



**UNIVERSIDADE
EDUARDO MONDLANE**



FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Secção de Maneio e Economia Florestal

PROJECTO FINAL

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS CLASSIFICADORES
PARÂMÉTRICOS USANDO IMAGEM IKONOS 2 NA FLORESTA DE
INHAMACARI - MACHIPANDA**

Autor: Nkassa Amade

Supervisor:

Drº Engº Agnelo dos Milagres Fernandes

Co-Supervisor:

Engº Faruk Pires Semedo Mamugy

Maputo, Outubro de 2014

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS CLASSIFICADORES PARÂMÉTRICOS
USANDO IMAGEM IKONOS 2 NA FLORESTA DE INHAMACARI -
MACHIPANDA**

NKASSA AMADE

Projecto Final apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Supervisor: Drº Engº Agnelo dos Milagres Fernandes

Co-Supervisor: Engº Faruk Pires Semedo Mamugy

MAPUTO, OUTUBRO DE 2014

DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que o presente trabalho foi feito por mim, e todo material usado neste trabalho e que não é da minha autoria foi devidamente identificado, de acordo com a ética, conduta e regras académicas.

Maputo, Outubro de 2014



(Nkassa Amade)

RESUMO

A qualidade dos resultados do processo de classificação automática constitui uma preocupação de todo fotointerprete. A avaliação conjunta dos métodos de classificação tem por finalidade escolher melhores métodos a fim de melhorar a qualidade dos resultados. O presente trabalho tem como objectivo avaliar o desempenho dos classificadores parâmetros a partir de imagem aérea do satélite Ikonos 2 para mapeamento das plantações de *Eucalyptus spp.* e *Pinus spp.*. Para a classificação primeiro fez-se a colheita de dados na área de estudo com cerca de 250 hectares, com auxílio de GPS marcou-se as coordenadas dos pontos e caracterizou-se a área. No computador, fez-se a colheita de assinaturas espectrais de cada classe do campo, avaliou-se a separação das assinaturas e de seguida classificou-se a imagem usando os três classificadores parâmetros presentes no ERDAS 9.1. A partir da matriz de erros de cada método determinou-se os índices de exactidão global e kappa. Os métodos Máxima Verossimilhança, Distância Mahalanobis e Distância Mínima, tiveram em ordem 56.41, 33.33 e 30.77% de exactidão global e 0.55, 0.32 e 0.29 de índice kappa. Com base nos valores do índice kappa, o método Máxima Verossimilhança teve bom resultado enquanto que os métodos de Distância Mahalanobis e Distância Mínima tiveram resultados razoáveis. Através do teste Z a 95% do nível de confiança comparou-se os métodos. No processo de classificação digital produziu-se seis classes de uso e cobertura do solo: *Eucalyptus spp* – Jovem (A), *Eucalyptus spp*-Adulto (B), *Pinus spp*-Jovem (C), *Pinus spp*-Adulto (D), Solo exposto (E) e Outras (F). De acordo com o teste Z a 95% de nível de confiança, a classificação com o método Maxver demonstrou-se como o melhor método para separação dos povoamentos de Eucaliptus e Pinus.

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Suzana Camal Rade pelo sacrifício, dedicação e aposta na minha formação.

Aos meus irmãos, Ibraimo, Josefina, Natália, Costa, Cristina, Olga e Amaro "Padre", meus sobrinhos Elísio, Carme, Abdala, Miguelito, Luís "Idji", e Mainha.

E em memória do meu padrasto, Miguel J. Alotakwomba, dos meus avôs N'gamo Bacar e Camal Rade, dos meus primos Abacar Omar Salimo, Chale Omar Salimo, Puiaue Camal Rade, Sumaila Camal Rade.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Em especial, agradeço ao meu supervisor Doutor Eng^o Agnelo dos Milagres Fernandes, o meu co-supervisor Eng^o Faruk Pires Semedo Mamugy pela disponibilidade, orientação e transmissão de conhecimentos e conselhos que contribuíram para a concretização deste trabalho.

Aos docentes da Faculdade de Agronomia e Engenharia florestal, em especial os do Departamento de Engenharia Florestal na transmissão dos conhecimentos ao longo da formação e os funcionários da faculdade, agradeço.

Agradeço a todos colegas da turma de engenharia florestal de 2008 pelo companheirismo durante o percurso da formação. Agradeço também os funcionários de CEFLOMA e a turma de engenharia florestal de 2010 que de algum modo contribuíram positivamente na colheita de dados para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos Eng^o José Alfredo Amanze, Eng^o Faruk Chafim Tavares, Eng^o Salomão dos Anjos Baptista, Eng^o Sérgio Albano de Deus, Eng^a Floriana Armindo Tomo, Eng^o Ricardo Massangula, José Gedião, Germano Lucas Santana, Horácio Cesário e Etevão Nankwanga pela boa convivência dentro e fora de academia, vai o meu caloroso agradecimento, continuem assim!

À minha amiga Victória da Silva Paulo Icuamuro que muito apoiou no percurso da minha formação.

À toda minha família, em especial aos meus pais, Suzana Camal Rade e Amade Dade, aos meus irmãos Ibraimo, Josefina, Natália, Costa, Cristina, Olga e Amaro “Padre” aos meus primos Amana, Vanicuaia, Belucha, Aua, Mariamo, Raima, Camal, aos meus tios e tias Amana Camal Rade e Rade Camal Rade, Aua Camal Rade e Muanarabo Camal Rade que sempre estão presente para mim em todas circunstâncias.

Mesmo os que não mencionei mas que directa ou indirectamente contribuíram para a minha formação, vai o meu muito obrigado!

“A nossa maior glória não reside no facto de nunca cairmos, mas sim em levantarmo-nos sempre depois de cada queda.” [Confúcio]

ÍNDICE	Páginas
DECLARAÇÃO	ii
RESUMO	iii
DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS	v
LISTA DE TABELAS & QUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Problema e justificação do estudo	2
1.2. Objectivos	3
1.2.1. Geral:	3
1.2.2. Específicos:.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Teledetecção	4
2.2. Espectro Electromagnético	4
2.2.1. Resposta espectral de alvos	5
2.3. Sistema de Sensor	9
2.4. IKONOS 2	11
2.5. Classificação Digital de Imagens.....	13
2.6. Classificador de imagem digital	13

2.6.1.	Método de Mínima Distância	14
2.6.2.	Método de Distância Mahalanobis	15
2.6.3.	Método Máxima Verossimilhança	16
2.7.	Avaliação da Exactidão da Classificação	17
2.7.1.	Exactidão global	18
2.7.2.	Erro de Omissão e Erro de Comissão	18
2.7.3.	Exactidão do Produtor e do Usuário	19
2.7.4.	Índice Kappa	19
2.8.	Teste Z	20
2.9.	Discrição das espécies	21
3.	METODOLOGIAS	26
3.1.	Discrição da área de estudo	26
3.2.	Diagrama da Metodologia	28
3.2.1.	Colheita de dados no campo	29
3.2.2.	Colheita de assinaturas na imagem	31
3.2.3.	Classificação	31
3.2.4.	Avaliação da Exactidão da Classificação	32
4.	RESULTADOS & DISCUSSÃO	33
4.1.	Mapa de uso e ocupação do solo do método de Máxima Verossimilhança	33
4.2.	Mapa de uso e ocupação do solo do método de Distância Mahalanobis	35
4.3.	Mapa de uso e cobertura do solo do método de Distância Mínima	37

4.4. Comparação dos três métodos de classificação	41
5. CONCLUSÕES & RECOMENDAÇÕES	43
5.1. Conclusões.....	43
5.2. Recomendações	44
6. LIMITAÇÕES	45
7. REFERRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
8. ANEXOS.....	51

LISTA DE TABELAS & QUADROS

Tabela 1: Esquema de matriz de erros.....	17
Tabela 2: Qualidade da classificação de acordo com o índice Kappa.....	20
Tabela 3: Matriz de erros do mapa temático do classificador Máxima Verossimilhança...	34
Tabela 4: Matriz de erros do mapa temático do classificador Distância Mahalanobis	37
Tabela 5: Matriz de erros do mapa temático do classificador Distância Mínima	39
Tabela 6: Índices de exactidão do produtor e do usuário dos três classificadores.....	39
Tabela 7: Índices de exactidão global, Kappa e respectivas variâncias dos classificadores	41
Tabela 8: Valores de Z calculado entre os classificadores	42
Quadro 1: Características do Satélite IKONOS 2.	12

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Obtenção de imagens por sensoriamento remoto..	4
Figura 2: Espectro electromagnético..	5
Figura 3: Comportamento espectral da vegetação.....	7
Figura 4: Resposta espectral do solo	8
Figura 5: Resposta espectral da água	9
Figura 6: Sistemas activos e passivo nos satélites.....	10
Figura 7: Satélite Ikonos 2.....	11
Figura 8: Esquema do Distância Mínima	15
Figura 9: Esquema do método de Distância de Mahalanobis	16
Figura 10: Esquema do método Máxima Verossimilhança.....	16
Figura 11: Mapa de localização de área de estudo.	27
Figura 12: Diagrama da metodologia do trabalho.....	28
Figura 13: Distribuição dos pontos na área de estudo	30
Figura 14: Uso e cobertura do solo - método Máxima Verossimilhança.....	34
Figura 15: Uso e cobertura do solo - método Distância Mahalanobis.....	36
Figura 16: Uso e cobertura do solo - método Mínima Distância.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS

BITS	Background Intelligent Transfer Service
CEFLOMA	Centro Agroflorestal de Machipanda
DEF	Departamento de Engenharia Florestal
DNTF	Direcção Nacional de Terras e Florestas
EG	Exactidão global
EP	Exactidão do Produtor
EU	Exactidão do Utilizador
FAEF	Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal
FAO	Food and Agriculture Organization
GIS	Geographic Information System
GPS	Geographic Position System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAXVER	Maxima Verossimilhança
UTM	Universal Transversal Mercator
WGS	World Geodetic System
REM	Radiação electromagnética
KAPPA	Índice de Concordância
PIXEL	Picture Element

1. INTRODUÇÃO

O uso de imagens de satélites no estudo e monitoramento das florestas e o meio ambiental em geral é muito grande. Isto tem motivado os cientistas a fabricar novos aparelhos espaciais de colheita de dados com melhor resolução espacial e espectral a fim de obter maior detalhe dos objectos captados na superfície terrestre (FLORENZANO, 2008).

A alta resolução espacial das imagens causa aumento da variação interna das assinaturas espectrais dos objectos, e consequentemente ocorre sobreposição das classes inviabilizando o sucesso dos resultados produzidos por classificadores baseados na informação de cada pixel (NÓBREGA, 2007). Este facto é mais expressivo principalmente quando se trata de estudos de separação de diferentes tipos de cobertura vegetal de uma determinada área, e por se tratar de vegetação a resposta espectral nestas imagens torna-se muitas vezes similar entre elas.

Em florestas plantadas as imagens aéreas têm sido destacadas como um instrumento auxiliar de extrema importância, pois através das técnicas de classificação digital permite analisar os padrões de distribuição e quantificar áreas ocupadas por uma determinada espécie. Em geral, o uso dessas técnicas facilita a execução das actividades de manejo e planeamento florestal (DISPERATI, 2007 citado por LISBOA, 2009).

Segundo a FAO (2010) cerca de 264 milhões de hectares do globo terrestre estão cobertas de florestas plantadas. Estas plantações permitem reduzir a pressão sobre as florestas nativas e o impacto da sua remoção. Da área total de florestas plantadas, Moçambique contribui com cerca de 52 mil hectares e com a previsão de aumentar cerca de 260 mil hectares para as plantações de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.* (DNTEF, 2011).

A floresta de Inhamacari é uma das várias florestas de Moçambique que tem diferentes espécies dos géneros Eucaliptus e Pinus, e uma parte espécies nativas. Nos últimos anos tem se realizado estudos com recurso a imagem do satélite ikonos 2 destinados a actividade de manejo e outros fins em benefício da floresta. Nesta ordem de ideia, o presente estudo centraliza-se mais nos diferentes classificadores de imagem satélite.

1.1. Problema e justificação do estudo

Os métodos de classificação de imagens têm diferenças nos critérios de classificar os pixels e isso faz com que a precisão dos resultados de mapeamento florestal seja diferente. O conhecimento dos melhores métodos permite obter classificação de boa qualidade e consequentemente, o sucesso das atividades de modelação e análise de mudanças temporais de uso e cobertura do solo.

Desde a década de setenta que a teledetecção teve o seu início em Moçambique, até hoje houve evolução na assimilação técnica e aplicação metodológica em estudos como de Climatologia e Meteorologia, Monitoria Ambiental e Gestão de Catástrofes Naturais ou Causadas pelo Homem, e outros (FERRÃO, 2007). Poucos estudos têm se concentrado em explicar a diferença entre os classificadores de imagens, pautando-se apenas no uso dos melhores métodos que de tal modo a fiabilidade dos classificadores não é clara.

Dos estudos feitos com recurso a imagem do satélite na floresta de Inhamacari, nenhum faz abordagem comparativa entre os classificadores de imagem. Assim, neste trabalho faz-se análise comparativa dos classificadores parâmetros para identificação dos povoamentos de eucaliptus e pinus na floresta de Inhamacari, que permitirá identificar o método mais adequado dos testados no presente estudo.

1.2. Objectivos

1.2.1. Geral:

- Avaliar o desempenho dos classificadores parâmetros a partir de imagem aérea do satélite Ikonos 2 para mapeamento das plantações de *Eucalyptus spp.* e *Pinus spp.*.

1.2.2. Específicos:

- Fazer a classificação digital da imagem aérea dos povoamentos de *Eucalyptus spp* e *Pinus spp* com os diferentes classificadores;
- Comparar os classificadores de imagens para mapeamento de povoamentos de *Eucalyptus spp.* e *Pinus spp.*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Teledeteção

Teledeteção é um processo através do qual é obtida informação sobre um objecto, área ou fenómeno, sem entrar em contacto físico com eles (HASENACK & WEBER, 1998). Este processo só é possível quando existe interação por meio da energia electromagnética entre os objectos e o sensor (SEBEM, S.d).

Segundo NOVO & PONZONI (2001) a teledeteção basea-se em quatro elementos fundamentais que são: fonte, sensor, alvo e por último a radiação electromagnética (REM). Este último interliga os outros três, a *fonte* de REM pode ser o sol, considerado o mais comum para estudos dos recursos naturais, o *sensor*, elemento que colhe, regista a REM reflectida ou emitida pelo objecto (*alvo*) (Figura 1).

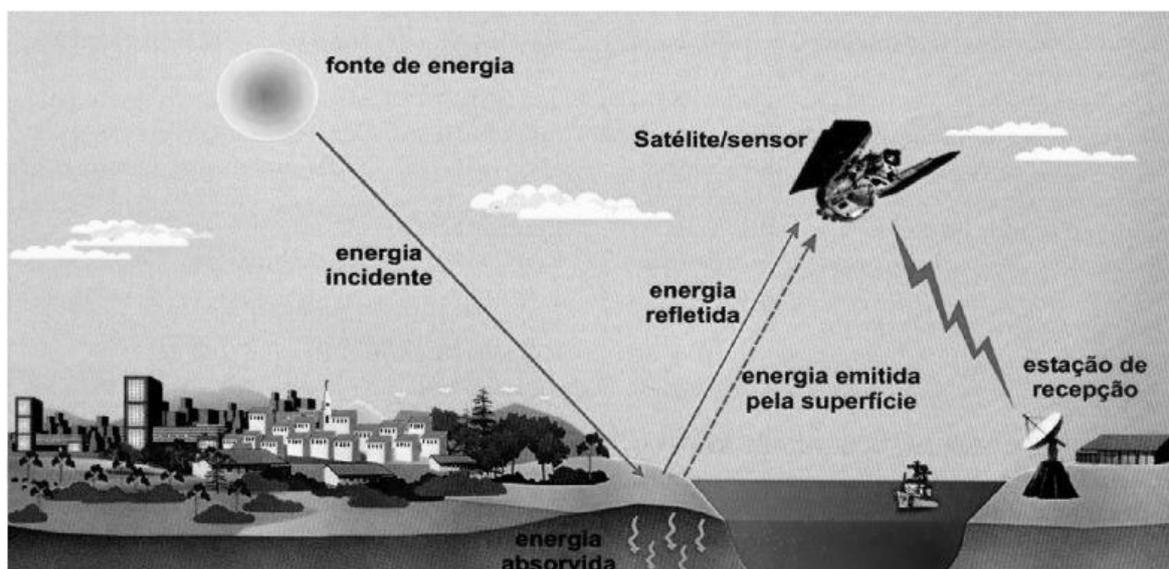


Figura 1: Obtenção de imagens por sensoriamento remoto. Fonte: FLORENZANO, (2002).

2.2. Espectro Electromagnético

Espectro Electromagnético é o conjunto de comprimentos de onda e de frequência da radiação electromagnética (REM) (FIGUEIREDO, 2005). A REM tem sete faixas (Figura 2): raios gama, raios X, ultravioleta, luz visível, infravermelho, microondas e as ondas de rádio (MACHADO & QUINTANILHA, 2008).

As faixas da luz visível (0.4 a 0.7µm) e do infravermelho são as mais importantes para teledeteção. Segundo SEBEM (S.d) a faixa do visível é dividida em três bandas e denominam-se por azul (0,4 a 0,5 µm), verde (0,5 a 0,6 µm) e vermelho (0,6 a 0,7 µm) por serem as cores primárias que o olho humano percebe nos respectivos comprimentos de onda, e a faixa do infravermelho varia de 0,7 a 14µm (Figura 2).

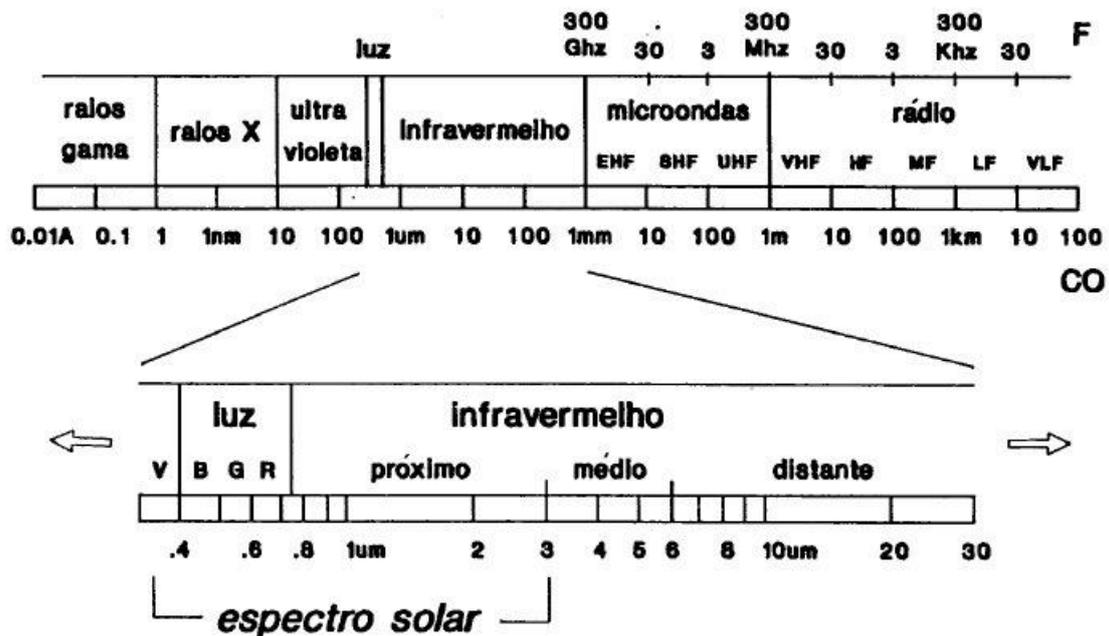


Figura 2: Espectro electromagnético. Fonte: NOVO & PONZONI, (2001).

2.2.1. Resposta espectral de alvos

Os objectos da natureza têm o comportamento espectral específico que em teledeteção denomina-se assinatura espectral. A assinatura espectral varia de objecto para objecto, desde vegetação assim como a água, ambos apresentam assinatura espectral específica que permite a sua identificação quando são estudados (VENTURIERI, 2007; MACHADO & QUINTANILHA, 2008).

O comportamento espectral é diferenciado entre os objectos na interação com as ondas eletromagnéticas devido a diferença que existe na composição fisico-química entre os objectos. De acordo com ROSOT (2001) a interação da radiação electromagnética incidente na superfície terrestre com os objectos seguiu o princípio de conservação de

energia (Equação 1.) de tal maneira que cada objecto no espectro electromagnético tenha resposta espectral característica num determinado comprimento de onda.

$$1 = \alpha + \rho + \mu \quad (1)$$

Onde: α - absorvância; ρ - reflectância e μ - transmitância.

O princípio de conservação de energia (Equação 1.), α (absorvância) exprime a quantidade de energia electromagnética que é absorvida pelos objectos da superfície terrestre; o ρ (reflectância) é a quantidade de energia electromagnética incidente que é reflectida pelos objectos da superfície terrestre e μ (transmitância) corresponde a energia electromagnética que atravessa um meio físico para outro (ROCHA, 2002).

Dependendo do tipo e factores relevantes em diferentes objectos vistos na superfície terrestre, os componentes do modelo (Equação 1.) variam mantendo o princípio e permitindo assim a distinção de formações vegetais nas imagens aéreas.

- **Vegetação**

A percepção da presença da vegetação em teledetecção está associada às folhas, pois entre os constituintes do dossel (ramos, flores, frutos, folha, etc) a folha é o elemento mais exposto e quase sempre primeiro a interceptar a radiação electromagnética (IBGE, 2001). Contudo, o comportamento espectral da folha de forma isolada serve de indicador para prever a resposta espectral de um dossel (PONZONI, 2002).

A Figura 3, mostra o comportamento espectral de uma vegetação saudável, concretamente os pontos altos de absorção e reflectância.

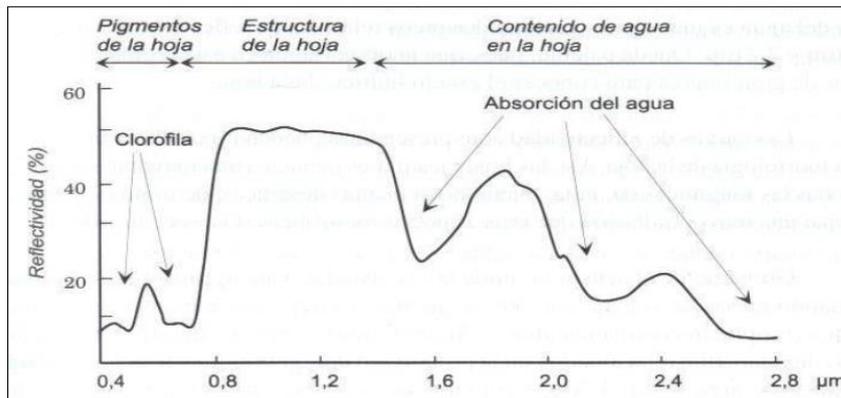


Figura 3: Comportamento espectral da vegetação. Fonte: www.agr.feis.unesp.br.

Na figura 3, observa-se que no intervalo 0,4 à 0,7 μm (luz visível) a refletância da radiação incidente é baixa devido a clorofila e os pigmentos acessórios (carotenos e xantofilas) que absorvem grande quantidade da radiação electromagnética para actividade fotossintética, enquanto de 0,7 à 1,3 μm (infravermelho proximo) a taxa de reflectância da vegetação é maior devido ao espalhamento interno da REM em função da estrutura interna da folha (PONZONI, 2002). É por essa razão que a vegetação apresenta a tonalidade escura nas imagens do visível enquanto a mesma vegetação apresenta tonalidade mais clara na região espectral do infravermelho proximo (VENTURIERI, 2007).

Segundo NOVO & PONZONI (2001), a maioria dos objectos no intervalo da luz visível têm similaridade espectral, como consequência nesta região os objectos são confundidos uns dos outros, contrariamente ao que acontece na faixa do infravermelho proximo onde os mesmos objectos são facilmente diferenciados. Por isso em estudos sobre vegetação são freqüentemente usadas as bandas da cor verde em torno de 0,5 μm do espectro visível e do infravermelho proximo (FIGUEIREDO, 2005).

No intervalo de 1,3 a 2,6 μm (infravermelho médio) (Figura 3) a refletância das folhas é baixa porque maior parte da radiação incidente é absorção pela água (HOFFER, 1978 citado por ROSOT, 2001). Isto demonstra que quando o conteúdo de água na folha diminui a reflectância da vegetação tende a aumentar no infravermelho médio.

- Solos

A resposta espectral dos solos depende das combinações e arranjos dos materiais que os constituem e são considerados como factores fundamentais, tais como: constituição mineral; proporção de matéria orgânica; granulometria (textura e estrutura); e umidade (IBGE, 2000). A variação destes factores afecta directamente a resposta espectral do solo, por exemplo, os solos húmidos reflectem menos que solos secos; aumento do conteúdo de matéria orgânica no solo promove aumento na absorção espectral, principalmente na faixa do espectro reflexivo (0,4 μm a 2,5 μm) (FIGUEIREDO, 2005).

Associado aos factores da reflectância dos solos, HOFFER & JOHANNSEN, (1969) citados por EPIPHANIO, *et al*, (1992) trazem abordagem adicional que a densidade, a morfologia e as condições do arranjo geométrico de folhas num dossel pode afectar a reflectância de solos.

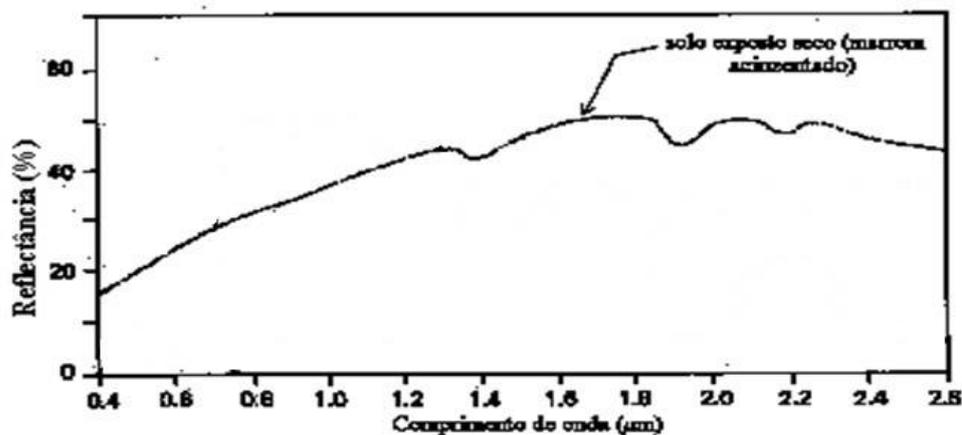


Figura 4: Resposta espectral do solo. Fonte: www.agr.feis.unesp.br

A Figura 4, mostra a resposta espectral do solo, a reflectância aumenta com o aumento do comprimento de onda, com maior destaque para as bandas do visível e infravermelho, isso deve-se ao efeito da matéria orgânica no solo que tende a tornar-lo mais escuro e como consequência reduzir a reflectividade (SEBEM, S.d).

- **Água**

Os corpos de água absorvem ou transmitem maior parte da radiação electromagnética nos comprimentos de onda acima de 0.7 μm . Esta característica permite identificar e delimitar mais facilmente os corpos de água nas bandas do infravermelho (CHUVIECO, 1996; ROSOT, 2001). A refletância de um corpo de água depende de profundidade da água, materiais em suspensão e rugosidade da lâmina de água (ROSOT, 2001).

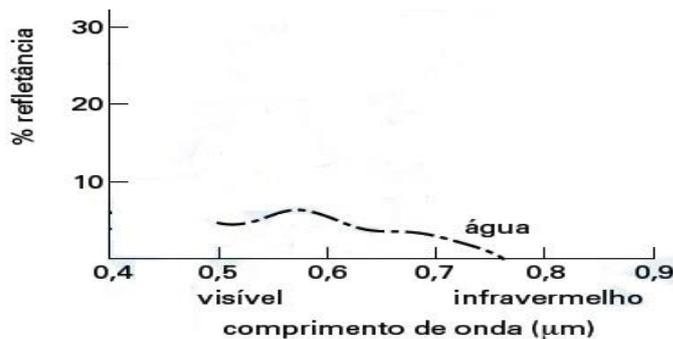


Figura 5: Resposta espectral da água. Fonte: www.agr.feis.unesp.br.

2.3. Sistema de Sensor

Sistema de Sensores são equipamentos que estão a bordo dos satélites e servem para captar e registrar a energia electromagnética refletida ou emitida pelos objectos da superfície terrestre (FLORENZANO, 2002; FERRÃO, 2003). Para estes autores, quanto a fonte de energia electromagnética os sensores classificam-se em Passivos e Activos.

Segundo FLORENZANO, (2002) a diferença entre os dois tipos de sensor reside em: os sensores passivos usam energia electromagnética proveniente de uma fonte externa, que na maioria dos casos é o sol. Enquanto os sensores activos imitem a própria radiação electromagnética e posteriormente registam a parte que é refletida pelos objectos da superfície da terra (Figura 6).

Os sensores passivos só funcionam durante o dia e emprega-se lentes ou foto-díodos como detectores, operam especialmente no espectro visível e infravermelho (FERRÃO, 2003). Contrariamente aos primeiros, sensores activos, funcionam de dia ou de noite e não sofrem

influências das condições atmosféricas como acontece com os sensores passivos, facto que permite penetrar as nuvens ou nevoeiros (FLORENZANO, 2002).

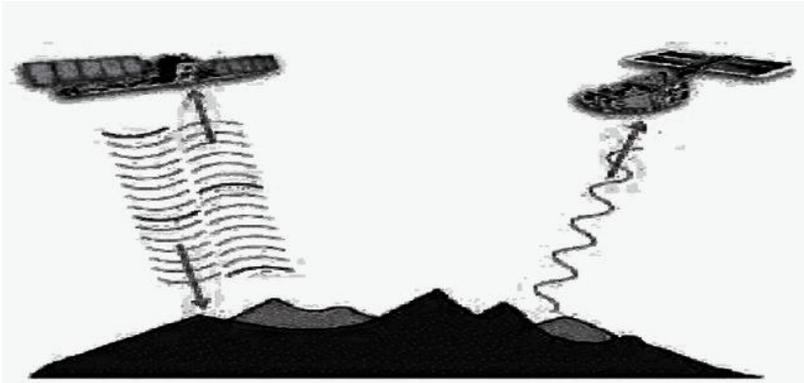


Figura 6: Sistemas activos e passivo nos satélites. Fonte: FERRÃO, (2003).

Segundo VENTURIERI, (2007) a qualidade dos sensores avalia-se de acordo com a sua resolução, que permite detectar semelhanças e diferenças espectrais dos objectos terrestres. Assim, de acordo com MACHADO & QUINTANILHA, (2008) a resolução é classificada em espacial, espectral, radiométrica e temporal:

- **Resolução espacial:** é a capacidade que o sistema sensor tem para detectar objectos na superfície terrestre, praticamente, mede a menor separação angular ou linear entre dois objectos. Em suma, a resolução espacial indica a capacidade que um determinado sensor tem de discriminar com detalhes espaciais.
- **Resolução espectral:** mede a largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno. Quanto mais estreitas forem as faixas espectrais e quanto maior o número de bandas, mais alta será a resolução espectral.
- **Resolução radiométrica:** refere-se ao número de níveis de cinza usados para expressar o dado colhido por um sensor. No geral, se a amplitude de níveis de cinza ou nível de quantização de dados for maior, melhor será a resolução radiométrica.

Segundo QUARTAROLI & BATISTELLA (2005) a resolução radiométrica é dada em *bits*, e os níveis de cinza serão igual a 2^n , onde n é o número de *bits*.

- **Resolução temporal:** refere-se o tempo que o sistema sensor leva para captar imagem na mesma região da superfície terrestre. É quantificada pelo intervalo de tempo mínimo entre diferentes aquisições.

2.4. IKONOS 2

O Ikonos 2 foi o primeiro satélite de alta resolução espacial, com 1 metro na banda pancromática e 4 metros nas bandas multiespectral (QUARTAROLI & BATISTELLA, 2005). A *SPACE IMAGING* desenvolveu o programa IKONOS e lançou no dia 24 de setembro de 1999 com o objectivo de fornecer informação com qualidade e rapidez superiores aos padrões do mercado na época (VENTURIERI, 2007).

No entanto, para além do sucesso que marca o uso das imagens de alta resolução, em geral, também apresentam algumas inconveniências ligadas a resolução espacial que corresponde a área mínima que é representada por um único pixel (MOREIRA, 2003). Por exemplo, o sensor Ikonos 2 tem uma resolução espacial de 1m x 1m (1m²) e 4m x 4m (16m²) para a banda Pancromática e Multiespectral, respectivamente.

Segundo PINHO (2006) se o tamanho dos objectos de interesse é maior do que os pixels da imagem ocorre grande variabilidade interna no número digital (ND) dos pixels dentro de uma mesma classe. Isto faz com que o empenho dos classificadores pixel-a-pixel nas imagens de alta resolução seja reduzido (NÓBREGA, 2007).

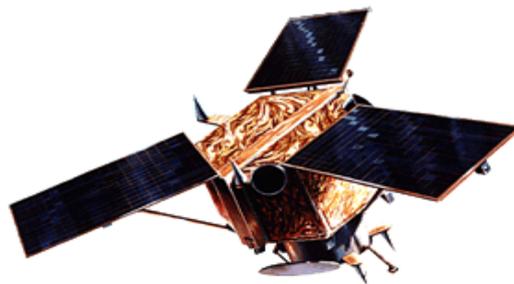


Figura 7: Satélite Ikonos 2. Fonte: www.spacetoday.org.

Quadro 1: Características do Satélite IKONOS 2.

Descrição Técnica do Satélite IKONOS-2	
Altitude	680 km
Inclinação	98,1°
Velocidade	7 km/s
Sentido da Órbita	Descendente
Duração da Órbita	98 minutos
Tipo de Órbita	Sol – síncrona
Resolução espacial	Pancromática: 1m Multiespectral: 4m
Bandas Espetrais	Pan 0.45 – 0.9 µm Azul 0.45 – 0.52 µm Verde 0.52 – 0.60 µm Vermelho 0.63 – 0.69 µm Infravermelho próximo 0.76 – 0.90 µm
Imageamento	13 km na vertical (cenas de 13x13 km)
Capacidade de aquisição de imagens	Faixas de 11km x 100 km até 11km x 1000km. Mosaicos até 12000 km ² a 20000 km ² de área imageada numa paisagem
Frequência de Revisita	2,9 dias no modo Pancromático 1,5 dias no modo Multiespectral Esses valores valem para altitudes de +/- 40°. A frequência de revisita para latitudes maiores será menor, e maior para latitudes perto do Equador

Fonte: ENGESAT citado por LISBOA, 2009.

2.5. Classificação Digital de Imagens

A classificação digital de imagens – é o conjunto de todo procedimento aplicado numa imagem de satélite, com objectivo de agrupar os pixéis em classes que representam os objectos no mundo real (IBGE, 2001). O resultado da classificação é uma imagem temática onde os pixéis são representados por símbolos, gráficos ou cores definidos pelo usuário (MOREIRA, 2003).

Para HASENACK & WEBER (1998), a classificação com auxílio do computador as imagens são transformadas em outras através de um tratamento matemático das bandas das imagens brutas, o que permite agrupar os pixéis similares entre si. Segundo MENESES & ALMEIDA (2012) o reconhecimento dos pixéis é feito através de algoritmos estatísticos (classificadores de imagem) que agrupam os pixéis de acordo com padrões espectrais. A classificação pode ser não-supervisionada, aquela que o analista não usa amostras de treinamento, ou pode ser supervisionada, aquela que o analista necessita de amostras de treinamento.

Na classificação supervisionada define-se amostras das classes em causa na imagem que servirão de critério para os classificadores agruparem o resto dos pixéis a classe correspondente (VENTURIERI, 2007). Neste tipo de classificação é fundamental que o analista tenha um conhecimento prévio da área de estudo, seja por registos passados ou visitas de campo (IBGE, 2001). Uma das principais limitações da classificação supervisionada é a dificuldade em definir áreas representativas para todas amostras de treinamento na imagem (DISPERATI, 1982).

2.6. Classificador de imagem digital

Para o uso das áreas de treinamento “padrões espectrais” aplicam-se algoritmos de classificação ou simplesmente classificadores e, estes agrupam os pixéis com valores digitais iguais ou semelhantes aos dos pixéis das áreas de treinamento (MENESES & ALMEIDA, 2012). De acordo com os mesmos autores os classificadores podem ser não-paramétricos e paramétrico. O primeiro grupo não usa parâmetros estatísticos para classificar os pixéis, enquanto os paramétricos usam parâmetros estatísticos.

Segundo ROSOT, (2001) um classificador parâmetro usa estimativas dos parâmetros da distribuição como o vector das médias e a matriz de covariância de níveis de cinza dos pixels. De acordo com o mesmo autor, os classificadores parâmetros mais comuns são: Distância Mínima, Distância de Mahalanobis e Máxima Verossimilhança.

2.6.1. Método de Mínima Distância

Segundo HACENACK & WEBER (1998) o classificador calcula a distância euclidiana (D) do valor de reflectância de um pixel (x_i) em relação a média espectral (m_i) das assinaturas das classes em estudo e atribui ao pixel à classe com a menor média:

$$D(x, n) = \sqrt{(x_i - m_i)^2} \quad (2)$$

Onde: x – pixels; n – número de bandas.

O classificador de Mínima Distância faz comparação das distâncias (Figura. 8) para associar o valor do nível de cinza ou da reflectância de um pixel a uma determinada classe temática (MOUREIRA, 2003). A vantagem do método é que todos pixels serão classificados e; a desvantagem é que para o pixel a ser classificado não considera a dispersão dos valores de reflectância em torno da média e pixels que deveriam permanecer não classificados o método classifica o que constitui fonte de erro para o processo (MENESES & ALMEIDA, 2012).

Este classificador tem sido uma alternativa menos usado, pois proporciona resultados menos motivadores, quanto para separação de tipos de cobertura vegetal, assim como em estudos de ambiente urbano. Segundo AMARAL, M.V, *et al* (2009) num estudo de comparação de métodos obteve para Distância Mínima o valor de índice Kappa 0,23. Valor que se considerado razoável mas muito abaixo do excelente, 0,8 na escala de LANDIS & KOCH (1977).

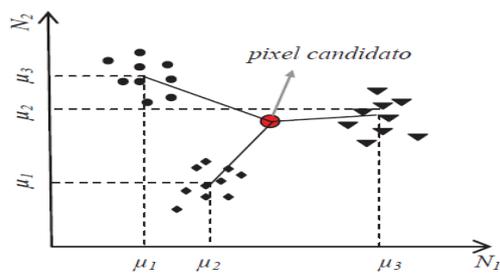


Figura 8: Esquema do método Distâncias mínimas. Fonte: MENESES & ALMEIDA, (2012).

2.6.2. Método de Distância Mahalanobis

A distância de Mahalanobis mede-se a partir da distância do pixel na posição x do espaço multidimensional ao centro da classe dividida pelo comprimento do elipsóide na direção de x (Figura 9), o classificador assume que todas as classes têm covariâncias iguais, o que lhe confere vantagem de ser mais rápido do que o de máxima verossimilhança (MENESES & ALMEIDA, 2012).

Para o seu funcionamento, calcula-se a matriz de covariância com base nas amostras de treinamento das n classes, e o pixel será destinado à classe na qual a distância de Mahalanobis é menor de todas (Equação 3.).

$$d(d, m_i^2) = \ln|\sum i| + (x_m - m_i)^2 \sum i^{-1} (x - m_i) \quad (3)$$

Onde: d -distância de Mahalanobis; m - espaço multidimensional, i – posição do pixel; x – pixel candidato.

Segundo MARTINS (2012) a distância de Mahalanobis incorpora na distância euclidiana a dispersão das áreas de treino no espaço n -dimensional da imagem, em outras palavras, a forma da nuvem de pixels das áreas de treino (Figura 9), na forma de matrizes de variância-covariância, facto que permite o método considerar a orientação e dispersão dos dados.

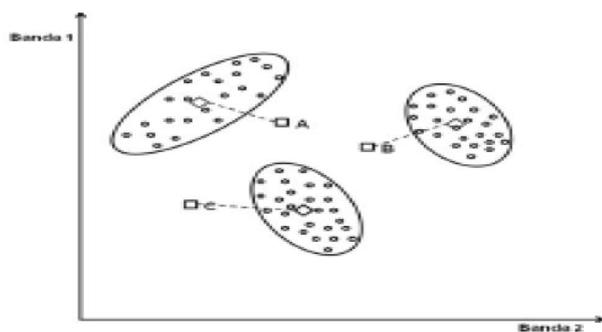


Figura 9: Esquema do método Distância de Mahalanobis (adaptado de MARTINS, 2012 e CRISÓGONO, 2011).

2.6.3. Método Máxima Verossimilhança

O classificador Máxima verossimilhança (Maxver) estima a distância média ponderada entre as médias dos valores dos pixels das classes através de parâmetros estatísticos (MENESES & ALMEIDA, 2012). Este método (Figura 10) assume que todas as bandas têm distribuição normal e covariâncias diferentes, e calcula a probabilidade de um dado pixel pertencer numa determinada classe (INPE, 2008 citado por MENESES & ALMEIDA, 2012).

A classificação de um ponto x é realizada de acordo com a condição abaixo:

$$x \in w_i \text{ se } p(x|w_i) p(w_i) > p(x|w_j) p(w_i)$$

Onde: a probabilidade $p(x|w_i)$ dá a possibilidade de x pertencer à classe w_i e $p(w_i)$ é a probabilidade de a classe ocorrer na imagem.

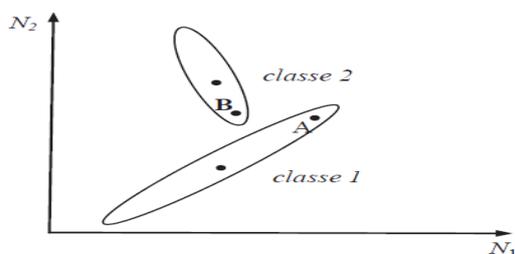


Figura 10: Esquema do método Máxima Verossimilhança.

As áreas dentro de cada elipsóide dão a probabilidade de um pixel pertencer a cada uma das classes 1 e 2, como o caso dos pixels A e B respectivamente.

De acordo com BARBOSA, (2009) o classificador Maxver aparece quase na maioria dos principais programas de processamento de imagens digitais, por ser considerado um dos mais eficiente dos classificadores parâmetros e, é consequentemente, um dos mais utilizado. Num estudo de comparação dos métodos para análise do uso e cobertura do solo na região do Alto Araguaia, feito por PEREIRA, *et al.* (2011), em imagens Landsat TM 5 de duas épocas, 2005 e 2010, o Maxver obteve valores do coeficiente kappa 0,9549 e 0,9639 respectivamente, e considerou-se como uma classificação excelente.

2.7. Avaliação da Exactidão da Classificação

É a fase após a classificação que permite estimar a qualidade dos resultados obtidos do processo de classificação. De acordo com CONGALTON (1991) a matriz de erros para avaliar os resultados da classificação é a técnica mais recomendada, e é muito efectiva pois permite determinar os erros de comissão e de omissão para cada classe em estudo. Para o mesmo autor, na matriz de erros o número de linhas é igual ao número de colunas e a posição das variáveis (verdade do campo e resultado da classificação) depende do analista, como mostra a tabela 1.

Tabela 1: Esquema de matriz de erros

Referência (Verdade do campo)							
Classes (Mapa temático)	A	B	C	D	E	Total(linhas)	Eo(%)
A	P_{11}	-	-	-	-	$\sum(P_{11} \dots P_{15})$	
B	-	P_{22}	-	-	-	$\sum(P_{21} \dots P_{25})$	
C	-	-	P_{33}	-	-	$\sum(P_{31} \dots P_{36})$	
D	-	-	-	P_{44}	-	$\sum(P_{41} \dots P_{46})$	
E	-	-	-	-	P_{55}	$\sum(P_{51} \dots P_{55})$	
Total(colunas)	$\sum(P_{11} \dots P_{15})$	$\sum(P_{21} \dots P_{25})$	$\sum(P_{31} \dots P_{35})$	$\sum(P_{41} \dots P_{45})$	$\sum(P_{51} \dots P_{55})$	N	
Ec (%)							

Fonte: Adaptado de ESPIRITO-SANTO e SMIMABUKURO (2005).

Onde: As células da diagonal (P_{11} , P_{22} , P_{33} ... P_{55}) correspondem os pontos certos entre a realidade do campo e o mapa temático; E_o – erros de omissão; E_c – erros de comissão; e N – número total de pontos amostrados para validação do resultado.

De acordo com CERQUEIRA & ALVES (2010) a matriz de erros permite calcular as medidas de exatidão global; exatidão do usuário e do produtor; erros de comissão e de omissão; e coeficiente Kappa. Em geral, a matriz de erros compara classe por classe, a relação entre os dados de campo (dados de referência) e os correspondentes resultados da classificação (MENESES & ALMEIDA, 2012).

2.7.1. Exatidão global

Exatidão global é o quociente entre a soma dos pixels ou pontos corretamente classificados pelo número total de pontos existentes na imagem de referência (ROCHA, 2002). Para o seu cálculo usa-se a expressão (Equação 4).

$$P_o = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ii}}{N} \quad (4)$$

Onde: M – número de categorias presentes na matriz de erros; n_{ii} – elementos da diagonal principal ou elementos corretamente classificados; N – número total de amostras.

2.7.2. Erro de Omissão e Erro de Comissão

Quando pixels ou pontos que pertencem a uma certa classe de uso a classificação não reconhece na verdadeira classe e passou para outras, neste caso fala-se de erros de omissão. Enquanto os pontos classificados para uma certa classe que não seja a sua classe real (verdade do campo), neste caso tem-se erros de comissão (CONGALTON, 1991).

$$EO = [(Referência - Correcto) / Referência] * 100\% \quad e$$

$$EC = [(Classificado - Correcto) / Classificado] * 100\% \quad (5)$$

Onde: EO – erro de omissão; EC – erro de comissão.

2.7.3. Exactidão do Produtor e do Usuário

Segundo LILLESAND e KIEFER (1994) citados por ROSOT (2001) a exactidão do produtor é a razão entre o número de pontos classificados corretamente em cada categoria e o número de pontos amostrados na respectiva categoria, enquanto a exactidão do usuário é a razão entre o número de pontos corretamente classificados em cada categoria e o número total de pontos classificados naquela categoria. Segundo CONGALTON (1991) a exactidão do produtor mede erros de omissão e a exactidão do usuário mede erros de comissão. Para determinar estes índices usa-se seguintes expressões matemáticas (Equação 6.).

$$EP = (1 - EO) * 100 \text{ e } EU = (1 - EC) * 100 \quad (6)$$

2.7.4. Índice Kappa

O índice Kappa é o método mais usado na avaliação das classificações porque no seu cálculo inclui todos os elementos da matriz de erros e não somente os elementos da diagonal principal, como acontece com a exactidão geral (MOREIRA, 2001). Para determinar este índice usa-se as seguintes expressões matemática (Equações 7 e 8.).

$$K = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \quad (7)$$

Onde: K- índice kappa; P_o – Exactidão global; P_c – Proporção de unidades que concordam por casualidade.

$$P_c = \sum_{i=1}^M n_{i+} * n_{+i} \quad (8)$$

Onde: M – número de classes; n_{i+} - total de elementos classificados para uma categoria i ; n_{+i} – total de elementos de referência amostrados para uma categoria i .

O índice Kappa (K) pode ser negativo assim como positivo, como mostra a tabela 2, baseado em LANDIS & KOCH (1977). Isto significa que os valores próximos aos negativos exprimem a baixa qualidade de classificação e os positivos próximos de 1 exprimem a boa qualidade de classificação da imagem.

Tabela 2: Qualidade da classificação de acordo com o índice Kappa

Índice Kappa	Qualidade do mapa temático
< 0	Péssimo
0 – 0,2	Ruim
0,2 – 0,4	Razoável
0,4 – 0,6	Boa
0,6 – 0,8	Muito Boa
0,8 – 1,0	Excelente

Fonte: Adaptado de LANDIS & KOCH, 1977, citado por Moreira (2001).

2.8. Teste Z

Na comparação de métodos de classificação faz-se um teste a partir do qual compara-se os índices de exactidão global entre si ou os índices kappa dos diferentes métodos. Nesta ordem de ideia, para PLOURDE & CONGALTON (2003) o teste Z permite detectar as diferenças significativas entre os métodos em causa, e o índice mais recomendado para este teste é o kappa. Para determinar o valor do Z usa-se as seguintes expressões matemática (Equações 9 e 10).

$$Z_{\text{calculado}} = \frac{C_2 - C_1}{\sqrt{\sigma_{c_2}^2 + \sigma_{c_1}^2}} \quad (9)$$

Onde: C_x - Constante Exactidão global do classificador x (x=1, 2, 3); $\sigma_{c_2}^2$ - Variância do coeficiente Kappa.

$$\sigma_k^2 = \frac{P_0 (1 - P_0)}{N(1 - P_c)^2} \quad (10)$$

2.9. Descrição das espécies

- **Eucalyptus grandis**

Área de ocorrência

Ocorre no norte de Nova Gales do Sul e no Sul de Queensland entre 32° e 26° S e, também encontram-se na zona central de Queensland (22°S) e norte de Queensland (17° S). Nestas regiões as altitudes variam de 0 e 300 m, no norte de Queensland até 900m acima do nível do mar (LAMPRECHT, 1990).

É uma das espécies mais usadas no reflorestamento, principalmente nas zonas tropicais e subtropicais. *Eucalyptus grandis* encontra-se como espécie exótica na África do Sul, Angola, Zimbábue, África oriental, Índia, Brasil, Argentina e Uruguai LAMPRECHT (1990), e Moçambique.

Sítio

Na região de ocorrência natural predomina um clima subtropical com precipitação que varia de 1.000 a 1.750 mm distribuída durante todo o ano, e com elevada umidade atmosférica. A temperatura varia entre 15 e 21°C, com um mínimo absoluto de -5°C e máximo absoluto de 46°C. Como temperatura média mensal mínima são indicados 5° a 6°C, como máximo 29° a 32°C (LAMPRECHT, 1990).

E. grandis desenvolve-se em solos profundos, permanentemente úmidos e bem drenados. Em sua zona de ocorrência natural, solos fracos relativamente férteis e bem drenados, de origem aluvial ou vulcânica.

Fitofisionomia e Silvicultura

E. grandis atinge alturas de 45 a 55m e DAP de 120 a 180 cm. A árvore possui um tronco de excelente forma reta. A casca é de coloração branca-prateada até esverdeada e geralmente lisa. As folhas são alternadas de forma lanceolada e caem durante todo o ano. Os frutos em forma de pera, com tamanhos de 8 x 6 mm. *E. grandis* é pouco resistente ao fogo e não sobrevive a repetidas queimadas (LAMPRECHT, 1990).

Segundo LAMPRECHT, (1990) é uma espécie de fácil de regeneração. O peso por mil sementes esta em torno de 0.4g, e pode ter 630 sementes viáveis por grama. O período de germinação vai de 7 a 9 dias após a sementeira. O espaçamento de plantio varia de 1x3, 2x2 e 3x3.

Usos: É utilizada para poste, carpintaria, parquet, caixas, celulose, energia (lenha e carvão) e para fabrico de móveis.

- *Eucalyptus saligna*

Área de ocorrência

Ocorre naturalmente na costa pacífica da Austrália, de Sidney até ao norte de Queensland, entre 28° e 35° S. Nestas regiões as altitudes estão entre 0 e 300 m acima do nível do mar, e a norte até 1200 metros de altitudes (LAMPRECHT, 1990). As grandes plantações situam-se sobretudo em amplas regiões da África (p.ex. Angola 500.000 ha), America do Sul (Brasil 500.000 ha) e em outros locais.

Sítio

A área de ocorrência natural a precipitação varia de 800 a 1.500 mm em 90 a 110 dias e, temperaturas subtropicais com máxima temperatura média do mês mais quente 28° a 30° C, mínima temperatura média do mês mais frio 3° a 4°C. Desenvolve-se em solos francos até levemente argilosos, com bom suprimento de água mas não de água estagnadas, com teor de nutrientes médios até abundante (LAMPRECHT, 1990).

Fitofisionomia e Silvicultura

Eucalyptus saligna apresenta troncos retilíneos, atinge alturas de 35 a 35m e DAP entre 120 e 150 cm. As folhas juvenis em disposição oposta têm comprimentos entre 3 e 6 cm e larguras de 2 a 3 cm e são curto-peciolas, com nervuras finas e regulares e com disposição alterna. A casca é clara, por vezes com reflexos azulados, lisa e desprende-se em longas faixas até a parte inferior do tronco (LAMPRECHT, 1990).

Segundo LAMPRECHT, (1990) é uma espécie de rápido crescimento, e de regeneração natural na zona de ocorrência natural e, regeneração artificial em plantações. Aos seis anos ocorre a frutificação, e com 560 sementes por grama. A percentagem de germinação varia de 20 a 25 %. O peso por mil sementes esta em torno de 0.4g, e pode ter 630 sementes viáveis por grama. O espaçamento de plantio varia de 2x2 e 3x3.

Usos: É usada na construção civil, para postes e fabrico de celulose.

- *Eucalyptus cloeziana*

Área de ocorrência

Eucalyptus cloeziana ocorre em entre 26 a 16° S no Queensland na Australia, nas regiões com altitudes que variam de 0 a 1500 m.

Sítio

Na região de ocorrência natural a precipitação média anual varia de 800 a 1.600 mm com o máximo no verão. A temperatura varia entre 17° e 22°C. *Eucalyptus cloeziana* adequa-se num clima tropical ou subtropical quente-húmido. Desenvolve-se melhor em solos profundos húmidos com boa drenagem (ALMEIDA, 2006).

Fitofisionomia e Silvicultura

Eucalyptus cloeziana atinge alturas de 35 a 45m. A árvore possui um tronco de forma recta. A casca é de coloração branca-prateada até esverdeada e geralmente lisa. Em um kg contém 150000 sementes. A taxa de germinação as vezes é baixa e, a percentagem de sobrevivência vai até 90% quando são usadas mudas embaladas (ALMEIDA, 2006).

Usos: É utilizada para o fabrico de poste e, em construção civil.

- ***Pinus patula***

Área de ocorrência

O *Pinus patula* é uma espécie nativa do México. Encontra-se em três zonas florestais das encostas orientais da Sierra Madre Oriental entre os paralelos 18° e 21° N em altitudes de 1.800 a 2.700 m podendo suportar no mínimo e máximo de altitude 1.650 e 3.000m, respectivamente. Esta espécie apresenta uma produtividade particularmente elevada em altitudes a partir de 1.000 m (LAMPRECHT, 1990).

Sítio

Na região de ocorrência natural, o *P. patula* desenvolve-se preferencialmente em clima quente e temperado, com temperatura média anual de 12 a 18 °C (com mínimo absoluto de - 10°C). A precipitação oscila entre 1.000 a 2.000 mm, com incidência de Maio a Outubro. *P. patula* cresce bem em solos profundos e com carácter ácido (LAMPRECHT, 1990). Pode suportar temperaturas em torno de -10°C, mas a temperatura média máxima do mês mais quente tem de ficar abaixo dos 29°C para que possa haver um desenvolvimento normal (<http://www.terrapinus.com.br>).

Fitofisionomia e Silvicultura

Na região de ocorrência natural o *P. patula* pode alcançar alturas de 30 m, e em plantações pode chegar a 50 m, com um DAP de até 120 cm. O sistema radicular é vigoroso, amplo e profundo (com mais de 6 m de profundidade), propiciando assim uma sólida fixação ao solo e bom suprimento de água e nutrientes. A copa é mais ou menos redonda. A casca é rugosa, de cor marrom-acinzentada. Em ambientes secos e altitudes relativamente baixas, a casca de certos exemplares torna-se lisa em quase toda a sua extensão (LAMPRECHT, 1990).

É uma espécie de rápido crescimento e a partir de 5º ano produz sementes viáveis. A percentagem de germinação das sementes varia de 70 a 85%. E normalmente são 95.000 a 165.000 sementes/Kg. O período de germinação dura de 15 a 70 dias (LAMPRECHT, 1990).

Usos: É utilizada para o fabrico de caixas, carpintaria, fabrico de aglomerados e, polpa de papel.

- *Pinus taeda*

Área de ocorrência: O *Pinus taeda* ocorre naturalmente no Sudeste dos Estados Unidos entre as latitudes 20 a 29 N.

Sítio

O *P. taeda* ocorre preferencialmente nas regiões de altitudes que varia de 1300 a 2400 m. Com clima caracterizado por precipitação anual entre 900 a 2200 mm. Suporta períodos de seca no máximo dois meses, a temperatura média mínima do mês mais frio de 4 a 18 °C. Esta espécie prefere solos ácidos e húmidos temporariamente inundados (<http://www.terrapinus.com.br>).

Fitofisionomia e Silvicultura

O *Pinus taeda* pode atingir 40 a 50 m de alturas. Precisa de luz pra o seu desenvolvimento. A forma de tronco é normal. Em um kg contem 35000 a 40000 sementes. O tempo de germinação varia de 18 a 22 dias (<http://www.terrapinus.com.br>).

3. METODOLOGIAS

3.1. Descrição da área de estudo

A floresta de Inhamacari localiza-se no posto administrativo de Machipanda, no distrito e província do mesmo nome, Manica. À Norte e Oeste faz fronteira com República de Zimbabwe, à Sul e Este pela vila e comunidade local, respectivamente, situa-se na latitude meridional que varia de 18°56'S a 18°58'S e longitude oriental que varia de 32°41'E a 32°43'E (Figura 11).

A floresta ocupa cerca de 994 hectares dos quais 498 hectares são de floresta nativa e 496 hectares estão destinados a plantações, onde o estudo somente cobriu cerca de 250 ha dos 994ha e na maior parte de florestas plantadas (TUZINE, 2011).

O Relevo é acidentado com uma inclinação que varia de 30 a 50 %, e altitude de 1000 a 1500 m. A precipitação média anual (PMA) varia de 1100 a 1500 mm e a temperatura média anual (TMA) é de 21,2 °C (TUZINE, 2011).

Os solos da floresta de Inhamacari são argilosos avermelhados óxidos e solos líticos, com textura que varia de argiloso e franco arenoso, respectivamente. São solos cuja genese é do precambriaco e rochas, têm como principais limitações a profundidade e risco de erosão, fraca disponibilidade do fosforo e baixa fertilidade (Anexo 2).

A floresta de Inhamacari é constituída por mata nativa e floresta plantada de eucaliptus e pinus, podendo, também destacar-se presença de pequenas porções de terra cobertas de machambas. Segundo TUZINE, (2011) as plantações são constituídas por três espécies de eucalyptus (*Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*), e duas espécies de pinus (*Pinus patula* e *Pinus taeda*) e em alguns talhões as espécies estão misturadas, onde destacam-se mistura de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, e mistura de *Pinus patula* e *Pinus taeda*.

De acordo com as características edáficas, climáticas e do relevo da região, a parte da floresta nativa de Inhamacari é formado por Miombo denso (RIBEIRO. *et al*, 2002). Assim, o levantamento feito de espécies predominantes na mata nativa destacou presença de *Brachystegia spiciformis*, *Brachystegia bohemii*, *Acacia sp*, *Albizia adiatifolia*, *Khaya*

nhassica nas nascentes e nas margens dos rios e riachos, *Julbernardia globiflora*, *Pterocarpus angolensis*, *Pericopsis Angolensis*, *Maytenus acuminata*, *Uapaca kirkiana*, e *Ficus sp.* (TUZINE, 2011).

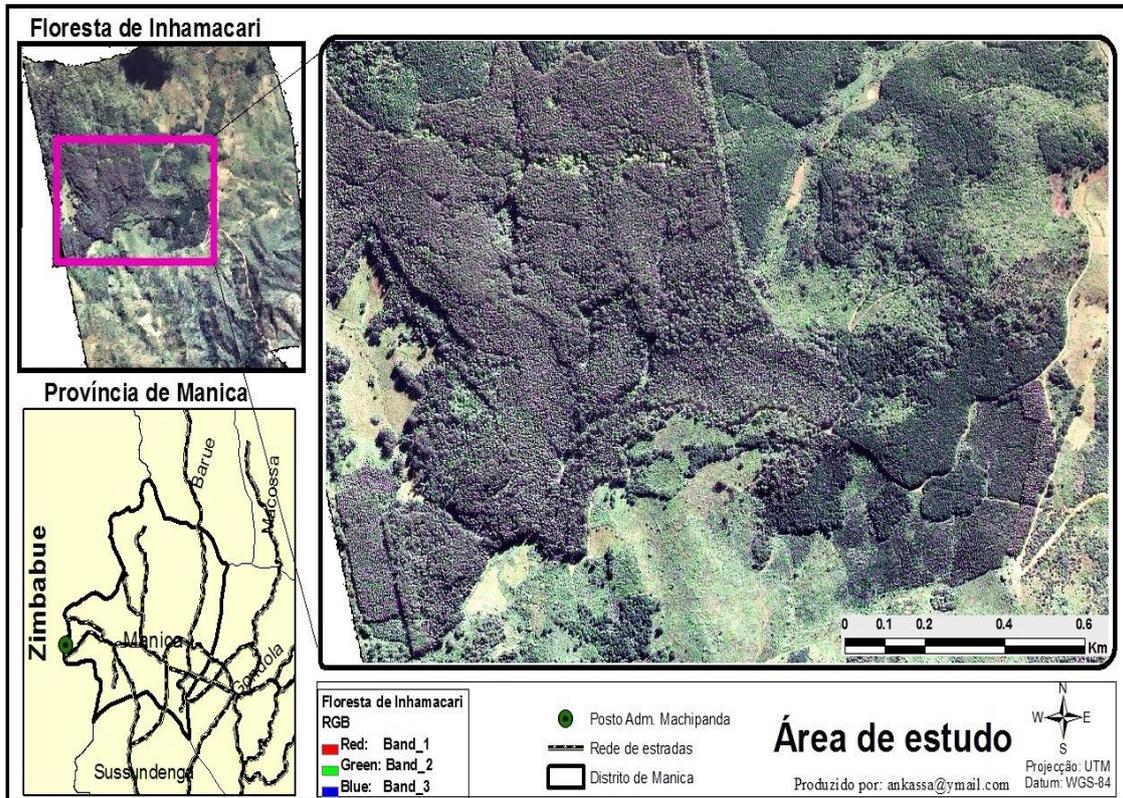


Figura 11: Mapa de localização de área de estudo. Fonte: FAEF/DEF.

3.2. Diagrama da Metodologia

O trabalho foi realizado em quatro (4) etapas (Figura 12): Colheita de dados do campo, colheita de assinaturas na imagem, classificação, e por último avaliação da exactidão da classificação.

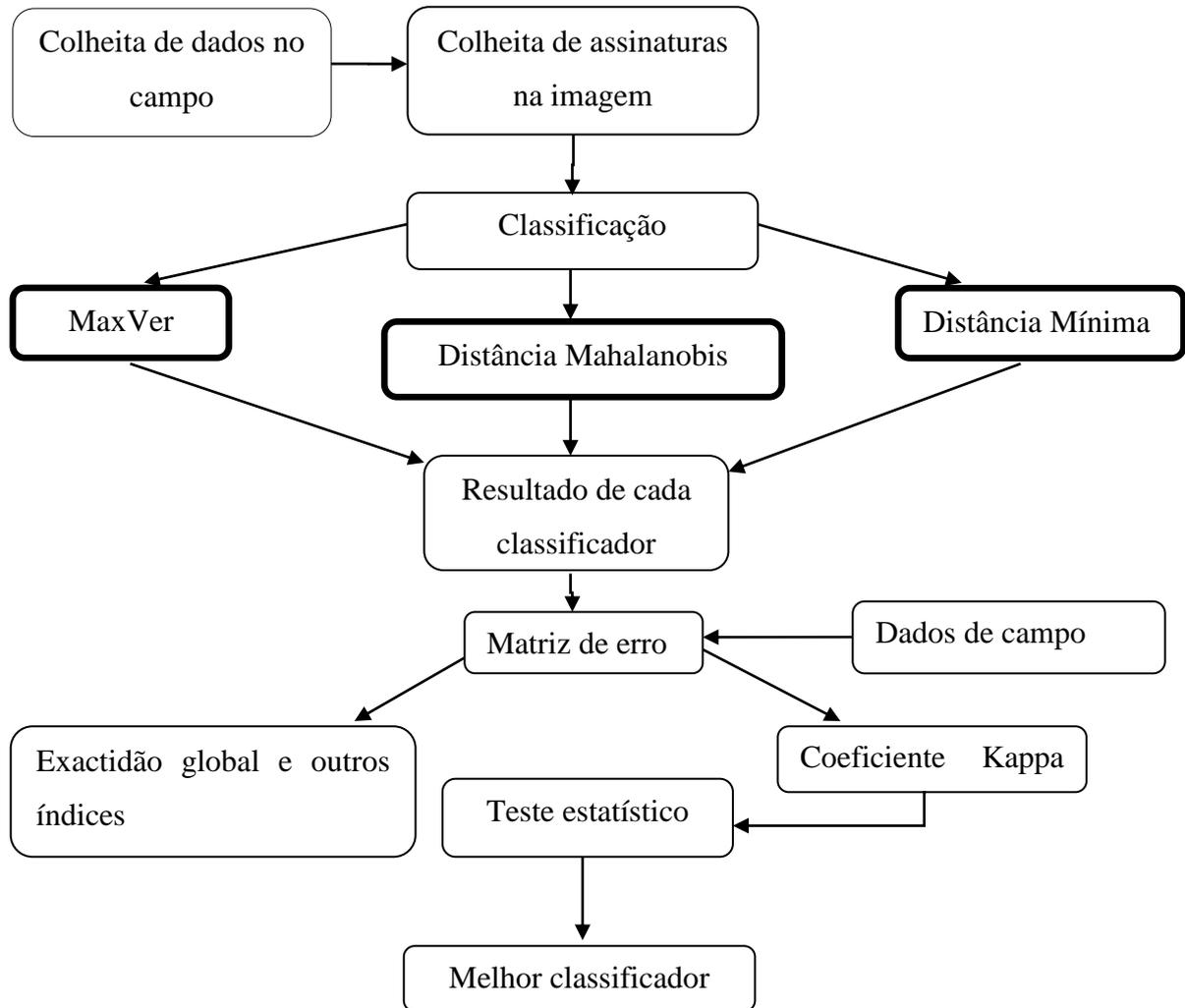


Figura 12: Diagrama da metodologia do trabalho.

3.2.1 Colheita de dados no campo

O trabalho do campo decorreu de 07 a 18 de Julho de 2012. Considerou-se classe como um estrato, e em cada estrato (classe) prosseguiu-se com a colheita de pontos aleatoriamente. Com auxílio de *GPS (Global Positioning System)* marcou-se e anotou-se as coordenadas dos pontos das seis classes de uso e cobertura do solo e caracterizou-se. No total colheu-se 51 pontos distribuídos para cada classe, (9) *Eucalyptus spp* – Jovem, (12) *Eucalyptus spp*-Adulto, (13) *Pinus spp*-Jovem, (9) *Pinus spp*-Adulto, (4) Outras e (4) Solo exposto:

- *Eucalyptus spp* – Jovem (A): geralmente povoamentos de uma ou mais espécies de eucalyptus com idades que variam de 5 a 10 anos e 4 a 8 metros de altura estimada.
- *Eucalyptus spp*-Adulto (B): povoamentos compostos por uma ou mais espécies de eucalyptus, exploráveis para madeira serrada e com alturas acima de 16 metros.
- *Pinus spp*-Jovem (C): povoamentos de uma ou duas espécies geralmente misturadas em idades variando de 4, 6 e 8 anos, presença de pequenos arbustos e trepadeiras no sub-bosque.
- *Pinus spp*-Adulto (D): povoamentos de uma ou duas espécies geralmente exploráveis para madeira serrada, presença de uma camada composta de ritodoma (casca), folhas, ramos e frutos secos no sub-bosque com aproximadamente 5 cm de altura.
- Outras (E): nesta classe compõem dois grupos, a mata nativa e machambas.
- Solo exposto (F): faz parte desta classe a rede de caminhos da floresta e a zona do acampamento.

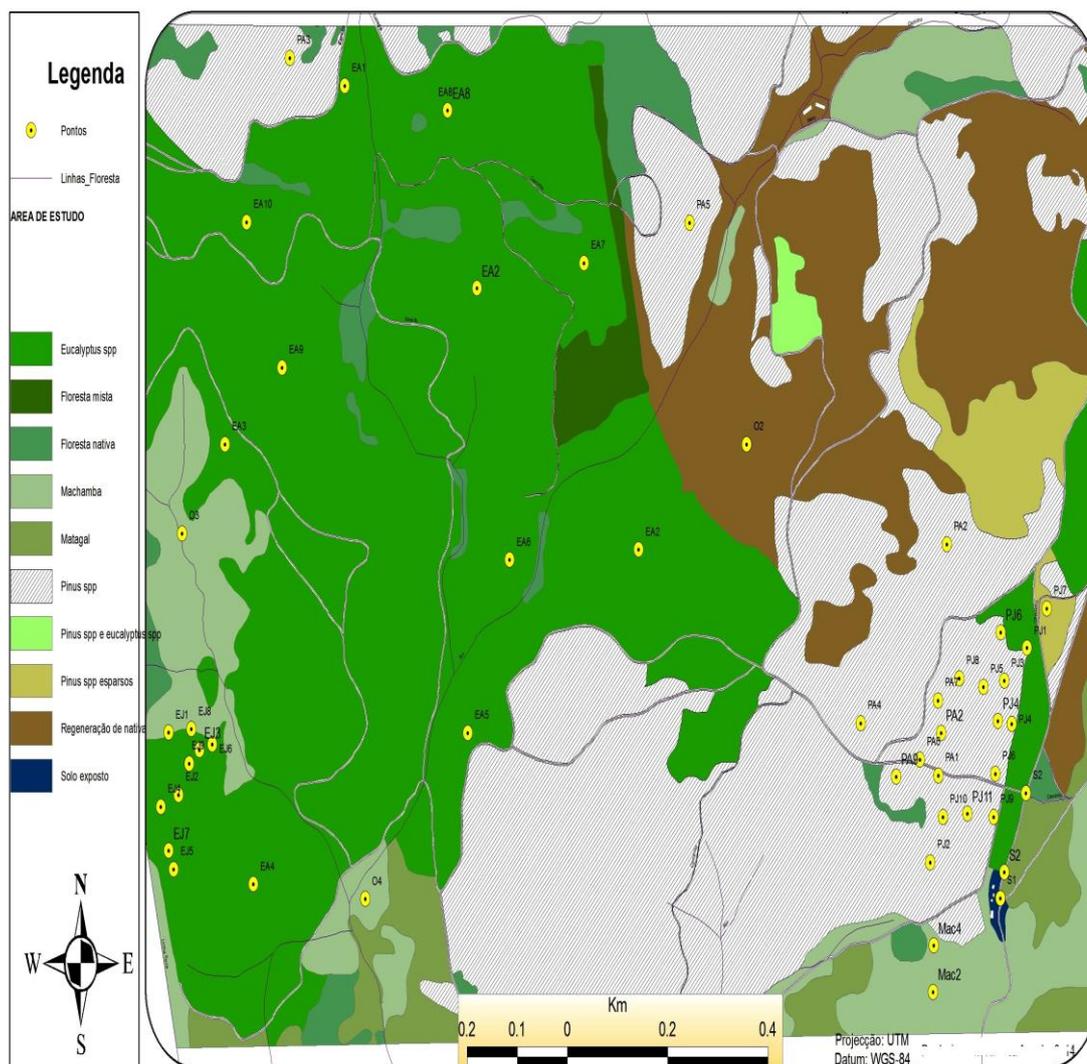


Figura 13: Distribuição dos pontos na área de estudo. Fonte: FAEF/DEF

3.2.2. Colheita de assinaturas na imagem

A imagem do distrito de Manica foi obtida no ano 2010 pelo satélite Ikonos 2. Através do software ArcGIS-9.3, fez-se o recorte da área de estudo na imagem para facilitar o processamento. Usou-se as bandas espectrais da faixa de luz visível, no formato RGB (R=vermelho, G=verde e B=azul) de 1, 2 e 3 respectivamente.

Segundo FILHO & ROCHA (2001), o conhecimento de assinatura espectral dos objectos permite a escolha da melhor combinação de bandas para discriminar alvos na imagem aérea. Todavia, no presente estudo não houve necessidade de fazer combinação específica de bandas, pois a imagem permitiu a distinção dos alvos presentes na cena.

De seguida, através da função *Signature Editor* do ERDAS 9.1 e 12 pontos de cada classe do campo, distribuídos em 2 de *Eucalyptus spp* – Jovem (A), 2 de *Eucalyptus spp*-Adulto (B), 3 de *Pinus spp*-Jovem (C), 2 de *Pinus spp*-Adulto (D), 2 de Outras (mata nativa vs machambas) (E), e 1 de Solo exposto (F), fez-se a colheita de assinaturas na imagem.

Posteriormente pelo método de divergência transformada fez-se avaliação da separação das assinaturas espectrais entre as classes. Neste método os números da matriz de separação das assinaturas variam de 0 a 2000. Considera-se boa separação entre as classes espectrais quando os valores variam de 1700 a 1900, e má separação valores abaixo de 1700 (QUARTAROLI & BATISTELA, 2006).

3.2.3. Classificação

Com assinaturas das classes fez-se a classificação supervisionada da imagem usando os três (3) classificadores parâmetros do ERDAS IMAGINE-9.1. Assim obteve-se o resultado primário do método Máxima Verossimilhança, Distância de Mahalonobis, Mínima Distância, respectivamente.

Depois da classificação da imagem, aplicou-se o *filtro majority* no tamanho *5X5pixel's* para reclassificar os pixéis isolados resultantes do erro da classificação, baseado em QUARTAROLI & BATISTELLA (2006).

3.2.4. Avaliação da Exactidão da Classificação

Depois da classificação fez-se avaliação dos resultados de modo a determinar o grau de confiabilidade dos resultados obtidos por cada método. Assim, fez-se análise quantitativa dos resultados obtidos na classificação.

- **Ánalise quantitativa**

Através da função *Accuracy Assessment* do ERDAS IMAGINE-9.1 e os pontos de referência de cada classe do campo gerou-se a matriz de erros. Segundo CONGALTON & GREEN (1999) citado por PLOURDE & CONGALTON (2003) a matriz de erros é o ponto de partida na realização da análise estatística fundamental para examinar a qualidade dos resultados da classificação.

A partir da matriz de erros determinou-se a exactidão global, erros de omissão, erros de comissão, exactidão do produtor e exactidão do usuário, e coeficiente de concordância Kappa usando (Equações 7, e 8 da secção 2.7).

- **Teste Z**

Para a comparação dos métodos de classificação fez-se o teste Z a 95% de nível de significância, onde determinou-se variâncias e Z calculado do índice kappa (veja Equações 9 e 10 da secção 2.8) e testou-se as seguintes hipóteses:

Hipóteses:

H₀: Os valores do coeficiente kappa dos três métodos são iguais;

H_a: Pelo menos um dos coeficientes kappa é diferente dos outros.

4. RESULTADOS & DISCUSSÃO

Apois a aplicação dos três (3) métodos de classificação, produziu-se os resultados (Figuras 14, 15, e 16) e são apresentados juntamente com a matriz de erros e respectivos erros de comissão e de omissão de cada classificador (Tabelas 3, 4, e 5). Por último apresenta-se valores de exactidão do produtor e exactidão do usuário (Tabela 6) para todos classificadores.

4.1. Mapa de uso e ocupação do solo do método de Máxima Verossimilhança

As seis classes identificadas são: *Eucalyptus spp* – Jovem (A), *Eucalyptus spp* - Adulto (B), *Pinus spp* - Jovem (C), *Pinus spp* - Adulto (D), Outras (E) e Solo exposto (F), apesar de não ter sido preciso, o resultado aproxima-se com a realidade do campo. A Figura 14 mostra a disposição das classes de uso e cobertura do solo obtido pelo método Máxima Verossimilhança.

Através da matriz de erros (Tabela 3), obteve-se a exactidão global de 56,41%, isto significa que todos pontos correspondentes a realidade do campo (pontos de validação), 56,41% houve concordância entre o mapa temático e a realidade do campo, e o valor do índice Kappa foi de 0,55. De acordo com LANDIS & KOCH (1977) a classificação obtida pode ser considerada de boa qualidade, pois o valor do kappa varia de 0,4 a 0,6.

Os baixos valores de índices do presente estudo são devido a baixa separação das assinaturas espectrais das classes, que foi de 1092. Este valor, para QUARTAROLI & BATISTELA, (2006) consideram não ideal, pois na análise de separação das amostras valores abaixo de 1700 resultam baixos índices de exactidão global e coeficiente kappa. Segundo DA LUZ, (2002) observou a mesma tendência num estudo sobre análise espacial para recuperação de ecossistemas apoiada na ecologia de paisagens e imagens ikonos 2, através do classificador Máxima Verossimilhança obteve o coeficiente de exactidão global de 81,95% e o de Kappa em 0,7692 e, apesar dos valores serem melhores, para o autor a alta resolução que caracteriza as imagens do Ikonos 2 dificultou a separação das assinaturas e consequentemente o processo de classificação.

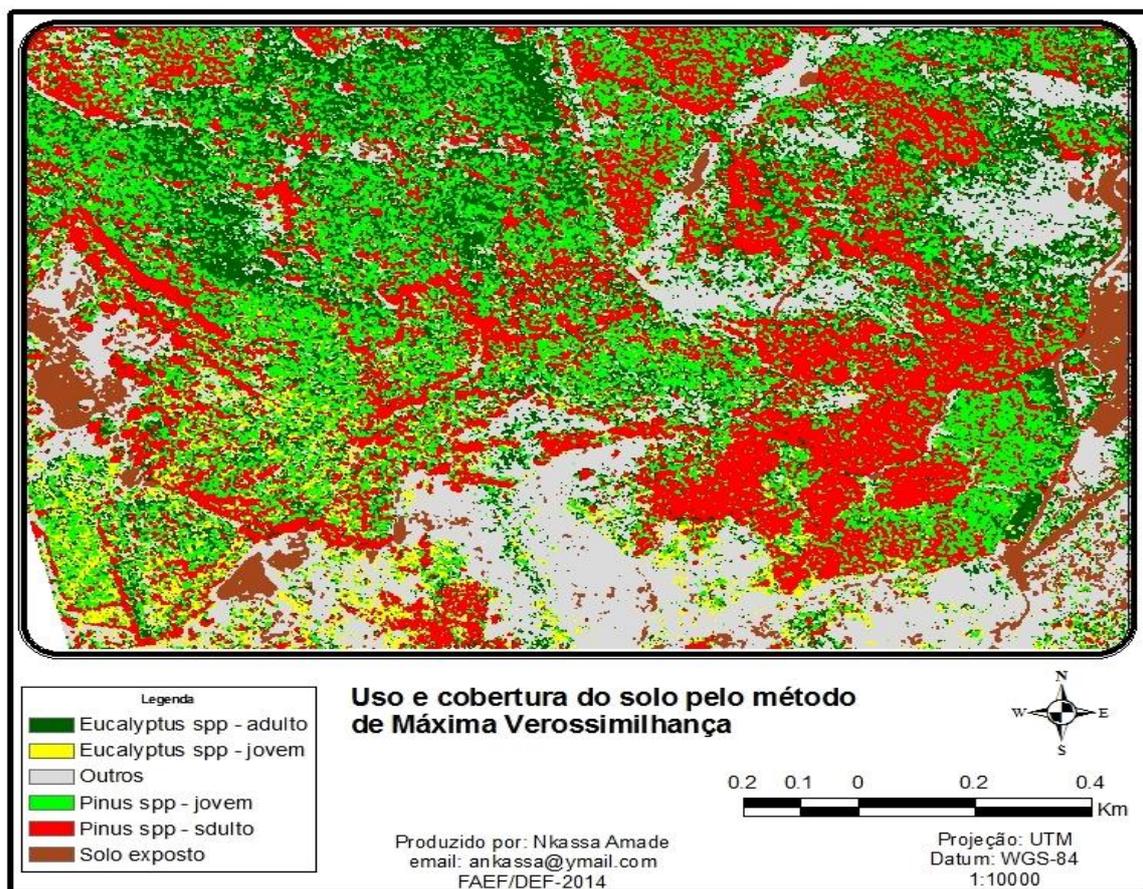


Figura 14: Uso e cobertura do solo - método Máxima Verossimilhança.

Tabela 3: Matriz de erros do mapa temático do classificador Máxima Verossimilhança

Classes (Mapa temático)	Referência (Verdade do campo)						Total das linhas	Ec(%)
	A	B	C	D	E	F		
<i>Eucalyptus spp</i> - Jovem (A)	2	0	0	0	0	0	2	0,0
<i>Eucalyptus spp</i> - Adulto (B)	2	5	1	1	1	0	10	50,0
<i>Pinus spp</i> - Jovem (C)	1	3	7	2	0	0	13	46,2
<i>Pinus spp</i> - Adulto (D)	0	2	2	4	0	0	8	50,0
Outras (E)	2	0	0	0	2	0	4	50,0
Solo exposto (F)	0	0	0	0	0	2	2	0,0
Total das colunas	7	10	10	7	3	2	39	
Eo(%)	71,4	50	30	42,9	33,3	0		

Analisando ao nível das classes (Tabela 3), observa-se que a classe *Eucalyptus spp* - Jovem (A) tem 71,4 % de erros de omissão. Isto é, dos 7 pontos de *Eucalyptus spp* - Jovem (A), 2 foram erradamente classificados como Outras (E), 2 pontos para a classe *Eucalyptus spp* - Adulto (B) e 1 ponto para *Pinus spp* - Jovem (C), ambas classes “A e E” com 50 e 46,2% de erros de comissão, respectivamente. Também constatou-se confusão temática entre a classe de *Eucalyptus spp* - Adulto (B) que teve 50% de erros de omissão com as classes de *Pinus spp* - Jovem (C) e *Pinus spp* - Adulto (D). Onde dos 10 pontos de *Eucalyptus spp* - Adulto (B), 3 e 2 pontos foram erradamente classificados para as classes de *Pinus spp* - Jovem (C) e *Pinus spp* - Adulto (D) com 46,2 e 50,0% de erros de comissão respectivamente. Este elevado índice de comissão é o reflexo da elevada semelhança das assinaturas espectrais entre *Eucalyptus spp* e *Pinus spp*.

4.2. Mapa de uso e ocupação do solo do método de Distância Mahalanobis

Através da análise da Figura 15 constatou-se que o método de Distância Mahalanobis teve dificuldades em separar as classes de *Eucalyptus spp* (Jovem) e *Eucalyptus spp* (Adulto), e isso permitiu que a classe de *Pinus spp* (Jovem) sumisse no mapa temático.

Neste mapa temático (Figura 15) a classe *Eucalyptus spp* (Jovem) teve mais representatividade que pelo método Máxima Verossimilhança, isto explica claramente a diferença entre os dois métodos nas regras de decisão para inclusão de um pixel ou ponto numa determinada classe.

Pelo método Distância Mahalanobis, a matriz de erros (Tabela 4) foi possível determinar valores dos índices de exactidão global e Kappa que foram de: 33,33% e 0,32, respectivamente. LANDIS & KOCH (1977) baseado no índice kappa, o mapa temático resultante foi considerado razoável, pois o kappa esta no intervalo de 0,2 a 0,4.

Na matriz de erros (Tabela 4), as classes *Eucalyptus spp* - Adulto (B) e *Pinus spp* - Jovem (C) tiveram 100% de erros de omissão. Enquanto *Eucalyptus spp* - Jovem (A) teve 14,3% de erros de omissão e, é a classe com maior índice de erros de comissão com cerca de 77,8%. Facto similar a este também foi constatado por CAMARGO, (2005) que usou o método de Distância Mahalanobis e obteve elevados índices de omissão nas classes de

Cobertura Florestal, Pomares de Laranja e Solos Cultivados e, associou como causa, a semelhança do comportamento espectral entre tipos de vegetação.

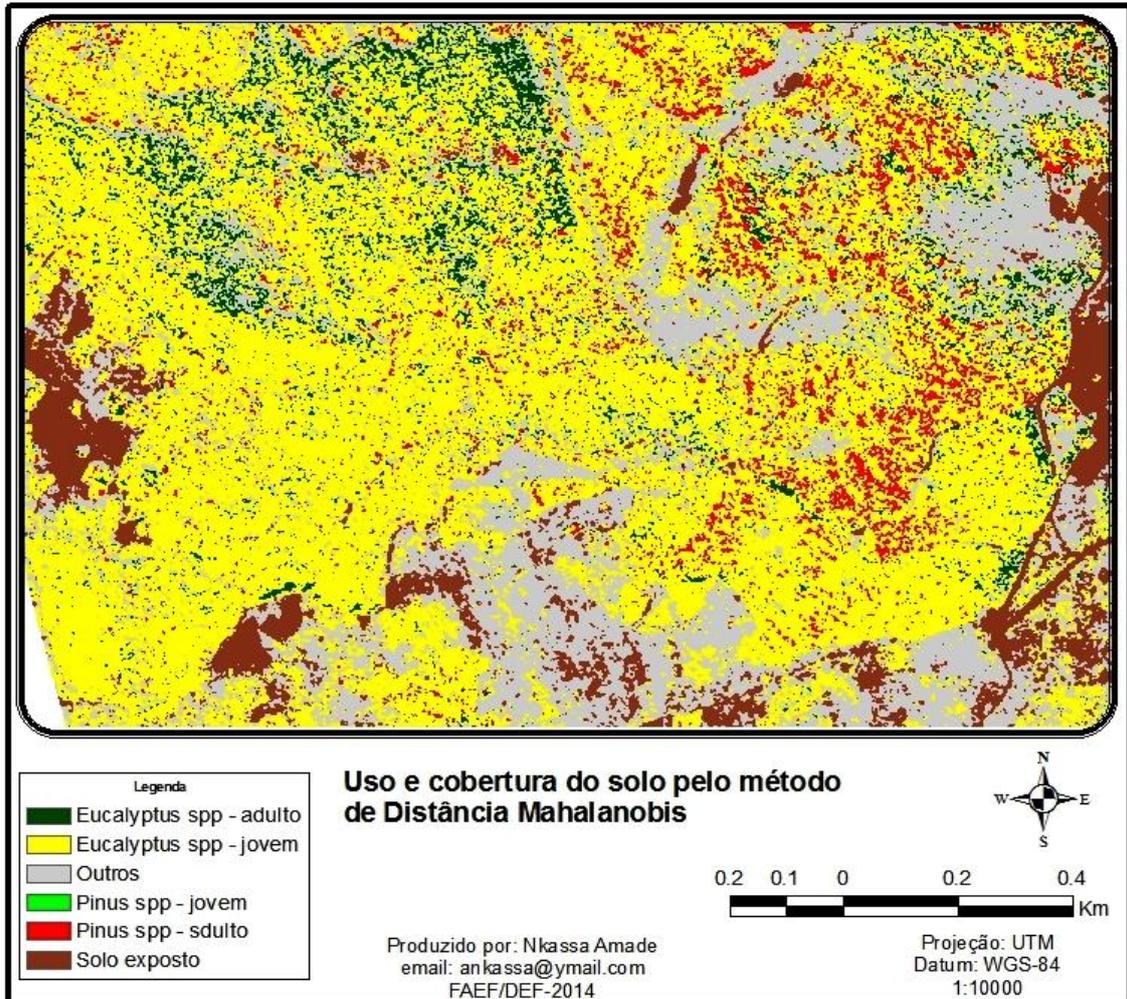


Figura 15: Uso e cobertura do solo - método Distância Mahalanobis.

Tabela 4: Matriz de erros do mapa temático do classificador Distância Mahalanobis.

Referência (verdade do campo)								
Classes (Mapa temático)	A	B	C	D	E	F	Total das linhas	Ec(%)
<i>Eucalyptus spp</i> - Jovem (A)	6	8	9	3	1	0	27	77,8
<i>Eucalyptus spp</i> - Adulto (B)	0	0	0	1	0	0	1	100
<i>Pinus spp</i> - Jovem (C)	0	0	0	0	0	0	0	-
<i>Pinus spp</i> - Adulto (D)	0	1	1	3	0	0	5	40
Outras (E)	1	1	0	0	2	0	4	50
Solo exposto (F)	0	0	0	0	0	2	2	0
Total das colunas	7	10	10	7	3	2	39	
Eo(%)	14,3	100	100	57,1	33,3	0		

4.3. Mapa de uso e cobertura do solo do método de Distância Mínima

Pelo método Distância Mínima foi difícil diferenciar as seis classes em estudo. O mapa resultante (Figura 16) foi mais contraditório com a realidade do campo que os mapas dos métodos Máxima Verossimilhança e Distância Mahalanobis (Figura 14 e 15). Com este método (Tabela 5) houve confusão das classes *Eucalyptus spp* - Jovem (A), *Eucalyptus spp* - Adulto (B) e *Pinus spp* - Jovem (C) em *Pinus spp* - Adulto (D).

A partir da matriz de erros (Tabela 5) as classes *Eucalyptus spp* - Jovem (A), *Eucalyptus spp* - Adulto (B) e *Pinus spp* - Jovem (C) apresentam 100% de erros de omissão, isto significa que todos pontos amostrados para estas classes foram erradamente classificados como *Pinus spp* - Adulto (D). Nas três classes em questão o classificador não incluiu nenhum ponto pertencente às outras classes, isto é, não se registou erros de comissão. Contrariamente ao que se observa para as classes *Pinus spp*- Adulto (D), Outras (E) e Solo exposto (F) que não se registou erros de omissão mas com erros de comissão de 74.1, 70 e 0%, respectivamente (Tabela 5).

Os índices de exactidão global e Kappa para o método de mínima distância são, 30.77% e 0.29, respectivamente. LANDIS & KOCH (1977) baseado no índice kappa, considera

razoável o mapa temático resultante deste método, pois o kappa está no intervalo de 0,2 a 0,4.

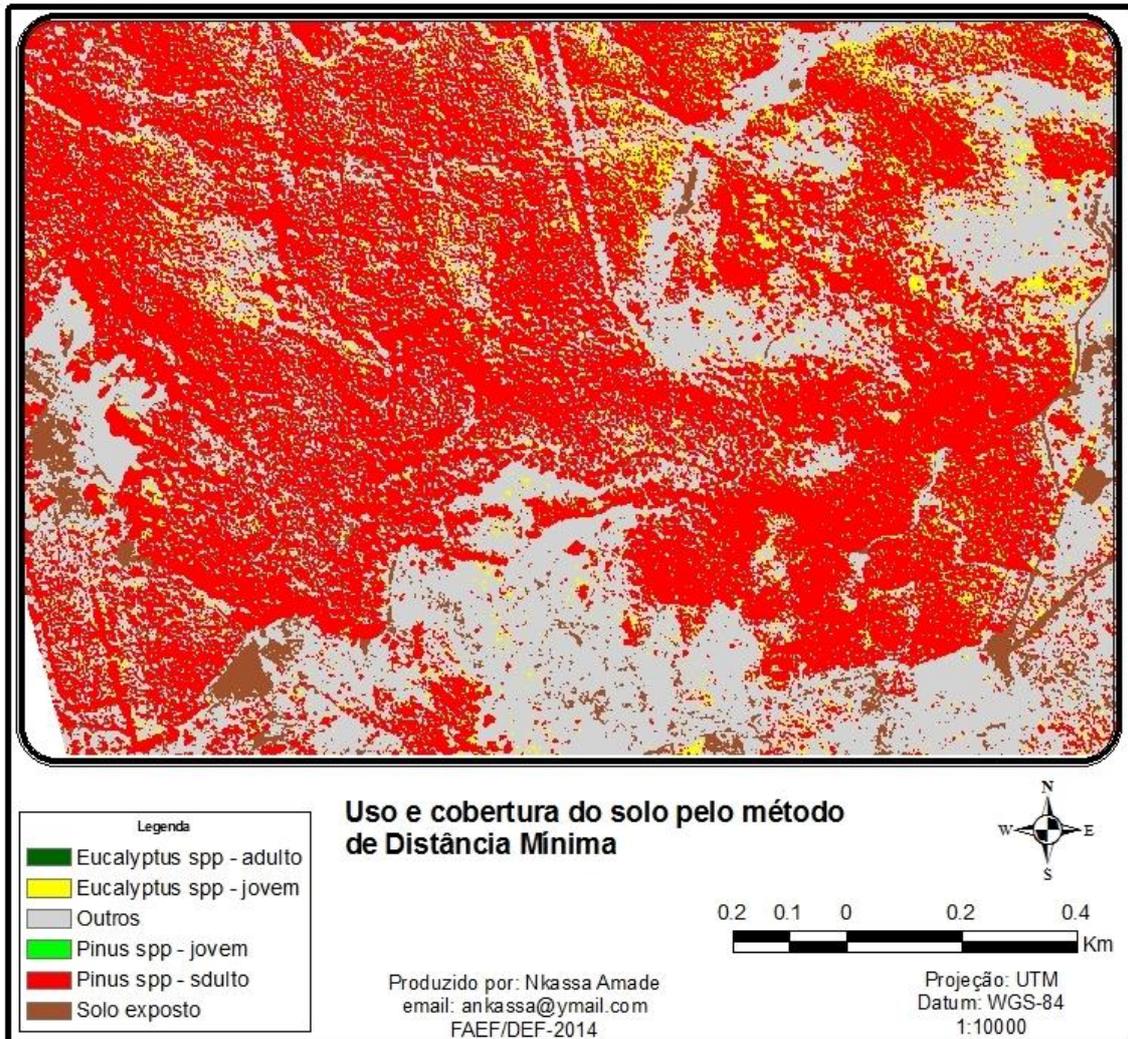


Figura 16: Uso e cobertura do solo - método Mínima Distância.

Tabela 5: Matriz de erros do mapa temático do classificador Distância Mínima

Referência (Verdade do campo)								
CLASSES (Mapa temático)	A	B	C	D	E	F	Total das linhas	Ec(%)
<i>Eucalyptus spp</i> - Jovem (A)	0	0	0	0	0	0	0	-
<i>Eucalyptus spp</i> - Adulto (B)	0	0	0	0	0	0	0	-
<i>Pinus spp</i> - Jovem (C)	0	0	0	0	0	0	0	-
<i>Pinus spp</i> - Adulto (D)	3	7	10	7	0	0	27	74,1
Outras (E)	4	3	0	0	3	0	10	70
Solo exposto (F)	0	0	0	0	0	2	2	0
Total das colunas	7	10	10	7	3	2	39	
Eo(%)	100	100	100	0	0	0		

Analisando os resultados dos três métodos através de exactidão do produtor e exactidão do usuário tem-se o empenho de cada classificador (Tabela 6).

Tabela 6: Índices de exactidão do produtor e do usuário dos três classificadores

Classes	Max.Ver		Dist. Mahalanobis		Dist. Mínima	
	Exact. P	Exact. U	Exact. P	Exact. U	Exact. P	Exact. U
<i>Eucalyptus spp</i> - Jovem (A)	28,6	100	85,7	22,2	0	-
<i>Eucalyptus spp</i> - Adulto (B)	50	50	0	0	0	-
<i>Pinus spp</i> - Jovem (C)	70	53,8	0	-	0	-
<i>Pinus spp</i> - Adulto (D)	57,1	50	42,9	60	100	25,9
Outras (E)	66,7	50	66,7	50	100	30
Solo exposto (F)	100	100	100	100	100	100

A partir da análise da Tabela 6, observou-se que o método distância mínima obteve valores dos índices exactidão do produtor e do usuário mais baixo, todavia foi o método com mais classes (3) com 100% de exactidão do produtor, apesar de se registrar nas classes de menor importância.

Outro facto observado foi o impacto dos baixos índices de omissão e comissão para os classificadores Distância Mínima e Distância de Mahalanobis que em consequência tiveram 0% e em alguns casos não registaram exactidão do produtor assim como exactidão do usuário, principalmente para as classes de *Eucalyptus spp* - Adulto (B) e *Pinus spp* - Jovem (C). Para o método MaxVer as classes¹ *Pinus spp* - Jovem (C) e *Pinus spp* - Adulto (D) tiveram 70 e 57,1% para exactidão do produtor e 53,8 e 50% para exactidão do usuário. A classe *Eucalyptus spp* - Jovem (A) teve 28,6 e 100% de exactidão do produtor e exactidão do usuário, respectivamente. Isto significa que somente 28,6% desta classe no mapa produzido através do método Max Ver corresponde com a realidade do campo, e 100% significa que todos pontos classificados para esta classe pertencem a mesma no mapa.

Em geral, a partir da análise das tabelas 3, 4 e 5 observou-se elevados índices de omissão e comissão para os três métodos, excepto as classes de Outras (E) e Solo exposto (F). De acordo com NÓBREGA (2007) nas imagens de alta resolução os valores dos índices de omissão e comissão são elevados devido a maior variabilidade das assinaturas espectrais dentro de cada classe. Além disso, a baixa resolução espectral que caracteriza as imagens ikonos 2, faz com que em estudos de caracterização de ocupação florestal haja dificuldade de separar espécies diferentes (GOETZ, *et al.*, 2003 citado por GONÇALVES, 2009).

Segundo AMARAL, M.V, *et al* (2009) num estudo através de imagem de alta resolução resultante da fusão da imagem IRS com a CBERS-2 no mapeamento de estágios de sucessão florestal numa floresta nativa de Estado de Minas Gerais, obteve para os métodos Máxima Verossimilhança, Distância Mahalanobis e Distância Mínima valores de índice Kappa de 0,28, 0,26 e 0,23, respectivamente. Estes valores não se diferem muito dos encontrados no presente estudo. Para este autor, a semelhança espectral entre as classes contribuiu para baixos valores de exactidão global e do índice kappa de cada método.

¹Classe de maior interesse no presente estudo.

4.4. Comparação dos três métodos de classificação

Para verificação da qualidade do mapa temático dos classificadores em questão, afim de avaliar o método mais adequado na separação de povoamentos de Eucaliptus e Pinus em imagens do satélite Ikonos 2, determinou-se variâncias de cada método, como mostra Tabela 7.

Tabela 7: Índices de exactidão global, Kappa e respectivas variâncias dos três classificadores

Métodos de Classificação	E.Global (%)	Kappa	Variância (K)
Máxima Verossimilhança	56,41	0,55	0,006723088
Distância Mahalanobis	33,33	0,32	0,006384001
Distância Mínima	30,77	0,29	0,005714076

As classificações foram comparadas através do Teste Z com base no índice Kappa. O teste foi aplicado para fornecer a diferença mínima significativa entre dois valores do índice Kappa. Segundo CONGALTON (2003), quando o valor do Zcalculado é maior que o valor do Zcrítico que se obtem na tabela, os métodos são considerados estatisticamente diferentes, o inverso, serão estatisticamente iguais.

O classificador Máximo Verossimilhança obteve valores na ordem de 56,41% e 0,55 de exactidão global e Kappa, respectivamente. Enquanto o classificador Distância Mínima obteve-se valores mais baixos, 30,77% e 0,29 de exactidão global e Kappa, respectivamente (Tabela 7). O índice Kappa encontrado no presente estudo para cada método é baixo quando comparado com o que resulta usando imagens de baixa e média resolução com os respectivos métodos. Apesar da semelhança entre as assinaturas espectrais ter influenciado mais os resultados, o tamanho de amostra de pontos de validação foi reduzido e influenciou negativamente os resultados. Segundo CONGALTON (1991) sugeri que na construção da matriz de erros, cada classe deve ter no mínimo 50 amostras. No entanto, não é facil na prática seguir com essa regra por causa das dificuldades de acesso à área de estudo e do tempo e custos envolvidos na aquisição de números grandes de pontos de validação (MENESES & ALMEIDA, 2012).

A partir das variâncias (Tabela 7) permitiu obter valores do Z calculado apresentados a seguir (Tabela 8).

Tabela 8: Valores de Z calculado entre os classificadores

Comparação dos classificadores	Z calculado (Kappa)	Z crítico (5%)
Maxver e Distância Mahalanobis	1,57	1,96
Maxver e Distância Mínima	2,33*	1,96
Distância Mahalanobis e Distância Mínima	0,73	1,96

*diferença significativa

A partir da Tabela 8, entre os métodos Maxver e Distância Mínima, o valor do Z calculado (2,23) é maior que o de Z crítico (1,96), ao nível de significância de 5%, significa que houve diferenças significativas na comparação dos mapas temáticos resultantes dos dois métodos. A partir das figuras 14 e 16 pode se constatar evidências da diferença dos mapas.

Para a comparação entre Maxver e Distância Mahalanobis, não houve diferenças significativas. Pois o valor de Z calculado (1,57) é menor que o valor do Z crítico (1,96) (Tabela 8). Isto significa que com base no teste Z ao nível de significância de 5%, não há evidências suficientes que mostram que os mapas temático dos métodos Maxver e Distância Mahalanobis são diferentes. O mesmo pode se constatar na comparação do método Distância Mahalanobis e Distância Mínima, que os mapas temáticos são estatisticamente iguais.

O método Maxver teve o resultado de classificação, com 56,41% de exactidão global mas o mapa temático resultante não é confiável. Porque Segundo SHANDLEY & FRANKLIN (1996) citado por COUTINHO, *et al.* (S.d), o intervalo aceitável para exatidão global de mapas temáticos varia de 80 a 95% de confiabilidade.

5. CONCLUSÕES & RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

A Classificação digital da imagem Ikonos 2 da floresta de Inhamacari pelos três métodos testados no presente estudo produziu seis classes de uso e cobertura do solo: *Eucalyptus spp* – Jovem (A), *Eucalyptus spp*-Adulto (B), *Pinus spp*-Jovem (C), *Pinus spp*-Adulto (D), e Outras (mata nativa e machambas) (E) e Solo exposto (F).

O método Máxima Verossimilhança, obteve-se a exactidão global de 56,41%, e o valor do índice Kappa (K) foi de 0,55. De acordo com LANDIS & KOCH (1977) a classificação obtida pode ser considerada de boa qualidade, pois o valor do kappa varia de 0,4 a 0,6. E os métodos Distância Mahalanobis e Distância Mínima tiveram 33,33% e 0,32 e, 30,77% e 0,29 para exactidão global e kappa, respectivamente. Na escala de LANDIS & KOCH (1977), considera razoável o mapa temático dos dois métodos, pois o valor do índice kappa esta no intervalo de 0,2 a 0,4.

De acordo com o teste Z a 95% de nível de confiança, a classificação com o método Maxver demonstrou-se como o melhor método para separação dos povoamentos de Eucaliptus e Pinus. No entanto, o método encontrou dificuldades em separar a classe *Eucalyptus spp* - Jovem (A) das outras classes e consequentemente esta classe teve 71,4% de erros de omissão.

5.2. Recomendações

Resultados obtidos no presente estudo, mostram a necessidade de se recomendar a realização de mais estudos similares com imagem do satélite ikonos 2 da mesma área de estudo ou outra com características ecológicas iguais.

Dado que as imagens de alta resolução apresentam problemas de variabilidade das classes de assinaturas, para o processamento desse tipo de imagens recomenda-se o uso de classificadores por região espectral. Pois, os classificadores por região resolvem o problema de variabilidade das classes de assinaturas em imagens de alta resolução.

Tendo em conta que o número de pontos de validação para cada classe no presente estudo foi menor, recomenda-se que os próximos estudos que se aumente os pontos para melhorar os indicadores de qualidade de classificação de imagens satélites.

Recomenda-se também que se faça a correção radiométrica da imagem usada no presente estudo, porque este tipo de correção melhora bastante os resultados da classificação de uma imagem.

6. LIMITAÇÕES

O trabalho teve limitações tais como:

O número de amostras de cada classe usado para a validação foi menor que de algum modo influenciou negativamente nos resultados do estudo.

A alta resolução espacial da imagem usada no presente estudo dificultou na aquisição das assinaturas espectrais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Fernanda Daniele de. 2006. Propagação Vegetativa de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell poe estaquia e miniestquia. Minas Gerais – Brasil.
- AMARAL, M.V. et al. 2009. Avaliação e compação de métodos de classificação de imagens de satélites para o mapeamento de estádios de sucessão florestal. Viçosa-MG-Brasil. 8 pp.
- CAETANO, Mário, et al. s.d. Cartografia de Ocupação do Solo com Imagens de Satélite: estado da arte. 11 pp.
- CAETANO, Mário Sílvia Rochinha de Andrade. 2000. Identificação de alterações de ocupação do solo com imagens de satélite para atualização de inventários florestais. 92 pp.
- CERQUEIRA, J. A. C. & ALVES, A. O. 2010. Classificação de Imagens de alta resolução espacial para o mapeamento do tipo de pavimento urbano.UFAL-IGDEMA-Brasil. 8 pp.
- CINTRA, Danielle Pereira. 2007. Classificação de estágios sucessionais florestais por meio de imagens de alta resolução (Ikonos) no parque estadual da pedra branca. Rio de Janeiro. 74 pp.
- CHUVIECO, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. 3ª ed Madrid: Edicione Rialp, 568 pp.
- CONGALTON, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data: Remote Sensing of Environment.

- COUTINHO, et al. S.d. Mapeamento da Superfície Terrestre Através da Utilização do Método de Segmentação por Crescimento de Regiões e Classificação Supervisionada de Imagens de Satélite. 11 pp.
- DISPERATI, Attilio Antonio. 1982. Aplicação de métodos computarizados em mapeamento florestal. 10 pp.
- EIPHANIO, *et al.*. 1992. Comportamento espectral de solos do estado de São Paulo. São José dos Campos – Brasil. 142 pp.
- ESPIRITO-SANTO, F. Del Bon & SMIMABUKURO, Y. Edemir. 2005. Validação do mapeamento de uma área de floresta tropical com o uso de imagens de videografia aérea e dados de levantamento de campo. Viçosa-MG. Brasil. 13 pp.
- FIGUEIREIDO, Divino. 2005. Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. Brasil. 30 pp.
- FERRÃO, Manuel. 2003. Apontamentos de teledeteção. Fascículo II: Tratamento de Imagens Satélite. UEM, CENACARTA-Moçambique. 123 pp.
- FERRÃO, Manuel. 2007. A Teledeteção em Moçambique Situação Actual, Perspectivas e Constrangimentos. MINAG, CENACARTA-Moçambique. 18 pp.
- FLORENZANO, T. G. 2002. Imagens de Satélite para Estudos Ambientais. 044.ASR.SRE.16 - Princípios Físicos do Sensoriamento Remoto.
- FLORENZANO, Teresa Gallotti. 2008. Os Satélites e Suas Aplicações. São José dos Campos – SP. Brasil. 52 pp.
- GONÇALVES, Luísa Maria da Silva. 2009. Integração da incerteza na classificação e avaliação da exactidão temática de imagens multiespectrais-

Aplicação a avaliação do estado de conservação do patrimonio edificado da Baixa de Coimbra. Coimbra – Portugal. 201 pp.

- HASENACK, Heinrich & WEBER, Eliseu. 1998. Manual do usuário: Introdução Exercícios Tutoriais. Porto Alegre- Brasil. 218 pp.
- IBGE. 2001. Introdução ao Processamento Digital de Imagens. Rio de Janeiro, RJ – Brasil. 88 pp.
- LAMPRECHT, H. (1990), Silvicultura nos Trópicos, Alemanha, 290 pp.
- LANDIS, J. Richard & KOCH, Gary G. 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. 17 pp.
- LISBOA, Gerson dos Santos. 2009. Fotografias aéreas de escala grande e imagem ikonos-2 no mapeamento de copas de *Araucaria angustifolia*. IRATI – PR. 121 pp.
- LUZ, Naíssa Batista da. 2002. Análise espacial como subsídio à recuperação de ecossistemas apoiada na ecologia de paisagens e imagens ikonos. Curitiba-Brasil. 126 pp.
- MACHADO, Cláudia A. Soares & QUINTANILHA, José Alberto. 2008. Módulo de treinamento: Sistemas de informações geográficas (sig) e geoposicionamento: Uma aplicação urbana. Apostila teórica 1: Sensoriamento remoto. São Paulo.123 pp.
- MARTINS, Nuno Miguel Nogueira. 2012. Utilização de imagens de satélite de alta resolução para a extracção de elementos em ambiente urbano. Lisboa-Portugal.
- MEDEIROS, Cleyber Nascimento de & PETTA, Reinaldo António. 2005. Exploração de imagens de satélite de alta resolução visando o mapeamento do uso e ocupação do solo. Brasil. 8 pp.
- MOREIRA, Mauricio Alves. 2003. Tratamento de dados de satélites. Brasil. 51 pp.

- MOREIRA, Mauricio Alves. 2001. Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. São José dos campos - Brasil. 250 pp.
- NÓBREGA, Rodrigo Affonso de Albuquerque. 2007. Detecção da malha viária na periferia Urbana de São Paulo utilizando imagens de alta resolução espacial e classificação orientada a objectos. São Paulo-Brasil. 166 PP.
- NOVO, Evlyn M. L. de Moraes & PONZONI, Flávio Jorge. 2001. Introdução ao sensoriamento remoto. São José dos Campos – Brasil. 68 pp.
- PASSO, Denilson Pereira. 2013. Análise da qualidade de classificadores para identificação de alvos urbanos em imagens de alta resolução espacial - uma aplicação com as imagens do satélite Worldview ii. Brasília-DF Brasil. 106 pp.
- PEREIRA, *et al.* 2011. Comparação entre os métodos de classificação supervisionada maxver e distância mínima na análise do uso e cobertura do solo na região do Alto Araguaia. Brasil.
- PINHO, Carolina Moutinho Duque de. 2006. Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada a classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos – Sp. Brasil-São Paulo. 180 pp.
- PLOURDE, Lucie & CONGALTON, Russell G. 2003. Sampling Method and Sample Placement: How Do They Affect the Accuracy of Remotely Sensed Maps? 9 pp.
- QUARTAROLI, Carlos Fernandes & BATISTELA, Mateus. 2006. Classificação Digital de imagens de sensoriamento remoto: Tutorial Básico. Campinas-SP-Brasil. 50 pp.

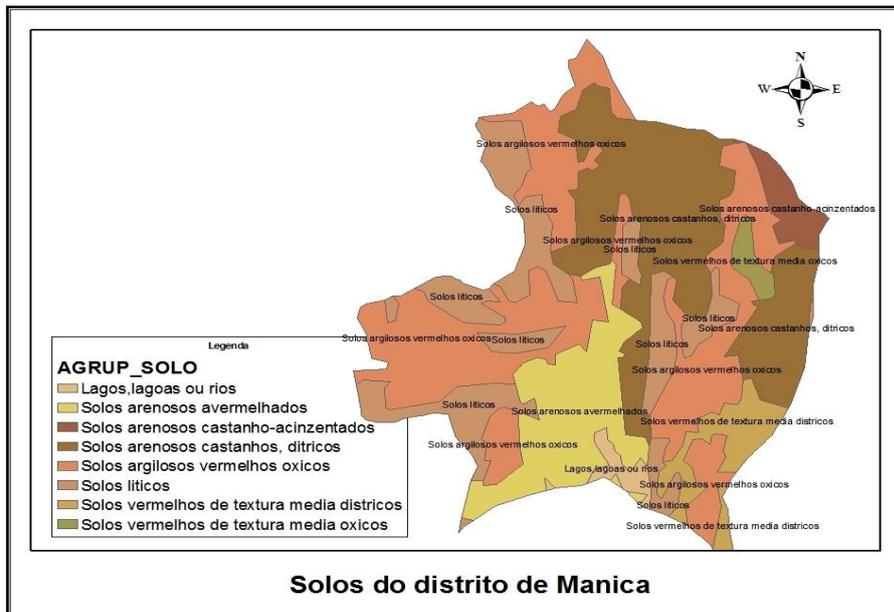
- QUARTAROLI, Carlos Fernandes & BATISTELA, Mateus. 2005. Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto: Tutorial Básico Campinas-SP-Brasil. 147 pp.
- RIBEIRO, Natacha et al. 2002. Manual de silvicultura tropical. Maputo. 130 pp.
- ROCHA, Fernando Jorge Pedro da Silva Pinto da. 2002. Integração de dados estatísticos na classificação de imagens satélites. Lisboa-Portugal. 192 pp.
- ROSOT, Nelson Carlos. 2001. Integração de Imagens de Sensores de Microondas e Ópticos para fins de Mapeamento e Classificação de Reflorestamentos no sul do Brasil. Brasil-Florianópolis. 190 pp.
- SEBEM, Elódio. S.d. Fundamentos de Teledetección Espacial-Princípios Físicos.
- TUZINE, Mário Sebastião. 2011. Mapeamento da cobertura e uso da terra a partir de imagens Ikonos na floresta de inhamacari, província de Manica Moçambique. PARANA- BRASIL. 91 pp.
- VENTURIERI, Adriano. 2007. Curso de introdução às técnicas de sensoriamento remoto. Belém-Brasil. 84 pp.
- [Http://www.spacetoday.org](http://www.spacetoday.org).
- [Http://www.agr.feis.unesp.br](http://www.agr.feis.unesp.br).
- <http://www.terrapinus.com.br>.

8. ANEXOS

Anexo 1. Ficha de campo

Ponto Nr	Coordenadas(UTM)		Breve descrição do ponto
	Lat.	Long.	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			

Anexo 2. Solos do distrito de Manica



Anexo 3: Imagem do distrito de Manica na composição colorida RGB 123.

