUO, Y.; HU, J.; PENG, Y. Research on CBR system based on data mining. **Applied Soft Computing**, v.11, p. 5006–5014, 2011.

HALL, M.; FRANK, E.; HOLMES, G.; PFAHRINGER, B.; REUTEMANN, P.; WITTEN, L. H.; The WEKA **Data Mining Software**, v.11, ed. 1, 2009.

HAN, J; KAMBER, M. Data Mining Concepts and Techniques. **Elsevier**. 2006.

HARDGRAVE. **Remote Piloted Aerial Vehicles: An Anthology**. Disponível em: <http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav_home.html>. Acesso em 31/10/2014.

HAYKIN, S. **Redes Neurais: princípios e práticas**. ARTMED. Porto Alegre, 2001.

ICA 100-40. Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro. **Ministério da defesa comando da aeronáutica**. Força Aérea Brasileira. 2015.

JACINTHO, J. L.; SILVA, R. S. V.; FERRAZ, G. S. A.; VARELLA, C. A. A. Utilização de veículo aéreo não tripulado (VANT) na geração de mapa de uso do solo para agricultura de precisão. In **Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão**. São Pedro. 2014.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. **Embrapa Instrumentação**. 2014.

HUNT, R.E. JR.; HIVELY, D.W.; FUJIKAWA, S.J; LINDEN, D.S.; DAUGHTRY, C.S.T.; MCCARTY, G.W. Acquisition of NIR-Green-Blue Digital Photographs from Unmanned Aircraft for Crop Monitoring. **Remote Sens**. Ed. 2, p.290-305. 2010.

KANEMASU, E. Seasonal canopy reflectance patterns of wheat, sorghum, and soybean. **Remote Sensing of Environment**, p. 43-47, 1974.

KOHAVI, R. The Power of Decision Tables. In **8th European Conference on Machine Learning**. p. 174-189. 1995.

KOHN, C. F. The use of aerial photographs in the geographic analysis of rural areas. **Photogrammetric Engineering**, v. 17, n. 5, 1951.

KORKMAZ, N.; NILSSON, M.; **Practitioners view on command query responsibility segregation**. School of Economics and Management Department of Informatics. Lund University. 2014.

KRIEGLER, F.J., MALILA, W.A., NALEPKA, R.F., RICHARDSON, W. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. **In Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment**, p. 97-131, 1969.

LARMAN, C. **Applying UML and patterns**. Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, 2002.

LEE, W. S.; ALCHANATIS, YANG, C. V.; HIRAFUJI, M.; MOSHOU, D.; LI, C. Sensing technologies for precision specialty crop production. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 74, ed. 1, p. 2-33, 2010.

LI, H.; SUN, JIE. Principal component case-based reasoning ensemble for business failure prediction. **Information & Management**, v. 48, p. 220-227. 2011.

MCWILLIAM, N.; TEEUW.; R. WHITESIDE; ZUKOWSKYJ, P. GIS, GPS and remote sensing. **Royal Society Geographic**. 2005.

MELLOR, S. J., SCOTT, K., UHL, A., WEISE, D. MDA Destilada: Princípios de Arquitetura Orientada por Modelos. **Ciência Moderna**. 2005

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D. O. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. 2012. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em 08/09/2015.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 2012.

MISSION PLANNER. **ArduPilot Autopilot Suite**. Disponível em: <<http://ardupilot.org/planner/index.html>>. Acesso em 26/10/2014.

MOLIN, J.P. Agricultura de precisão - Um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando ao

aumento de retorno econômico e à redução do impacto ao ambiente.
Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI. Ministério da agricultura.
 Brasília. 2013. Disponível em:
 <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/Boletim%20tecnico.pdf>. Acesso em
 10/06/2016.

MURAKAMI, E. **Uma infra-estrutura de desenvolvimento de sistemas de informação orientados a serviços distribuídos para agricultura de precisão.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2006.

NETELER, M.; MITOSOVA, H. **Open Source GIS: A GRASS GIS Approach.** ed. 2. 2004.

OLIVEIRA. **Aeronaves não tripuladas – ANT – Histórico no CTA e Perspectivas.** São José dos Campos. CTA. 2005.

ÖQVIST, J. **Becoming More Agile With Domain-Driven Design.** 2011.

PAPAJORGJI, P.J.; PARDALOS, P.M. **Software Engineering Techniques Applied to Agriculture an Object-Oriented and UML Approach.** Springer. 2013.

PIX4DMAPPER. **Software for professional drone-based mapping.** Acesso em: <<https://pix4d.com/product/>> Acesso em 23/08/2016.

QUINLAN, J. R. **C4.5: Programs for Machine Learning.** Morgan Kaufmann Publishers, 1993.

RAZI, J. R. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em pulverização agrícola.** Monografia Especialização em Maquinas Agrícolas. Pelotas – RS. 2008.

RBAC-E nº 94. Requisitos gerais para veículos aéreos não tripulados e aeromodelos. **Regulamento brasileiro da aviação civil especial.** Agência nacional de aviação civil. 2015.

RAJKOVIC, P.; JANKOVIC, D.; MILENKOVIC, A. Using CQRS Pattern for Improving Performances in Medical Information. **In Local Proceedings of the Sixth Balkan Conference in Informatics.** Grecian. 2013.

SANTAMARIA, E.; ROYO, P.; LOPEZ, J.; BARRADO, C.; PASTOR, E.; PRATS, X. **Increasing UAV capabilities through autopilot and flight plan abstraction**. Department of Computer Architecture, Technical University of Catalonia, 2007.

SENSEFLY. EBee **The professional mapping drone**. Disponível em: <<https://www.sensefly.com/drones/ebec.html>>. Acesso em 24/08/2016.

SHI, Y.; THOMASSON, J.A.; MURRAY, S.C.; PUGH, N.A.; ROONEY, W.L.; SHAFIAN, S.; et al. Unmanned Aerial Vehicles for High-Throughput Phenotyping and Agronomic Research. **PLoS ONE**, v. 11, 2016.

SRIDHAR, B. M., VINCENT, R. K., ROBERTS, S. J., and CZAJKOWSKI, K. Remote sensing of soybean stress as an indicator of chemical concentration of biosolid amended surface soils. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 13, ed. 4, p. 676 – 681, 2011.

SZYKMAN, S.; SRIRAM, R. D., BOCHENEK, C.; RACZ, J. W.; SENFAUTE, J. **Design Repositories: Next-Generation Engineering Design Databases**, 2000.

TANAKA, E.M.; ANDRADE, A.G.; GAWSKI, M.; COLETTA, P.C.D. Validação de levantamento planialtimétrico realizado pelo veículo aéreo não tripulado (Vant) - sensefly na cultura de cana-de-açúcar. In **IV Encontro de Mecanização em Agricultura de Precisão**. Pompeia – São Paulo. 2013.

VALAVANIS, K. P. **Advances in Unmanned Aerial Vehicles: State of the art and the Road to Autonomy**, v. 33. Springer 2007.

VITORINO, T. A. S. **Raciocínio baseado em casos: conceitos e aplicações**. Universidade Federal De Minas Gerais, 2009

WOLF, P. R.; DEWITT, B.A.; BENJAMIN E.W.; **Elements of photogrammetry with applications in GIS**. Ed. 4. 2014.

YOUNG, G. **CQRS task based ui event sourcing**. Acesso em: <<http://codebetter.com/gregyoung/2010/02/16/cqrs-task-based-uis-event-sourcing-agh>>. 2010.

ZARCO-TEJADA, P.J.; GONZÁLEZ-DUGO, V.; BERNI, J.A.J.; Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. **Remote Sensing of Environment**, v. 117, p. 322–337, 2012.

ZARCO-TEJADA, P.J.; GUILLÉN-CLIMENT, M.L.; HERNÁNDEZ-CLEMENTE, R.; CATALINA, A.; GONZÁLEZ, M.R.; MARTÍN, P. Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV). **Agricultural and Forest Meteorology**, v.171 – 172, p. 281 – 294, 2013.

WEN, W. A knowledge-based intelligent electronic commerce system for selling agricultural products. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 57, p. 33–46, 2007.

ZAMAN-ALLAH, M.; et al. Unmanned aerial platform-based multi-spectral imaging for field phenotyping of maize. **Plant Methods**, v. 35, 2015.

7 ANEXOS

Anexo 1 - Índices NDVI - Pix4d GSD 5cm/pixel

Min	Max	Med	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11
0,95	1,00	0,975	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,90	0,95	0,925	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,85	0,90	0,875	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,80	0,85	0,825	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,75	0,80	0,775	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,70	0,75	0,725	2,08%	0,01508	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,65	0,70	0,675	22,84%	0,15417	9,99%	0,06743	0,04%	0,00027	0,00%	0	1,27%	0,00857	0,00%
0,60	0,65	0,625	48,78%	0,30488	44,08%	0,2755	10,59%	0,06619	0,00%	0	35,99%	0,22494	0,00%
0,55	0,60	0,575	21,41%	0,12311	41,63%	0,23937	71,35%	0,41026	0,00%	0	54,62%	0,31407	0,00%
0,50	0,55	0,525	4,89%	0,02567	4,20%	0,02205	17,84%	0,09366	0,00%	0	7,89%	0,04142	0,00%
0,45	0,50	0,475	0,00%	0	0,10%	0,00048	0,18%	0,00086	0,00%	0	0,23%	0,00109	1,91%
0,40	0,45	0,425	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	17,44%	0,07412	0,00%	0	48,94%
0,35	0,40	0,375	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	75,04%	0,2814	0,00%	0	47,23%
0,30	0,35	0,325	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	7,52%	0,02444	0,00%	0	1,91%
0,25	0,30	0,275	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,20	0,25	0,225	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,15	0,20	0,175	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,10	0,15	0,125	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,05	0,10	0,075	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,00	0,05	0,025	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
1,00			0,623	100,00%	0,60483	100,00%	0,57124	100,00%	0,37996	100%	0,59009	100%	0,40039
			100%	0,5829	100%	0,39124	100%	0,59902	100%	0,37294	100%	0,36597	
Min	Max	Med	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B09	B10	B11
0,95	1,00	0,975	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,90	0,95	0,925	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,85	0,90	0,875	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,80	0,85	0,825	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,75	0,80	0,775	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,70	0,75	0,725	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,65	0,70	0,675	0,44%	0,00297	4,03%	0,0272	0,00%	0	1,61%	0,01087	0,00%	0	1,08%
0,60	0,65	0,625	34,01%	0,21256	62,31%	0,38944	0,00%	0	22,51%	0,14069	0,00%	0	27,66%
0,55	0,60	0,575	56,53%	0,32505	33,19%	0,19084	0,00%	0	62,47%	0,3592	0,00%	0	53,92%
0,50	0,55	0,525	9,01%	0,0473	0,47%	0,00247	0,00%	0	13,14%	0,06899	0,00%	0	16,94%
0,45	0,50	0,475	0,00%	0	0,00%	0	2,63%	0,01249	0,27%	0,00128	8,49%	0,04033	0,40%
0,40	0,45	0,425	0,00%	0	0,00%	0	55,61%	0,23634	0,00%	0	57,76%	0,24548	0,00%
0,35	0,40	0,375	0,00%	0	0,00%	0	41,19%	0,15446	0,00%	0	32,92%	0,12346	0,00%
0,30	0,35	0,325	0,00%	0	0,00%	0	0,56%	0,00182	0,00%	0	0,84%	0,00273	0,00%
0,25	0,30	0,275	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,20	0,25	0,225	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,15	0,20	0,175	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,10	0,15	0,125	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,05	0,10	0,075	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,00	0,05	0,025	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
1,00			0,588	100,00%	0,60995	99,99%	0,40512	100,00%	0,58103	100%	0,412	100%	0,58104
			100%	0,38964	100%	0,60123	100%	0,3799	100%	0,37579	100%	0,61357	
Min	Max	Med	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11
0,95	1,00	0,975	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,90	0,95	0,925	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,85	0,90	0,875	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,80	0,85	0,825	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,75	0,80	0,775	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,70	0,75	0,725	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	1,19%
0,65	0,70	0,675	2,59%	0,01748	0,00%	0	0,00%	0	2,27%	0,01532	0,00%	0	0,53%
0,60	0,65	0,625	41,71%	0,26069	0,00%	0	10,90%	0,06813	0,00%	0	29,84%	0,1865	0,00%
0,55	0,60	0,575	51,99%	0,29894	0,00%	0	57,16%	0,32867	0,00%	0	50,90%	0,29268	0,00%
0,50	0,55	0,525	4,11%	0,02158	0,00%	0	30,52%	0,16023	0,00%	0	15,54%	0,08159	0,00%
0,45	0,50	0,475	0,00%	0	0,11%	0,00052	1,41%	0,0067	0,94%	0,00447	1,46%	0,00694	3,24%
0,40	0,45	0,425	0,00%	0	25,17%	0,10697	0,00%	0	11,89%	0,05053	0,00%	0	15,87%
0,35	0,40	0,375	0,00%	0	68,79%	0,25796	0,00%	0	63,88%	0,23955	0,00%	0	70,28%
0,30	0,35	0,325	0,00%	0	5,93%	0,01927	0,00%	0	23,29%	0,07569	0,00%	0	10,61%
0,25	0,30	0,275	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,20	0,25	0,225	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,15	0,20	0,175	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,10	0,15	0,125	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,05	0,10	0,075	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,00	0,05	0,025	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
1,00			0,599	100,00%	0,38473	99,99%	0,56372	100,00%	0,37024	100%	0,58302	100%	0,38087
			100%	0,56836	100%	0,35629	100%	0,59797	100%	0,62223	100%	0,38373	
Min	Max	Med	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11
0,95	1,00	0,975	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,90	0,95	0,925	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,85	0,90	0,875	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,80	0,85	0,825	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,75	0,80	0,775	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,70	0,75	0,725	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,65	0,70	0,675	0,00%	0	7,06%	0,04766	0,00%	0	1,17%	0,0079	0,00%	0	0,42%
0,60	0,65	0,625	0,00%	0	52,71%	0,32944	0,00%	0	15,92%	0,0995	0,00%	0	18,19%
0,55	0,60	0,575	0,00%	0	32,79%	0,18854	16,80%	0,0966	51,46%	0,2959	0,00%	0	64,50%
0,50	0,55	0,525	0,00%	0	7,29%	0,03827	34,84%	0,18291	30,60%	0,16065	0,00%	0	16,30%
0,45	0,50	0,475	3,12%	0,01482	0,15%	0,00071	29,59%	0,14055	0,84%	0,00399	0,34%	0,00162	0,59%
0,40	0,45	0,425	53,05%	0,22546	0,00%	0	17,96%	0,07633	0,00%	0	55,69%	0,23668	0,00%
0,35	0,40	0,375	41,91%	0,15716	0,00%	0	0,82%	0,00308	0,00%	0	43,85%	0,16444	0,00%
0,30	0,35	0,325	1,91%	0,00621	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,13%	0,00042	0,00%
0,25	0,30	0,275	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,12%	0,00033	0,00%
0,20	0,25	0,225	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,15	0,20	0,175	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,10	0,15	0,125	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,05	0,10	0,075	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,00	0,05	0,025	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
1,00			0,404	100,00%	0,60462	100,01%	0,49947	99,99%	0,56793	100%	0,40316	100%	0,57578
			100%	0,37457	100%	0,50732	100%	0,53886	100%	0,60059	100%	0,36951	

Anexo 2 - Índices NDVI - Pix4d GSD 10cm/pixel

Min	Max	Med	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11
0,95	1,00	0,975	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,90	0,95	0,925	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,85	0,90	0,875	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,80	0,85	0,825	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,75	0,80	0,775	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,70	0,75	0,725	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,65	0,70	0,675	7,42%	0,05009	1,55%	0,01046	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,60	0,65	0,625	34,74%	0,21713	20,26%	0,12663	0,17%	0,00106	0,00%	0	9,63%	0,06019	0,00%
0,55	0,60	0,575	40,56%	0,23322	52,39%	0,30124	53,28%	0,30636	0,00%	0	53,27%	0,3063	0,00%
0,50	0,55	0,525	13,52%	0,07098	24,52%	0,12873	45,00%	0,23625	0,00%	0	25,80%	0,13545	0,00%
0,45	0,50	0,475	2,72%	0,01292	1,29%	0,00613	1,55%	0,00736	0,00%	0	9,24%	0,04389	0,15%
0,40	0,45	0,425	0,85%	0,00361	0,00%	0	0,00%	0	9,22%	0,03919	2,05%	0,00871	24,31%
0,35	0,40	0,375	0,19%	0,00071	0,00%	0	0,00%	0	73,28%	0,2748	0,00%	0	73,85%
0,30	0,35	0,325	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	17,50%	0,05688	0,00%	0	1,68%
0,25	0,30	0,275	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,20	0,25	0,225	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,15	0,20	0,175	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,10	0,15	0,125	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,05	0,10	0,075	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,00	0,05	0,025	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
			1,00	0,589	100,01%	0,57319	100,00%	0,55104	100,00%	0,37086	100%	0,55454	100%
											0,38643	100%	0,55219
												0,37881	100%
												0,54323	100%
												0,36807	100%
												0,35623	

Min	Max	Med	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B09	B10	B11
0,95	1,00	0,975	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,90	0,95	0,925	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,85	0,90	0,875	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,80	0,85	0,825	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,75	0,80	0,775	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,70	0,75	0,725	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,65	0,70	0,675	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,60	0,65	0,625	7,04%	0,044	36,36%	0,22725	0,00%	0	5,41%	0,03381	0,00%	0	4,86%
0,55	0,60	0,575	80,25%	0,46144	62,03%	0,35667	0,00%	0	58,89%	0,33862	0,00%	0	54,68%
0,50	0,55	0,525	12,49%	0,06557	1,60%	0,0084	0,67%	0,00352	24,88%	0,13062	0,00%	0	30,22%
0,45	0,50	0,475	0,23%	0,00109	0,00%	0	4,19%	0,0199	9,74%	0,04627	3,50%	0,01663	10,25%
0,40	0,45	0,425	0,00%	0	0,00%	0	22,61%	0,09609	1,08%	0,00459	46,34%	0,19695	0,00%
0,35	0,40	0,375	0,00%	0	0,00%	0	67,50%	0,25313	0,00%	0	47,29%	0,17734	0,00%
0,30	0,35	0,325	0,00%	0	0,00%	0	5,03%	0,01635	0,00%	0	2,87%	0,00931	0,00%
0,25	0,30	0,275	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,20	0,25	0,225	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,15	0,20	0,175	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,10	0,15	0,125	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,05	0,10	0,075	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,00	0,05	0,025	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
			1,00	0,572	99,99%	0,59232	100,00%	0,38899	100,00%	0,55391	100%	0,40024	100%
												0,55213	100%
												0,38381	100%
												0,58308	100%
												0,3762	100%
												0,36319	100%
												0,58842	

Min	Max	Med	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	B11
0,95	1,00	0,975	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,90	0,95	0,925	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,85	0,90	0,875	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,80	0,85	0,825	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,75	0,80	0,775	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,70	0,75	0,725	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,65	0,70	0,675	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,60	0,65	0,625	21,27%	0,13294	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,55	0,60	0,575	65,99%	0,37599	0,00%	0	39,47%	0,22695	0,00%	0	58,33%	0,3354	0,00%
0,50	0,55	0,525	13,34%	0,07004	0,00%	0	59,47%	0,31222	0,00%	0	22,62%	0,11876	0,00%
0,45	0,50	0,475	0,00%	0	0,00%	0	1,05%	0,00499	0,42%	0,002	6,12%	0,02907	0,17%
0,40	0,45	0,425	0,00%	0	17,01%	0,07229	0,00%	0	9,64%	0,04097	1,19%	0,00506	9,86%
0,35	0,40	0,375	0,00%	0	66,13%	0,24799	0,00%	0	49,69%	0,18634	0,00%	0	55,19%
0,30	0,35	0,325	0,00%	0	16,86%	0,0548	0,00%	0	38,99%	0,12672	0,00%	0	34,78%
0,25	0,30	0,275	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	1,26%	0,00347	0,00%	0	0,00%
0,20	0,25	0,225	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,15	0,20	0,175	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,10	0,15	0,125	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,05	0,10	0,075	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,00	0,05	0,025	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
			1,00	0,579	100,00%	0,37508	99,99%	0,54416	100,00%	0,35949	100%	0,56176	100%
												0,36271	100%
												0,53547	100%
												0,34023	100%
												0,52789	100%
												0,56761	100%
												0,37783	

Min	Max	Med	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11											
0.95	1.00	0.975	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%											
0.90	0.95	0.925	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%											
0.85	0.90	0.875	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%											
0.80	0.85	0.825	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%											
0.75	0.80	0.775	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%											
0.70	0.75	0.725	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%											
0.65	0.70	0.675	0.00%	0	0.23%	0.00155	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%											
0.60	0.65	0.625	0.00%	0	40.12%	0.25075	0.00%	0	5.92%	0.037	0.00%	0	3.80%											
0.55	0.60	0.575	0.00%	0	51.21%	0.29446	3.69%	0.02122	36.80%	0.2116	0.00%	0	63.38%											
0.50	0.55	0.525	0.00%	0	7.75%	0.04069	39.36%	0.20664	49.35%	0.25909	0.00%	0	20.14%											
0.45	0.50	0.475	0.00%	0	0.69%	0.00328	15.75%	0.07481	6.93%	0.03292	0.34%	0.00162	8.73%											
0.40	0.45	0.425	28.20%	0.11985	0.00%	0	27.81%	0.11819	1.01%	0.00429	26.57%	0.11292	3.94%											
0.35	0.40	0.375	66.76%	0.25035	0.00%	0	13.07%	0.04901	0.00%	0	69.20%	0.2595	0.00%											
0.30	0.35	0.325	5.04%	0.01638	0.00%	0	0.34%	0.00111	0.00%	0	3.89%	0.01264	0.00%											
0.25	0.30	0.275	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%											
0.20	0.25	0.225	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%											
0.15	0.20	0.175	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%											
0.10	0.15	0.125	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%											
0.05	0.10	0.075	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%											
0.00	0.05	0.025	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%											
		1.00	0.387	100.00%	0.59073	100.02%	0.47098	100.01%	0.5449	100%	0.38668	100%	0.55213	100%	0.35966	100%	0.49295	100%	0.52532	100%	0.58674	100%	0.36473	100%

Anexo 3- Índices NDVI - Pix4d GSD 15cm/pixel

Min	Max	Med	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11																					
0.95	1.00	0.975	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.90	0.95	0.925	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.85	0.90	0.875	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.80	0.85	0.825	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.75	0.80	0.775	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.70	0.75	0.725	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.65	0.70	0.675	10.70%	0.07223	0.64%	0.00432	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.60	0.65	0.625	37.00%	0.23125	31.31%	0.19569	0.00%	0	12.02%	0.07513	0.00%	0	1.40%	0.00875	0.00%	0	39.67%	0.24794	0.00%	0	0.00%	0												
0.55	0.60	0.575	46.79%	0.26904	56.23%	0.32332	50.39%	0.28974	0.00%	0	75.11%	0.43188	0.00%	0	70.09%	0.40302	0.00%	0	70.09%	0.40302	0.00%	0	27.69%	0.15922	0.00%	0								
0.50	0.55	0.525	5.20%	0.0273	11.82%	0.06206	49.61%	0.26045	0.00%	0	11.59%	0.06085	0.00%	0	27.10%	0.14228	0.00%	0	27.10%	0.14228	0.00%	0	14.46%	0.07592	0.00%	0								
0.45	0.50	0.475	0.31%	0.00147	0.00%	0	0.00%	0	0.36%	0.00171	1.29%	0.00613	0.00%	0	1.40%	0.00665	0.00%	0	1.40%	0.00665	0.00%	0	12.81%	0.06085	0.00%	0								
0.40	0.45	0.425	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	16.13%	0.06855	0.00%	0	1.30%	0.00553	0.00%	0	12.02%	0.05109	5.37%	0.02282	0.00%	0	0.41%	0.00174	0.00%	0								
0.35	0.40	0.375	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	75.63%	0.28361	0.00%	0	14.78%	0.05543	0.00%	0	77.68%	0.2913	0.00%	0	74.87%	0.28076	44.40%	0.1665	0.00%	0								
0.30	0.35	0.325	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	7.89%	0.02564	0.00%	0	79.57%	0.2586	0.00%	0	10.30%	0.03348	0.00%	0	24.62%	0.08002	55.19%	0.17937	0.00%	0								
0.25	0.30	0.275	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	4.35%	0.01196	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0								
0.20	0.25	0.225	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0								
0.15	0.20	0.175	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0								
0.10	0.15	0.125	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0								
0.05	0.10	0.075	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0								
0.00	0.05	0.025	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0								
1.00														0.601	100.00%	0.58539	100.00%	0.5502	100.01%	0.37952	100%	0.57398	100%	0.33152	100%	0.56069	100%	0.37586	100%	0.56674	99%	0.36078	100%	0.34761

Min	Max	Med	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B09	B10	B11																					
0.95	1.00	0.975	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.90	0.95	0.925	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.85	0.90	0.875	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.80	0.85	0.825	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.75	0.80	0.775	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.70	0.75	0.725	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.65	0.70	0.675	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.60	0.65	0.625	4.47%	0.00294	17.96%	0.11225	0.00%	2.20%	0.01375	0.00%	2.50%	0.01563	0.00%	19.25%	0.12031	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	38.40%	0.24											
0.55	0.60	0.575	85.51%	0.49168	80.63%	0.46362	0.00%	63.00%	0.36225	0.00%	81.88%	0.47081	0.00%	44.35%	0.25501	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	50.95%	0.29296											
0.50	0.55	0.525	14.02%	0.07361	1.41%	0.00704	0.00%	33.48%	0.17577	0.00%	15.62%	0.08201	0.00%	20.27%	0.12742	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	10.65%	0.05591											
0.45	0.50	0.475	0.00%	0	0.00%	0	1.24%	0.00589	1.32%	0.00627	3.18%	0.01511	0.00%	0	0.00%	11.72%	0.05567	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0									
0.40	0.45	0.425	0.00%	0	0.00%	0	28.10%	0.11943	0.00%	0	46.36%	0.19703	0.00%	0	18.67%	0.07935	0.42%	0.00179	14.81%	0.06294	9.09%	0.03863	0.00%	0	0.00%	0								
0.35	0.40	0.375	0.00%	0	0.00%	0	69.01%	0.25879	0.00%	0	50.45%	0.18919	0.00%	0	59.11%	0.22166	0.00%	0	63.49%	0.23809	85.95%	0.32231	0.00%	0	0.00%	0								
0.30	0.35	0.325	0.00%	0	0.00%	0	1.65%	0.00536	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	21.33%	0.06932	0.00%	0	21.69%	0.07049	4.86%	0.0158	0.00%	0	0.00%	0								
0.25	0.30	0.275	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0								
0.20	0.25	0.225	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0								
0.15	0.20	0.175	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0								
0.10	0.15	0.125	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0								
0.05	0.10	0.075	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0								
0.00	0.05	0.025	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0								
1.00														0.568	100.00%	0.58328	100.00%	0.38947	100.00%	0.55804	100%	0.40132	100%	0.56844	99%	0.37033	100%	0.5602	100%	0.37152	100%	0.37674	100%	0.58888

Min	Max	Med	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	B11																					
0.95	1.00	0.975	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.90	0.95	0.925	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.85	0.90	0.875	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.80	0.85	0.825	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.75	0.80	0.775	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.70	0.75	0.725	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.65	0.70	0.675	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0																				
0.60	0.65	0.625	19.10%	0.11938	0.00%	0	0.00%	0	2.84%	0.01775	0.00%	0	0.00%	0																				
0.55	0.60	0.575	69.10%	0.39733	0.00%	0	51.53%	0.2963	0.00%	0	71.59%	0.41164	1.84%	0.01058	52.43%	0.30147	0.00%	0	7.34%	0.04221	44.92%	0.25829	0.00%	0										
0.50	0.55	0.525	11.81%	0.062	0.00%	0	48.47%	0.25447	0.00%	0	22.73%	0.11933	7.93%	0.04163	23.79%	0.1249	0.00%	0	85.62%	0.43901	18.64%	0.09786	0.00%	0										
0.45	0.50	0.475	0.00%	0	0.76%	0.00361	0.00%	0	0.00%	0	2.84%	0.01349	21.20%	0.1007	20.39%	0.09685	0.00%	0	9.04%	0.04294	17.80%	0.08455	0.00%	0										
0.40	0.45	0.425	0.00%	0	15.15%	0.06439	0.00%	0	11.80%	0.05058	0.00%	0	58.53%	0.24875	2.43%	0.01033	6.49%	0.02755	0.00%	0	0.00%	0	0.83%	0.00353										
0.35	0.40	0.375	0.00%	0	63.54%	0.23865	0.00%	0	66.57%	0.25021	0.00%	0	66.57%	0.03975	0.91%	0.00364	35.59%	0.13474	0.00%	0	0.00%	0	57.85%	0.21684										
0.30	0.35	0.325	0.00%	0	20.45%	0.06646	0.00%	0	21.43%	0.06965	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	56.71%	0.18431	0.00%	0	0.00%	0	41.32%	0.13429										
0.25	0.30	0.275	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.87%	0.00239	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0										
0.20	0.25	0.225	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0										
0.15	0.20	0.175	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0										
0.10	0.15	0.125	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0										
0.05	0.10	0.075	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0										
0.00	0.05	0.025	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0										
1.00														0.579	100.00%	0.37311	100.00%	0.55077	100.00%	0.37024	100%	0.56222	100%	0.44142	100%	0.53719	100%	0.34902	100%	0.52415	100%	0.5572	100%	0.35476

Min	Max	Med	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11
0.95	1.00												

Anexo 4 - Índices NDVI –Algoritmo NDVI.DLL GSD 5cm/pixel

Min	Max	Med	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11
0.95	1.00	0.975	0.17%	0.00166	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.90	0.95	0.925	4.83%	0.04468	0.69%	0.00638	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.85	0.90	0.875	14.31%	0.12521	8.77%	0.07674	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.80	0.85	0.825	32.50%	0.26813	29.70%	0.24503	1.24%	0.01023	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.75	0.80	0.775	23.86%	0.18492	32.15%	0.24916	25.31%	0.19615	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.70	0.75	0.725	15.03%	0.10897	20.31%	0.14725	52.61%	0.38142	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.65	0.70	0.675	6.91%	0.04664	7.39%	0.04988	19.50%	0.13163	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.60	0.65	0.625	2.21%	0.01381	0.98%	0.00613	1.34%	0.00838	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.55	0.60	0.575	0.19%	0.00109	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.50	0.55	0.525	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	21.55%	0.11314	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.45	0.50	0.475	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	62.66%	0.29764	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.40	0.45	0.425	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	14.75%	0.06269	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.35	0.40	0.375	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.16%	0.0006	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.30	0.35	0.325	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.25	0.30	0.275	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.20	0.25	0.225	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.15	0.20	0.175	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.10	0.15	0.125	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.05	0.10	0.075	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.00	0.05	0.025	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1,00 0,795 99,99% 0,78056 100,00% 0,72781 100,00% 0,47912 100% 0,75511 100% 0,4954 100% 0,75991 100% 0,48945 100% 0,77125 100% 0,45885 100% 0,46035													

Min	Max	Med	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B09	B10	B11
0.95	1.00	0.975	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.90	0.95	0.925	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.85	0.90	0.875	0.04%	0.00035	0.44%	0.00385	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.80	0.85	0.825	13.57%	0.11195	31.29%	0.25814	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.75	0.80	0.775	41.32%	0.32023	52.39%	0.40602	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.70	0.75	0.725	34.31%	0.24875	14.68%	0.10643	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.65	0.70	0.675	9.82%	0.06629	1.20%	0.0081	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.60	0.65	0.625	0.92%	0.00575	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.55	0.60	0.575	0.02%	0.00012	0.00%	0.00%	2.78%	0.01599	0.09%	0.00052	0.06%	0.00035	0.15%
0.50	0.55	0.525	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	40.74%	0.21389	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.45	0.50	0.475	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	51.08%	0.24263	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.40	0.45	0.425	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.39%	0.02291	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.35	0.40	0.375	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.30	0.35	0.325	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.25	0.30	0.275	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.20	0.25	0.225	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.15	0.20	0.175	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.10	0.15	0.125	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.05	0.10	0.075	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.00	0.05	0.025	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1,00 0,753 100,00% 0,78255 99,99% 0,49541 100,01% 0,74452 100% 0,50752 100% 0,7448 100% 0,48806 100% 0,76638 100% 0,47042 100% 0,46142 100% 0,80863													

Min	Max	Med	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	B11
0.95	1.00	0.975	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.90	0.95	0.925	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.85	0.90	0.875	0.24%	0.0021	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.80	0.85	0.825	18.10%	0.14933	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.75	0.80	0.775	53.08%	0.41137	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.70	0.75	0.725	23.92%	0.17342	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.65	0.70	0.675	4.18%	0.02822	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.60	0.65	0.625	0.48%	0.003	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.55	0.60	0.575	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.50	0.55	0.525	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.45	0.50	0.475	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.40	0.45	0.425	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.35	0.40	0.375	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.30	0.35	0.325	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.25	0.30	0.275	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.20	0.25	0.225	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.15	0.20	0.175	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.10	0.15	0.125	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.05	0.10	0.075	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.00	0.05	0.025	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1,00 0,767 100,01% 0,47195 99,99% 0,71139 100,01% 0,46233 100% 0,74998 100% 0,4673 100% 0,68723 100% 0,43947 100% 0,69908 100% 0,80599 100% 0,47972													

Min	Max	Med	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11
0.95	1.00	0.975	0.00%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
0.90	0.95	0.925	0.00%	0.25%	0.03231	0.00%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.57%
0.85	0.90	0.875	0.00%	0.426%	0.03728	0.00%	0.226%	0.00193	0.00%	0.53%	0.00464	0.00%	16.07%
0.80	0.85	0.825	0.00%	0.3855%	0.31804	0.06%	0.0005	0.61%	0.05453	0.00%	0.03%	0.00025	28.75%
0.75	0.80	0.775	0.00%	0.3476%	0.26939	2.56%	0.01984	22.13%	0.17151	0.00%	0.366%	0.02837	17.13%
0.70	0.75	0.725	0.00%	0.1644%	0.11919	16.70%	0.12108	37.90%	0.27478	0.00%	0.211%	0.1603	34.34%
0.65	0.70	0.675	0.00%	0.485%	0.03274	19.88%	0.1419	26.39%	0.17813	0.00%	36.16%	0.24408	27.87%
0.60	0.65	0.625	0.00%	0.87%	0.00544	12.44%	0.07775	6.18%	0.03863	0.00%	26.98%	0.10683	13.91%
0.55	0.60	0.575	0.01144	0.98%	0.00114	0.00%	15.03%	0.06642	0.00332	0.068%	0.0028	0.00207	0.79%
0.50	0.55	0.525	0.02464	0.96%	0.00001	0.00%	25.00%	0.00001	0.00001	0.4223%	0.22187	0.00001	0.54%
0.45	0.50	0.475	0.4383%	0.20819	0.00%	0.815%	0.03871	0.00%	0.5280%	0.2508	0.00%	0.540%	0.20435
0.40	0.45	0.425	0.697%	0.02962	0.00%	0.181%	0.00077	0.00%	0.428%	0.01819	0.00%	0.2883%	0.12253
0.35	0.40	0.375	0.17%	0.00064	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.03%	0.00761	0.00%
0.30	0.35	0.325	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.25	0.30	0.275	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.20	0.25	0.225	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.15	0.20	0.175	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.10	0.15	0.125	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.05	0.10	0.075	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.00	0.05	0.025	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1,00 0,497 99,98% 0,78438 100,00% 0,6105 99,99% 0,72272 100% 0,49465 100% 0,74276 100% 0,46822 100% 0,66494 100% 0,69817 100% 0,78244 100% 0,46719													

	Min	Max	Med	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11												
0.95	1.00	0.975	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0										
0.90	0.95	0.925	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0										
0.85	0.90	0.875	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0										
0.80	0.85	0.825	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0										
0.75	0.80	0.775	2.75%	0.02131	0.11%	0.00085	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0										
0.70	0.75	0.725	15.56%	0.11281	8.82%	0.06395	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	2.30%	0.01668	0.00%	0										
0.65	0.70	0.675	29.41%	0.19852	23.95%	0.16166	0.10%	0.00068	0.00%	0	6.99%	0.04718	0.00%	0	39.63%	0.2675	0.00%	0								
0.60	0.65	0.625	28.37%	0.17731	30.36%	0.18975	14.06%	0.08788	0.00%	0	40.99%	0.25619	0.00%	0	51.28%	0.3205	0.00%	0								
0.55	0.60	0.575	19.07%	0.10965	29.94%	0.17216	55.10%	0.31683	0.00%	0	45.83%	0.26352	0.00%	0	36.32%	0.20884	0.00%	0								
0.50	0.55	0.525	4.84%	0.02541	6.72%	0.03528	30.52%	0.16023	0.00%	0	5.51%	0.02893	0.00%	0	8.06%	0.04232	0.00%	0								
0.45	0.50	0.475	0.00%	0	0.11%	0.00052	0.21%	0.001	0.00%	0	0.27%	0.00128	2.40%	0.0114	0.00%	0	0.00%	0								
0.40	0.45	0.425	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	9.26%	0.03936	0.00%	0	28.37%	0.12057	0.00%	0	20.44%	0.08687	0.00%	0						
0.35	0.40	0.375	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	54.99%	0.20621	0.00%	0	59.13%	0.22174	0.00%	0	58.07%	0.21776	0.00%	0						
0.30	0.35	0.325	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	35.47%	0.11528	0.00%	0	9.94%	0.03231	0.00%	0	21.19%	0.06887	0.00%	0						
0.25	0.30	0.275	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.28%	0.00077	0.00%	0	0.16%	0.00044	0.00%	0	0.30%	0.00083	0.00%	0						
0.20	0.25	0.225	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0						
0.15	0.20	0.175	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0						
0.10	0.15	0.125	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0						
0.05	0.10	0.075	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0						
0.00	0.05	0.025	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0						
				1.00	0.645	100.01%	0.62417	99.99%	0.5666	100.00%	0.36162	100%	0.00%	0.6	100%	0.38646	100%	0.60102	100%	0.37433	100%	0.63507	100%	0.34815	100%	0.34665
Min	Max	Med	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B09	B10	B11													
0.95	1.00	0.975	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0		
0.90	0.95	0.925	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0</																

Anexo 6 - Índices NDVI – Algoritmo NDVI.DLL GSD 5cm/pixel

Max	Med	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11
1,00	0,975	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,95	0,925	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,90	0,875	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,85	0,825	3,80%	0,03135	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,80	0,775	7,00%	0,05425	4,70%	0,03643	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,75	0,725	13,60%	0,0986	22,86%	0,16574	0,25%	0,00181	0,00%	0	0,61%	0,00442	0,00%
0,70	0,675	20,00%	0,135	32,69%	0,22066	3,79%	0,02558	0,00%	0	36,94%	0,24341	0,00%
0,65	0,625	28,40%	0,1775	23,29%	0,14556	53,79%	0,33619	0,00%	0	49,17%	0,30731	0,00%
0,60	0,575	15,60%	0,0897	14,10%	0,08108	37,37%	0,21488	0,00%	0	10,56%	0,06072	0,00%
0,55	0,525	11,40%	0,05985	2,35%	0,01234	4,80%	0,0252	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,50	0,475	0,20%	0,00095	0,00%	0	0,00%	0	0,81%	0,00385	0,00%	0	0,00%
0,45	0,425	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	21,86%	0,09291	0,00%	0	0,00%
0,40	0,375	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	60,32%	0,2262	0,00%	0	0,00%
0,35	0,325	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	17,00%	0,05525	0,00%	0	0,00%
0,30	0,275	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,25	0,225	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,20	0,175	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,15	0,125	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,10	0,075	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,05	0,025	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
1,00	0,647	99,99%	0,66179	100,00%	0,60366	99,99%	0,3782	100%	0,64152	100%	0,39383	100%

Max	Med	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B09	B10	B11
1,00	0,975	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,95	0,925	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,90	0,875	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,85	0,825	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,80	0,775	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,75	0,725	2,84%	0,02059	7,27%	0,05271	0,00%	0	0,32%	0,00232	0,00%	0	0,00%
0,70	0,675	31,25%	0,21094	71,82%	0,48479	0,00%	0	26,67%	0,18002	0,00%	0	0,00%
0,65	0,625	56,25%	0,35156	20,00%	0,125	0,00%	0	48,89%	0,30556	0,00%	0	0,00%
0,60	0,575	9,66%	0,05555	0,91%	0,00523	0,00%	0	24,13%	0,13875	0,00%	0	0,00%
0,55	0,525	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,33%	0,00173	5,85%	0,03071	0,00%
0,50	0,475	0,00%	0	0,00%	0	2,08%	0,00988	0,00%	0	11,76%	0,05586	0,58%
0,45	0,425	0,00%	0	0,00%	0	30,21%	0,12839	0,00%	0	47,06%	0,20001	0,00%
0,40	0,375	0,00%	0	0,00%	0	63,89%	0,23959	0,00%	0	37,91%	0,14216	0,00%
0,35	0,325	0,00%	0	0,00%	0	3,82%	0,01242	0,00%	0	2,94%	0,00956	0,00%
0,30	0,275	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	1,05%	0,00289	0,00%
0,25	0,225	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,20	0,175	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,15	0,125	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,10	0,075	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,05	0,025	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
1,00	0,639	100,00%	0,66773	100,00%	0,39028	100,01%	0,62665	100%	0,40932	100%	0,61405	100%

Max	Med	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	B11
1,00	0,975	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,95	0,925	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,90	0,875	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,85	0,825	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,80	0,775	0,80%	0,0062	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,75	0,725	12,30%	0,08918	0,00%	0	0,00%	0	0,81%	0,00587	0,00%	0	0,00%
0,70	0,675	45,19%	0,30503	0,00%	0	6,38%	0,04307	0,00%	0	23,08%	0,15579	0,00%
0,65	0,625	39,30%	0,24563	0,00%	0	42,03%	0,26269	0,00%	0	61,94%	0,38713	0,00%
0,60	0,575	2,41%	0,01386	0,00%	0	40,00%	0,23	0,00%	0	12,15%	0,06986	0,00%
0,55	0,525	0,00%	0	0,00%	0	11,59%	0,06085	0,00%	0	2,02%	0,01061	0,00%
0,50	0,475	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	7,99%	0,03795	0,00%
0,45	0,425	0,00%	0	9,02%	0,03834	0,00%	0	13,89%	0,05903	0,00%	0	9,26%
0,40	0,375	0,00%	0	61,57%	0,23089	0,00%	0	53,57%	0,20089	0,00%	0	66,30%
0,35	0,325	0,00%	0	29,02%	0,09432	0,00%	0	30,16%	0,09802	0,00%	0	24,07%
0,30	0,275	0,00%	0	0,39%	0,00107	0,00%	0	2,38%	0,00655	0,00%	0	0,37%
0,25	0,225	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,20	0,175	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,15	0,125	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,10	0,075	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,05	0,025	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
1,00	0,660	100,00%	0,36461	100,00%	0,5966	100,00%	0,36449	100%	0,62926	100%	0,36723	100%

Max	Med	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11
1,00	0,975	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,95	0,925	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,90	0,875	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,85	0,825	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,80	0,775	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,75	0,725	0,00%	0	25,28%	0,18328	0,00%	0	7,69%	0,05575	0,00%	0	0,00%
0,70	0,675	0,00%	0	55,56%	0,37503	0,00%	0	9,52%	0,06426	0,00%	0	0,00%
0,65	0,625	0,00%	0	18,61%	0,11631	4,02%	0,02513	37,36%	0,2335	0,00%	0	60,39%
0,60	0,575	0,00%	0	0,56%	0,00322	27,55%	0,15841	38,83%	0,22327	0,00%	0	21,75%
0,55	0,525	0,00%	0	0,00%	0	26,01%	0,13655	6,59%	0,0346	0,00%	0	0,32%
0,50	0,475	3,28%	0,01558	0,00%	0	23,53%	0,11177	0,00%	0	1,67%	0,00793	0,00%
0,45	0,425	35,10%	0,14918	0,00%	0	14,24%	0,06052	0,00%	0	28,33%	0,1204	0,00%
0,40	0,375	55,81%	0,20929	0,00%	0	4,64%	0,0174	0,00%	0	65,00%	0,24375	0,00%
0,35	0,325	5,81%	0,01888	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	5,00%	0,01625	0,00%
0,30	0,275	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	2,78%	0,00765	0,00%
0,25	0,225	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,20	0,175	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,15	0,125	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,10	0,075	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
0,05	0,025	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
1,00	0,393	100,01%	0,67784	99,99%	0,50978	99,99%	0,61138	100%	0,38834	100%	0,62251	100%

Anexo 7 - Resumo índices NDVI

Parcela	GreenSeaker	PIX4D 5 cm	PIX4D 10 cm	PIX4D 15 cm	DLL (A) 5cm	DLL (a) 10cm	DLL (a) 15cm	DLL (b) 5cm	DLL (b) 10cm	DLL (b) 15cm	DLL (c) 5cm	DLL (c) 10cm	DLL (c) 15cm
A01	0,786	0,623	0,589	0,601	0,795	0,645	0,647	0,954	0,774	0,777	0,920	0,162	0,563
A02	0,754	0,605	0,573	0,585	0,781	0,624	0,662	0,937	0,749	0,794	0,933	0,879	0,072
A03	0,685	0,571	0,551	0,550	0,728	0,567	0,604	0,873	0,680	0,724	0,466	0,557	0,766
A04	0,357	0,380	0,371	0,380	0,479	0,362	0,378	0,575	0,434	0,454	0,309	0,365	0,748
A05	0,713	0,590	0,555	0,574	0,755	0,600	0,642	0,906	0,720	0,770	0,439	0,575	0,062
A06	0,388	0,400	0,386	0,332	0,495	0,386	0,394	0,594	0,464	0,473	0,291	0,166	0,351
A07	0,689	0,583	0,552	0,561	0,760	0,601	0,636	0,912	0,721	0,763	0,021	0,598	0,348
A08	0,369	0,391	0,379	0,376	0,489	0,374	0,371	0,587	0,449	0,445	0,379	0,085	0,382
A09	0,751	0,599	0,543	0,567	0,771	0,635	0,674	0,926	0,762	0,809	0,269	0,127	0,251
A10	0,359	0,373	0,368	0,361	0,459	0,348	0,350	0,551	0,418	0,420	0,277	0,326	0,720
A11	0,357	0,366	0,356	0,348	0,460	0,347	0,341	0,552	0,416	0,410	0,452	0,073	0,840
B01	0,704	0,588	0,572	0,568	0,753	0,598	0,639	0,904	0,718	0,766	0,209	0,178	0,470
B02	0,757	0,610	0,592	0,583	0,783	0,627	0,668	0,939	0,752	0,801	0,195	0,446	0,280
B03	0,395	0,405	0,389	0,389	0,495	0,372	0,390	0,594	0,447	0,468	0,491	0,958	0,655
B04	0,738	0,581	0,554	0,558	0,745	0,578	0,627	0,893	0,693	0,752	0,601	0,544	0,527
B05	0,395	0,412	0,400	0,401	0,508	0,393	0,409	0,609	0,472	0,491	0,526	0,638	0,551
B06	0,744	0,581	0,552	0,568	0,745	0,585	0,614	0,894	0,702	0,737	0,284	0,765	0,515
B07	0,387	0,390	0,384	0,370	0,488	0,370	0,370	0,586	0,444	0,444	0,506	0,625	0,706
B08	0,759	0,601	0,583	0,560	0,766	0,607	0,647	0,920	0,729	0,776	0,739	0,413	0,823
B09	0,388	0,380	0,376	0,372	0,470	0,374	0,367	0,564	0,449	0,440	0,756	0,501	0,885
B10	0,364	0,376	0,363	0,377	0,461	0,357	0,366	0,554	0,428	0,440	0,538	0,563	0,630
B11	0,725	0,614	0,588	0,589	0,809	0,631	0,669	0,970	0,758	0,802	0,283	0,716	0,862
C01	0,740	0,599	0,579	0,579	0,767	0,610	0,660	0,921	0,732	0,792	0,197	0,239	0,706
C02	0,379	0,385	0,375	0,373	0,472	0,365	0,365	0,566	0,438	0,438	0,264	0,235	0,735
C03	0,676	0,564	0,544	0,551	0,711	0,550	0,597	0,854	0,660	0,716	0,885	0,492	0,066
C04	0,370	0,370	0,359	0,370	0,462	0,352	0,364	0,555	0,422	0,437	0,933	0,147	0,076
C05	0,722	0,583	0,562	0,562	0,750	0,588	0,629	0,900	0,705	0,755	0,479	0,158	0,957
C06	0,375	0,381	0,363	0,441	0,467	0,355	0,367	0,561	0,426	0,441	0,460	0,986	0,309
C07	0,716	0,568	0,535	0,537	0,687	0,546	0,569	0,825	0,655	0,682	0,742	0,372	0,003
C08	0,345	0,356	0,340	0,349	0,439	0,332	0,343	0,527	0,398	0,412	0,045	0,024	0,972
C09	0,646	0,598	0,528	0,524	0,699	0,543	0,567	0,839	0,651	0,680	0,843	0,693	0,779
C10	0,764	0,622	0,568	0,557	0,806	0,640	0,700	0,967	0,768	0,840	0,547	0,643	0,575
C11	0,393	0,384	0,378	0,355	0,480	0,366	0,366	0,576	0,440	0,439	0,245	0,226	0,851
D01	0,379	0,404	0,387	0,399	0,497	0,378	0,393	0,596	0,453	0,472	0,769	0,246	0,859
D02	0,720	0,605	0,591	0,589	0,784	0,638	0,678	0,941	0,766	0,813	0,157	0,122	0,531
D03	0,619	0,499	0,471	0,498	0,611	0,477	0,510	0,733	0,572	0,612	0,496	0,865	0,796
D04	0,707	0,568	0,545	0,553	0,723	0,569	0,611	0,867	0,683	0,734	0,479	0,950	0,872
D05	0,386	0,403	0,387	0,405	0,495	0,381	0,388	0,594	0,457	0,466	0,781	0,589	0,055
D06	0,685	0,576	0,552	0,557	0,743	0,579	0,623	0,891	0,695	0,747	0,436	0,509	0,148
D07	0,343	0,375	0,360	0,364	0,468	0,345	0,352	0,562	0,414	0,423	0,816	0,177	0,691
D08	0,615	0,507	0,493	0,500	0,665	0,512	0,534	0,798	0,614	0,641	0,894	0,767	0,209
D09	0,613	0,539	0,525	0,513	0,698	0,533	0,554	0,838	0,640	0,665	0,038	0,917	0,456
D10	0,730	0,601	0,587	0,571	0,782	0,633	0,682	0,939	0,760	0,818	0,493	0,927	0,806
D11	0,345	0,370	0,365	0,363	0,467	0,359	0,355	0,561	0,430	0,426	0,161	0,385	0,070
Média	0,56	0,50	0,48	0,48	0,63	0,49	0,52	0,75	0,59	0,62	0,48	0,48	0,53
Variancia	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,07	0,08	0,09

(a) Algoritmo NVDI.DLL (b) Algoritmo NVDIAdd20Percent.DLL (c) Algoritmo NVDIRandom.DLL