

FELIPE PINHO DE OLIVEIRA

**MONODOMINÂNCIA DE AROEIRA: FITOSSOCIOLOGIA,
RELAÇÕES PEDOLÓGICAS E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL EM
TUMIRITINGA-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2011**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

O48m
2011

Oliveira, Felipe Pinho de, 1982-

Monodominância de aroeira : fitossociologia, relações
pedológicas e distribuição espacial em Tumiritinga-MG /
Felipe Pinho de Oliveira. – Viçosa, MG, 2011.
xii, 79f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. *Myracrodruon urundeuva*. 2. Comunidades vegetais.
3. Plantas e solo. 4. Sensoriamento remoto. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

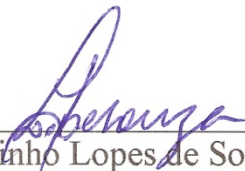
CDD 22. ed. 583.77

FELIPE PINHO DE OLIVEIRA

**MONODOMINÂNCIA DE AROEIRA: FITOSSOCIOLOGIA,
RELAÇÕES PEDOLÓGICAS E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL EM
TUMIRITINGA-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de julho de 2011.



Prof. Agostinho Lopes de Souza
(Coorientador)



Prof. Vicente Paulo Soares



Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho
(Orientador)

*À Dona Quita (in memoriam),
matriarca de pura fibra.*

*Aos meus amados pais, Cacá e Cyro,
lições eternas de amor.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e à cidade de Viçosa pela longa acolhida e pelas lições de aprendizado nos campos da ciência e da vida. Ao Departamento de Solos da UFV, seus funcionários e professores, pela oportunidade de desenvolver meus estudos e aperfeiçoar meus conhecimentos.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e FAPEMIG (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pela concessão de bolsa de estudo e outros auxílios financeiros aplicados para a realização deste trabalho.

Ao Professor Elpídio Inácio Fernandes Filho, não somente por acreditar e apoiar as propostas deste trabalho, mas fundamentalmente por compartilhar de forma fraterna e amiga conhecimentos imprescindíveis para a realização desta pesquisa.

Ao Professor Agostinho Lopes de Souza, pela confiança e pelo apoio depositado em mim deste a graduação na condução de pesquisas voltadas ao manejo de florestas nativas.

À Professora France Maria Gontijo Coelho, que me despertou o interesse pela pesquisa acadêmica, transmitindo muita alegria, ética e compromisso com a partilha do conhecimento produzido.

Aos colegas de trabalho, em especial ao Israel pelo apoio teórico e prático confiado em todas as etapas deste trabalho, e à Eliana pelas contribuições no processamento de dados.

Aos parceiros e colaboradores do município de Tumiritinga. Em especial ao Deusdete representando a Prefeitura de Tumiritinga, Roberto Luz, agricultor cientista e Geraldo representando a EMATER-MG, pela logística disponibilizada em campo e pela facilitação ao acesso das áreas de estudo.

À minha amada família, meu pai Cyro, minha mãe Maria do Carmo, meus irmãos Léo, Flavinha, Juju e Carol amigos das horas certas e incertas.

À minha linda e amada companheira Raíssa pelo amor, paciência, partilha e pelo apoio prestado mesmo nos momentos mais difíceis do trabalho.

Aos amigos da boa musicalidade brasileira que conheci em Viçosa e que levarei sempre no coração. Válvula de escape para superar as intempéries.

A todos, meu sincero agradecimento.

BIOGRAFIA

FELIPE PINHO DE OLIVEIRA, filho de Sebastião Cyro de Oliveira e Maria do Carmo Pinho de Oliveira, nasceu no dia 2 de Fevereiro de 1982 em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Concluiu seu curso de graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa em Janeiro de 2009. No ano de 2010 deu início ao curso de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa.

Em sua formação acadêmica e profissional procurou desenvolver trabalhos de pesquisa com interface na extensão, atuando principalmente nas áreas de manejo florestal, manejo e conservação de solos e geoprocessamento.

Índice

RESUMO	vii
---------------------	------------

ABSTRACT	x
-----------------------	----------

INTRODUÇÃO GERAL.....	1
------------------------------	----------

Caracterização da monodominância de aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i> Fr. All.) no município de Tumiritinga, MG	4
---	----------

RESUMO.....	4
1. INTRODUÇÃO	5
2. MATERIAIS E MÉTODOS	7
2.1 Caracterização da área de estudo	7
2.3 Estoques de Biomassa e Carbono	10
2.4 Cobertura de copa e classe de regeneração	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
3.1 Composição florística, estrutura horizontal e paramétrica.....	12
3.2 Biomassa e Carbono.....	16
3.3 Estágio sucessional	17
4. CONCLUSÕES	20
5. AGRADECIMENTOS	20
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21

Qualidade física e química de solos sob monodominância de aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i> Fr. All.) e pastagens em Tumiritinga, MG	24
--	-----------

RESUMO.....	24
1. INTRODUÇÃO	25
2. MATERIAIS E MÉTODOS	27
2.1 Caracterização da área de estudo	27
2.2 Coleta e análises de solo	27
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
3.1 Atributos químicos	30
3.2 Atributos físicos	33
4. CONCLUSÕES	36
5. AGRADECIMENTOS	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

Classificação de fragmentos florestais com monodominância de aroeira por redes neurais artificiais e pelo algoritmo da maximaverossimilhança utilizando imagens Rapideye..... 40

RESUMO.....	40
1. INTRODUÇÃO	41
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
2.1 Caracterização regional do local de estudo.....	42
2.2 Base de dados.....	43
2.3 Seleção e validação das amostras de treinamento.....	44
2.4 Classificação supervisionada	46
3. RESULTADOS.....	48
4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	54
5. AGRADECIMENTOS.....	55
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS.....	55

Avaliação da utilização de imagens Landsat TM-5 e Rapideye para o mapeamento de fragmentos florestais monodominados por aroeira 58

RESUMO.....	58
1. INTRODUÇÃO.....	59
2. MATERIAL E MÉTODOS	60
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
4. CONCLUSÕES	73
5. AGRADECIMENTOS	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

CONCLUSÕES GERAIS..... 76

ANEXOS..... 77

RESUMO

OLIVEIRA, Felipe Pinho, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011.
Monodominância de aroeira: fitossociologia, relações pedológicas e distribuição espacial em Tumiritinga-MG. Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Co-orientação: Agostinho Lopes de Souza e Genelício Crusoé Rocha.

O quadro de avançada degradação ambiental na região do médio rio Doce mineiro é atribuído por diversos autores à prática da pecuária extensiva somada às interações edáficas, climáticas, geomorfológicas e antrópicas. Como agravante da degradação na região, alguns pesquisadores começar a chamam a atenção para a expansão de fragmentos monodominados pela espécie florestal aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.). Paralelo ao quadro de expansão de áreas monodominadas pela aroeira no médio Rio Doce, a espécie aparece na lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçada de extinção na categoria “vulnerável” desde 1992 até o presente. Em contrapartida a Portaria Normativa nº 83 de 26 de setembro de 1991 do IBAMA, permite a exploração da espécie em florestas secundárias, mediante plano de manejo florestal. Percebe-se que a falta de conhecimento sobre os fragmentos monodominados por aroeira acarreta na insegurança dos operadores do direito no que tange a autorização de intervenção nestes ambientes, seja esta visando a recuperação de áreas degradadas ou o manejo sustentável destes fragmentos. Na busca de elucidar algumas questões sobre as áreas sob monodominância de aroeira, este trabalho teve por objetivos principais caracterizar a composição florística, a estrutura horizontal e a estrutura paramétrica de povoamentos florestais sob monodominância de *Myracrodruon urundeuva* em Tumiritinga-MG; avaliar a existência de correlação entre atributos químicos e físicos do solo e a expansão de povoamentos monodominados pela aroeira; avaliar o desempenho do classificador da maximaverossimilhança e do classificador de redes neurais artificiais para mapear áreas ocupadas por fragmentos de aroeira em monodominância no município de Tumiritinga-MG; e avaliar o potencial de uso de dados de sensores remotos a bordo dos satélites Landsat TM-5 e Rapideye para o mapeamento de áreas monodominadas por aroeira. Para tanto o município de Tumiritinga foi amplamente percorrido, registrando com aparelho GPS de navegação e fotografias as formas de uso do solo predominantes no município, em especial os “aroeirais”. Dezesesseis parcelas de

inventário florestal foram distribuídas ao longo do município representando a diversidade de ambientes onde os aroeirais se manifestam. Nas parcelas de inventário foram registradas as circunferências, a altura total e a identificação botânica de todos os indivíduos com $CAP \geq 15,7$ cm. A partir dos dados foram feitas as análises de estrutura horizontal, estrutura paramétrica e florística dos fragmentos monodominados por aroeira no município de Tumiritinga utilizando o software Mata Nativa 2.0. Em onze das dezesseis parcelas de inventário, três amostras indeformadas compostas de solo foram coletadas e três amostras deformadas simples de solo foram coletadas de forma aleatória dentro das parcelas. Para cada fragmento foi selecionado uma pastagem adjacente de onde foram coletadas três amostras indeformadas simples de solo e três amostras deformadas compostas de solo, totalizando 33 amostras de solo sob “aroeirais” e 33 amostras de solo sob pastagens. A partir das amostras de solos foram realizadas as seguintes análises químicas: pH em H₂O; teores de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, Na⁺ trocáveis; P disponível; H + Al; SB; t; T; V; m; MOS e ISNa; e as seguintes análises físicas: textura, Dp, Ds, Pt, Pmic, Pmac, Ko e retenção de água na capacidade de campo (-10 kPa) no ponto de murcha permanente (-1.500 kPa) e nas tensões equivalentes de -300 kPa e -500 kPa. Para avaliar a hipótese de igualdade entre as médias dos parâmetros químicos e físicos obtidos nos sistemas de monodominância de aroeira e de pastagem, foi aplicado o teste t para amostras independentes, a 5% de significância. Para a classificação da imagem Rapideye foram avaliados dois métodos de classificação supervisionada, a classificação pelo algoritmo da maximaverossimilhança e a classificação por Redes Neurais Artificiais. Foram testadas 19 combinações envolvendo bandas, componentes principais e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI). O treinamento da rede foi realizado por tentativa e erro. Para a classificação da imagem Landsat foi utilizado o algoritmo da máximaverossimilhança e foram testadas 10 combinações envolvendo bandas, componentes principais e o NDVI. A avaliação dos mapas temáticos produzidos foi realizada através dos coeficientes Kappa e Kappa condicional para a classe de uso do solo “aroeira”. A estrutura horizontal e a análise florística de fragmentos florestais inventariados no município de Tumiritinga MG comprovam a ocorrência monodominante da espécie florestal aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All) na região de estudo. A monodominância de aroeira é caracterizada por baixa diversidade de espécies e dominância refletida em 96% dos indivíduos amostrados, 96% da área basal medida e 96% do volume total de madeira

estocado. Os parâmetros químicos K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, T e t diferiram significativamente entre os sistemas pastagem e monodominância de aroeira, sendo os valores de todos os parâmetros superiores no sistema monodominância de aroeira. Os parâmetros físicos Dp, Pmic, Pt e teor de silte diferiram significativamente entre os sistemas pastagem e monodominância de aroeira, sendo os valores de Dp, Pmic e Ptot maiores em solos sob monodominância de aroeira e o teor de silte superior nas pastagens. O melhor resultado encontrado para a classificação da imagem Rapideye foi obtido pelo algoritmo da maximaverossimilhança que apresentou coeficiente Kappa igual a 80 e Kappa condicional 90. Para a imagem Landsat os coeficientes Kappa e Kappa condicional para a classe Aroeira foram respectivamente 80 e 76. Através dos mapas temáticos produzidos observou-se que 22% do município de Tumiritinga, 10.6758 ha, se encontra sob ocupação da aroeira em monodominância. Dado a dimensão que os povoados monodominados por aroeira ocupam na paisagem, as implicações que a monodominância da aroeira impõe sobre a biodiversidade, sob a conservação dos solos, e sob a sustentabilidade dos agroecossistemas locais, fazem-se necessários estudos complementares que busquem esclarecer os mecanismos edáficos e ecológicos envolvidos na manutenção e expansão das áreas monodominadas por aroeira. O conhecimento dos processos condicionantes deste sistema poderá subsidiar a elaboração de planos de manejo florestal sustentável que, conciliando a produção madeireira e não madeireira sejam capazes de aumentar a produtividade e a renda do produtor rural.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Felipe Pinho, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, July of 2011.
Monodominance of aroeira: phytosociology, edaphic relations and spatial distribution in Tumiritinga-MG. Advisor: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Co-advisors: Agostinho Lopes de Souza and Genelício Crusoé Rocha

The framework of advanced environmental degradation in the central region of the Rio Doce in the state of Minas Gerais is attributed to several authors to the practice of extensive cattle raising added to interactions with the soil, climate, geomorphology and also anthropic interactions. As an aggravating factor of the degradation in the region, some researchers begin to draw attention to the expansion of mono-dominated fragments by the aroeira forest species (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.). Parallel to this scenario, *M. urundeuva* appears in the official list of species of flora threatened with extinction in the category "Vulnerable" from 1992 until the present day. On the other hand the Regulatory Ordinance number 85 of September 26, 1991 of IBAMA allows the exploitation of the species in secondary forests through a forest management plan. It is felt that the lack of knowledge about the mono-dominated fragments by aroeira entails the insecurity of the law operators regarding the authorization for intervention in these environments; this is aimed at the recovery of degraded areas and the sustainable management of these fragments. In the search to clarify questions about the areas under mono-dominance of aroeira, this work aimed to characterize the major floristic composition, the horizontal structure and the parametric structure of forest stands under the mono-dominance of *Myracrodruon urundeuva* in Tumiritinga-MG; evaluate the existence of correlation between chemical and physical attributes of the soil and the expansion of settlements mono-dominated by the aroeira; evaluate the performance of the maximum likelihood classifier and the classifier of artificial neural networks to map the areas occupied by fragments of aroeira in mono-dominance in the city of Tumiritinga-MG; and evaluate the potential use of remote sensing data on board the Landsat TM-5 and RapidEye satellites for the mapping of the areas mono-dominated by aroeira. For this the city of Tumiritinga was widely covered by registering with a GPS navigation device and photo the forms of land use prevalent throughout the studied region. Sixteen inventory plots of forest were distributed throughout the city representing the diversity of environments where the Aroeirais manifest. In the plots inventory

circles, the total height and botanical identification of all individuals with CAP > 15.7 cm were recorded. From the collected data it was made an analysis of horizontal structure, parametric structure and floristic of the fragments mono-dominated by aroeira in the city of Tumiritinga using the Mata Nativa 2.0 software. In eleven of the sixteen parts of inventory, three undisturbed samples composed of soil were collected and three simple disturbed samples of soil were collected randomly. For each plot it was selected an adjacent pasture from where three simple undisturbed soil samples were collected and three deformed soil samples composed of soil, totaling 33 samples of soil under "Aroeirais" and 33 samples of soil under pasture. The soil samples were submitted to the following chemical analysis: pH in H₂O; levels of Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, exchangeable Na⁺, available P, H + Al, SB, t, T, V, m; MOS and ISNa, and the following physical tests: texture, Dp, Ds, Pt, Pmic, Pmac, Ko and water retention at field capacity (-10 kPa) at the permanent wilting point (-1500 kPa) and in tensions equivalent to -300 kPa and -500 kPa. In order to evaluate the hypothesis of equality between the averages of chemical and physical parameters obtained in mono-dominance of aroeira and grazing systems, it was applied the t test for independent samples, at 5% of significance. For classification of the RapidEye image two methods of supervised classification were evaluated: the classification by the maximum likelihood algorithm and the classification by Artificial Neural Networks. We tested 19 combinations involving bands, principal components and the normalized difference of vegetation index (NDVI). The network training was carried out by trial and error. For the classification of the Landsat image, the maximum likelihood algorithm was used and tests were made with 10 combinations involving bands, principal components and NDVI. The assessment of the thematic maps that were produced was performed using the Kappa and conditional Kappa coefficients for the class of "aroeira" soil use. The horizontal structure and the floristic analysis of forest fragments inventoried in the city of Tumiritinga-MG prove the monodominant occurrence of *M. urundeuva* in the study region. The monodominance of aroeira is characterized by low diversity of species and dominance reflected in 96% of individuals that were sampled, 96% of the baseline measure and 96% of the total amount of stored wood. The chemical parameters K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SB, T and t differed significantly between the grazing systems and aroeira monodominance, the values of all parameters in the aroeira monodominance system were superior. The physical parameters Dp, Pmic, Pt and silt content differed

significantly between the grazing systems and aroeira monodominance; the values of D_p , P_{mic} and P_{tot} higher in soils under aroeira monodominance and silt content were superior in the upper pasture. The best results were found for the classification of the RapidEye image was obtained by the maximum likelihood algorithm that showed a kappa coefficient equal to 80 and 90 for conditional Kappa. For the Landsat image the Kappa and conditional Kappa coefficients for the aroeira class were respectively 80 and 76. Through the thematic maps produced it was observed that 22% of the city of Tumiritinga, 10,758 ha, is under the occupation of the aroeira in monodominance. Given the size that the settlements monodominated by aroeira occupy in the landscape, the implications of the aroeira monodominance imposes on the biodiversity in soil conservation, and in the sustainability in the local agro-ecosystem, it is necessary to pursue further studies in order to clarify the edaphic and ecological mechanisms involved in the maintenance and expansion of areas monodominated by aroeira. The knowledge of the conditioning processes of this system may help the development of plans for sustainable forest management; in which the combination the timber and not timber production will be able to increase the productivity and the income of farmers.

INTRODUÇÃO GERAL

A dissertação ora apresentada da continuidade a atividades de pesquisa/extensão desenvolvidas desde 2007 no município de Tumiritinga, região do médio Rio Doce, leste do estado de Minas Gerais, por uma equipe multidisciplinar da UFV. O trabalho tem como foco a expansão de povoamentos florestais homogêneos ou monodominados pela espécie florestal aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.).

As pesquisas aqui apresentadas deram início a novos procedimentos que se mostraram necessários durante pesquisas anteriores, e buscou soluções para demandas indicadas por técnicos do IEF, Secretários Municipais de Meio Ambiente, Polícia do Meio Ambiente e Promotoria de Justiça de Tumiritinga e Governador Valadares, entrevistados em fase pregressa da referida pesquisa.

Os fragmentos florestais monodominados pela aroeira normalmente mitigam o surgimento de outras espécies vegetais, e aparentemente estão relacionados com processos erosivos do solo. Desta forma, seus impactos na biodiversidade e na sobrevivência produtiva dos agricultores e proprietários da região se tornam aspectos preocupantes.

Junto à questão ambiental, há ainda questões sociais e econômicas ligadas à expansão das áreas monodominadas. Nos últimos anos, na região do Vale do Rio Doce, estas áreas vêm sendo intensamente exploradas de forma ilegal através do corte raso destes fragmentos sendo a madeira e o carvão vendidos ao custo de maior desgaste do solo.

Cabe ressaltar, que se em monodominância a aroeira parece ser um problema, o conjunto de suas características faz dela uma espécie de riquíssimo valor genético e ecológico, dada as diferentes formas de utilização de seus produtos florestais madeireiros e não madeireiros passíveis de aproveitamento a partir de um plano de manejo sustentável.

Um grande problema associado a esta espécie está relacionado ao fato da mesma constar na lista de espécies da flora brasileira ameaçada de extinção (MMA, IN nº 6 de 23 de setembro de 2008), e ao mesmo tempo, conforme mencionado, manifestar comportamento expansivo e monodominante por extensas áreas, não só na Bacia do Rio Doce, mas também no Vale do Rio Jequitinhonha, Vale do São Francisco e Centro Oeste Mineiro.

Em contrapartida, a Portaria Normativa nº 83 de 26 de setembro de 1991 do IBAMA, permite a exploração da espécie em florestas secundárias, mediante plano de manejo florestal, e a Lei Federal nº 11.428 de 22 de dezembro de 2006, a lei do Bioma da Mata Atlântica, em seu artigo 28, permite a exploração de espécies em estágio médio de regeneração quando sua presença for superior a 60%, desde que autorizados pelo órgão estadual competente.

O que se observa é que os conflitos no enquadramento jurídico da espécie e a ausência de subsídios e orientações técnicas para elaboração de planos de manejo para a espécie em seu contexto monodominante trazem aos técnicos ambientais e aos demais operadores do direito insegurança no que tange a autorização para intervenção nestas áreas, seja esta visando a restauração dos ambientes degradados ou a condução de bosques produtivos.

Tendo em mente que as florestas são bem de interesse comum e que a política ambiental de Minas Gerais tem por objetivo proteger e conservar os solos e as formações florestais nativas (Instituto Estadual de Florestas - MG, portaria nº 234) justifica-se a realização de estudos que viabilizem o manejo sustentável de povoamentos monodominados pela aroeira. Parte-se da premissa que o manejo possibilita a constante revitalização dos “aroeirais”, gerando renda e impedindo que os povoamentos existentes sejam substituídos por pastagens de baixíssima produtividade. Além da alta relevância econômica da espécie, a omissão da intervenção acarreta diversas implicações à conservação da qualidade dos solos na região.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi introduzir a monodominância da aroeira no debate científico, avaliando questões pertinentes à ciência do solo, fundamentais para a compreensão destes sistemas e imprescindíveis para a orientação e fundamentação científica de propostas de intervenção e manejo nessa realidade. Para melhor apresentação do trabalho, esta dissertação foi dividida em quatro artigos, conforme apresentado a seguir:

1º ARTIGO – “Caracterização da monodominância de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) no município de Tumiritinga – MG.” Este artigo teve por objetivo caracterizar a composição florística, a estrutura horizontal e a estrutura paramétrica de povoamentos florestais sob monodominância de *Myracrodruon urundeuva* em Tumiritinga-MG. Foi também objetivo do artigo estimar os estoques

de biomassa e carbono acumulados nestes ambientes e caracterizar o estágio de regeneração de fragmentos florestais monodominados por aroeira, com base na resolução 392 do CONAMA.

2º ARTIGO – “Qualidade física e química de solos sob monodominância de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) e pastagens em Tumiritinga, Minas Gerais” Este artigo teve por objetivo avaliar a existência de correlação entre atributos químicos e físicos do solo e a expansão de povoamentos monodominados pela aroeira, através da caracterização das propriedades químicas e físicas de solos sob monodominância de aroeira e sua comparação com solos sob pastagens adjacentes a estes fragmentos.

3º ARTIGO – “Classificação de fragmentos florestais com monodominância de aroeira por redes neurais artificiais e pelo algoritmo da maximaverossimilhança utilizando imagens Rapideye.” Este artigo teve por objetivo principal mapear áreas ocupadas por fragmentos de aroeira em monodominância no município de Tumiritinga-MG a partir da classificação supervisionada de imagens do satélite Rapideye. O estudo objetivou também avaliar o desempenho do classificador da maximaverossimilhança e classificador de redes neurais artificiais e a contribuição de diferentes composições de bandas multiespectrais, do índice de vegetação da diferença normalizada, e da análise de componentes principais da imagem do satélite Rapideye para a separação de feições florestais monodominadas por aroeira na paisagem.

4º ARTIGO – “Avaliação da utilização de imagens Landsat5-TM e RapidEye para o mapeamento de fragmentos florestais monodominados por aroeira.” O último artigo teve como objetivo avaliar o potencial de uso de dados de sensores remotos a bordo dos satélites Landsat TM-5 e Rapideye para o mapeamento de áreas monodominadas por aroeira. O estudo também objetivou avaliar a contribuição de diferentes composições de bandas multiespectrais, do índice de vegetação da diferença normalizada, e da análise de componentes principais para a separação de feições monodominadas por aroeira na paisagem.

Caracterização da monodominância de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) no município de Tumiritinga – MG

RESUMO - A espécie florestal *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. é reconhecida cientificamente pelo conjunto de características ecológicas e utilitárias que a caracterizam como espécie “nobre” da flora brasileira. Embora a espécie figure desde 1992 até o presente na lista de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção, a mesma manifesta comportamento monodominante em algumas regiões do estado de Minas Gerais, sobretudo na região do médio Rio Doce. Diversos estudos são conduzidos no intuito de descrever e compreender florestas tropicais monodominadas, no entanto, ainda são poucas as informações que esclarecem a estrutura de fragmentos florestais monodominados por *M. urundeuva*. Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo caracterizar através de parâmetros florísticos, fitossociológicos e paramétricos a monodominância de *M. urundeuva* no município de Tumiritinga, MG. O estudo também objetivou estimar os estoques de biomassa e carbono acumulados nestes ambientes e caracterizar o estágio de regeneração de “aroeirais” em Tumiritinga MG, com base na resolução 392 do CONAMA. Foram amostradas de forma aleatória 16 parcelas de 400m², representando 6.400m² de “aroeirais” amostrados. A análise de diversidade dos fragmentos monodominados estudados apresentou índice de Shannon-Weaver igual a 0,25. *M. urundeuva* representou 96% dos 678 fustes amostrados, 96% da área basal total mensurada e 96% do volume total estimado nas parcelas de inventário. Além da espécie *M. urundeuva*, o estudo de florística apresentou somente outras 10 espécies florestais representadas por 7 famílias botânicas. As estimativas de biomassa alcançaram valores médios de 81 m³.ha⁻¹ de volume de madeira, 62,8 Mg B. ha⁻¹, 35,2 Mg C. ha⁻¹ e 129,1 Mg CO₂. ha⁻¹. Os critérios que definem o estágio de regeneração de florestas Estacionais Semidecíduais em Minas Gerais, não se aplicam aos fragmentos monodominados por aroeira. A aroeira se encontra em monodominância no médio Rio Doce e se faz necessário a realização de estudos visando o manejo sustentável destes fragmentos.

Palavras-chave: monodominância; *Myracrodruon urundeuva*; estoque de carbono.

1. INTRODUÇÃO

A espécie florestal aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.), também conhecida por aroeira-do-sertão ou aroeira-verdadeira, pertence à família Anacardiaceae, é classificada como secundária tardia, e está presente em diferentes fitofisionomias brasileiras como a Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Formações Submontana, Cerrado e também no bioma Pantanal (CARVALHO, 2003). A aroeira ocorria naturalmente desde o México até o Paraguai, sendo considerada no Brasil a espécie florestal nativa mais amplamente distribuída nas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste (SILVA et al., 2006).

Em 1992 a aroeira foi incluída na lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção (BRASIL, 1992) e manteve a condição reiterada pela nova lista de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção divulgada em 2008 (BRASIL, 2008). A Portaria Normativa do IBAMA nº 83, de 26 de setembro de 1991, regulamenta a proibição de sua exploração em florestas primárias, e condiciona sua exploração em florestas secundárias à existência de plano de manejo florestal de rendimento sustentado, previamente aprovado pelo IBAMA (BRASIL, 1991).

O conjunto das características de *M. urundeuva* faz dela uma espécie de riquíssimo valor genético e ecológico, dada as diferentes formas de utilização de seus produtos madeireiros e não madeireiros passíveis de aproveitamento a partir de um plano de manejo sustentável, sem mencionar os serviços ambientais frente a sua eficiência no armazenamento de carbono (CINTRA, 2009) e seu potencial na formação de sistemas silvipastoris (VIANA et al., 2002).

Queiroz et al. (2002) identificaram elevada quantidade de extratos fenólicos na aroeira, classificando-a como muito rica em metabólitos secundários, responsáveis pela resistência natural da madeira de aroeira à degradação química e biológica. Outra constatação dos autores é a concentração de 17% de tanino na casca de aroeira, metabólito secundário muito utilizado no curtume do couro.

Quanto à utilização madeireira da aroeira, é notável o reconhecimento das propriedades físicas de sua madeira. O cerne possui densidade elevada, alcançando valores de até 1,19 g/cm³ (LORENZI, 2002). A característica de durabilidade é encontrada em apenas 1 a 5% das madeiras e apenas 1% delas são classificadas como “muito duráveis” (CARVALHO, 2003). De acordo com testes realizados pelo IPT –

Instituto de Pesquisas Tecnologias, a aroeira foi classificada como “muito durável” e incluída no grupo das madeiras imputrescíveis (VIEIRA, 2008). Assim, associando a beleza e durabilidade, a madeira de aroeira é muito utilizada em estruturas internas e externas como móveis, pontes, esteios, dormentes, vigas, etc. (LORENZI, 2002).

Paralelo ao enquadramento da aroeira na lista de espécies brasileiras ameaçada de extinção, em um estudo que caracterizou a degradação do solo e da cobertura vegetal no médio Rio Doce mineiro, Valente (2005) chama a atenção para a formação de fragmentos monodominados por aroeira. No final da década de 80, Hart et al. (1989) difundiram o termo “monodominante” que passou a ser utilizado para descrever florestas que apresentam mais de 50% do número de indivíduos da comunidade pertencentes a uma única espécie. Além do número de indivíduos, Connel e Lowman (1989) discutem a utilização da área basal, biomassa ou cobertura do dossel para caracterização das florestas monodominantes.

Existem na literatura estudos que registraram o comportamento monodominante de espécies arbóreas em florestas tropicais do Brasil e do mundo. Marimon e Felfili (2000) estudando um fragmento florestal monodominado por *Brosimum rubescens* no pantanal Matogrossense, registraram índice de diversidade de Shannon igual a 2,37, 71% da área basal e 85% dos indivíduos amostrados (DAP \geq 30cm) pertencente a *B. rubescens*. Hart et al. (1989) em estudo de uma floresta monodominante de *Gilbertiodendron dewevrei* no sul da Nigéria relatam que a dominância da espécie atingiu quase 90% das classes de diâmetro amostradas (DAP \geq 5cm).

A monodominância de *Peltogyne gracilipes* na Ilha de Maracá, Roraima, foi caracterizada por Nascimento e Proctor (1997) onde a espécie representa 20% de todos os indivíduos da floresta e 53% da área basal total do fragmento estudado. Henkel (2003) observou que 63% a 85% do total da área basal registradas em cinco fragmentos florestais na Guiana são referentes à espécie *Dicymbe corymbosa*. Outros exemplos de monodominância em florestas brasileiras são atribuídos às espécies florestais *Eremanthus erythropappus* (SOUZA et al., 2007) e *Mimosa scabrella* (KLEIN, 1981).

No médio Rio Doce mineiro, as áreas sob monodominância de aroeira normalmente estão relacionadas a processos erosivos do solo, a ambientes de baixa diversidade e representam um obstáculo aos agroecossistemas produtivos regionais. Murta et al. (2010) considera que falta conhecimento a respeito das áreas sob

monodominância de aroeira e o enquadramento da espécie na lista de espécies da flora ameaçada de extinção causa insegurança jurídica para a regulamentação de uso sustentável da espécie, seja esta visando a recuperação de áreas degradadas ou a condução de bosques produtivos.

Além de contribuir de forma ampla para a compreensão dos processos ecológicos e evolutivos, estudos sobre dinâmica de populações de espécies arbóreas são decisivos para garantir o sucesso no manejo de floresta tropical. A abundância relativa de espécies é aspecto básico da estrutura de comunidades, e neste sentido ainda são raros os estudos que avaliaram a composição florística e a estrutura de fragmentos monodominados por aroeira.

Diante do apresentado, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar a composição florística, a estrutura horizontal e a estrutura paramétrica de povoamentos florestais sob monodominância de *Myracrodruon urundeuva* em uma região do médio Rio Doce, MG. É também objetivo do presente trabalho estimar os estoques de biomassa e carbono acumulados nestes ambientes e caracterizar o estágio de regeneração de fragmentos florestais monodominados por aroeira em Tumiritinga MG, com base na resolução 392 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) (BRASIL, 2007).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido no município de Tumiritinga, MG. A sede municipal está localizada no ponto de coordenadas 18°58'44'' Sul e 41°38'42'' Oeste. O município ocupa área de 489 km² com população de 6.169 habitantes e está inserido na mesorregião do Vale do Rio Doce, microrregião de Governador Valadares, MG (Figura 1).

A vegetação original se insere na região fitoecológica da Floresta Estacional Semidecidual (VELOSO et al., 1991), inclusa no Bioma Floresta Atlântica. Em decorrência da supressão da cobertura florestal para usos alternativos do solo, sobretudo para pecuária, o uso atual da terra é predominado por pastagens degradadas (BARUQUI, 1982). De acordo com dados do senso IBGE 2006 a área de mata nativa ocupa cerca de 2% do território municipal.

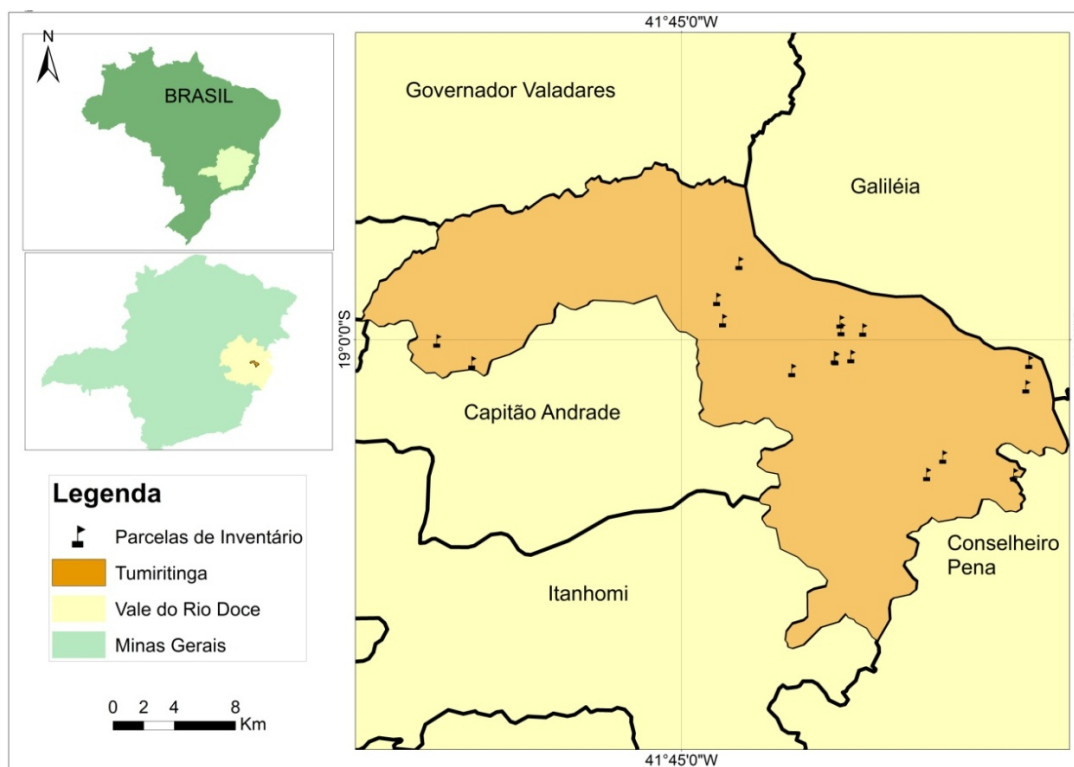


Figura 1: Localização do município de estudo e das parcelas de Inventário Florestal

O município está inserido no domínio dos Argissolos Vermelho Eutrófico, distribuídos desde o terço inferior até o topo dos morros. Entretanto ocorrem Neossolos Flúvicos Eutrófico nas baixadas e em alguns topos planos é comum a ocorrência de Latossolos. (BARUQUI, 1982).

Quanto às unidades geomorfológicas presentes, estas são caracterizadas por dissecação fluvial atuante nas rochas predominante granito-gnaissicas do embasamento cristalino (BARUQUI, 1982). Pela classificação de Köppen, o clima predominante na região é o Aw (tropical úmido – mega térmico), caracterizado por elevadas temperaturas e chuvas concentradas no verão, sendo a precipitação do mês mais seco inferior a 60 mm. O balanço hídrico da região mostra acentuado déficit hídrico (VALENTE, 2005).

2.2 Coleta e análise de dados

Para realizar as análises de composição florística, estrutura fitossociológica e paramétrica de áreas sob monodominância de aroeira, dezesseis parcelas de 400m² foram distribuídas de forma aleatória ao longo de todo o município de Tumiritinga. A amostragem se deu em função do caráter exploratório do inventário sendo a

distribuição entre parcelas definida pelas diferenças geográficas locais e conforme a autorização dos proprietários das terras para acesso às áreas. O reconhecimento dos fragmentos monodominados por aroeira se deu a partir de um mapa temático de uso e ocupação do solo do município de Tumiritinga (OLIVEIRA, 2011) e de amplo percurso ao longo do território municipal.

Foram amostrados 6.400 m² de “aroeirais” onde foram medidos com fita métrica as circunferências a 1,30m do solo (CAP) de todos os fustes com CAP \geq 15,7 cm. A altura total de cada fuste foi estimada com o auxílio de uma vara calibrada. Foram avaliados os parâmetros fitossociológicos, inclusive o volume total, a biomassa e o estoque de carbono. Visto que as áreas sob monodominância apresentaram somente o estrato arbóreo, o inventário foi realizado utilizando somente um grau de inclusão (CAP \geq 15,7 cm).

A identificação botânica foi realizada através da coleta de material botânico em campo, herborização e elaboração de exsicatas, comparações baseada em consultas à literatura especializada e conhecimentos técnicos de membros da equipe. As espécies que geraram dúvidas foram submetidas ao herbário da Universidade Federal de Viçosa (Herbário VIC) para confirmação.

Os parâmetros fitossociológicos da estrutura horizontal (densidade, frequência, dominância, valor de importância e valor de cobertura) foram estimados conforme Mueller-Dombois e Ellenberg (1974) (Tabela 1).

Tabela 1: Fórmulas de cálculo dos parâmetros da estrutura horizontal

Parâmetro	Fórmula	Parâmetro	Fórmula
Densidade Absoluta (DAi)	$DAi = \frac{ni}{A}$	Frequência Absoluta (FAi)	$FAi = \frac{Ui}{Ut} * 100$
Densidade Relativa (DRi)	$DRi = \frac{ni}{N} * 100$	Frequência Relativa (FRi)	$FRi = \frac{FAi}{\sum FAi} * 100$
Dominância Absoluta (DoAi)	$DoAi = \frac{ABi}{A}$	Valor de Importância (VI)	$VI(\%) = \frac{DRi + DoRi + FRi}{3}$
Dominância Relativa (DoRi)	$DoRi = \frac{ABi}{DoT} * 100$	Valor de Cobertura (VC)	$VC(\%) = \frac{DRi + DoRi}{2}$

em que ni = número de indivíduos amostrados da i -ésima espécie; N = número total de indivíduos amostrados; A = área amostrada, em hectare; ABi = área basal das árvores amostradas da i -ésima espécie, em m²; DoT = dominância total, em m².ha-1; Ui = número de parcelas de área fixa em que ocorre a i ésima espécie; e Ut = número total de parcelas de área fixa.

Foram calculados para a comunidade e por parcela os índices de diversidade Shannon-Wiener (H') e de equabilidade de Pielou (J') (MARIMOM, 2000). A estrutura paramétrica da vegetação foi analisada em termos das estimativas dos parâmetros: número de árvores (N) ou densidade absoluta (DA), área basal (AB), área basal absoluta ou dominância absoluta (DoA) e volume absoluto (VoA).

Para a obtenção das estimativas dos volumes totais com casca de árvores individuais foi utilizada a equação 1 (OLIVEIRA et al., 2011).

$$\ln V = -9,3934 + 2,6563 \times \ln Dap + 0,0439 \times \ln Ht + \varepsilon \quad [\text{equação 1}]$$

em que: Dap=diâmetro da árvore tomado a 1,30 m do solo e Ht=altura total da árvore em metros.

As análises de composição florística, diversidade, estrutura horizontal e paramétrica foram realizadas por meio do processamento dos dados coletados em campo, através do *software* Mata Nativa 2 (CIENTEC, 2006).

2.3 Estoques de Biomassa e Carbono

Utilizou-se o método não destrutivo para quantificação dos estoques de carbono e biomassa. A biomassa de madeira foi estimada (equação 2) usando o método indireto (RIBEIRO et al., 2010), mediante a multiplicação da densidade básica da madeira em Kg.m^{-3} pelos volumes totais com casca (m^3). O valor de densidade da madeira de aroeira utilizado foi de $0,78 \text{ g.m}^{-3}$. (OLIVEIRA et al., 2011)

$$B = d \cdot VTc/c \quad [\text{equação 2}]$$

em que B = biomassa acima do solo em Kg, d = densidade básica média da madeira em Kg. m^{-3} e VTc/c = volume total com casca das árvores em m^3 .

As estimativas do carbono fixado na biomassa de *M. urundeuva* foram obtidas pela solução da equação 3. O fator 0,56 representa o teor médio de carbono de madeira e casca de *M. urundeuva* obtido a partir de análises químicas das

amostras de madeira e casca da espécie coletadas em fragmentos monodominados pela espécie.

$$EC = 0,56 \times B \quad \text{[equação 3]}$$

em que EC = estoque de carbono (C) em Mg C.ha^{-1} , B = biomassa (B) acima do solo em Mg B.ha^{-1} e $0,56$ = fator de conversão de biomassa para carbono para *M. urundeuva*.

Os teores médios de carbono foram convertidos para Megagrama de dióxido de carbono equivalente (CO_2), que é a principal medida do serviço ambiental de seqüestro e estocagem de carbono utilizada nas negociações dos mercados de créditos de carbono. Para tanto, utilizou-se a equação 4, cujo fator igual $3,67$ corresponde ao peso atômico do CO_2 dividido pelo peso atômico do C (HOEN e SOLBERG, 1994).

$$ECO_2 = 3,67 \times EC \quad \text{[equação 4]}$$

em que ECO_2 = estoque de dióxido de carbono em $\text{Mg.CO}_2.\text{ha}^{-1}$.

2.4 Cobertura de copa e classe de regeneração

Caracterizou-se o estágio de regeneração dos fragmentos monodominados por aroeira com base nos parâmetros altura total média por parcela (Ht) e diâmetro médio por parcela (q), conforme estabelecido pela resolução 392 do CONAMA, (BRASIL, 2007).

A resolução apresenta outros critérios que definem o estágio de regeneração das Florestas Estacionais Semidecíduais como estratificação, presença de epífitas, cipós, serrapilheira, espécies indicadoras entre outros. Tais componentes não são encontrados em povoamentos monodominados por aroeira, e, portanto, não puderam ser avaliados. Além dos parâmetros apresentados foi também proposto avaliar a existência de correlação entre cobertura de copa e estágio de regeneração em fragmentos monodominados por aroeira. Para tanto, quatro fotografias hemisféricas

foram tomadas a partir do eixo central de cada parcela de inventário, nas posições 5, 15, 25 e 35 metros.

A Tabela 2 apresenta os intervalos de diâmetro médio e altura total que definem os estágios de regeneração inicial, médio e avançado para as florestas Estacionais Semidecíduais da Mata Atlântica, conforme estabelecido pela resolução 392 do CONAMA (BRASIL, 2007).

Tabela 2: Intervalos de diâmetros médios e altura total dos estágios de regeneração das Florestas Estacionais Semidecíduais

Parâmetro / Estágio	Inicial	Médio	Avançado
Diâmetro médio (q/cm)	$q < 10\text{cm}$	$10 \leq q < 12 \text{ cm}$	$q \geq 12 \text{ cm}$
Altura total (Ht/m)	$Ht < 5 \text{ m}$	$5 \leq Ht < 12 \text{ m}$	$Ht \geq 12 \text{ m}$

As fotografias foram processadas através do software Gap Light Analyzer para se extrair a informação de cobertura percentual de dossel para cada parcela. Os percentuais de cobertura de copa foram classificados em intervalos descritos por baixa (0 a 30%), média (31 a 70 %) e alta (71 a 100%) cobertura de copa. Em seguida foi realizada uma análise de correlação, utilizando-se o software Statistica 7.0 que avaliou a correlação dos percentuais de cobertura de copa com as seguintes variáveis de sucessão por parcela: Número médio de indivíduos (n), altura média de indivíduos (HTm), área basal (AB), Volume total (VTc/c), diâmetro médio (q), índice de valor de cobertura (IVC) e por fim o índice de importância modificado (IIM), calculado a partir da seguinte expressão:

$$IIM = \frac{DR + DoR + VoR}{3}$$

[equação 5]

Onde: IIM= índice de importância modificado, DR=densidade relativa, DoR=dominância relativa e VoR=Volume total da parcela.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição florística, estrutura horizontal e paramétrica

Foram amostrados nas dezesseis parcelas inventariadas 678 fustes representando 11 espécies, 10 gêneros e 8 famílias botânicas (Tabela 2). Dentre as espécies amostradas, *M. urundeuva* ocorreu em todas as parcelas. *L. guilleminianus*

foi encontrada em 3 parcelas, *A. peregrina* em 2 parcelas e as demais espécies foram registradas em apenas uma das parcelas amostrais. As famílias mais representativas foram Anacardiaceae (100%), Leguminosae Papilinoideae (19%), Leguminosae Mimosoideae (13%) e as demais famílias, ocorrendo em apenas 6% das parcelas amostrais. A Tabela 3 apresenta a lista de espécies florestais encontradas nos 16 fragmentos florestais monodominados por aroeira.

Tabela 3: Lista florística das espécies identificadas em 16 parcelas amostrais no município de Tumiritinga, MG

Nome Científico	Família	Parcelas
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Fr. All.	Anacardiaceae	1 a 16
<i>Lonchocarpus guillemineanus</i> (Tul.) Malme	Leguminosae Papilinoideae	5, 13, 16
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	Leguminosae Mimosoideae	6, 7
<i>Aspidosperma olivaceum</i> Müll. Arg.	Apocynaceae	7
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Leguminosae Papilinoideae	11
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Leguminosae Mimosoideae	8
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. A. DC.)	Bignoniaceae	5
<i>Luehea divaricata</i> Mart.	Tiliaceae	8
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Salicaceae	5
<i>Calotropis procera</i> W.T. Aiton	Asclepiadaceae	3
<i>Machaerium nyctitans</i> (Vell.) Benth.	Leguminosae Papilinoideae	5

Além da composição florística, as análises dos povoamentos monodominados por aroeira incluíram estimativas de índice de diversidade de espécies que também são utilizados na avaliação de povoamentos florestais monodominados (MARIMOM e FELFILI, 2000). Os valores calculados para os índices Shannon-Weaver (H') e Equabilidade de Pielou (J), para as dezesseis parcelas amostrais, estão apresentados na Tabela 4.

A parcela 8 foi a que apresentou maior diversidade pelos índices H' (0,73) e J' (0,66). No entanto os valores médios apresentados para o índice de Shannon-Weaver (0,25) e índice de Equabilidade de Pielou (0,10), expressa um ambiente de baixíssima diversidade, comprovado pela análise florística que indicou quatro espécies ocorrendo nesta parcela. Valores referência do índice de diversidade H' para Florestas Estacionais Semidecíduais podem ser encontrados em Meira-Neto et al. (2000) que registrou valores de H' para Florestas Estacionais Semidecíduais em Viçosa MG variando entre 3,2 e 4,2. Para florestas monodominadas por *B.rubescens*, Marimom e Felfili (2000) relata um índice H' igual a 2,37. Arieira e Cunha (2006)

em estudo de povoamentos monodominados por *Vochysia divergens* encontraram índices H' variando entre 0,61 e 2,65 em quatro parcelas amostrais e índice J' variando entre 0,23 a 0,75. Amador (2006) encontrou índice H' igual a 1,15 e índice J' igual a 0,38 em floresta monodominante de *Copernicia alba*. A Tabela 4 apresenta os resultados da análise da estrutura horizontal dos fragmentos monodominados por aroeira.

Tabela 4: Índices de diversidade florística para os 16 fragmentos monodominados por aroeira amostrados no município de Tumiritinga MG

Parcela	Shannon-Weaver (H')	Equabilidade de Pielou (J')
1	0,00	0,00
2	0,00	0,00
3	0,23	0,33
4	0,00	0,00
5	0,45	0,28
6	0,26	0,38
7	0,57	0,52
8	0,73	0,66
9	0,00	0,00
10	0,00	0,00
11	0,16	0,23
12	0,00	0,00
13	0,16	0,23
14	0,00	0,00
15	0,00	0,00
16	0,06	0,09
Geral	0,25	0,10

A análise da estrutura horizontal (Tabela 5) dos fragmentos florestais monodominados por aroeira no município de Tumiritinga revelou que dentre as 11 espécies arbóreas amostradas, *M. urundeuva* representa 96% do valor de cobertura e 82% do valor de importância, contribuindo com 96% da densidade, 96% da dominância e 55% da frequência.

Avaliando os parâmetros Densidade Relativa (DR) e Dominância Relativa (DoR) pode-se perceber que o comportamento monodominante de *M. urundeuva* supera a monodominância imposta por outras espécies florestais descritas na literatura conforme pode ser observado em Amador (2006); Marimom e Felfili (2000) e Arieira e Cunha (2006).

Tabela 5: Relação das espécies amostradas nos fragmentos florestais monodominados por aroeira em Tumiritinga MG, apresentados em ordem decrescente de IVI (%), e seus respectivos parâmetros da estrutura horizontal

Nome Científico	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVC	IVI
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Fr. All.	1018,8	96,1	100,0	55,2	7,44	96,0	96,1	82,4
<i>Lonchocarpus guillemineanus</i> (Tul Malme)	4,7	0,4	18,7	10,2	0,03	0,3	0,4	3,7
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	6,3	0,6	12,2	6,6	0,09	1,2	0,8	2,8
<i>Aspidosperma olivaceum</i> Müll. Arg.	6,3	0,6	6,3	3,5	0,05	0,7	0,7	1,6
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	6,3	0,6	6,3	3,5	0,03	0,5	0,5	1,5
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	3,1	0,3	6,3	3,5	0,04	0,6	0,5	1,5
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart.A. DC.)	4,7	0,4	6,3	3,5	0,01	0,2	0,3	1,4
<i>Luehea divaricata</i> Mart.	4,7	0,4	6,3	3,5	0,01	0,2	0,3	1,4
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	1,5	0,2	6,3	3,5	0,01	0,2	0,2	1,3
<i>Calotropis procera</i> W.T. Aiton	1,5	0,2	6,3	3,5	0,00	0,1	0,1	1,2
<i>Machaerium nyctitans</i> (Vell.) Benth.	1,5	0,2	6,3	3,5	0,00	0,0	0,1	1,2
*** Total	1059,4	100	181,3	100	7,71	100	100	100

DA = densidade absoluta; DR = densidade relativa; FA = frequência absoluta; FR = frequência relativa; DoA = dominância absoluta; DoR = dominância relativa; IVC = índice de valor de cobertura percentual e IVI = índice de valor de importância percentual.

Nos fragmentos monodominados estudados a aroeira representou 96% do número de fustes amostrados (N), 96% da área basal calculada (AB) e 96% do volume total estimado (VT). Na Tabela 6 encontra-se o resumo dos resultados das estimativas da estrutura paramétrica dos fragmentos monodominados por aroeira. Os resultados são apresentados para a aroeira e para o somatório das demais espécies encontradas para ressaltar a importância da espécie também na estrutura paramétrica.

Tabela 6: Síntese da estrutura paramétrica dos fragmentos monodominados por aroeira inventariados em Tumiritinga, MG

Nome Científico	N	AB	VT	DA	DoA	VoA
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	652,0	4,74	26,29	1018,8	7,41	657,14
Outros	26,0	0,20	1,09	40,6	0,30	27,830
*** Total	678,0	4,94	27,38	1059,4	7,71	684,44
*** Média	61,6	0,45	2,75	96,3	0,70	81,0
*** Desv. Pad.	195,8	1,42	8,71	305,9	2,22	28,0

N = número de fustes amostrados; AB = área basal das parcelas (m²); VT = Volume estimado (m³); DA= densidade absoluta; DoA= dominância absoluta e VoA = volume absoluto (m³).

A Figura 2 apresenta a distribuição média dos fustes por classe de diâmetro das parcelas inventariadas. Observou-se pela análise da estrutura diamétrica que os povoamentos monodominados por aroeira seguiram tendência de distribuição sigmoidal, característica de florestas equianas.

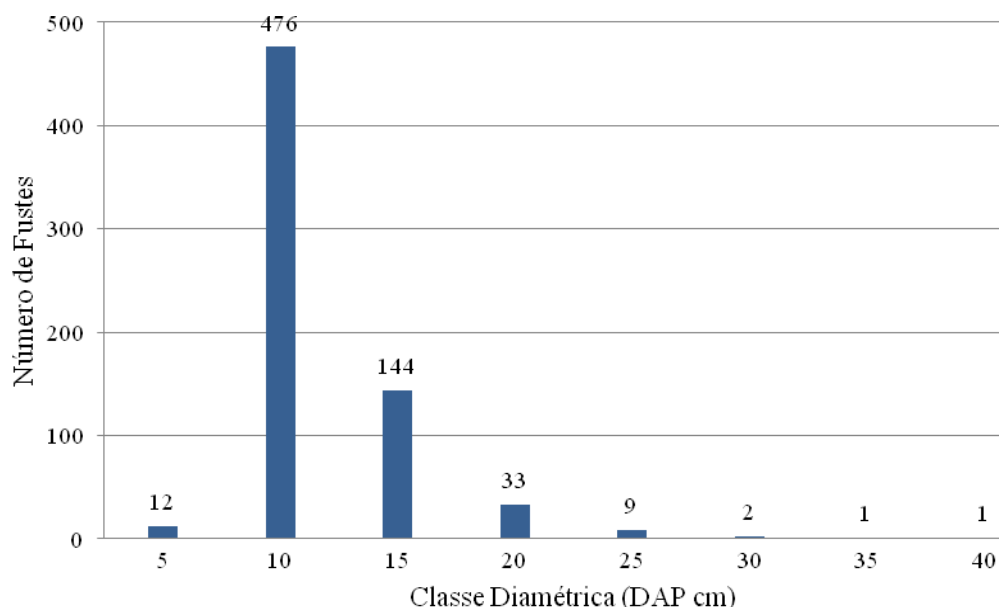


Figura 2: Estrutura diamétrica dos fragmentos monodominados por *M. urundeuva* inventariados em Tumiritinga, MG.

3.2 Biomassa e Carbono

Os resultados médios dos estoques de volume total com casca, biomassa (B), carbono (C) e dióxido de carbono equivalente (CO₂) das dezesseis parcelas amostrais foram: $81,0 \pm 28,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, $62,8 \pm 22,1 \text{ Mg} \cdot \text{B} \cdot \text{ha}^{-1}$, $35,2 \pm 12,4 \text{ Mg C} \cdot \text{ha}^{-1}$ e $129,1 \pm 45,4 \text{ Mg CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Tabela 7).

Drumond et al. (1997) em Floresta Estacional Semidecidual no Vale do Rio Doce, MG, estimaram a biomassa em $112,00 \text{ Mg} \cdot \text{B} \cdot \text{ha}^{-1}$. Tiepolo et al. (2002) observaram que o estoque médio de carbono acima do solo foi de $135,9 \text{ Mg C} \cdot \text{ha}^{-1}$ para a floresta submontana; $106,8 \text{ Mg C} \cdot \text{ha}^{-1}$ para a floresta de planície; $64,12 \text{ Mg C} \cdot \text{ha}^{-1}$ para floresta de várzea; $106,1 \text{ Mg C} \cdot \text{ha}^{-1}$ para floresta em estágio avançado de regeneração; $101,96 \text{ Mg C} \cdot \text{ha}^{-1}$ para a floresta secundária em estágio médio; $42,89 \text{ Mg C} \cdot \text{ha}^{-1}$ para a floresta secundária jovem.

De acordo Ribeiro (2010), florestas secundárias e perturbadas apresentam estoques de biomassa inferior a $110 \text{ Mg C} \cdot \text{ha}^{-1}$. Os valores encontrados para os povoamentos monodominados por aroeira estudados são superiores àqueles de florestas com elevado grau de perturbação. Os valores elevados de carbono estocado possivelmente são atribuídos à alta densidade da madeira de aroeira.

Tabela 7: Estimativas de volume total por hectare (VTcc/ha), biomassa, estoque de carbono e CO₂ equivalentes por parcela de inventário florestal amostrado no município de Tumiritinga MG

Parcelas	VTcc/ha	Biomassa (Mg/ha)	Carbono (Mg/ha)	CO ₂ (Mg/ha)
1	44,67	34,84	19,51	71,60
2	61,48	47,95	26,85	98,56
3	6,53	5,10	2,85	10,47
4	19,27	15,03	8,42	30,89
5	25,99	20,27	11,35	41,66
6	26,94	21,01	11,77	43,18
7	66,09	51,55	28,87	105,95
8	117,89	91,96	51,50	188,99
9	29,64	23,12	12,95	47,52
10	19,44	15,16	8,49	31,16
11	39,59	30,88	17,29	63,47
12	40,22	31,37	17,57	64,47
13	37,07	28,92	16,19	59,43
14	71,15	55,49	31,08	114,05
15	11,82	9,22	5,16	18,95
16	66,65	51,99	29,11	106,85
Total	684,44	533,1	299,0	1097,2
Média	81,0	62,8	35,2	129,1
Desvio Padrão	28,0	22,1	12,4	45,4

3.3 Estágio sucessional

A análise de cobertura de copa, realizada a partir de fotografias hemisféricas, apresentaram resultados semelhantes aos obtidos pela análise do diâmetro médio e pela análise das classes de altura, para a definição de estágio de sucessional baseada nos critérios dispostos pela resolução CONAMA 392 (Figura 3).

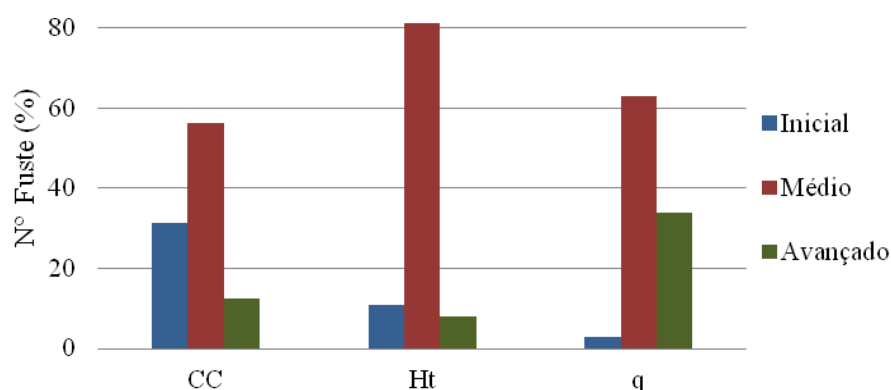


Figura 3: Definição do estágio sucessional de fragmentos monodominados por aroeira utilizando os parâmetros cobertura de copa (CC), altura total (Ht), e diâmetro médio (q).

Todos os critérios de análise de estágio sucessional indicaram que a maior parte das parcelas inventariadas se encontra em estágio médio de regeneração. Embora uma tendência geral de caracterização do estágio sucessional tenha sido observada para os critérios Cobertura de Copa, Altura Total e Diâmetro Médio, a análise de parcelas individuais indica que nem sempre os parâmetros avaliados (CC, Ht e q) definem de forma coincidente o estágio sucessional de fragmentos florestais monodominados.

A Tabela 8 apresenta a caracterização dos fragmentos monodominados por aroeira frente aos critérios de definição do estágio sucessional de Florestas Estacionais Semidecíduais estabelecidos pela resolução 392 do CONAMA. (Brasil, 2007). O critério de definição do estágio sucessional a partir da análise de classe de cobertura é apresentado na metodologia.

Tabela 8: Percentual de indivíduos amostrados em cada classe sucessional pelos parâmetros altura total (Ht) e diâmetro médio (q)

Parcela	CC%	Inicial	Médio	Avançado	Inicial	Médio	Avançado
		Ht < 5	5 ≤ Ht < 12	Ht ≥ 12	q < 10	10 ≤ q < 12	q ≥ 20
1	74	3	97	0	1	88	10
2	71	2	98	0	0	39	61
3	16	31	69	0	0	94	6
4	28	13	88	0	0	69	32
5	38	17	83	0	2	92	7
6	52	2	86	12	0	83	16
7	70	7	56	37	0	41	60
8	82	11	29	61	0	43	57
9	69	15	84	1	8	88	5
10	38	8	89	3	3	86	11
11	82	7	85	7	2	65	33
12	26	14	86	0	10	52	37
13	16	22	78	0	4	26	70
14	32	8	85	6	6	50	44
15	12	13	88	0	0	25	75
16	55	4	93	3	7	69	23
Média (%)	-	11	81	8	3	63	34

CC% = cobertura de copa; Ht = altura total; q = diâmetro médio.

Pode-se observar que 81% das parcelas inventariadas são caracterizadas quanto à classe de altura em estágio médio de regeneração e 63% das parcelas inventariadas são caracterizadas quanto ao diâmetro médio em estágio médio de regeneração. A análise de estágio sucessional realizada através dos critérios de cobertura de copa estabelecidos neste estudo mostra que 31% das parcelas se

encontram em estágio inicial de regeneração, 56% em estágio médio de regeneração e 13% em estágio avançado de regeneração.

Observa-se pela tabela 3 que as espécies *L. guillemineanus*, *A. olivaceum*, *H. chrysotrichus*, *C. sylvestris* e *L. divaricata* constam na resolução CONAMA 392 como espécies indicadoras do estágio avançado de regeneração de Florestas Estacionais Semidecíduais.

A Tabela 9 apresenta os resultados da análise de correlação entre classe de cobertura de copa (CC) e outros parâmetros que definem o estágio sucessional de florestas, quais sejam, número de fustes (n), diâmetros médio (q), área basal (AB), volume total com casca (VTc/c), índice de valor de importância (IVC), índice de importância modificado (IIM) e altura total (Ht).

Tabela 9: Correlação entre parâmetros fitossociológicos em povoamentos monodominados por *M. urundeuva*

Parâmetro	n	q	AB	VTc/c	IVC	IIM	Ht	CC
n	1,00							
q	-0,52*	1,00						
AB	0,54*	0,37	1,00					
VTc/c	0,20	0,64*	0,92*	1,00				
IVC	0,89*	-0,12	0,86*	0,61*	1,00			
IIM	0,67*	0,22	0,98*	0,86*	0,93*	1,00		
Ht	0,05	0,61*	0,71*	0,84*	0,4	0,65*	1,00	
CC	0,53*	0,09	0,67*	0,59*	0,68*	0,71*	0,71*	1,00

Onde: n = número de fustes médio por parcela; q = diâmetro médio por parcela; AB = área basal por parcela; VTc/c = volume total com casca por parcela; IVC = índice valor de cobertura; IIM = índice de importância modificado, Ht altura total média e CC = cobertura de copa. * indica correlação entre parâmetros e o sinal negativo significa correlação negativa entre parâmetros.

Observa-se pela tabela 9 que a cobertura do dossel está correlacionada positivamente com as variáveis número de fustes (n), área basal (AB), volume total (VTc/c), valor de cobertura (IVC), valor de importância modificado (IIM) e altura total (Ht). Somente o diâmetro médio não se correlacionou com a classe de cobertura de dossel. O diâmetro médio é utilizado para a definição do estágio sucessional pela resolução do CONAMA 392 (BRASIL, 2007), no entanto esta variável não se correlacionou com a classe de cobertura de copa, visto que, fragmentos com elevado número de fustes, mas todos pertencentes a uma classe diamétrica pequena, acarretam uma grande cobertura de copa, e ao mesmo tempo, fragmentos com poucos fustes, mas estes apresentando diâmetros elevados acarretam também em alta cobertura de copa. O que se observa é que os dispositivos apresentados pela

resolução 392 do CONAMA não se aplicam à caracterização sucessional de florestas monodominantes.

4. CONCLUSÕES

Foi constatada a monodominância da aroeira em fragmentos florestais no município de Tumiritinga.

A monodominância de aroeira no município de Tumiritinga é caracterizada por baixa diversidade, indicada pelos índice de Shannon-Weaver (0,25) e índice de Equabilidade de Pielou (0,10). Estes valores de diversidade são inferiores a outras monodominâncias descritas na literatura.

Nos fragmentos florestais estudados, *M.urundeuva* representou 96% do indivíduos amostrados, 96% da área basal medida e 96% do volume de madeira estocado. Estes valores expressam alta dominância, frequência e densidade de indivíduos nos fragmentos estudados.

Os resultados médios dos estoques de volume total com casca, biomassa (B), carbono (C) e dióxido de carbono equivalente (CO₂) foram: $81,0 \pm 28,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, $62,8 \pm 22,1 \text{ Mg B} \cdot \text{ha}^{-1}$, $35,2 \pm 12,4 \text{ Mg C} \cdot \text{ha}^{-1}$ e $129,1 \pm 45,4 \text{ Mg CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$, superando valores de biomassa de outras florestas perturbadas.

A classificação de estágios sucessionais baseada no diâmetro médio de fustes e da altura média de indivíduos não se adéqua de forma isolada para caracterização de florestas monodominantes de *M. urundeuva*.

É necessário ampliar os estudos que visem à compreensão dos processos envolvidos na monodominância da espécie florestal aroeira. Pesquisas direcionadas à relação solo-planta nestes ambientes e sobre a distribuição espacial dos aroeirais na paisagem podem auxiliar na elaboração de planos de manejo florestal sustentável para a referida espécie.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Edital 26-2010) e à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Edital Universal 2010) pela concessão dos recursos financeiros utilizados na realização deste trabalho.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AMADOR, G.A. Composição florística e caracterização estrutural de duas áreas de carandazais nas sub-regiões do Miranda e Nabileque, Pantanal Sul Mato-Grossense, Brasil. 2006, 56p. Dissertação (Mestrado Ecologia) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2006.

ARIEIRA, J.; CUNHA, C.N. Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae), no Pantanal Norte, MT, Brasil. **Acta Botânica Brasil**, n.20, v.3, p.569-580, 2006.

BARUQUI, F. M. **Inter-relações solo-pastagem nas regiões Mata e Rio Doce do estado de Minas Gerais**. 1982. 119p. Dissertação (Mestrado Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BRASIL. IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Portaria Normativa nº. 37**. Torna pública a lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçada de extinção. Brasília, DF, 3 de abril de 1992. Diário Oficial da União.

BRASIL. IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Portaria Normativa Nº. 83, de 26 de setembro de 1991**. Proíbe o corte e exploração da Aroeira Legítima ou Aroeira do Sertão, das Braúnas, do Gonçalo Alves em florestas primárias. Brasília, DF. Diário Oficial da União, 26 de setembro de 1991.

BRASIL. MMA/CONAMA. Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 392 de 25 de Junho de 2007**. Define vegetação primária e secundária de regeneração de Mata Atlântica no Estado de Minas Gerais. Brasília, DF. Diário Oficial da União. 2007.

BRASIL. MMA- Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa nº 06 de 23 de setembro de 2008**. Traz a lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção e com deficiência de dados. Brasília, DF, 2008. Diário Oficial da União, 2008.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileira**. Brasília: Embrapa Florestas, 2003.

CIENTEC. **Mata Nativa versão 2.0**: sistema para análise fitossociológica e elaboração de inventários e planos de manejo de florestas nativas. Viçosa-MG: Cientec - Consultoria e Desenvolvimento de Sistemas Ltda., 2006.

CINTRA, T.C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP**. 2009, 84p. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais), ESALQ, Piracicaba, 2009.

CONNELL, J. H. e LOWMAN, M. D. Low-diversity tropical rain forests: some possible mechanisms for their existence. **The American Naturalist**, p.134:88-119, 1989.

DRUMOND, M.; BARROS, N. F.; SOUZA, A. L.; SILVA, A. F. Distribuição de biomassa e de nutrientes em diferentes coberturas florestais e pastagens na região do Médio Rio Doce-MG. **Revista Árvore**, v.21, n.2, p.187-199, 1997.

HART, T. B., HART, J. A. & MURPHY, P. G. Monodominant and species-rich forests of the humid tropics: causes for their co-occurrence. **The American Naturalist**, n.133, v.5, p. 613-633, 1989.

HENKEL, T. W. Monodominance in the ectomycorrhizal *Dicymbe corymbosa* (Caesalpinaceae) from Guyana. **Journal of Tropical Ecology**, n.19, p. 417-437, 2003.

HOEN, H.; SOLBERG, B. Potential and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silvicultural management. **Forest Science**, v.40, n.3, p.429-451, 1994.

KLEIN, R.M. Aspectos fitossociológicos da bracatinga (*Mimosa scabrella*). In: do seminário sobre atividades e perspectivas florestais, Curitiba. 1981, **Anais...Curitiba**: 1981, p.145-148

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras – Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, p. 368. 2002.

MARIMON, B. S., FELFILI, J. M. Distribuição de diâmetros e alturas na floresta monodominante de *Brosimum rubescens* Taub. na Reserva Indígena Areões, Água Boa-MT, Brasil. **Revista Árvore**, v.24, n.2, p.143-150, 2000.

MEIRA-NETO, J. A. A.; MARTINS, F. R. Estrutura da Mata da Silvicultura, uma floresta estacional semidecidual montana no município de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 21, n. 2, p. 151-160, 2000.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974. 547p.

MURTA, R. O.; COELHO, F. M. G.; OLIVEIRA, F. P. **Impasses legais diante dos limites ambientais postos pela monodominância da aroeira na região do médio rio Doce/MG**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL, 14., 2010, São Paulo: **Anais**. São Paulo, 2010. p.153-162.

NASCIMENTO, M. T. e PROCTOR, J. Population dynamics of five tree species in a monodominant Peltogyne forest and two other forest types on Maracá Island, Roraima, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.94, 9. 115-128, 1997.

OLIVEIRA, F. P. **Monodominância de aroeira: Fitossociologia, relações pedológicas e distribuição espacial em Tumiritinga, MG**. 2011. 87p. Dissertação (Mestrado Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

QUEIROZ, C. R. A. A., MORAIS, S. A. L., NASCIMENTO, E. A. Caracterização dos Taninos da Aroeira-Preta (*Myracrodruon urundeuva*). **Revista Árvore**, v.26, n.4, p.485-492, 2002.

RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; NARDELLI, A. M. B.; SOUZA, A. L. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Árvore**, Viçosa v. 34, n. 3, p. 495-504, 2010.

SILVA, J.A.; LEITE, E.J.; SALOMÃO, A.N.; FAIAD, M.G.R.; FERREIRA, D.N.M.; VALOIS, A.C.C. **Banco de Germoplasma de Espécies Florestais Nativas do Campo Experimental Sucupira. Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) Anacardiaceae**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006, 46p.

SOUZA, A. L.; OLIVEIRA, M. L. R.; SILVA, E. F.; COELHO, D. J. S. Caracterização fitossociológica em áreas de ocorrência natural de candeia (*Eremanthus erythropappus* (D.C.) MacLeish). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 667-677, 2007.

TIEPOLO, G.; CALMON, M.; FERETTI, A.R. Measuring and Monitoring Carbon Stocks at the Guaraqueçaba Climate Action Project, Paraná, Brazil. In: International Symposium on Forest Carbon Sequestration and Monitoring. **Extension Serie Taiwan Forestry Research Institute**, n. 153 p. 98-115, 2002.

VALENTE, E. L. **Caracterização da intensidade de degradação do solo e da cobertura vegetal de uma área no médio Rio Doce, utilizando imagens IKONOS II**. 2005. 89p. Dissertação (Mestrado Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 124p.

VIANA, V. M.; MAURICIO, R. M.; MATTA-MACHADO, R. & PIMENTA, I. A. Manejo de la regeneracion natural de especies arboreas nativas para la formacion de sistemas silvopastoriles em las zonas de bosques secos del sureste de Brasil. **Agroforesteria em las Americas** v. 9 n.33– 34, 2002.

VIEIRA, J. L. **Relação entre atributos do solo e ocorrência da aroeira do sertão (*Myracrodruon urundeuva* Freire Allemão) na RPPN fazenda Bulcão, médio Rio Doce, MG**. Caratinga: UNEC, 2008. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Sustentabilidade). 75p.

Qualidade física e química de solos sob monodominância de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* fr. All.) e pastagens em Tumiritinga, MG

RESUMO - No cenário de degradação ambiental do médio rio Doce mineiro, alguns autores começam a chamar atenção para um fenômeno aparentemente agravante da degradação ambiental regional, a expansão de fragmentos monodominados pela espécie florestal aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.). Os conflitos gerados pela monodominância da aroeira aumentam a pressão sobre os ecossistemas locais, tornando-se urgente estudos que possibilitem o manejo dos aroeirais. Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo caracterizar atributos físicos e químicos dos solos em ambientes sob monodominância de aroeira e comparar as propriedades físicas e químicas destes solos com solos sob uso de pastagens, adjacentes aos fragmentos monodominados. Foram estudados solos de onze fragmentos monodominados e solos de onze pastagens adjacentes. Amostras de solo deformadas e indeformadas foram coletadas em cada um dos ambientes a uma profundidade de 0-20cm com três repetições. A partir das amostras de solo foram analisadas características químicas e físicas dos solos e a hipótese de igualdade entre as médias dos parâmetros químicos e físicos obtidos nos sistemas de monodominância de aroeira e de pastagem foram avaliada pelo teste t para amostras independentes, a 5% de significância. Os parâmetros químicos K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, T e t diferiram significativamente entre os sistemas pastagem e monodominância de aroeira, sendo os valores de todos os parâmetros superiores no sistema monodominância de aroeira. Os parâmetros físicos densidade de partícula, microporosidade, porosidade total e teor de silte diferiram significativamente entre os sistemas pastagem e monodominância de aroeira, sendo os valores de densidade de partícula, microporosidade e porosidade total maiores em solos sob monodominância de aroeira e o teor de silte superior nas pastagens. As características químicas e físicas do solo, analisadas de forma individualizada, não explicam o condicionamento monodominante da aroeira, no entanto apontam questões que merecem aprofundamento científico quais sejam, a dinâmica de água nos solos sob aroeiras e o comportamento calcícola da referida espécie.

Palavras-chave: *Myracrodruon urundeuva*; monodominância; qualidade do solo.

1. INTRODUÇÃO

O cenário de avançada degradação ambiental existente na região do médio rio Doce mineiro é atribuído por diversos autores à pecuária extensiva somada às interações edáficas, climáticas, geomorfológicas e de ações antrópicas (BARUQUI, 1982; VALENTE, 2005; FAVERO, 2001; VIEIRA, 2005). Freitas (2004) afirma que o manejo adotado na região instaurou condições degenerativas dos recursos naturais que implicam em problemas ambientais sociais e econômicos enfrentados até o presente.

Como agravante da degradação na região, Valente (2005) chama a atenção para a expansão de fragmentos monodominados pela espécie florestal aroeira (*Myracrodruon urundeuva*). Segundo o autor, a monodominância de aroeira, em muitas ocasiões, ocupa toda a toposequência de determinados sítios, e que aparentemente o fenômeno está associado mais ao tipo de uso e manejo que é dado ao sistema do que às classes de solo ali presentes.

O termo “monodominante” foi utilizado e difundido por Hart et al. (1989), que enfatizaram o fato dessas florestas apresentarem mais de 50% do número de indivíduos da comunidade pertencentes a uma única espécie. Oliveira (2011) observou que a aroeira expressa uma das mais elevadas monodominâncias registradas na literatura, sendo que em seu trabalho, a espécie representou 96% das espécies florestais inventariadas e 96% da área basal total medida.

Oliveira (2011) registra que nas áreas de ocorrência de aroeira em monodominância, o solo se mantém descoberto e estas áreas deixam de ser utilizadas para cultivos agrícolas e para a formação de pastagens. Sendo a pecuária a principal atividade da região (BARUQUI, 1982; OLIVEIRA, 2011) as queixas dos moradores locais sobre os prejuízos causados pela monodominância da aroeira, são recorrentes nos contatos com as comunidades.

Se em monodominância a aroeira parece ser um problema, o conjunto de suas características faz dela uma espécie de riquíssimo valor genético e ecológico, dada as diferentes formas de utilização de seus produtos madeireiros e não madeireiros (VIANNA et al., 1995), sendo ela foco de ações conservacionistas de instituições nacionais e internacionais (SILVA, 2006). O interesse econômico pela madeira de *M. urundeuva* intensifica a pressão sobre o uso dos solos na região, tornando urgentes estudos que visem o manejo destes ambientes (OLIVEIRA, 2011).

Para a realização de manejo florestal, informações sobre as características químicas, físicas e biológicas do solo são imprescindíveis. No entanto, ainda não existem estudos de avaliação das condicionantes ecológicas e/ou edáficas que expliquem a expansão dos aroeirais na paisagem, nem tão pouco, que expliquem a restrição imposta pela aroeira frente a outras espécies vegetais que naturalmente coexistem em sistemas naturais.

Diferentes espécies florestais expressam comportamento monodominante em florestas tropicais ao redor do mundo (NASCIMENTO et al., 1997; HART et al., 1989; MARIMOM et al., 2005). Os pesquisadores que estudam o comportamento monodominante de espécies florestais quase sempre recorrem à características e propriedade dos solos para explicar os mecanismos que favorecem o estabelecimento de uma espécie em detrimento da redução da diversidade de espécies nestes ambientes.

Nascimento et al. (1997), comparando atributos químicos de solo sob monodominância de *Peltogyne gracilipes* e solos sob florestas sem a ocorrência da espécie observaram similaridade entre as características químicas estudadas à exceção do Mg, cujos teores foram maiores na floresta monodominante. Segundo Hart et al. (1989), as características químicas de solos sob monodominância de *Gilbertiodendron dewevrei* são semelhantes aos solos de florestas mistas na África. No entanto, na conclusão do trabalho, as autoras sugerem mesmo sem comprovação científica, que a diferença entre estas florestas pode ocorrer em função de diferenças no substrato. Marimom et al. (2005) estudando florestas monodominadas por *Brosimum rubescens* em duas regiões do estado do Mato Grosso encontrou semelhanças entre características químicas dos solos destas florestas. A autora afirma que os solos das duas regiões de estudo foram distróficos, ácidos, álicos e com elevada relação Ca/Mg.

As formações florestais monodominantes não estão distribuídas de forma uniforme pelo planeta, sendo que é de se esperar que as características que conduzem a monodominância não sejam as mesmas para todas as florestas. Partindo deste pressuposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a existência de correlação entre atributos químicos e físicos do solo e a expansão de povoamentos monodominados pela aroeira em uma região do médio rio Doce Mineiro, através da caracterização das propriedades químicas e físicas de solos sob monodominância de aroeira e sua comparação com solos sob pastagens adjacentes a estes fragmentos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi conduzido no município de Tumiritinga, MG (ponto de coordenadas 18°58'44" S e 41°38'42" O http://www.google.com/gwt/n?u=http://stable.toolserver.org/geohack/geohack.php?language=pt&pagename=Tumiritinga¶ms=18_58_44_S_41_38_42_W_type:city_region:BR_scale:75000), médio Rio Doce mineiro, microrregião de Governador Valadares. O município ocupa uma área de 489 km², têm população de 6.169 habitantes e apresenta PIB *per capita* de 4.313 R\$/ano.

Na microrregião de Governador Valadares são encontradas as unidades geológicas Associação de Gnaisses e Granitos Diversos, Associação Charnockítica, Granitos Intrusivo e Coberturas Aluvionares, sendo que o predomínio é a Associação Charnockítica (CPRM, 2000). As unidades geomorfológicas presentes no município são caracterizados por dissecação fluvial atuante nas rochas predominante granito-gnaissicas do embasamento cristalino (BARUQUI, 1982).

Pela classificação de Köppen, o clima predominante na região é o Aw (tropical úmido-mega térmico), caracterizado por elevadas temperaturas e chuvas concentradas no verão, sendo a precipitação do mês mais seco inferior a 60 mm. Em Tumiritinga o índice pluviométrico médio é de 911,8 mm ano⁻¹.

O município está inserido no domínio dos Argissolos Vermelho Eutrófico, distribuídos desde o terço inferior até o topo dos morros. Entretanto, ocorrem Neossolos Flúvicos Eutrófico nas baixadas e em alguns topos planos é comum a ocorrência de Latossolos (BARUQUI, 1982). Em Tumiritinga o uso do solo predominante são pastagens degradadas (VALENTE, 2005; OLIVEIRA, 2011) e a área de mata nativa ocupa cerca de 2% do território municipal (IBGE, 2006).

2.2 Coleta e análises de solo

Amostras de solo foram coletadas ao longo de todo o município de Tumiritinga, por amostragem casual simples. Foram selecionados 11 fragmentos monodominados por aroeira (Figura 1), nos quais foram coletadas aleatoriamente três amostras de solo indeformadas através de anéis volumétricos, e três amostras de solo

deformadas a uma profundidade de 0,20 metros. Para cada um dos 11 fragmentos de monodominância de aroeira, foi selecionada uma área adjacente, sem ocorrência de aroeira (sistema pastoril), de onde foram coletadas aleatoriamente três amostras de solo através de anéis volumétricos indeformados e três amostras simples deformadas de solo a uma profundidade de 0,20 metros, obtendo desta forma 66 repetições para cada variável física e química estudada, sendo 33 em ambientes com aroeira em monodominância e 33 sob pastagem.

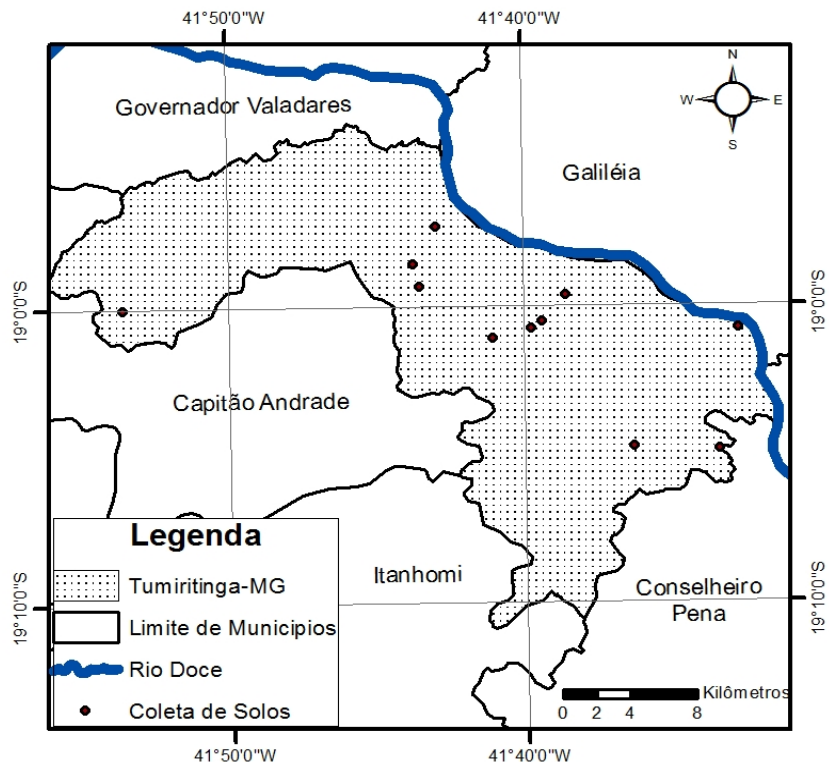


Figura 1: Localização dos pontos de coleta de solos no município de Tumiritinga MG.

Os fragmentos monodominados por aroeira ocupam cerca de 22% ou 10.758 ha do município de Tumiritinga (OLIVEIRA, 2011). De acordo com depoimentos de moradores locais, os fragmentos sob monodominância de aroeira vêm se expandindo ao longo dos últimos 20 anos, ocupando pastagens por toda a região. Os fragmentos estudados neste trabalho possuem dimensões e localizações no relevo diferenciadas. São caracterizados por não apresentarem sub-bosque, serrapilheira ou qualquer outro tipo de cobertura do solo (Figura 2), onde normalmente o horizonte A foi perdido por erosão/lixiviação. Os solos normalmente apresentaram superfície selada, o que diminui a taxa de infiltração e conseqüentemente aumentam o escoamento superficial

(GUERRA et al. 2007) e na maior parte das vezes apresentaram avançados processos de erosão laminar e em sulcos.



Figura 2: Monodominância de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) em fase caducifólia.

O solo dos sistemas sob pastagem foi escolhido para comparação com o solo sob monodominância de aroeira por ser a classe de uso predominante na região (OLIVEIRA, 2011; VALENTE, 2005; BARUQUI, 1982, IBGE, 2006). A comparação entre “aroeira” e “pastagem” foi também escolhida, pois nota-se uma transição abrupta entre estas classes de uso no que se refere à cobertura do solo. Os solos sob pastagens avaliados neste estudo estavam normalmente recobertos por capim colômbio (*Panicum maximum* Jacq.) e braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.). As pastagens estudadas, em grande parte, apresentaram sinais de degradação, com considerável área de solo exposto, superpastejo e má formação de cobertura.

As determinações químicas realizadas foram: pH em H₂O; teores de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, Na⁺ trocáveis; P disponível (Mehlich-1); acidez potencial (H + Al), soma de bases (SB); CTC efetiva (t); CTC total (T); saturação por bases (V); saturação por alumínio (m), matéria orgânica do solo (MOS), índice de saturação por

sódio (ISNa). As análises foram feitas conforme Embrapa (1997) e P remanescente (P-rem), segundo Alvarez et al. (1993).

Foram realizadas as seguintes determinações físicas: textura, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, microporosidade, macroporosidade, condutividade hidráulica, retenção de água na capacidade de campo (-10 kPa) no ponto de murcha permanente (-1.500 kPa) e nas tensões equivalentes de -300 kPa e -500 kPa, realizadas segundo métodos descritos em Embrapa (1997). A água disponível para a planta (ADP m³/m³) foi calculada por meio da equação 1, a partir da curva de retenção de umidade (CRA) utilizando o conteúdo gravimétrico de água na capacidade de campo ($\theta_{cc} = -10$ kPa) e o conteúdo gravimétrico de água no ponto de murcha permanente PMP ($\theta_{PMP} = -1.500$ kPa).

$$ADP = \theta_{cc} - \theta_{PMP} \quad \text{[equação 1]}$$

Para avaliar a hipótese de igualdade entre as médias dos parâmetros químicos e físicos obtidos nos sistemas de monodominância de aroeira e de pastagem, foi aplicado o teste t para amostras independentes, a 5% de significância. As análises foram feitas empregando o sistema Statistica (Statsoft, Inc., 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Atributos químicos

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros químicos avaliados referentes às 33 amostras de solos sob monodominância de aroeira e às 33 amostras de solos sob pastagens são apresentados na Tabela 1. Os teores médios dos cátions trocáveis K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ (93,33 mg/dm³, 3,30 e 1,61 cmol/dm³, respectivamente) diferiram pelo teste t a 5% de significância entre os sistemas aroeira e pastagem, sendo que os maiores valores ocorreram sempre nos aroeirais. A média da soma de bases (SB), conseqüentemente foi maior em solos sob aroeirais (5,18 cmolc/dm³) quando comparada aos solos sob pastagens (3,96 cmolc/dm³), sendo que estes valores diferiram significativamente pelo teste t a 95% de probabilidade.

Os menores teores de bases trocáveis em solos sob pastagem poderiam ser explicados pela ausência de correções químicas do solo, e pela ação de transporte de nutrientes pelo pastoreio do gado, que por sua vez facilita a perda de nutrientes arrastados pela erosão laminar. No entanto, os solos das áreas sob monodominância de aroeira estão mais expostos à erosão, não recebem correção química, e segundo relato dos agricultores regionais, a monodominância de aroeira avança normalmente sob pastagens abandonadas e/ou degradadas. Portugal (2010) considera que baixos teores de bases trocáveis em ambientes florestais são justificados pela alocação de nutrientes na biomassa das árvores, mas para áreas de monodominância de aroeira, observou-se o contrário com os dados coletados neste estudo.

As médias das concentrações de bases trocáveis em ambos os sistemas são elevadas em função do baixo grau de intemperismo químico que os solos da região sofreram (BARUQUI, 1982), e Lorenzi (2002) atribui à espécie florestal aroeira um caráter calcícola. Desta forma, a aroeira pode se comportar como uma espécie seletiva, expressando sua monodominância em ambientes de elevada saturação de bases, ou o sistema radicular pivotante da aroeira transloca cátions de camadas profundas onde o sistema radicular das gramíneas não é capaz de alcançar. Assim, para produzir uma afirmativa segura que explique a diferença significativa entre as concentrações de bases trocáveis (em especial Ca^{2+} e Mg^{2+}) entre os ambientes estudados se faz necessário avaliar em profundidade o gradiente de concentração destes cátions.

Outras diferenças significativas entre atributos químicos do solo foram observadas para os parâmetros CTC total (T) e CTC efetiva (t). As capacidades de troca catiônica total e efetiva foram maiores nos sistemas sob monodominância de aroeira quando comparados às pastagens. A CTC total é menor em sistema de pastagem quando comparada à CTC total nos fragmentos florestais monodominantes provavelmente devido a redução do carbono orgânico nestes ambientes, visto que a prática do fogo em pastagens é ainda muito comum na região. Outra explicação pode ser atribuída ao maior teor de argila encontrado nos “aroeirais”.

Os demais atributos químicos analisados neste estudo (pH H_2O , P, Na, Al^{3+} , H+Al, V, m, ISNa, MO e P_{rem}) não diferiram significativamente entre os solos sob monodominância de aroeira e pastagem. Nota-se que ambos os solos, apesar da degradação física, não apresentam problemas relacionados a acidez ou nutrição de

plantas. A exceção dos baixos teores de matéria orgânica encontrados, os solos são eutróficos ($V > 50\%$) e não apresentam limitações químicas severas.

Tabela 1: Atributos químicos dos solos sob monodominância de aroeira e pastagens na profundidade de 0 a 20 cm

		pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	MO	P_rem
USO	EST.		mg/dm ³			cmolc/dm ³							%			dag/kg	mg/L
AROEIRA	Média	6,32	2,11	97,33*	6,16	3,30*	1,61*	0,06	1,63	5,18*	5,25*	6,81*	74,22	2,16	0,44	1,93	57,30
	MIN	5,48	0,90	7,00	0,00	0,20	0,70	0,00	0,20	1,55	2,03	2,53	38,30	0,00	0,00	0,53	43,5
	MAX	7,58	8,6	347	29,2	7,01	4,68	0,51	3,00	10,78	10,88	12,78	98,1	24,8	1,72	3,29	60
	E (%)	4,62	28,16	3,88	18,86	15,98	23,30	234,98	21,48	11,66	11,36	8,62	2,05	44,32	64,91	17,98	1,47
	n=33 CV	7,75	96,24	84,13	125,85	48,36	50,24	204,74	43,20	40,50	38,88	29,10	17,92	243,78	106,71	35,80	7,15
PASTAGEM	Média	6,22	4,57	69,60*	4,06	2,73*	1,03*	0,08	1,61	3,96*	4,03*	5,57*	68,94	2,78	0,40	2,03	57,18
	MIN	4,93	0,80	5,00	0,00	0,30	0,23	0,00	0,30	0,88	1,04	3,21	24,60	0,00	0,00	0,66	45,60
	MAX	7,05	76,10	197,00	30,30	5,27	2,45	0,92	4,40	7,20	7,20	8,73	94,80	31,80	2,97	3,95	60,00
	E (%)	1,46	55,23	13,31	33,68	8,95	9,72	50,74	10,53	7,74	7,45	5,19	5,03	47,62	34,25	6,46	1,28
	CV	7,98	302,50	72,88	184,48	49,01	53,23	277,94	57,70	42,37	40,81	28,45	27,53	260,81	187,60	35,40	7,02
n=33	pvalue	0,418	0,316	0,116	0,281	0,135	0,002	0,811	0,922	0,013	0,012	0,008	0,202	0,699	0,784	0,577	0,912

Onde: MIN = valor mínimo; MAX = valor máximo; E(%) = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação; n= número de repetições

3.2 Atributos físicos

A partir da análise granulométrica dos solos pode-se classificá-los, segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, como pertencentes às seguintes classes texturais: muito argilosa, argilosa, argilo-arenosa, franco-argilo-arenosa e franco arenosa, com teores de areia grossa variando entre 12% a 48%, areia fina variando entre 10% a 36%, silte 10% a 25% e argila 20% a 66%. Quanto aos solos sob pastagem, estes apresentaram as mesmas classes texturais de solos sob aroeira com exceção da classe muito argilosa. Apresentaram teores de areia grossa variando entre 17% a 58%, areia fina entre 10% a 28%, silte 9% a 38%, e argila 12% a 50%.

Os teores de argila, areia grossa e areia fina dos solos sob monodominância de aroeira e solos sob pastagem não diferem estatisticamente ao nível de 5% ou 10% de probabilidade pelo teste t. Já os teores de silte diferem estatisticamente a 5% de probabilidade entre as formas de uso de solo estudadas. Os maiores teores de silte foram encontrados nos solos sob pastagem (Figura 3). Segundo Embrapa (1999), a relação silte/argila pode ser utilizada para inferir sobre o grau de intemperismo dos solos, sendo que baixos valores indicam solos mais intemperizados. Os solos estudados apresentaram relação silte/argila variando entre 0,47 a 0,62, indicando grau mediano de intemperismo.

O silte enquanto fração granulométrica intermediária entre a argila e a areia confere a estes uma menor velocidade de infiltração de água, menor arranjo entre partículas e maior susceptibilidade à erosão.

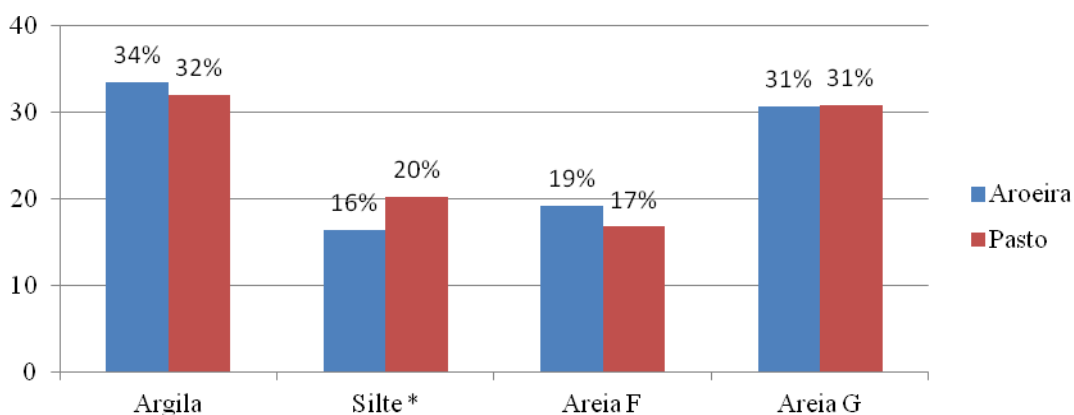


Figura 3: Relação entre médias das frações granulométricas de solos sob monodominância de aroeira e sob pastagem em Tumiritinga MG. * indica diferença estatística entre as médias dos tratamentos a 0,05 de significância pelo teste t.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros físicos Dp, Ds, avaliados referentes às 33 amostras de solos sob monodominância de aroeira e às 33 amostras de solos sob pastagens são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Atributos físicos dos solos sob monodominância de aroeira e pastagens na profundidade de 0 a 20 cm

USO	EST.	Ko	Ds	Dp	Mic	Mac	Pt	θ (10kPa)
		cm/seg	Mg/m ³		m ³ /m ³		m ³ /m ³	
AROEIRA	Média	0,0009	1,55	2,59*	0,33*	0,07	0,40*	0,35
	MIN	0,0000	1,29	2,27	0,28	0,02	0,33	0,22
	MAX	0,0044	1,76	2,90	0,43	0,20	0,51	0,38
	E	0,0002	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
	n=33 CV (%)	135,10	7,53	4,38	9,34	70,22	10,91	9,71
PASTAGEM	Média	0,0008	1,57	2,55*	0,31*	0,07	0,38*	0,31
	MIN	0,0000	1,34	2,33	0,21	0,04	0,29	0,21
	MAX	0,0041	1,79	2,67	0,37	0,18	0,48	0,43
	E	0,0002	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	n=33 CV (%)	117,79	7,26	3,36	11,05	75,86	13,47	11,56
n=33	p-valor	0,9015	0,5447	0,0894	0,0290	0,9520	0,1482	0,9885

Onde: MIN = valor mínimo; MAX = valor máximo; E(%) = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação; n= número de repetições; Ko = condutividade hidráulica; Ds = densidade do solo; Dp = densidade de partícula; Mic = microporosidade; Mac = macroporosidade; Pt = porosidade total; θ = conteúdo de água no solo na capacidade de campo.

Os elevados valores de densidade de solo encontrados (Tabela 2) não diferiram significativamente entre os sistemas pastagem e aroeira monodominante. A densidade do solo (Ds) é um dos atributos usado como medida da qualidade física do solo devido às suas relações intrínsecas com outros atributos, como porosidade, condutividade hidráulica, compactação do solo entre outros. (FERREIRA, 2010). O manejo, textura, teor de matéria orgânica e composição mineralógica do solo influenciam nos valores de densidade do solo, que conseqüentemente irão influenciar no desenvolvimento radicular e na disponibilidade de água para as plantas (DEXTER, 2004). Assim, os valores densidade de solo (Ds) calculados para ambos os sistemas, revela a má qualidade física dos solos estudados no que diz respeito ao desenvolvimento radicular e ao transporte de água e solutos no solo.

A condutividade hidráulica (Ko) do solo não apresentou diferença significativa entre os sistemas de uso do solo estudados (Tabela 2). Nota-se que a condutividade hidráulica é uma propriedade de grande relevância para estudos de movimentação de água no solo, sendo ela dependente de outras propriedades físicas do solo como Ds. Assim, em uma correlação positiva e inversamente proporcional, a alta densidade dos solos estudados condiciona baixa condutividade hidráulica para os

mesmos. Os baixos valores de K_0 estão relacionados a baixa infiltração de água no solo, à processos de erosão e de lixiviação de substâncias químicas. O desenvolvimento e manutenção da aroeira em ambientes com baixa disponibilidade de água indica que mecanismos de tolerância a estresse hídrico podem proporcionar vantagens adaptativas à aroeira frente a outros vegetais, corroborando para seu comportamento monodominante.

A densidade de partículas (D_p) apresentou valores significativamente superiores nos solos sob monodominância de aroeira quando comparados aos solos sob pastagens. Este parâmetro físico expressa a relação entre a massa de solo seco e o seu respectivo volume de partícula. D_p não reflete a condição de estruturação do solo, é um atributo físico muito estável que depende exclusivamente da composição de partículas sólidas (FERREIRA, 2010).

Guerra (2007) considera que um solo ideal para o desenvolvimento de plantas, do ponto de vista físico, deve ter pelo menos 50% do volume ocupado por poros. Portugal (2010) calculou a porosidade total de solos sob mata nativa e pastagens encontrando valores de porosidade total igual a 58,7% na mata e 45% em pastagem. No presente estudo os poros dos solos sob monodominância de aroeira ocuparam em média 40% do volume total. Para as pastagens o volume total de poros no solo foi de 38%. Os resultados diferiram significativamente entre si, e ambos demonstram limitações no espaço poroso, que são refletidas principalmente no transporte e armazenamento de água e no desenvolvimento radicular (FERREIRA, 2010).

Nos solos sob monodominância de aroeira, a microporosidade representou 33% do espaço poroso total, enquanto que na pastagem o percentual de microporos foi de 31%, valores estes significativamente diferentes. A microporosidade garantiu maior armazenamento de água nos solos sob monodominância de aroeira, fato que pode ser observado pela curva de retenção de água (Figura 4) e pelo valor de água disponível para a planta (ADP) calculado para ambos os sistemas. Estes alcançaram valores de $0,1896 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de água para os solos sob monodominância de aroeira e $0,1486 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de água para os solos sob pastagens.

Na tensão da capacidade de campo (-10 kPa), correspondente a capacidade de campo, os solos sob monodominância de aroeira retiveram mais água que os solos sob pastagem (Figura 4), seguindo o volume de microporos apresentado, ou seja os

solos sob aroeirais retiveram mais água devido a maior microporosidade observada nestes sistemas.

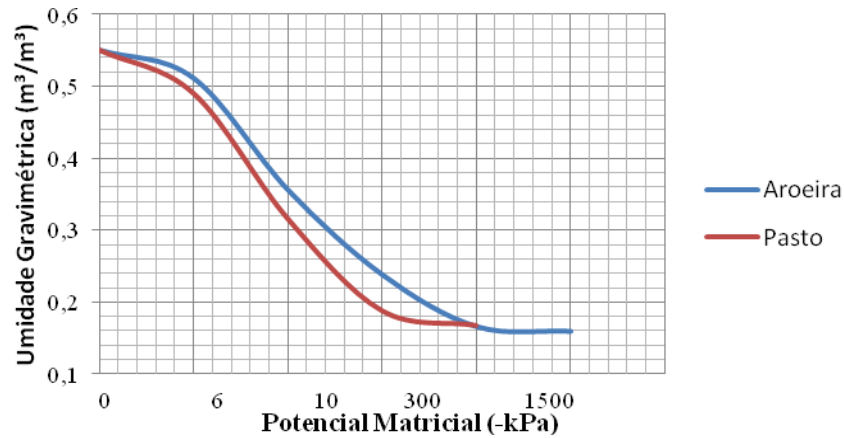


Figura 4: Curva de retenção de água de solos sob monodominância de aroeira e pastagem.

A distribuição de macroporos não apresentou diferença significativa entre os sistemas de uso estudados (Tabela 2). Os solos sob monodominância de aroeira e pastagem apresentaram respectivamente 17% e 18% do espaço poroso ocupado por macroporos. Os macroporos são responsáveis pela infiltração rápida de livre movimentação de ar e condução de água durante o processo de infiltração. Apresentam dimensões suficientes para permitir o desenvolvimento radicular e abrigar organismos que habitam o solo.

4. CONCLUSÕES

O estudo confirmou o caráter calcícola da espécie já descrito por outros autores. No entanto são necessários estudos que esclareçam se a aroeira é seletiva a ambientes com alta saturação de Ca^{2+} , ou se a espécie transloca o cátion de camadas profundas do solo através da interceptação radicular.

Os solos sob monodominância de aroeira apresentaram maiores teores de argila quando comparados aos solos sob pastagens. A natureza coloidal e a maior superfície específica dos solos sob monodominância de aroeira conferiram aos mesmos maior capacidade de troca catiônica e maior capacidade de adsorção de cátions.

Os solos da região estudada apresentam características de alta degradação física como, baixa condutividade hidráulica, alta densidade de solo e baixo percentual de espaço poroso.

A ocorrência monodominante da aroeira freqüentemente impede o surgimento de outras espécies vegetais, o que tendência a uma perda da biodiversidade e da qualidade ambiental local. Além disso, a predominância de Argissolos nas unidades da paisagem onde ocorrem os aroeirais leva naturalmente a uma maior susceptibilidade à processos erosivos.

Fazem-se necessários estudos complementares para explicar a influência do solo no condicionamento da monodominância de aroeira. A avaliação da dinâmica da água nestes ambientes, da diversidade microbiológica, e da distribuição espacial destes povoamentos na paisagem pode trazer a tona elucidações no que tange a compreensão deste fenômeno no médio rio Doce mineiro.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Edital 26-2010) e à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Edital Universal 2010) pela concessão dos recursos financeiros utilizados na realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E. e OLIVEIRA, J.A. Determinação de fósforo remanescente. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 10p. (Não Publicado)

BARUQUI, F. M. **Inter-relações solo-pastagem nas regiões Mata e Rio Doce do estado de Minas Gerais**. 1982. 119p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FREITAS, D.A.F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no pantanal sul Mato-grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35 p. 613-622, 2011.

CPRM, **Projeto Leste**. Belo Horizonte. 2000.

DEXTER, A.R. Soil physical quality PartI. Theory, effects of soil texture, density and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma** v.120. p.201-214, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.
Centro Nacional de Pesquisas em Solos. Manual de métodos de análise de solos.
Manual de métodos de análise de solo. e Ed. Rio de Janeiro, 1997.212p.

FAVERO, C. **Uso e degradação dos solos na microregião de Governador Valadares, Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 2001. p.68 (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) .

FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. IN: **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 298p. 2010.

FREITAS, H. R. **Distribuição de Ambientes e Parcelamento de Assentamentos Rurais: Uma Abordagem Metodológica**. Viçosa: UFV, 2004. 153 p. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos**: Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 340 p. 2007.

GOMIDE, R.H.O.; SILVA, M.L.N.S.; SOARES, C.R.F.S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35 p. 567-577, 2011.

HART, T. B., HART, J. A. & MURPHY, P. G. Monodominant and species-rich forests of the humid tropics: causes for their co-occurrence. **The American Naturalist**, n.133, v.5, p. 613-633, 1989.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. Brasil, 2006.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras – Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1992. p. 368
MARIMON, B.S., FELFILI, J.M. Distribuição de diâmetros e alturas na floresta monodominante de *Brosimum rubescens* Taub. na Reserva Indígena Areões, Água Boa-MT, Brasil. **Revista Árvore**, v.24, n.2, p.143-150, 2000.

NASCIMENTO, M. T. e PROCTOR, J. Population dynamics of five tree species in a monodominant *Peltogyne* forest and two other forest types on Maracá Island, Roraima, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.94, 9. 115-128, 1997.

OLIVEIRA, F. P. **Monodominância de aroeira: Fitossociologia, relações pedológicas e distribuição espacial em Tumiritinga, MG**. 2011. 87p. Dissertação (Mestrado Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.S.V.; COSTA, L.M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34 p. 575-585, 2010.

SILVA, J.A., LEITE, E.J., SALOMÃO, A.N., FAIAD, M.G.R., FERREIRA, D.N.M., VALOIS, A. C. C. **Banco de Germoplasma de Espécies Florestais**

Nativas do Campo Experimental Sucupira. Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) Anacardiaceae. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006, 46p.

STATSOFT, INC. **STATISTICA for Windows** (Computer program manual). Statsoft, Tulsa, 2007.

VALENTE, E.L. **Caracterização da intensidade de degradação do solo e da cobertura vegetal de uma área no médio Rio Doce, utilizando imagens IKONOS II.** 2005. 89p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

VIANA, V. M.; MAURICIO, R. M.; MATTA-MACHADO, R. & PIMENTA, I. A. Manejo de la regeneracion natural de especies arboreas nativas para la formacion de sistemas silvopastoriles em las zonas de bosques secos del sureste de Brasil. **Agroforesteria em las Americas** v. 9 n.33– 34, 2002.

VIEIRA, J. L. **Relação entre atributos do solo e ocorrência da aroeira do sertão (*Myracrodruon urundeuva* Freire Allemão) na RPPN fazenda Bulcão, médio Rio Doce, MG.** Caratinga: UNEC, 2008. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Sustentabilidade). 75p.

Classificação de fragmentos florestais com monodominância de aroeira por redes neurais artificiais e pelo algoritmo da maximaverossimilhança utilizando imagens Rapideye.

RESUMO - O presente trabalho teve por objetivo mapear áreas sob monodominância de aroeira através da classificação supervisionada de imagens do satélite Rapideye. O estudo foi conduzido no município de Tumiritinga, Minas Gerais. Foram avaliados dois métodos de classificação supervisionada de imagens, a classificação pelo algoritmo da maximaverossimilhança e a classificação por Redes Neurais Artificiais. Foram testadas 19 combinações envolvendo diferentes bandas, componentes principais e o índice de vegetação da diferença normalizada para a classificação da imagem Rapideye. O treinamento da rede foi realizado variando-se a taxa de aprendizado (0,01; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 e 0,1), o número de interações (10000, 15000, 20000, 25000, 30000, 35000, 40000 e 45000) e o número de neurônios na camada interna. A avaliação dos mapas temáticos produzidos foi realizada através dos índices Kappa e Kappa condicional para a classe de uso do solo “aroeira” e pela análise das matrizes de confusão. Os resultados mostraram que a classificação pelo algoritmo da maximaverossimilhança apresentou resultado superior ao das redes neurais, alcançando índice Kappa igual a 80 e Kappa Condicional igual a 90. Através dos mapas temáticos produzidos observou-se que 22% do município de Tumiritinga se encontra sob ocupação da aroeira em monodominância. Pode-se concluir que os resultados da classificação pelo algoritmo da maximaverossimilhança podem ser potencializados quando há uma seleção das amostras de treinamento criteriosa. As imagens Rapideye podem ser utilizadas para o mapeamento de grandes e médios fragmentos de aroeira.

Palavras-chave: *Myracrodruon urundeuva*, monodominância, classificação supervisionada

1. INTRODUÇÃO

O histórico de uso e ocupação do solo no médio Rio Doce mineiro deflagrou processos degenerativos dos recursos naturais que implicam em problemas ambientais sociais e econômicos enfrentados até o presente (BARUQUI, 1982; FAVERO, 2001; FREITAS, 2004; VALENTE, 2005; VIEIRA, 2008.).

Valente (2005), caracterizando a intensidade de degradação do solo e da cobertura vegetal em uma região do médio Rio Doce, discorre sobre os raros remanescentes florestais que resistiram à ação antropogênica. O autor chama a atenção para um fenômeno que vem ocorrendo na região do médio Rio Doce, a expansão de fragmentos monodominados por aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.), espécie caducifólia que não raro ocupa toda a toposequencia de determinados sítios.

Paralelo ao quadro de expansão de áreas monodominadas pela aroeira no médio Rio Doce e em outras regiões do estado de Minas Gerais, a espécie aparece na lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçada de extinção na categoria “vulnerável” desde 1992 até o presente (MMA, 2008).

Analisando a contradição no enquadramento jurídico da espécie, Murta et al. (2010) sugere que a falta de conhecimento sobre estes fragmentos acarreta na insegurança dos operadores do direito no que tange a autorização de intervenção nestes ambientes, seja esta visando a recuperação de áreas degradadas ou o manejo sustentável destes fragmentos.

Frente à necessidade de obtenção e processamento de informações atualizadas e detalhadas a respeito da distribuição espacial dos “aroeirais”, a utilização de técnicas de classificação supervisionada de imagens, aliadas aos produtos do Sensoriamento Remoto, podem contribuir ao estudo de áreas monodominadas por aroeira, permitindo identificar, mensurar e monitorar estes povoamentos.

A classificação supervisionada de imagens orbitais é um método amplamente utilizado em estudos de mapeamento e avaliação das mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo (KAVZOGLU e VIEIRA, 1998; HORNING et al., 2010; PRADO et al., 2009; MOREIRA et al., 2010).

Dentre os métodos de classificação supervisionada de imagens, o algoritmo da maximaverossimilhança figura entre uma das metodologias mais aplicadas à

estudos de caracterização, mensuração e monitoramento de áreas florestais e agrícolas (AMARAL et al., 2009; MOREIRA et al., 2010; RAMIREZ et al., 2010.).

Dentre os métodos de classificação supervisionada de imagens, o algoritmo da maximaverossimilhança figura entre uma das metodologias mais aplicadas à estudos de caracterização, mensuração e monitoramento de áreas florestais e agrícolas (AMARAL et al., 2009; MOREIRA et al., 2010; RAMIREZ et al., 2010.).

Outra metodologia de classificação de imagens que merece destaque são as redes neurais artificiais. Segundo Kavzoglu e Vieira (1998), a capacidade de aprendizado, generalização e reconhecimento de padrões tornam as redes neurais artificiais atrativas para a classificação supervisionada de dados do sensoriamento remoto.

Assim como os métodos de classificação de imagens, os sensores remotos evoluíram principalmente no que diz respeito às suas resoluções temporais, espectrais e espaciais. Neste sentido, Schuster et al. (2010) avaliaram a resposta da banda espectral *red edge* (0,68 – 0,73 μm) presente no sensor multiespectral do satélite Rapieye, para a classificação de uso do solo. Os autores observaram melhora no resultado da classificação de florestas decíduais pelo algoritmo da maximaverossimilhança, ao utilizar a banda do sensor.

Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo principal mapear áreas ocupadas por fragmentos de aroeira em monodominância no município de Tumiritinga (MG) a partir da classificação supervisionada de imagens do satélite Rapideye. O estudo objetivou também avaliar os desempenhos dos classificadores da maximaverossimilhança e de redes neurais artificiais e a contribuição de diferentes composições de bandas multiespectrais, do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), e da análise de componentes principais da imagem do satélite Rapideye para a separação de feições florestais monodominadas por aroeira na paisagem.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização regional do local de estudo.

O presente estudo foi desenvolvido no município de Tumiritinga, MG. A sede municipal está localizada no ponto de coordenadas 18°58'44'' Sul e 41°38'42'' Oeste.

O município ocupa uma área de 489 km² com uma população de 6.169 habitantes e está inserido na mesorregião do Vale do Rio Doce, microrregião de Governador Valadares.

O município está inserido no domínio dos Argissolos Vermelho Eutrófico, distribuídos desde o terço inferior até o topo dos morros. Entretanto, ocorrem Neossolos Flúvicos Eutrófico nas baixadas e em alguns topos planos é comum a ocorrência de Latossolos. (BARUQUI, 1982).

Quanto às unidades geomorfológicas presentes, estas são caracterizados por dissecação fluvial atuante nas rochas predominante granito-gnaissicas do embasamento cristalino (BARUQUI, 1982). Pela classificação de Köppen, o clima predominante na região é o Aw (tropical úmido-mega térmico), caracterizado por elevadas temperaturas e chuvas concentradas no verão, sendo a precipitação do mês mais seco inferior a 60 mm. O balanço hídrico da região mostra um acentuado déficit hídrico (VALENTE, 2005).

2.2 Base de dados

O uso do solo e os estágios fitofisionômicos dos “aroeirais” sofrem grandes transformações sazonais e, portanto, apresentam características espectrais diferenciadas ao longo do ano. Assim, para a escolha da data de aquisição das imagens, optou-se pelo período posterior as chuvas na região, garantindo a ausência de nuvens e o vigor da vegetação. O estudo foi realizado a partir de uma imagem Rapideye adquirida em 13/02/2010, com as devidas correções radiométricas e geométricas, recobrando 100% do município.

Os classificadores foram testados em 19 combinações diferentes (Tabela 1), envolvendo composições de bandas multiespectrais da imagem Rapideye, duas e três componentes principais da imagem (PCA2 e PCA3) e o NDVI, a fim de avaliar qual a melhor combinação para diferenciar as áreas sob monodominância de aroeira das demais classes de uso do solo.

Para avaliar a influência da banda 4 (red edge), na separação de feições sob monodominância de aroeira (SCHUSTER et al., 2010), o NDVI foi também calculado de forma adaptada utilizando as bandas 3 (0,63 a 0,68 μm) e a banda 4 (0,69 a 0,73), red-edge, em substituição a banda do infravermelho, sendo aqui tratado

de NDVI_{edge}. Uma última composição avaliada envolveu todas as variáveis (bandas, componentes principais e índices de vegetação) utilizadas neste estudo.

O NDVI foi calculado a partir da expressão:

$$NDVI = \frac{(NIV - VIS)}{(NIV + VIS)}$$

em que: NIV= reflectância da faixa de infra vermelho (banda 5 - 0,76 a 0,85 μm) e VIS= reflectância da faixa do visível (banda 3 - 0,63 a 0,67 μm).

Tabela 1: Composições de bandas, índices de vegetação e componentes principais utilizadas para a classificação supervisionada de imagens Rapideye

Composições Rapideye				
1	Total	10	Bandas 234	19 Bandas + PCA + NDVI
2	Total + NDVI	11	Bandas 234 + NDVI	
3	Total + NDVI _{edge}	12	Bandas 234+ NDVI _{edge}	
4	PCA 3	13	Bandas 235	
5	PCA 3 + NDVI	14	Bandas 235 + NDVI	
6	PCA 3 + NDVI _{edge}	15	Bandas 235+ NDVI _{edge}	
7	PCA 2	16	Bandas 345	
8	PCA 2 + NDVI	17	Bandas 345 + NDVI	
9	PCA 2 + NDVI _{edge}	18	Bandas 345 + NDVI _{edge}	

Total=composição de todas as bandas; PCA 3=composição das três primeiras componentes principais da imagem; PCA 2= composição das duas primeiras componentes principais da imagem; NDVI=índice de vegetação da diferença normalizada; NDVI_{edge} = índice de vegetação da diferença normalizada adaptado para a banda *red edge*.

2.3 Seleção e validação das amostras de treinamento

O treinamento dos algoritmos MaxVer e RNA foi dividido em três etapas: definição das classes temáticas de uso do solo; coleta de amostras de treinamento e avaliação do grau de sobreposição das amostras de treinamento.

Inicialmente, foram definidas as classes temáticas para mapeamento, levando em consideração as formas de uso e ocupação do solo predominantes no município, as características espectrais dos alvos e a resolução espacial da imagem Rapideye. O território municipal foi intensamente percorrido, tendo suas feições de uso registradas por fotografias e pontos de controle terrestre coletados com aparelho GPS. Foram definidas 8 classes de uso/cobertura do solo: rio, aroeira, mata nativa,

área urbana/solo exposto arenoso, solo exposto argiloso, afloramento de rocha, pasto manejado e pasto degradado.

No presente trabalho, atenção especial foi dada à seleção e coleta de amostras de treinamento. De acordo com Tso & Mather (2009), a definição do tamanho das amostras é importante para a determinação da acurácia dos parâmetros estatísticos que descrevem as classes a serem obtidas. Os autores afirmam também que o número de amostras de treinamento está diretamente relacionado com o intervalo de confiança das estimativas de acurácia de uma classificação, e com os parâmetros estatísticos estimados utilizados pelos algoritmos de classificação.

Para a definição do número de amostras de treinamento foi utilizada a recomendação de Congalton & Green (1999), extraindo-se no mínimo 75 amostras de treinamento por classe de uso do solo. Para as classes de maior interesse no estudo, foram coletadas em média 300 amostras de treinamento por classe, visto que as mesmas apresentam uma maior variabilidade espectral (McCoy, 2005).

Utilizou-se polígonos de formas quadradas e retangulares para a extração das amostras de treinamento como forma de se evitar muitos vértices na amostra (Campbell, 1987). O número de pixels em cada amostra de treinamento variou entre 9 e 12 (McCoy, 2005).

Para avaliar o grau de sobreposição de classes de uso nas amostras de treinamento foi utilizado o índice de separação de classes Jefferyes-Matusita definido por:

$$JM_{ij} = 2 * (1 - e^{-B_{ij}})$$

onde B_{ij} é a distância de Bhattacharyya calculada a partir da expressão:

$$B_{ij} = \frac{1}{8} (M_i - M_j)^T \left(\frac{\Sigma_i + \Sigma_j}{2} \right)^{-1} (M_i - M_j) + \frac{1}{2} \left(\frac{\left| \frac{\Sigma_i + \Sigma_j}{2} \right|}{\sqrt{|\Sigma_i| |\Sigma_j|}} \right)$$

Onde M_i e M_j são os vetores das médias das classes i e j . Quanto maior o valor de B maior a separabilidade das classes.

O valor de JM é calculado por par de classes. O índice varia em uma escala de 0 a 2. Se as classes i e j obtiveram um valor JM de 2, significa que as amostras são completamente distintas. De acordo Vieira (2000), valores superiores a 1,5 expressa ótima separabilidade entre classes para fim de classificação.

2.4 Classificação supervisionada

A classificação supervisionada da imagem Rapideye foi realizada através do algoritmo da maximaverossimilhança (Maxver) e através de redes neurais artificiais (RNA's). A classificação pelo Maxver foi implementada utilizando-se a interface do software ArcGis 10.

Para o treinamento das arquiteturas das redes neurais artificiais utilizou-se a interface do software Idrisi Andes, módulo *Multi Layer Peceptron Classifier*, que utiliza o algoritmo *backpropagation* para classificação das imagens.

As amostras de treinamento selecionadas na imagem para as 19 composições envolvendo bandas multiespectrais, componentes principais e o NDVI, (Tabela 1) serviram como base de entrada de dados para o treinamento das redes neurais.

Após a definição das combinações utilizadas para a classificação, estas foram re-escaladas para o intervalo de 0 a 1 para facilitar o processo de treinamento da rede e simplificar sua estrutura (CHAGAS, 2006).

O treinamento da rede foi realizado por tentativa e erro, variando-se a taxa de aprendizado, o número de interações e o número de neurônios na camada oculta (VIEIRA, 2001). O fator momento foi fixado em 0,5, o número de camada oculta fixo em 1, e o número de neurônios na camada de saída fixo em oito, correspondente ao número de classes temáticas de uso do solo selecionadas (CHAGAS, 2006).

Para cada arquitetura de rede simulada, foram registrados o erro médio quadrático de teste, o erro médio quadrático de treinamento, a taxa de acurácia e o índice Kappa de treinamento. As arquiteturas das redes que apresentaram maior taxa de acurácia, menor erro médio quadrático e maior índice Kappa de treinamento foram selecionadas para avaliação da classificação (VIEIRA, 2001).

2.5 Avaliação das imagens temáticas

As matrizes de confusão foram geradas a partir do cruzamento de dados dos mapas temáticos com 247 pontos de validação coletados em campo com uso de GPS de navegação. Para realizar a coleta dos pontos de validação, dado as dimensões geográficas do município de Tumiritinga e a conseqüente dificuldade de acesso a determinadas locais, realizou-se a digitalização de todas as estradas vicinais do município a partir de interpretação visual no software ArcGis 10.

Com o arquivo vetorial das estradas municipais gerado, criou-se um *buffer* de 200 metros ao longo das estradas, onde foram lançados, de forma aleatória, uma malha de 250 pontos. Estes pontos foram transferidos para um aparelho GPS que orientou o acesso ao ponto de validação e o registro da classe de uso do solo presente naquela localização. Posteriormente à coleta, foi feita checagem para certificar se todas as classes de uso/cobertura do solo foram amostradas pela metodologia proposta.

A verificação dos erros provenientes do processo de classificação, e a avaliação da exatidão dos dados obtidos pelo mapeamento temático foram realizadas utilizando coeficientes extraídos das matrizes de confusão, em especial os índices Kappa e Kappa Condicional para a classe aroeira. A interpretação do nível de exatidão relacionada ao valor do índice Kappa foi feita de acordo com Landis e Kock (1977), apresentada na tabela 2.

Tabela 2: Classificação do mapa temático, por sua exatidão, segundo o valor do coeficiente Kappa

Coeficiente Kappa (K)	Classificação do mapa temático
$K \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < K \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < K \leq 0,6$	Bom
$0,6 < K < 0,8$	Muito bom
$K \geq 0,8$	Excelente

A comparação entre os métodos de classificação e entre as composições de bandas foi realizada aplicando-se o teste estatístico z aos valores obtidos dos coeficientes Kappa e Kappa condicional para a classe aroeira, derivados da matriz de erros produzida pelo cruzamento dos resultados de cada classificação com a imagem de referência. (VIEIRA, 2000).

O teste Z para as os índices Kappa das classificações foi realizado a 95% de significância. Quando $Z \geq 1,96$ o teste é significativo, rejeita-se a hipótese de nulidade, podendo concluir que existe diferença estatística entre os valores calculados.

3. RESULTADOS

A avaliação do grau de sobreposição das amostras de treinamento pelo índice de Jefferyes-Matusita se mostrou satisfatória. Os pares de classe informacional “aroeira e mata nativa” e “pasto manejado e mata nativa” apresentaram a maior sobreposição de informação, visto as semelhanças espectrais dos alvos . Todos os demais pares de classe informacional apresentaram valores de índice Jefferyes-Matusita superior a 1,5.

Das 220 arquiteturas de redes neurais treinadas, a melhor arquitetura apresentou a seguinte configuração: 15 neurônios em uma camada interna, taxa de aprendizado de 0,02 e 25000 interações. O erro médio quadrático encontrado no treinamento desta arquitetura foi de 0,0018, taxa de acurácia de 91,4% e Kappa de treinamento igual a 93%.

Os valores do índice Kappa para os classificadores algoritmo da máximaverossimilhança (Maxver) e Redes Neurais Artificiais (RNA) são apresentados na Figura 1.

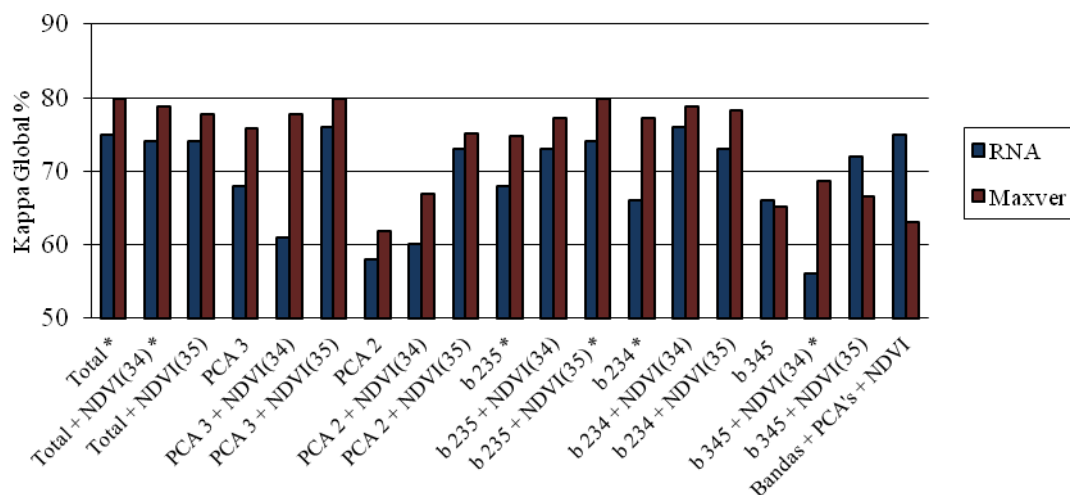


Figura 1: Índice Kappa calculado para a classificação da imagem Rapideye pelo algoritmo da maximaverossimilhança e por redes neurais artificiais. * no eixo x indica significância estatística a 95% de probabilidade pelo teste Z entre os métodos RNA (rede neural artificial) e Maxver (maximaverossimilhança).

A classificação supervisionada utilizando o Maxver alcançou valores de Índice Kappa que variaram entre 62 e 80. Entre as 19 composições testadas, 84% dos resultados são interpretados como “muito bom” pela literatura (Landis e Kock, 1977) e 16% interpretado como “excelente”. Os melhores resultados da classificação pelo algoritmo Maxver, avaliados pelo Índice Kappa, foram as composições Total, PCA 3_NDVI e bandas 235_NDVI .

Os Índices Kappa calculados a partir das classificações por redes neurais variaram entre 56 e 76, sendo que 11% dos resultados são interpretados como “bom” pela literatura (Landis e Kock, 1977), e 89% são classificados como “muito bom”. A tendência geral de superação do algoritmo maxver frente às RNA's, avaliada pelo índice Kappa, pode ser observada na figura1. Os coeficientes Kappa das composições Total, Total + NDVI_edge, b_235, b_235+ NDVI, b_234 e b_345 + NDVI_edge, calculados a partir da classificação Maxver, foram significativamente superiores aos coeficientes Kappa calculados a partir da RNA pelo teste z a 95% de probabilidade.

Considerando que o presente estudo teve como objetivo principal o mapeamento das áreas monodominadas pela aroeira no município de Tumiritinga, procedeu-se à análise do índice Kappa Condicional da classe “aroeira” para definir qual a composição mais recomendada para a classificação visando o mapeamento da aroeira em monodominância.

A análise dos índices Kappa Condicional demonstra melhora na acurácia do mapeamento para a classe temática aroeira tanto por Maxver quanto por RNA's (Tabela 3). Utilizando a classificação proposta por Landis e Kock, (1977), para o algoritmo Maxver, 37% das classificações são consideradas “muito boas” e 63% interpretadas como “excelentes” ($Kappa \geq 80$). As Redes neurais classificaram áreas monodominadas por aroeira com desempenho das classificações “bom” (21%), “muito bom” (58%) e “excelente” (21%), sendo inferiores ao algoritmo Maxver também na análise do Kappa condicional.

Os coeficientes Kappa Condicional para a classe “aroeira” das composições Total + NDVI, PCA3 + NDVI_edge, PCA2 + NDVI_edge, b_235 e b_234 + NDVI_edge, calculados a partir da classificação Maxver, foram significativamente superiores os coeficientes Kappa calculados a partir da RNA pelo teste z 95% de probabilidade. Os coeficientes Kappa Condicional para a classe “aroeira” da composição envolvendo bandas, componentes principais e NDVI, calculado a partir

da classificação por RNA, foi significativamente superior aos coeficiente Kappa calculado por Maxver, pelo teste z 95% de probabilidade.

A tabela 3 apresenta os índices Kappa Condicional referente a classe aroeira de todas as combinações de bandas, componentes principais e índices de vegetação avaliados neste estudo.

Tabela 3: Índices Kappa Condicional para a classe aroeira calculados a partir da classificação supervisionada pelo algoritmo da maximaverossimilhança e por redes neurais artificiais

COMPOSIÇÃO	Kappa Cond RNA	Kappa Cond Maxver	z cond
TOTAL	90	90	0,00
TOTAL + NDVI_edge.	89	88	0,32
TOTAL + NDVI	67	86	2,45*
PCA 3	65	75	1,18
PCA 3 + NDVI_edge	55	84	3,67*
PCA 3 + NDVI	69	81	1,46
PCA 2	52	67	1,66
PCA 2 + NDVI_edge	53	90	4,94*
PCA 2 + NDVI	72	86	1,85
BANDAS 235	54	75	2,44*
BANDAS 235 + NDVI_edge	77	86	1,19
BANDAS 235 + NDVI	86	82	0,56
BANDAS 234	87	80	0,97
BANDAS 234 + NDVI_edge.	69	80	1,96*
BANDAS 234 + NDVI	79	84	0,66
BANDAS 345	76	78	0,25
BANDAS 345 + NDVI_edge	75	72	0,35
BANDAS 345 + NDVI	77	72	0,57
Bandas + PCA's + Índices	74	64	8,07*

z Cond = valor do teste estatístico z a 95% de probabilidade. *índice que o teste foi significativo a 95% de probabilidade pelo teste z

A decisão de escolha do melhor classificador para os dados do caso em estudo foi fundamentada pela aplicação do teste estatístico z ao nível de significância de 95% sobre os valores dos coeficientes Kappa Condicionais e suas variâncias, obtidos com cada um dos classificadores Maxver e RNA.

Salvo a composição de todas as variáveis (bandas, componentes principais e índices de vegetação) e da composição das bandas RGB (345), o classificador Maxver foi significativamente superior ($t > 1,96$) ao classificador das RNA para a classe temática aroeira, sendo recomendado o uso do classificador que apresente o melhor desempenho quanto ao coeficiente Kappa.

A decisão de escolha da melhor composição para os dados do caso em estudo foi também avaliada pela aplicação do teste estatístico z ao nível de significância de 95% sobre os valores dos coeficientes Kappa Condicionais e suas variâncias, obtidos com o algoritmo maxver. (Tabela 4).

Tabela 4: Teste de significância entre os melhores resultados de Kappa Condicional da classe temática aroeira calculados a partir da classificação pelo algoritmo Maxver

CLASS	Total	PCA 3 NDVI_edge	PCA 2 NDVI_edge	b 235 NDVI_edge	b 234 NDVI	b 345
Kappa Condicional	0,90	0,84	0,90	0,86	0,84	0,78
Total	21,23					
PCA 3 + NDVI_edge	0,87	16,72				
PCA 2 + NDVI_edge	0,01	0,86	21,10			
b 235 + NDVI_edge	0,61	0,26	0,60	17,80		
b 234 + NDVI	0,87	0,00	0,86	0,26	16,72	
b 345	1,66	0,80	1,65	1,06	0,80	13,69

Por não terem sido observadas diferenças significativas entre as melhores composições classificadas pelo algoritmo Maxver, a composição Total é recomendada para utilização no mapeamento da monodominância de aroeira na região de estudo, por ter apresentado os maiores valores de Kappa e Kappa Condicional e por condicionar maior simplicidade ao processo de classificação, visto que a imagem do satélite não precisa ser submetida a nenhum pré processamento antes da classificação (extração de componentes principais e cálculo de índice de vegetação).

A figura 2 apresenta o efeito da utilização da banda *red edge* no cálculo do NDVI, avaliada pelo coeficiente Kappa Condicional.

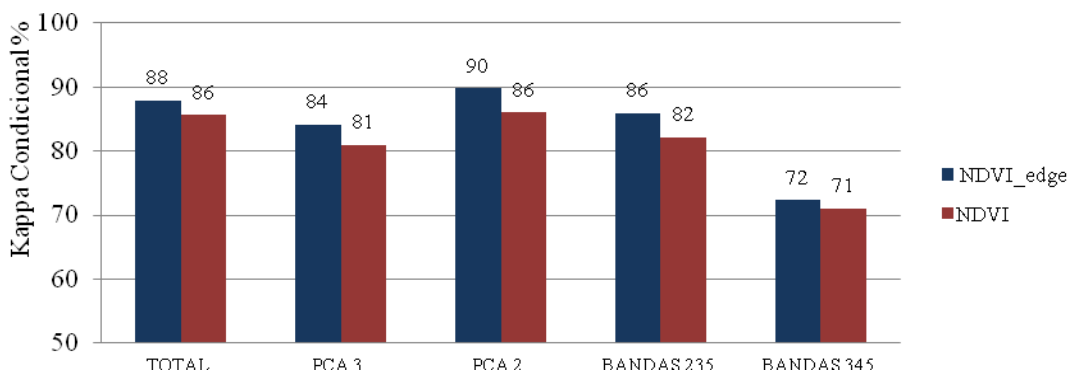


Figura 2: Efeito da banda *red edge* utilizada para cálculo do NDVI no coeficiente Kappa Condicional da classe aroeira.

O uso do índice de vegetação da diferença normalizada adaptado (NDVI_edge) condicionou um aumento nos índices Kappa Condicionais para a classe aroeira, quando comparado a utilização do NDVI (Figura 2). No entanto a diferença entre os valores de Kappa Condicional não é significativa a 95% de probabilidade pelo teste z. Assim, como observado por Schuster et al (2010), a banda *red edge* apresenta sensibilidade para a distinção de vegetação arbórea e arbustiva na paisagem.

A figura 3 apresenta o mapa temático de uso e ocupação do solo do município de Tumiritinga, produzido a partir da classificação supervisionada de todas as bandas da imagem (Total) Rapideye, pelo algoritmo Maxver.

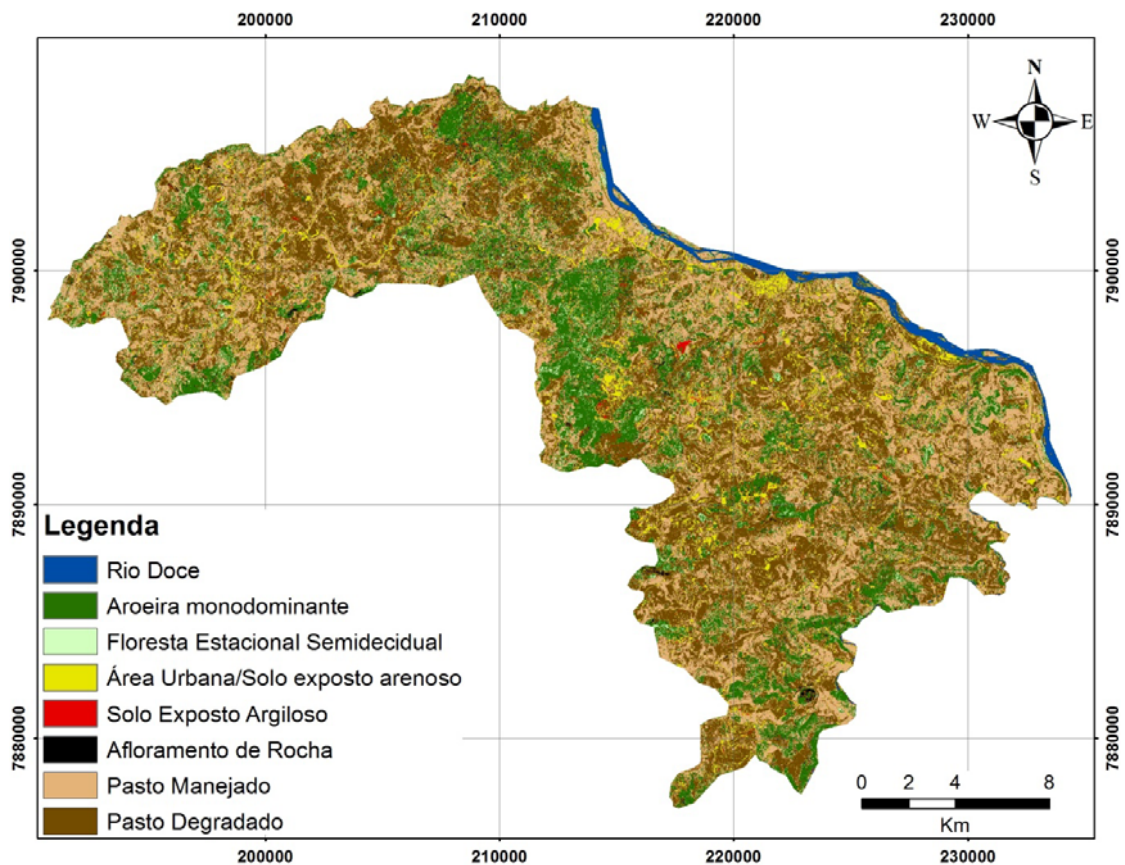


Figura 3: Mapa temático de uso e ocupação do solo do município de Tumiritinga, MG produzido através da classificação supervisionada MAXVER de todas as bandas multiespectrais do satélite Rapideye.

Do mapa temático produzido, foi possível extrair informações a respeito da distribuição e da dimensão das classes de uso de solo predominante no município de estudo. Observa-se pela tabela 5 que cerca de 22% do município de Tumiritinga,

aproximadamente 10.758 ha, se encontra sob ocupação da aroeira em monodominância. As pastagens ocupam em conjunto 66% do município. Em algumas regiões as áreas consideradas Pastagem Manejada, dão lugar a culturas anuais, principalmente milho e cana de açúcar, na época das chuvas.

Tabela 5: Classes de uso e ocupação do solo no município de Tumiritinga e suas respectivas áreas de abrangência

Classes de Uso	Área (ha)	Área (%)
Rio Doce	816	1,7
Aroeira	10.758	22,0
Mata Nativa	731	1,5
Solo Exposto /área urbana	3.434	7,0
Solo Exposto argiloso	231	0,5
Afloramento de Rocha	752	1,5
Pastagem manejada	14.014	28,7
Pastagem degradada	18.132	37,1
TOTAL	48869	100

A tabela 6 apresenta a matriz de confusão gerada a partir da tabulação cruzada entre o mapa temático produzido pela classificação automática da imagem Rapideye e os 247 pontos de validação coletados em campo com auxílio de GPS.

Tabela 6: Matriz de confusão da classificação da composição envolvendo todas as bandas multiespectrais de uma imagem do satélite Rapideye

CLASSE	CA	MA	MN	SE/AU	SEA	AR	PM	PD	Total	EU%
CA	9	0	0	0	0	0	0	0	9	100
MA	0	66	2	0	0	1	1	1	71	93
MN	0	4	12	0	0	0	4	0	20	60
SE/AU	0	0	0	18	0	0	0	0	18	100
SEA	0	0	0	2	3	0	0	0	5	60
AR	0	0	0	0	0	9	0	0	9	100
PM	0	3	0	4	0	0	49	12	68	72
PD	0	0	0	5	0	1	0	39	45	87
Total	9	73	14	30	3	11	54	52	247	--
EP%	100	90	86	60	100	82	91	75	--	--

Onde: CA=Corpos d'água; MA=monodominância de aroeira; MN= mata nativa; SE/AU=solo exposto e área urbana; SEA=solo exposto argiloso; AR=afloramento de rocha; PM=pasto manejado; PD=pasto degradado; EP= exatidão do produtor e EU=exatidão do usuário.

Analisando a matriz de confusão, observa-se que a classe temática aroeira foi pouco confundida e/ou omitida com outras classes temáticas de uso e ocupação do solo. Os maiores erros de omissão (quando um pixel é omitido de sua classe correta e é assinalado a outra classe) foram entre Mata Nativa (20% confundido com Pasto Manejado e 20% confundido com aroeira, Solo Exposto Argiloso e Pasto Manejado).

Os maiores erros de comissão (quando um pixel é erroneamente incluído a uma classe quando deveria ser assinalado a outra) ocorreram entre as classes Pasto Degradado e Solo Exposto/Área Urbana.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

As feições monodominadas por aroeira foram separadas das demais classes de uso do solo no município estudado com grande acurácia. Os resultados encontrados podem ter sido favorecidos pela baixa ocorrência de fragmentos de mata nativa no município. O percentual de mata nativa encontrado neste estudo (1,5%) é coerente com as informações obtidas do censo IBGE 2006. Como Mata Nativa e Aroeira são classes que apresentam características espectrais muito semelhantes, é importante validar o método de classificação aqui proposto em regiões que apresentem maior área recoberta por outras feições florestadas.

A acurácia do mapeamento temático da classe aroeira superou a acurácia do mapeamento global visto as confusões ocorridas principalmente entre as classes temáticas Pasto Manejado e Mata Nativa.

Com exceção da utilização das duas primeiras componentes principais e da composição RGB (Bandas 345), as diferentes composições de bandas utilizadas neste estudo apresentaram resultados semelhantes de índice Kappa quando avaliadas estatisticamente pelo teste z.

A utilização da banda *red edge* no cálculo do NDVI melhorou a capacidade do índice em separar feições vegetativas na paisagem, embora os resultados não tenham sido estatisticamente diferentes a exemplo do estudo de Schuster et al. (2010).

Os resultados permitem concluir que ambos os classificadores ofereceram grande eficiência durante o processo de classificação, apresentando na maioria das vezes valores para os coeficientes de avaliação Kappa e Kappa Condicional interpretados como “excelente” ($Kappa \geq 80$) pela literatura (Landis e Koch, 1977).

Embora as redes neurais tenham alcançado em algumas composições de bandas resultados que não diferiram estatisticamente dos obtidos pelo Maxver, recomenda-se utilizar o classificador Maxver, dado seu menor custo operacional. O treinamento das redes neurais demanda pré-processamento dos dados para reescalamento e grande número de tentativas para tentar aproximar de uma

solução ótima. É importante ressaltar que o processo de seleção das amostras de treinamento é um passo fundamental para o bom desempenho do Maxver. As amostras devem ser coletadas de forma a representar a diversidade espectral da classe a ser mapeada.

O mapa temático produzido pela classificação supervisionada de todas as bandas da imagem Rapideye, utilizando o algoritmo Maxver, atingiu índice Kappa de 80 e Kappa Condicional para a classe Aroeira de 90. As informações extraídas do mapa temático permitem indicar que 22% do município, 10.758 ha, está sob ocupação de áreas monodominadas por aroeira. Esta condição não retrata, para a região de estudo, o quadro anunciado de espécie ameaçada de extinção, no qual a aroeira hoje se encontra.

Uma análise geral do uso do solo mostra um município com um grave problema ambiental, onde a cobertura vegetal original foi reduzida para 1,5% da área do município dando lugar a pastagens degradadas (37%) e pastagens com algum grau de intervenção de manejo (28%).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Edital 26-2010) e à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Edital Universal 2010) pela concessão dos recursos financeiros utilizados na realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIAS

AMARAL, M.V.F.; SOUZA, A.L.; SOARES, V.P.; SOARES, C.P.; LEITE, H.G.; MARTINS, S.V.; FERNANDES, E.I.F.; LANA, J.M. Avaliação e comparação de métodos de classificação de imagens de satélite para o mapeamento de estádios de sucessão florestal. **Revista Árvore**. v.33, n.3, p.575-582, 2009.

BARUQUI, F. M. **Inter-relações solo-pastagem nas regiões Mata e Rio Doce do estado de Minas Gerais**. 1982. 119p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

CAMPBELL, J.B. **Introduction to remote sensing**. New York, The Guilford Press, 1987, 551p.

CHAGAS, C.S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros.** 2006. 238p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa

CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing Environmental.** v.37, n.1, p. 35 - 46, 1991.

FAVERO, C. **Uso e degradação dos solos na microregião de Governador Valadares Minas Gerais.** 2001. 68p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

FELIX, I.M.; KAZMIERCZAK, M.L.; ESPINDOLA, G.M. RapidEye: a nova geração de satélites de observação da Terra. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2009, Natal. **Anais.** Natal: INPE, 2009. p.7619-7622.

FITZPATRICK-LINS, K. Comparison of sampling procedures and data analysis for a land-use and land-cover map. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,** v.47, p.349 -366, 1981.

FRANÇA, M. M. Avaliação de classificações supervisionadas com redes neurais e maxver PR caracterização do uso da terra no município de Viçosa – MG. 2007. 66p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

HART, T.B.; HART, J.A.; MURPHY, P.G. Monodominant and species-rich forests of the humid tropics: causes for their co-occurrence. **The American Naturalist,** v.5, n.133, p.613-633, 1989.

HORNING, N.; ROBINSON, J.A.; STERLING, E.J.; TURNER, W.; SPECTOR, S. **Remote sensing for ecology and conservation.** Oxford: New York, 2010, p.451.

KAVZOGLU, T.; VIEIRA, C.A.O. An analysis of artificial neural network pruning algorithms in relation to land cover classification accuracy. IN: Proceedings of the remote sensing students conference. Oxford: UK, p. 53-58, 1998.
MCCOY, R.M. **Field methods in remote sensing.** New York: The Guilford Press, 2005, p.177.

MMA- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, **Instrução Normativa nº 06 de 23 de setembro de 2008.** Traz a lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção e com deficiência de dados, Brasília: Diário Oficial da União, 2008.

MOREIRA, M.A.; RUDORFF, B.F.T.; BARROS, M.A.; FARIA, V.G.C.; ADAMI, M. Geotecnologias para mapear lavouras de café nos estados de Minas Gerais e São Paulo. **Engenharia Agrícola,** v.30, n.6, p.1123-1135, 2010.

MURTA, R.O.; COELHO, F.M.G.; OLIVEIRA, F.P. **Impasses legais diante dos limites ambientais postos pela monodominância da aroeira na região do médio rio Doce/MG.** In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL, 14., 2010, São Paulo: **Anais.** São Paulo, 2010. p.153-162.

OLIVEIRA, F. P.; FREITAS, H. R.; COELHO, F. M. Monodominância de aroeira: distribuição espacial e relações pedológicas na região leste de Minas Gerais. In: SIMPÓS, 5., 2009, Viçosa. **Anais**. Viçosa: UFV, Pró Reitoria Pós Graduação, 2009, CD Rom.

PRADO, R.B.; FERREIRA, C.E.G.; BENITES, V.M.; NAUMOV, A. **Mapeamento e descrição do padrão de uso e cobertura da terra em municípios do sudoeste goiano a partir de imagens orbitais TM/Landsat-5**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009, 44p.

RAMIREZ, G.M.; ZULLO, J.J.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S. Comparação de dados dos satélites Ikonos-II e Landsat/ETM+ no estudo de áreas cafeeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.41, n.4, p.661-666, 2010.

TSO, B.; MATHER, P. **Classification methods for remotely sensed data**. Danvers: Taylor & Francis Group. 2009, p.317.

VALENTE, E.L. **Caracterização da intensidade de degradação do solo e da cobertura vegetal de uma área no médio Rio Doce, utilizando imagens IKONOS II**. 2005. 89p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

VIEIRA, J. L. **Relação entre atributos do solo e ocorrência da aroeira do sertão (*Myracrodruon urundeuva* Freire Allemao) na RPPN fazenda Bulcão, médio Rio Doce, MG**. 2008. 75p. Dissertação (Mestrado) - Centro Universitário de Caratinga.

VIEIRA, C.A.O. **Accuracy of remotely sensing classification of agricultural crops: a comparative study**. 2001. 353p. Tese (Doutorado) - Universidade de Nottingham.

SCHUSTER, C., FORSTER, M., KLEINSCHMIT, B. (2010): **Evaluation of the RapidEye red edge channel for improving land-use classifications**. IN: Kohlhofer, G., Franzen, M. (Hrsg.). 2010. Tagungsband Dreiländertagung OVG, DGPF und SGPF. 30. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. Technische Universität Wien, Österreich, 1.-3. Juli. Band 19. ISSN: 0942-2870.

Avaliação da utilização de imagens Landsat5-TM e RapidEye para o mapeamento de fragmentos florestais monodominados por aroeira

RESUMO - O presente trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de utilização de dados dos sensores remotos a bordo dos satélites Rapideye e Landsat-5 para mapeamento da monodominância da espécie florestal *Myracrodruon urundeuva*, localizada no município de Tumiritinga, Minas Gerais. Foi utilizado o método de classificação supervisionada de imagens através do algoritmo da maximaverossimilhança. Foram testadas 15 combinações envolvendo bandas, componentes principais e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) para a classificação da imagem Rapideye e 10 combinações envolvendo bandas, componentes principais e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) para a imagem do satélite Landsat TM-5. A avaliação dos mapas temáticos produzidos foi realizada através dos índices Kappa e Kappa Condicional para a classe de uso do solo “aroeira” e pela análise das matrizes de confusão. O melhor resultado encontrado para a classificação da imagem Rapideye apresentou índice Kappa igual a 80 e Kappa condicional 90. Para a imagem Landsat os índices Kappa e Kappa Condicional para a classe aroeira foram respectivamente 80 e 76. Através dos mapas temáticos produzidos observou-se que 22% (10.758 ha) do município de Tumiritinga se encontra sob ocupação da aroeira em monodominância. Pode-se concluir que as imagens Rapideye podem ser utilizadas para o mapeamento de grandes e médios fragmentos de aroeira, enquanto que as imagens Landsat TM-5 podem ser utilizadas para mapear grandes fragmentos.

Palavras chave: *Myracrodruon urundeuva*, Red edge, Maxver, NDVI, componentes principais,.

1. INTRODUÇÃO

O quadro de avançada degradação ambiental na região do médio rio Doce mineiro é atribuído por diversos autores à prática da pecuária extensiva, somada às interações edáficas, climáticas, geomorfológicas e antrópicas (BARUQUI, 1982; VALENTE, 2005; FAVERO, 2001). Como agravante da degradação na região, Vieira (2008) e Valente (2005) chamam a atenção para a expansão de fragmentos monodominados (HART et al., 1989) pela espécie florestal aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.).

Nas regiões onde a aroeira ocorre em monodominância, normalmente a formação de culturas anuais e/ou perenes é impossibilitada. Estas áreas estão intimamente relacionadas a processos erosivos do solo, e trazem consigo conflitos de ordem econômica e social (Rede CTI Rio Doce, 2009).

Um problema associado à monodominância de aroeira está relacionado ao fato da mesma constar na lista de espécies da flora brasileira ameaçada de extinção (MMA, 2008), mas ao mesmo tempo, manifestar comportamento expansivo e monodominante em algumas regiões de Minas Gerais.

Observa-se que o conflito no enquadramento jurídico e a falsa idéia de extinção da espécie na região do médio rio Doce, traz aos técnicos ambientais e aos demais operadores do direito insegurança no que tange a autorização para intervenção nestas áreas (MURTA et al., 2010), seja para a restauração dos ambientes degradados ou para a condução de sistemas produtivos.

Frente à necessidade de agilizar a obtenção e o processamento de informações atualizadas e detalhadas a respeito da distribuição espacial dos “aroeirais”, a utilização de técnicas de classificação supervisionada de imagens, aliadas aos produtos do Sensoriamento Remoto, podem contribuir ao estudo de áreas monodominadas por aroeira, permitindo identificar, mensurar e monitorar estes povoamentos.

No contexto de avaliação de produtividade, mensuração, identificação e monitoramento de áreas agrícolas e florestais, existem na literatura diversos trabalhos desenvolvidos com dados oriundos do satélite Landsat 5 (PRADO et al., 2009; MOREIRA et al., 2010; SOARES et al., 1998; RAMIREZ et al., 2010).

As imagens do sensor TM do satélite Landsat-5 são amplamente utilizadas em função, principalmente, da disponibilidade de dados em ampla escala temporal

(1984 até o presente), da distribuição gratuita de suas imagens e por suas características multiespectrais e temporais (ERVIDEIRA, 2006); a principal limitação é sua resolução espacial mediana de 30 metros.

Ao longo dos anos os sensores remotos evoluíram em escala crescente, principalmente no que diz respeito à resolução espacial, espectral e temporal (LIU, 2006). Em 2008 foram lançados satélites da constelação Rapideye, equipados com sensores multiespectrais com resolução espacial de cinco metros, que capturam imagens em cinco bandas espectrais, sendo 3 bandas na região do visível; a banda *Red-Edge* (0,69 - 0,73 μm) e uma banda no infravermelho próximo (0,76 – 0,85 μm) (FELIX et al., 2009; SCHUSTER et al., 2010). A banda Red Edge é sensível ao conteúdo de clorofila das plantas (SCHUSTER et al., 2010), e segundo estes autores, proporcionou ganhos na acurácia de classificação de florestas decíduas pelo algoritmo da maximaverossimilhança.

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de uso de dados de sensores remotos a bordo dos satélites Landsat TM-5 e Rapideye para o mapeamento de áreas monodominadas por *M. urundeuva*. O estudo também objetivou avaliar a contribuição de diferentes composições de bandas multiespectrais, do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), e da análise de componentes principais para a separação de feições monodominadas por aroeira na paisagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido no município de Tumiritinga, MG. A sede municipal está localizada no ponto de coordenadas 18°58'44'' Sul e 41°38'42'' Oeste. O município ocupa uma área de 489 km² com uma população de 6.169 habitantes e está inserido na mesorregião do Vale do Rio Doce, microrregião de Governador Valadares.

O município de Tumiritinga apresenta PIB *per capita* de 4.313 R\$/ano. O uso predominante do solo são pastagens severamente degradadas (VALENTE, 2005) e a área de mata nativa, excluindo-se as monodominâncias de aroeira, ocupa cerca de 2% do território municipal (IBGE, 2006).

O município está inserido no domínio dos Argissolos Vermelho Eutrófico, distribuídos desde o terço inferior até o topo dos morros. Entretanto, ocorrem

Neossolos Flúvicos Eutrófico nas baixadas e em alguns topos planos é comum a ocorrência de Latossolos. (BARUQUI, 1982).

As unidades geomorfológicas são caracterizadas por dissecação fluvial atuante nas rochas predominante granito-gnaissicas do embasamento cristalino (BARUQUI, 1982). Pela classificação de Köppen, o clima predominante na região é o Aw (tropical úmido-mega térmico), caracterizado por elevadas temperaturas e chuvas concentradas no verão, sendo a precipitação do mês mais seco inferior a 60 mm. O balanço hídrico da região mostra acentuado déficit hídrico (VALENTE, 2005).

O uso do solo e os estágios fitofisionômicos dos “aroeirais” sofrem grandes transformações sazonais e, portanto, apresentam características espectrais diferenciadas ao longo do ano. Assim, para a escolha da data de aquisição das imagens, optou-se pelo período posterior as chuvas na região, garantindo assim a ausência de nuvens e o vigor da vegetação. É importante salientar que a aroeira é uma espécie caducifólia que perde totalmente suas folhas após o período da chuva, e por isso, ocorre grande influência da superfície do solo na resposta espectral destes ambientes no período da seca.

Para este estudo foram adquiridas uma imagem Rapideye recobrimdo 100% do município e uma imagem Landsat TM-5 recobrimdo 96% do município, ambas sem a presença de nuvens. Uma porção leste do município se encontra na órbita/ponto 216/73 do satélite Landsat TM-5. Como esta região não possui imagens com as características requeridas para o presente estudo, optou-se por trabalhar na classificação da imagem Landsat TM-5, com a área do município reduzida.

A imagem Rapideye é referente a data de passagem 13/02/2010, e foi adquirida com as devidas correções radiométricas e geométricas. A imagem Landsat TM-5 foi obtida no *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (www.inpe.br), referente a órbita ponto 217/73 e foi imegeada em 06/05/2010. Para o georreferenciamento da imagem Landsat foram utilizados pontos de controle terrestres coletados a partir da imagem Rapideye. A análise estatística do erro médio quadrático foi utilizada para visualizar a exatidão de cada ponto controle.

Para a classificação supervisionada das imagens foi utilizado o algoritmo da Máxima Verossimilhança imlementado através da interface do software ArcGis 10. De acordo com Liu (2006), o algoritmo da Máxima Verossimilhança é o método de classificação supervisionada mais utilizado no processo de identificação de classes

temáticas. O algoritmo utiliza a média e a covariância das amostras de treinamento, para computar a probabilidade estatística de um *pixel* desconhecido pertencer a uma determinada classe. Depois da avaliação probabilística, o *pixel* é assinalado à categoria de maior probabilidade.

Para a definição das classes de uso e cobertura do solo levou-se em consideração as características de resposta espectral dos alvos de interesse, a observação em campo das formas de uso do solo predominantes no município e a capacidade das imagens orbitais utilizadas neste estudo em separar feições.

Foram definidas desta forma oito classes de uso para a imagem Rapideye (corpos d'água, aroeira, mata nativa, solo exposto/área urbana, solo exposto argiloso, afloramento de rocha, pasto manejado e pasto degradado) e seis classes de uso para a imagem Landsat (corpos d'água, aroeira, solo exposto/área urbana, pasto manejado, pasto degradado e sombra). Para a classificação da imagem Landsat-TM a classe Mata Nativa foi fundida à classe Aroeira, visto a grande confusão apresentada pelo classificador em separar tais classes a partir da imagem do sensor.

Uma vez definidas as classes de uso de solo a serem mapeadas, procedeu-se à seleção e coleta de amostras de treinamento. De acordo com McCoy (2005) e Tso e Mather (2009), este é o passo chave da classificação supervisionada. Para a definição do tamanho das amostras de treinamento foi utilizada a recomendação de Congalton (1999), extraindo-se no mínimo 75 amostras de treinamento por classe de uso do solo. Para as classes de maior interesse no estudo, foram coletadas em média 300 amostras de treinamento por classe, visto que as mesmas apresentam maior variabilidade espectral (McCOY, 2005).

A seleção das amostras de treinamento das classes Aroeira e Mata Nativa foram orientadas a partir de 158 pontos de controle terrestre coletados em campo, ao longo de todo o município, com uso de aparelho GPS de navegação. Para cada ponto de controle terrestre coletado, registrou-se a feição da paisagem com fotografias. Utilizando o software ArcGis 10, os pontos foram rotulados com cada classe de uso de solo observada.

Para a seleção das amostras de treinamento das demais classes de uso foi utilizada à interpretação visual somada à observações de campo, que possibilitaram a seleção e coleta das amostras fidedignas à realidade de campo de forma bem distribuída nas imagens. Foram gerados dois arquivos de treinamento, sendo um para a imagem Rapideye e outro para a imagem Landsat TM-5.

Para avaliar o grau de sobreposição de classes de uso nas amostras de treinamento foi utilizado o índice de separação de classes Jefferyes-Matusita definido por:

$$JM_{ij} = 2 * (1 - e^{-B_{ij}})$$

em que: B_{ij} é a distância de Bhattacharyya calculada a partir da expressão:

$$B_{ij} = \frac{1}{8} (M_i - M_j)^T \left(\frac{\Sigma_i + \Sigma_j}{2} \right)^{-1} (M_i - M_j) + \frac{1}{2} \left(\frac{\left| \frac{\Sigma_i + \Sigma_j}{2} \right|}{\sqrt{|\Sigma_i| |\Sigma_j|}} \right)$$

em que: M_i e M_j são os vetores das médias das classes i e j .

O valor de JM é calculado por par de classes. O índice varia em uma escala de 0 a 2. Se as classes i e j obtiveram um valor JM igual a 2, significa que as amostras são completamente distintas. Valores maiores que 1,5 expressam ótima separabilidade entre classes para fim de classificação (VIEIRA, 2001).

O último passo para a classificação propriamente dita das imagens foi a definição das combinações de bandas utilizadas como dado de entrada para geração do arquivo de assinatura espectral.

Para a classificação da imagem Landsat TM-5 e Rapideye, foram avaliadas diferentes composições envolvendo índice de vegetação, componentes principais e bandas multiespectrais, totalizando 10 combinações para Landsat e 15 combinações para Rapideye (Tabela 1). O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) foi utilizado como forma de se obter melhor diferenciação de feições para a análise de cobertura vegetal. O NDVI é calculado pela seguinte expressão:

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

em que: NIV= reflectância da faixa de infra vermelho (0,7 a 1,1 μm) e VIS= reflectância da faixa do visível (0,4 a 0,7 μm).

Tabela 1: Composições de bandas, índices de vegetação e componentes principais utilizadas para a classificação supervisionada de imagens Rapideye e Landsat TM-5

Rapideye	Landsat TM-5	μm	Bandas
Total	Total	0,44 - 2,35	1 2 3 4 5 RE
Total + NDVI	Total + NDVI	-	1 2 3 4 5 7 LS
Total + NDVI_edge	-	-	-
PCA 3	PCA 3	-	-
PCA 3 + NDVI	PCA 3 + NDVI	-	-
PCA 3 + NDVI_edge	-	-	-
PCA 2	PCA 2	-	-
PCA 2 + NDVI	PCA 2 + NDVI	-	-
PCA 2 + NDVI_edge	-	-	-
GRIV _p	GRIV _p	0,52 - 0,90	234 / 235
GRIV _p + NDVI	GRIV _p + NDVI	-	234 / 235
GRIV _p + NDVI_edge	-	-	234 / 235
RIV _p	RIV _p IV _m	0,63 - 1,75	345
RIV _p + NDVI	RIV _p IV _m + NDVI	-	345
RIV _p + NDVI_edge	-	-	345

RE= Rapideye; LS= Landsat-5; Total=composição envolvendo todas as bandas; PCA3 e PCA2=composição de três e duas componentes principais respectivamente; NDVI=índice de vegetação da diferença normalizada; NDVI_edge= índice de vegetação da diferença normalizada modificado. GRIV_p=composição de bandas correspondentes às regiões verde (G) vermelho (R) e infra vermelho próximo (IV_p) do comprimento de onda. RIV_p= composição de bandas correspondentes às regiões vermelho (R), e infra vermelho próximo (IV_p) do comprimento de onda.

Para calcular o NDVI da imagem Landsat foram utilizadas as bandas 4 (Infravermelho próximo) e 3 (Vermelho). Para cálculo do NDVI da imagem Rapideye foram utilizadas as bandas 5 (Infravermelho próximo) e 3 (vermelho). Para avaliar a contribuição da banda *red edge* da imagem Rapideye na separação de feições sob monodominância por aroeira, foi calculada uma adaptação do NDVI (NDVI_edge) utilizando as bandas 4 (0,65 – 0,73) e 3 (0,63 – 0,68) da imagem. Por não haver banda correspondente na imagem Landsat, o NDVI_edge foi avaliado somente quanto a contribuição para o coeficiente Kappa Condicional da classe “aroeira”.

As componentes principais foram extraídas para avaliar o efeito da correlação ou redundância espectral entre bandas individuais. Para tanto foi utilizada a matriz de covariância para gerar um conjunto de medidas denominadas autovalores e autovetores. Os autovalores representam as variâncias das componentes principais e os autovetores são coeficientes de transformação que definem a contribuição de cada banda original para uma componente principal, numa combinação aditiva e linear.

A verificação dos erros provenientes do processo de classificação e a avaliação da exatidão dos dados obtidos pelo mapeamento temático foram realizadas utilizando coeficientes extraídos a partir de matrizes de confusão. As matrizes de confusão foram geradas a partir do cruzamento de dados dos mapas temáticos com 247 pontos de validação coletados em campo com uso de GPS de navegação.

Para realizar a coleta dos pontos de validação, dado as dimensões geográficas do município de Tumiritinga e a conseqüente dificuldade de acesso a determinadas regiões, realizou-se a digitalização de todas as estradas vicinais do município a partir de interpretação visual da imagem Rapideye no software ArcGis 10.

Com o arquivo vetorial das estradas municipais gerado, criou-se um *buffer* de 200 metros ao longo das estradas, onde foram lançados de forma aleatória uma malha de 250 pontos. Estes pontos foram transferidos para um aparelho GPS que orientou o acesso ao ponto de validação e o registro da classe de uso do solo presente naquela localização.

A exatidão da classificação foi avaliada pelo índice Kappa. A avaliação de cada classe informacional, de forma particular, foi realizada calculando-se o índice Kappa condicional. A interpretação do nível de exatidão relacionada ao valor do índice Kappa foi feita de acordo com Landis e Kock (1977)

Para avaliar a significância estatística da diferença entre os valores de Kappa calculados, foi utilizado o teste z (CONGALTON, 1999) dado pela seguinte expressão:

$$z = \frac{K_2 - K_1}{\sqrt{S^2_{K_2} + s^2_{K_1}}}$$

em que: K_1 = índice Kappa da imagem 1; K_2 = índice Kappa da imagem 2; e s^2 = variância do índice Kappa.

O teste z para as os índices Kappa das classificações foi realizado a 95% de significância. Quando $z \geq 1,96$, o teste é significativo, rejeita-se a hipótese de

nulidade, podendo concluir que existe diferença estatística entre os valores calculados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os mapas temáticos gerados pela classificação supervisionada da imagem Landsat TM-5 apresentaram bons resultados pela interpretação do índice Kappa (Tabela 2), sendo que 80% das composições de bandas, índices de vegetação e componente principais apresentaram resultados tidos como “muito bom” (LANDIS e KOCK, 1977) e 20% interpretados como “excelentes” ($Kappa \geq 80$).

Tabela 2: Índice Kappa calculados a partir da classificação supervisionada pelo algoritmo da maximaverossimilhança das imagens Landsat TM-5 e Rapideye

COMPOSIÇÃO	Índice Kappa		z Kappa
	Landsat TM-5	Rapideye	
TOTAL	79	80	0,23
TOTAL + NDVI	77	78	0,22
PCA 3	80	76	0,91
PCA 3 + NDVI	79	80	0,23
PCA 2	70	62	1,57
PCA 2 + NDVI	77	75	0,44
RIV _p	80	65	1,2
RIV _p + NDVI	76	67	1,85
GRIV _p	76	75	0,22
GRIV _p + NDVI	70	80	2,15*

Onde: Total=composição de todas as bandas; PCA3=composição utilizando as três primeiras componentes principais da imagem; PCA2= composição utilizando as duas primeiras componentes principais da imagem; NDVI=índice de vegetação da diferença normalizada; GRIV_p=composição de bandas correspondentes às regiões verde (G) vermelho (R) e infra vermelho próximo (IV_p) do comprimento de onda. RIV_p= composição de bandas correspondentes às regiões vermelho (R) e infra vermelho próximo (IV_p) do comprimento de onda. z kappa = valor do teste estatístico z a 95% de probabilidade. *indica que o teste foi significativo a 95% de probabilidade pelo teste z.

Resultados semelhantes foram obtidos a partir da classificação supervisionada da imagem Rapideye, onde 70% das composições envolvendo bandas, índices de vegetação e componentes principais obtiveram valores de Kappa interpretados como “muito bom” e 30% obtiveram valores de Kappa interpretados como “excelentes” (Tabela 2).

Entre os melhores resultados da classificação supervisionada da imagem Landsat TM-5, avaliados pelo índice Kappa, destacam-se a composição das três

primeiras componentes principais (PCA 3) e a composição das bandas RIV_p . Os melhores resultados do índice Kappa para as imagens Rapideye foram as composições, Total, PCA 3 + NDVI e $GRIV_p$ + NDVI.

Nota-se que tanto para a imagem Landsat TM-5 quanto para a imagem Rapideye, o uso das duas primeiras componentes principais (PCA2), resultaram nos menores valores do índice Kappa para a classificação.

Mesmo considerando que as duas primeiras componentes principais detiveram mais de 90% da variabilidade dos dados (Figura 1), o acréscimo da terceira componente propiciou melhorias significativas nos resultados das classificações. As componentes principais 4 e 5 puderam ser descartadas pois acrescentaram pouca informação, na maioria ruídos. A utilização das três primeiras componentes principais possibilitou a redução da dimensão dos dados e evitou a redundância de informação, tanto para as imagens Landsat TM-5 quanto para Rapideye.

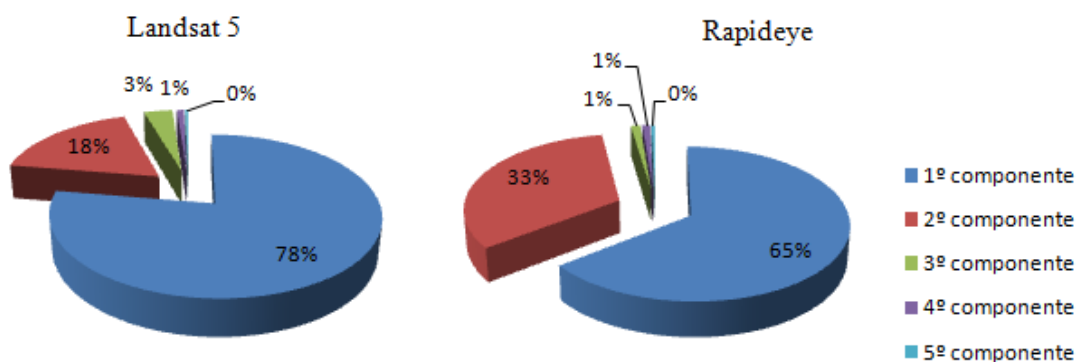


Figura 1: Percentual de variância contido nas componentes principais das imagens Landsat TM-5 e Rapideye.

Considerando que o presente estudo teve por objetivo principal o mapeamento das áreas monodominadas por aroeira no município de Tumiritinga, procedeu-se à análise do índice Kappa Condicional da classe Aroeira para definir qual a composição mais recomendada para a classificação visando o mapeamento da aroeira em monodominância.

Ao mesmo tempo em que se observa melhora generalizada nos valores do índice Kappa Condicional para a classe Aroeira, quando comparado ao índice Kappa,

para as classificações da imagem Rapideye, observa-se o inverso para as classificações da imagem Landsat TM-5 (Tabela 3).

Tabela 3 Índices Kappa Condicional para a classe Aroeira calculados a partir da classificação supervisionada pelo algoritmo da maximaverossimilhança das imagens Landsat TM-5 e Rapideye.

COMPOSIÇÃO	Landsat TM-5	Rapideye	z Kappa
TOTAL	74	90	2,25*
TOTAL + NDVI	73	86	1,98*
PCA 3	76	75	0,12
PCA 3 + NDVI	69	81	1,96*
PCA 2	69	67	0,23
PCA 2 + NDVI	66	86	2,59*
RIV _p	73	78	0,61
RIV _p + NDVI	69	72	0,35
GRIV _p	74	75	0,12
GRIV _p + NDVI	67	82	1,99*

Onde: Total=composição de todas as bandas; PCA3=composição utilizando as três primeiras componentes principais da imagem; PCA2= composição utilizando as duas primeiras componentes principais da imagem; NDVI=índice de vegetação da diferença normalizada; GRIV_p=composição de bandas correspondentes às regiões verde (G) vermelho (R) e infra vermelho próximo (IV_p) do comprimento de onda. RIV_p= composição de bandas correspondentes às regiões vermelho (R) e infra vermelho próximo (IV_p); z kappa= valor do teste estatístico z a 95% de probabilidade. *indica que o teste foi significativo a 95% de probabilidade pelo teste z

A composição das três primeiras componentes principais da imagem Landsat, manteve superioridade frente às outras composições, inclusive sobre a composição RIV_p, (RGB 345), muita utilizada por pesquisadores em estudos de vegetação. No entanto, a exatidão do mapeamento das áreas monodominadas por aroeira, realizado através das imagens Landsat, foi significativamente inferior ao mapeamento realizado através das imagens Rapideye (Tabela 4).

Para as composições da imagem Rapideye, o NDVI proporcionou ganho de informações e conseqüentemente permitiu maior separabilidade da classe temática Aroeira. O uso do índice de vegetação da diferença normalizada adaptado (NDVI_{edge}) condicionou aumento nos índices Kappa Condicionais para a classe Aroeira, quando comparado a utilização do NDVI (Figura 2).

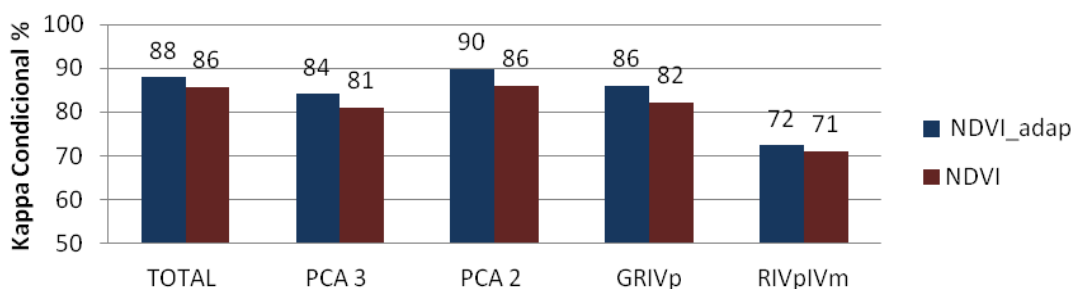


Figura 2. Resultados da classificação pelo algoritmo da maximaverossimilhança utilizando o NDVI e NDVI_edge, para imagem do satélite Rapideye.

No entanto, a diferença entre os valores de Kappa Condicional calculados com NDVI e NDVI_edge não foi significativa, a 95% de probabilidade, pelo teste z. Assim como observado por Schuster et al. (2010) a banda *red edge* apresenta sensibilidade para a distinção de vegetação arbórea e arbustiva na paisagem.

A tabela 4 apresenta as estatísticas do teste z para os valores do índice Kappa Condicional da classe Aroeira para a imagem Rapideye.

Tabela 4 Resultados do teste z para o índice Kappa Condicional da classe Aroeira, produzidos pela classificação das imagens Rapideye

CLASS	Total	Total NDVI	PCA 3	PCA 3 NDVI	PCA 2	PCA 2 NDVI	RIV _p	RIV _p NDVI	GRIV _p	GRIV _p NDVI
KAPPA	90	86	75	81	67	86	78	72	75	82
Total	21,27									
Total NDVI	0,62	17,52								
PCA 3	2,08*	1,44	12,86							
PCA 3 NDVI	1,29	0,67	0,74	14,53						
PCA 2	3,03*	2,38*	0,93	1,66	10,63					
PCA 2 NDVI	0,63	0,00	1,46	0,68	2,40*	17,93				
RIV _p	1,69	1,06	0,37	0,38	1,30	1,07	13,68			
RIV _p NDVI	2,40*	1,77	0,35	1,08	0,57	1,79	0,71	11,60		
GRIV _p	2,09*	1,45	0,00	0,75	0,93	1,46	0,37	0,35	12,92	
GRIV _p NDVI	1,18	0,56	0,89	0,13	1,83	0,56	0,52	1,23	0,89	15,55

Onde: Total=composição de todas as bandas; PCA3=composição das três primeiras componentes principais da imagem; PCA2= composição das duas primeiras componentes principais da imagem; NDVI=índice de vegetação da diferença normalizada; GRIV_p=composição de bandas correspondentes às regiões verde (G) vermelho (R) e infra vermelho próximo (IV_p) do comprimento de onda. RIV_p= composição de bandas correspondentes às regiões vermelho (R) e infra vermelho próximo (IV_p), Kappa.=índice kappa condicional da classe Aroeira, *índice que o teste o foi significativo a 95% de probabilidade pelo teste z.

Os resultados encontrados no presente estudo permitem indicar, para a imagem Landsat TM-5, a composição das três primeiras componentes principais (PCA3) como a melhor combinação de bandas para a classificação e mapeamento dos fragmentos florestais com monodominância de aroeira na região de estudo.

Quanto a imagem Rapideye, sugere-se a utilização da composição de todas as bandas (Total), visto que esta apresentou “excelente” resultado para o mapa temático produzido e “excelente” resultado para o mapeamento da classe temática “aroeira”. Embora outras composições apresentem resultados semelhantes, a composição de todas as bandas é recomendada pela maior praticidade e simplicidade de utilização visto que a mesma não passa por nenhum pré-processamento antes da classificação.

As figuras 3 e 4, apresentam respectivamente, os mapas temáticos produzidos a partir da classificação supervisionada, pelo algoritmo Maxver, da composição Total da imagem Rapideye e da composição PCA3 da imagem Landsat TM-5.

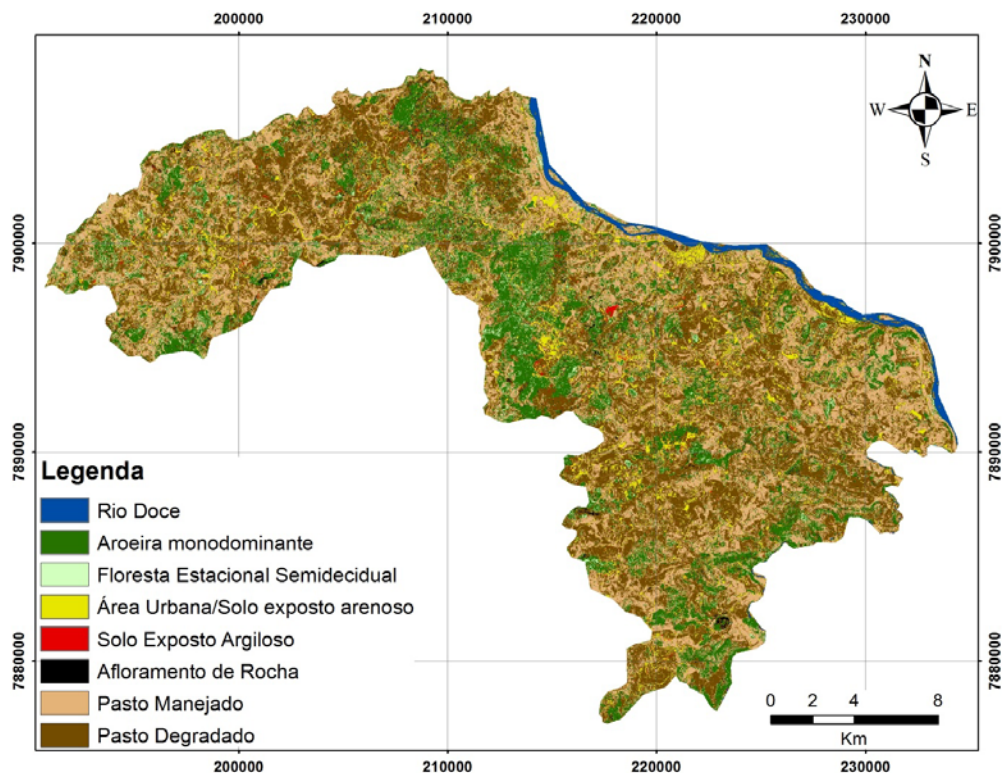


Figura 3: Mapa temático de uso e ocupação do solo do município de Tumiritinga-MG, produzido através da classificação supervisionada de todas as bandas multiespectrais do satélite Rapideye.

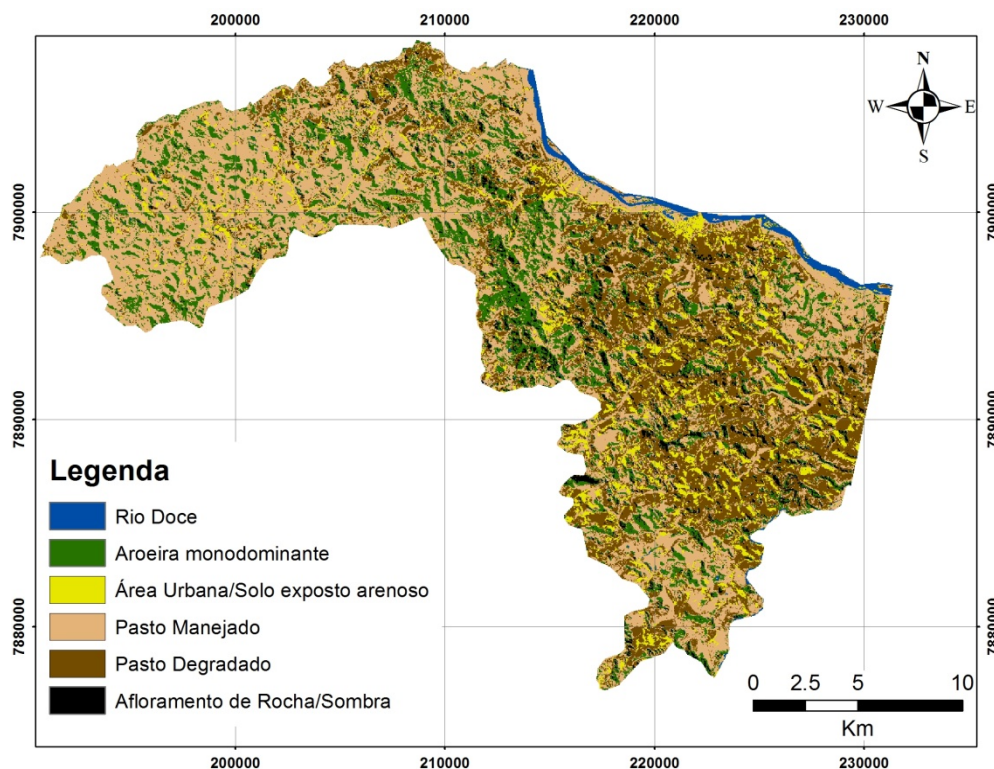


Figura 4: Mapa temático de uso e ocupação do solo do município de Tumiritinga-MG, produzido através da classificação supervisionada da composição das três principais componentes da imagem Landsat TM-5.

A tabela 5 apresenta a matriz de confusão gerada a partir da tabulação cruzada entre o mapa temático produzido pela classificação supervisionada de todas as bandas da imagem Rapideye (Total), e os 247 pontos de validação coletados em campo com auxílio de GPS de navegação.

Tabela 5: Matriz de confusão da classificação da composição envolvendo todas as bandas multiespectrais da imagem do satélite Rapideye

CLASSE	RD	MA	MN	SE/AU	SEA	AR	PM	PD	Total	EU%
RD	9	0	0	0	0	0	0	0	9	100
MA	0	66	2	0	0	1	1	1	71	93
MN	0	4	12	0	0	0	4	0	20	60
SE/AU	0	0	0	18	0	0	0	0	18	100
SEA	0	0	0	2	3	0	0	0	5	60
AR	0	0	0	0	0	9	0	0	9	100
PM	0	3	0	4	0	0	49	12	68	72
PD	0	0	0	5	0	1	0	39	45	87
Total	9	73	14	30	3	11	54	52	247	--
EP%	100	90	86	60	100	82	91	75	--	--

Onde: RD=Rio doce; MA=monodominância de aroeira; MN= mata nativa; SE/AU=solo exposto e área urbana; SEA=solo exposto argiloso; AR=afloramento de rocha; PM=pasto manejado; PD=pasto degradado; EP= exatidão do produtor e EU=exatidão do usuário.

A tabela 6 apresenta a matriz de confusão, gerada a partir da tabulação cruzada entre o mapa temático produzido pela classificação supervisionada das três principais componentes da imagem Landsat TM-5 e os 215 pontos de validação, coletados em campo, com auxílio de GPS de navegação.

Tabela 6: Matriz de confusão da classificação da composição envolvendo as três primeiras componente principais da imagem do satélite Landsat TM-5

CLASSE	RD	MA	SE/AU	PM	PD	SO	Total	EU%
RD	10	0	0	0	0	0	10	100
MA	0	66	0	6	1	6	79	84
SE/AU	0	0	18	0	0	0	18	100
PM	0	0	1	48	0	0	49	98
PD	0	0	10	7	36	0	53	68
SO	0	1	0	0	0	4	5	80
TOTAL	10	67	29	61	37	10	215	--
EP%	100	99	62	79	97	40	--	--

Onde: RD=Rio doce; MA=monodominância de aroeira; SE/AU=solo exposto e área urbana; PM=pasto manejado; PD=pasto degradado; SO=sombra; EP= exatidão do produtor e EU=exatidão do usuário.

Na classificação da imagem Rapideye, a confusão mais expressiva do classificador se deu ao separar as classes temáticas Aroeira (MA) e Mata nativa (MN) (Tabela 5). A maior confusão na classificação da imagem Landsat se deu entre as classes Aroeira (MA) e Sombra (SO) e Aroeira (MA) e Pasto manejado (PM) (Tabela 6).

As classes Aroeira e Mata Nativa apresentam características espectrais muito semelhantes sendo que a classificação da imagem Landsat não permitiu a separação entre estas classes. Portanto na seleção das mostras de treinamento para a classificação da imagem Landsat foi necessário fundir as classes de uso aroeira e mata nativa.

O percentual de mata nativa encontrado pela classificação da imagem Rapideye (2%) é coerente com as informações obtidas do censo IBGE 2006. Como Mata Nativa e Aroeira são classes que apresentam características espectrais muito semelhantes, torna-se necessário validar o método de classificação aqui proposto em regiões que apresentem maior área recoberta por outras feições florestadas.

Considerando a melhor classificação obtida pela imagem Rapideye, com a utilização de todas as 5 bandas (Total), foi possível extrair a informação de que cerca de 22% do município de Tumiritinga, aproximadamente 10.758 ha, se encontra sob ocupação da aroeira sob monodominância. O percentual de ocupação de aroeira

monodominante obtido do mapa temático produzido com a melhor classificação para a imagem Landsat-TM5 (PCA3) é de 20% do município.

4. CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida para aquisição dos pontos de validação garantiu a representatividade e confiança da avaliação das imagens temáticas geradas, com pontos distribuídos por toda a área mapeada.

A banda multiespectral *Red edge* do satélite Rapideye trouxe ganhos para a separação de feições vegetativas no processo de classificação supervisionada.

A classificação supervisionada da composição de todas as bandas da imagem Rapideye apresentou os melhores resultados para mapeamento do uso do solo e também para o mapeamento de fragmentos monodominados pela espécie florestal aroeira no município de Tumiritinga.

A classificação usando imagens Landsat TM-5 não conseguiu separar fragmentos de mata nativa de fragmentos sob monodominância de aroeira.

É recomendável que novos estudos sejam conduzidos para avaliar o potencial de utilização de imagens de sensores remotos para mapeamento da aroeira em monodominância em regiões que apresentem maiores áreas recobertas por outras formações florestais.

A espécie florestal aroeira ocupa cerca de 22%, ou 10.758 ha da área mapeada. Este dado expressa que para o município de Tumiritinga, MG a aroeira não se encontra em extinção.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Edital 26-2010) e à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Edital Universal 2010) pela concessão dos recursos financeiros utilizados na realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARUQUI, F. M. **Inter-relações solo-pastagem nas regiões Mata e Rio Doce do estado de Minas Gerais**. 1982. 119p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing Environmental**. v.37, n.1, p. 35 - 46, 1999.

ERVIDEIRA, A. **Classificação temática de imagens Landsat recorrendo ao software Ecognition**. 2006. 23p. Lisboa: Dissertação (Mestrado) Universidade de Lisboa.

FAVERO, C. **Uso e degradação dos solos na microregião de Governador Valadares Minas Gerais**. 2001. 68p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

FELIX, I.M.; KAZMIERCZAK, M.L.; ESPINDOLA, G.M. RapidEye: a nova geração de satélites de observação da Terra. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2009, Natal. **Anais**. Natal: INPE, 2009. p.7619-7622.

HART, T.B.; HART, J.A.; MURPHY, P.G. Monodominant and species-rich forests of the humid tropics: causes for their co-occurrence. **The American Naturalist**, v.5, n.133, p.613-633, 1989.

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

LIU, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto**, Campo Grande: UNIDERP, 2006, p.908.

MCCOY, R.M. **Field methods in remote sensing**. New York: The Guilford Press, 2005, p.177.

MMA- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, **Instrução Normativa nº 06 de 23 de setembro de 2008**. Traz a lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção e com deficiência de dados, Brasília: Diário Oficial da União, 2008.

MOREIRA, M.A.; RUDORFF, B.F.T.; BARROS, M.A.; FARIA, V.G.C.; ADAMI, M. Geotecnologias para mapear lavouras de café nos estados de Minas Gerais e São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.6, p.1123-1135, 2010.

MURTA, R.O.; COELHO, F.M.G.; OLIVEIRA, F.P. **Impasses legais diante dos limites ambientais postos pela monodominância da aroeira na região do médio rio Doce/MG**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL, 14., 2010, São Paulo: **Anais**. São Paulo, 2010. p.153-162.

PRADO, R.B.; FERREIRA, C.E.G.; BENITES, V.M.; NAUMOV, A. **Mapeamento e descrição do padrão de uso e cobertura da terra em municípios do sudoeste goiano a partir de imagens orbitais TM/Landsat-5**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009, 44p.

RAMIREZ, G.M.; ZULLO, J.J.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S. Comparação de dados dos satélites Ikonos-II e Landsat/ETM+ no estudo de áreas cafeeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.41, n.4, p.661-666, 2010.

REDE CTI RIO DOCE. **Desequilíbrio: A Invasão da aroeira no médio Rio Doce**, **Revista Águas do Rio Doce**. Disponível em <http://aguasdoriadoce.com.br/sitenovo/>. Acesso em: 15 set. 2009.

SCHUSTER, C., FORSTER, M., KLEINSCHMIT, B. (2010): **Evaluation of the RapidEye red edge channel for improving land-use classifications**. IN: Kohlhofer, G., Franzen, M. (Hrsg.). 2010. Tagungsband Dreiländertagung OVG, DGPF und SGPF. 30. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung.

SOARES, V.P.; BRITES, R.S.; RIBEIRO, C.A.A.S.; Avaliação da mudança da cobertura em áreas reflorestadas usando razão de bandas de imagens de satélite. **Cerne**. v.4, n.1, p.22-33, 1998.

TSO, B.; MATHER, P. **Classification methods for remotely sensed data**. Danvers: Taylor & Francis Group. 2009, p.317.

VALENTE, E.L. **Caracterização da intensidade de degradação do solo e da cobertura vegetal de uma área no médio Rio Doce, utilizando imagens IKONOS II**. 2005. 89p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

VIEIRA, C.A.O. **Accuracy of remotely sensing classification of agricultural crops: a comparative study**. 2001. 353p. Tese (Doutorado) - Universidade de Nottingham.

VIEIRA, J. L. **Relação entre atributos do solo e ocorrência da aroeira do sertão (*Myracrodruon urundeuva* Freire Allemao) na RPPN fazenda Bulcão, médio Rio Doce, MG**. 2008. 75p. Dissertação (Mestrado) - Centro Universitário de Caratinga.

CONCLUSÕES GERAIS

A estrutura horizontal e a análise florística de fragmentos florestais inventariados no município de Tumiritinga MG comprovam a ocorrência monodominante da espécie florestal aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All) na região de estudo. A monodominância de aroeira é caracterizada por baixa diversidade de espécies e dominância refletida em 96% dos indivíduos amostrados, 96% da área basal medida e 96% do volume total de madeira estocado.

Os solos avaliados sob os sistemas de monodominância de aroeira apresentaram características de alta degradação física, como baixa condutividade hidráulica, alta densidade de solo, baixo percentual de espaço poroso e elevada suscetibilidade à erosão. Já do ponto de vista da qualidade química, os solos sob os sistemas de monodominância de aroeira apresentaram altos teores de bases trocáveis, em especial Ca^{2+} e Mg^{2+} , alta capacidade de troca catiônica e baixas concentrações de Al^{3+} , que não representa riscos de toxidez às plantas.

O melhor mapa temático de uso e ocupação do solo do município de Tumiritinga foi produzido pela classificação supervisionada de todas as bandas da imagem Rapideye, utilizando o algoritmo Maxver, que atingiu índice Kappa igual 80 e Kappa Condicional para

a classe Aroeira igual a 90. Estes valores classificam um mapeamento como “excelente” pelos métodos usuais de avaliação de acurácia no sensoriamento remoto.

Uma análise geral do mapa temático de uso do solo produzido mostra um município com um grave problema ambiental, onde a cobertura vegetal original foi reduzida para 1,5% da área do município dando lugar a pastagens degradadas (37%) e pastagens com algum grau de intervenção de manejo (28%). Como agravante do quadro de degradação as informações extraídas do mapa temático permitem indicar que 22% do município, 10.758 ha, está sob ocupação de áreas monodominadas por aroeira.

Dado a dimensão que os povoamentos monodominados por aroeira ocupam na paisagem, as implicações que a monodominância da aroeira impõe sobre a biodiversidade, sob a conservação dos solos, e sob a sustentabilidade dos agroecossistemas locais, fazem-se necessários estudos complementares que busquem esclarecer os mecanismos edáficos e ecológicos envolvidos na manutenção e expansão das áreas monodominadas por aroeira. O conhecimento dos processos condicionantes deste sistema poderá subsidiar a elaboração de planos de manejo florestal sustentável que, conciliando a produção madeireira e não madeireira sejam capazes de aumentar a produtividade e a renda do produtor rural.

ANEXOS

Fotografias da monodominância de aroeira e seus impactos em Tumiritinga, MG



Foto 1 – Transição abrupta entre os sistemas Monodominância de aroeira e Pastagem.



Foto 2 – Aroeira em sua fase caducifólia recobrimdo feição.



Foto 3 – Aroeira em sua frente de expansão



Foto 4 – Uso do solo predominante em Tumiritinga: Pastagem e aroeira monodominante



Foto 5 – Susceptibilidade à erosão dos solos nos arceirais



Foto 6 – Corte clandestino de arceiral