

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA
Colegiado dos Cursos de Pós Graduação

**SISTEMA SILVIPASTORIL COM *Urochloa brizantha*
CV. MARANDU E *Pterodon emarginatus* –
SUCUPIRA BRANCA**

RODRIGO MARTINS ALVES DE MENDONÇA

**Belo Horizonte
Escola de Veterinária - UFMG
2014**

Rodrigo Martins Alves de Mendonça

**SISTEMA SILVIPASTORIL COM *Urochloa brizantha* CV. MARANDU E
Pterodon emarginatus - SUCUPIRA BRANCA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais
como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Zootecnia
Área de concentração: Produção Animal
Orientadora: Profa. Ângela Maria Quintão Lana
Co-orientador: Prof. José Pires Lemos Filho
Co-orientador: Prof. Iran Borges

**Belo Horizonte
Escola de Veterinária - UFMG
2014**

M539s Mendonça, Rodrigo Martins Alves de, 1966-
Sistema silvipastoril com *Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Pterodon emarginatus* – Sucupira Branca / Rodrigo Martins Alves de Mendonça. – 2014.
103 p. : il.

Orientadora: Ângela Maria Quintão Lana

Co-orientadores: José Pires Lemos Filho, Iran Borges

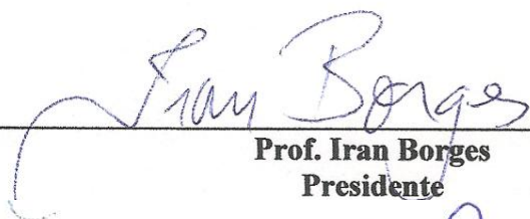
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária.

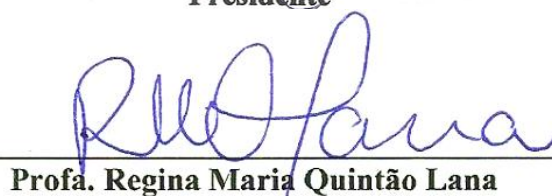
Inclui bibliografia

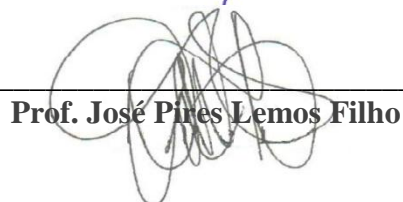
1. Pastagens – Teses. 2. Solos – Análise – Teses. 3. Gramínea forrageira – Teses.
4. Capim-braquiária – Teses. I. Lana, Ângela Maria Quintão. II. Lemos Filho, José Pires. III. Borges, Iran. IV. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. V. Título.

CDD – 633.2

Tese defendida e aprovada em 25 de fevereiro de 2014, pela Comissão constituída por:


Prof. Iran Borges
Presidente


Profa. Regina Maria Quintão Lana


Prof. José Pires Lemos Filho


Prof. Lúcio Carlos Gonçalves


Dr. José Avelino Santos Rodrigues


Prof. Guilherme Rocha Moreira

“E quanto mais leio e vivo e medito, mais perplexo a vida, a leitura e a meditação me põem. Tudo é mistério. A vida é só mistério. Tudo é e não é. Ou: às vezes é, às vezes não é.”

João Guimarães Rosa

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha esposa Maria Carmen e a minha filha Isabel que viveram na pele os percalços e me apoiaram durante todo o tempo desta caminhada. Ao meu pai, Adélio, que sempre esteve do meu lado e ao meu sogro, José Oswaldo, meu tutor e incentivador.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora da Aparecida por me iluminar por todo caminho.

Agradeço a minha família, Maria Carmen e Isabel que tiveram paciência e me apoiaram nos momentos difíceis.

Ao meu pai, Adélio e minhas irmãs Moema e Luciana que rezaram e sempre me apoiaram.

Ao meu sogro, Prof. José Osvaldo, que foi um grande exemplo, companheiro, revisor, conselheiro e um dos grandes responsáveis por seguir nesse caminho.

À minha orientadora Profa. Ângela e aos coorientadores Prof. Pires e Prof. Iran no apoio, paciência e orientação.

Aos proprietários da fazenda Campo Alegre, Amilton, Ana Paula e filhos que abriram as portas, apoiaram a pesquisa financeiramente e com trabalho, tempo e amizade. Ao Rafael e também aos funcionários que ajudaram muito em todo processo: Carlim e Japão.

À Exagro e todos os sócios que compreenderam e apoiaram o trabalho.

À PUC Betim que permitiu o uso das instalações do laboratório e de seus funcionários.

Ao LABAS – laboratório de análise de solos da Universidade Federal de Uberlândia por realizar as análises de solo.

À Prof. Regina Lana e Profa. Adriane Silva da UFU que ajudaram nas análises e revisões.

Ao Prof. Elias Borges pela ajuda com as análises físicas do solo.

Ao amigo e companheiro Thiago Zanforlin que foi fundamental nas coletas.

Aos alunos e companheiros que ajudaram muito na realização do experimento: Thales, João Neto, Rayanne, Nathália, Cléber, Carolina.

Ao Danilo Bastos que me ajudou muito com as análises estatísticas.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelos dados atmosféricos disponibilizados através do convênio nº D05/081/2008.

SUMÁRIO	
RESUMO	14
ABSTRACT	14
INTRODUÇÃO GERAL	16
Capítulo 1 – REVISÃO DE LITERATURA	17
1.1 – Sistemas Silvopastoris.....	17
1.2 – Características do solo.....	18
1.3 – Importância dos elementos meteorológicos.....	21
1.4 – Luz e índice de área foliar.....	22
1.5 – Características das gramíneas e árvores em sistemas integrados.....	24
1.6 – Estoque de carbono.....	29
1.7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
Capítulo 2 – CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL: ELEMENTOS METEOROLÓGICOS, ATRIBUTOS DO SOLO E GRAMÍNEA SOB ÁRVORES	37
RESUMO	37
ABSTRACT	37
2.1 – ELEMENTOS METEOROLÓGICOS	38
2.1.1 – INTRODUÇÃO.....	38
2.1.2 – MATERIAL E MÉTODOS	
2.1.2.1 – Localização.....	39
2.1.2.2 – Delineamentos, equipamentos, coleta e análises dos dados.....	42
2.1.3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
2.1.4 – CONCLUSÃO.....	52
2.1.5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
2.2 – ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO	
2.2.1 – INTRODUÇÃO.....	55
2.2.2 – MATERIAL E MÉTODOS	55
2.2.2.1 – Local de coleta de amostras de solo	55
2.2.2.2 – Amostragens sazonais até 40 cm de profundidade.....	59
2.2.2.3 – Amostragens até 140 cm de profundidade.....	60
2.2.2.4 – Amostragens indeformadas para análise física.....	60
2.2.3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
2.2.3.1. Atributos químicos do solo até 40 cm de profundidade nas mudanças das estações do ano.....	61
2.2.3.2. Atributos químicos do solo até 140 cm de profundidade.....	74
2.2.3.3. Atributos físicos do solo até 140 cm de profundidade.....	79
2.2.4 – CONCLUSÕES.....	80
2.2.5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
2.3 – CARACTERIZAÇÃO BROMATOLÓGICA E VALOR NUTRITIVO DE <i>Urochloa brizantha</i> CV. MARANDU SOB SOMBREAMENTO DAS ÁRVORES	
2.3.1 – INTRODUÇÃO.....	83
2.3.2 – MATERIAL E MÉTODOS	
2.3.2.1 – Pontos de coleta de amostras	83
2.3.2.2 – Delineamento experimental.....	84
2.3.2.3 – Análises laboratoriais	84
2.3.2.4 – Cálculos de extração de nutrientes.....	85
2.3.3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85

2.3.4 – CONCLUSÃO.....	88
2.3.5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
Capítulo 3 – ESTOQUE DE CARBONO NO SISTEMA SILVIPASTORIL	90
RESUMO	90
ABSTRACT	90
3.1 – INTRODUÇÃO.....	91
3.2 – MATERIAL E MÉTODOS	92
3.2.1 – Avaliação do estoque de carbono no solo.....	92
3.2.2 - Avaliação do estoque de carbono nas árvores.....	93
3.3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	
3.3.1 - Estoque de carbono no solo.....	96
3.3.2 - Estoque de carbono nas árvores.....	99
3.3.3 - Estoque de carbono no solo e árvores.....	99
3.4 – CONCLUSÃO.....	100
3.5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
CONSIDERAÇÕES FINAIS	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados meteorológicos do período experimental de acordo com a estação meteorológica do INMET de abril de 2011 a março de 2012, em Divinópolis, MG	45
Tabela 2: Radiações acima e abaixo do dossel e índice de área foliar de árvores sucupira em sistema silvipastoril, durante as quatro estações do ano (2011). Fazenda Campo Alegre, Itapecerica - MG	49
Tabela 3: Radiação fotossinteticamente ativa total e transmitida abaixo do dossel das árvores, luminosidade e nebulosidade, nas passagens de estações do ano (2011) determinadas pelo programa GLA de análise de fotos hemisféricas. Fazenda Campo Alegre, Itapecerica – MG	50
Tabela 4: Caracterização química da área experimental, SSP e PS, até 140 cm de profundidade. Fazenda Campo Alegre, Itapecerica - MG	57
Tabela 5: Caracterização física do solo da área experimental, SSP e PS, até 140 cm de profundidade. Fazenda Campo Alegre, Itapecerica - MG	58
Tabela 6: Atributos químicos do solo no início de cada estação do ano, em três profundidades e em dois sistemas: Silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS). Fazenda Campo Alegre, Itapecerica - MG	63
Tabela 7: Atributos químicos do solo no início de cada estação de 2011, em três profundidades e em dois sistemas: Silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS). Fazenda Campo Alegre, Itapecerica - MG	66
Tabela 8: Atributos químicos do solo (soma de bases, capacidade de troca cationica efetiva, capacidade de troca cationica, saturação de bases, saturação do alumínio) no início de cada estação do ano, em três profundidades e em dois sistemas: Silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS). Fazenda Campo Alegre – Itapecerica MG	67
Tabela 9: Teores médios anuais de cálcio, magnésio, soma de bases, capacidade de troca catiônica efetiva (t) e saturação de bases (V), nas três profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm) e nos dois sistemas, silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS). Fazenda Campo Alegre – Itapecerica MG	68
Tabela 10: Teores de Matéria Orgânica (MO), Potássio (K) e relação do K com a capacidade de troca catiônica (K/T%), em três profundidades, nas transições das quatro estações do ano e nos dois sistemas: silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS). Fazenda Campo Alegre, Itapecerica - MG	71
Tabela 11: Relação entre nutrientes em sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem solteira (PS) em quatro estações do ano (2011) e três profundidades. Fazenda Campo Alegre – Itapecerica, MG	72
Tabela 12: Relação entre nutrientes e a capacidade de troca catiônica em pH 7,0 (T) entre sistemas silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS), em três profundidades e quatro estações do ano (2011). Fazenda Campo Alegre – Itapecerica, MG	73
Tabela 13: Médias e desvios padrão de pH em água, matéria orgânica, carbono orgânico, Cu e Fe, variáveis que apresentaram diferenças entre sistemas em profundidades até 140 cm (2011). Fazenda Campo Alegre, Itapecerica - MG	75
Tabela 14: Atributos químicos do solo em profundidades até 140 cm (2011). Fazenda Campo Alegre – Itapecerica, MG	76
Tabela 15: Variáveis que apresentaram diferenças em profundidades até 140 cm. Fazenda Campo Alegre – Itapecerica MG	77

Tabela 16: Variação do cálcio entre sistemas e profundidades até 140 cm (2011). Fazenda Campo Alegre, Itapecerica - MG	78
Tabela 17: Atributos físicos do solo nos sistemas silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS) nas profundidades (Prof.) de 0-10, 10-20, 20-40, 40-100 e 100-140 cm. Fazenda Campo Alegre - Itapecerica MG	79
Tabela 18: Análise bromatológica do capim braquiarião nos sistemas silvipastoril e pastagem solteira na mudança das estações do ano 2011 - Fazenda Campo Alegre - Itapecerica MG	86
Tabela 19: Teores de matéria seca do capim braquiarião nos sistemas silvipastoril e pastagem solteira na mudança das estações do ano 2011 - Fazenda Campo Alegre - Itapecerica MG	87
Tabela 20: Nutrientes extraídos (kg ha^{-1}) em cortes frequentes rente ao solo em sistemas silvipastoril e pastagem solteira, nas quatro estações do ano 2011. Fazenda Campo Alegre, Itapecerica MG	88
Tabela 21: Teores de carbono orgânico (CO) e matéria orgânica (MO), e o estoque de C em toneladas por ha, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40cm, nas mudanças das estações, nos sistemas silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS). Fazenda Campo Alegre – Itapecerica MG	97
Tabela 22: Teores de carbono orgânico (CO), e o estoque de C em t por ha, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-100 e 100-140 cm, nos sistemas silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS). Relações entre o CO e o estoque de C entre os sistemas. Fazenda Campo Alegre – Itapecerica MG	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Zoneamento Climático do campo experimental (seta) de acordo com o sistema de classificação climática de Köppen. Fonte: Sá Júnior, 2009	41
Figura 2: Normais climatológicas (1975-1990) de Divinópolis - MG. Fonte: Somar Meteorologia, 2013	42
Figura 3: Lente “olho de peixe”(a) e fotografias dividida radialmente em anéis (b) e em preto e branco (c). Fazenda Campo Alegre, Itapecerica – MG, 2011. Fonte: arquivo pessoal	43
Figura 4: Climatologia do período experimental conforme dados coletados pela estação meteorológica de Divinópolis – abril de 2011 a março de 2012	44
Figura 5: Fotoperíodo médio diário (horas), insolação média diária (horas) e nebulosidade (décimos por dia). Fonte: estação meteorologica do INMET em Divinópolis – MG, 2012	47
Figura 6: Evaporação, temperatura máxima, horas de sol no dia e insolação. Fonte: estação meteorologica do INMET 2012	47
Figura 7: Evaporação, horas de sol no dia e insolação. Fonte: estação meteorologica do INMET 2012	48
Figura 8: Balanço hídrico do solo durante o período experimental (março 2011 = M3 a março 2012 = M1), segundo método de Thornthwaite e Mather (1955). Fonte: estação meteorologica do INMET Divinópolis, MG 2012	49
Figura 9: Distribuição dos pontos de amostragem de solo na área SSP (quadrados) e PS (losangos). Fazenda Campo Alegre, município de Itapecerica – MG. Fonte: Google Earth (2010) e georreferenciamento das gaiolas por meio de GPS Garmin GPSMAP 60CSx®.	59

Figura 10: retirada do cilindro volumétrico (tipo Uhland) de amostras indeformadas para determinação da densidade do solo. Fazenda Campo Alegre, município de Itapecerica – MG, 2013. Fonte: arquivo pessoal	61
Figura 11: Variação do P (a) e Al (b) em profundidade até 140 cm. Letras minúsculas distintas diferem entre si (Tukey $p < 0,05$). Fazenda Campo Alegre, município de Itapecerica – MG	76
Figura 12: Variação dos teores de cálcio nos sistemas silvipastoril e pastagem solteira nas profundidades 0-10, 10-20, 20-40, 40-100 e 100-140 cm. Fazenda Campo Alegre, Itapecerica – MG	78
Figura 13: Distribuição aleatória das gaiolas de 1x1x1 m no campo experimental. Fazenda Campo Alegre, município de Itapecerica – MG. Fonte: arquivo pessoal	84
Figura 14: Identificação das árvores medidas e medição do perímetro na altura do peito. Fazenda Campo Alegre, município de Itapecerica – MG. Fonte: arquivo pessoal	93
Figura 15: Medição da altura de árvores utilizando-se um smartphone Samsung S4 e um aplicativo Smart Measure. Fazenda Campo Alegre, município de Itapecerica – MG. Fonte: arquivo pessoal	94
Figura 16: Localização, georreferenciamento e contagem das árvores no campo experimental. Fazenda Campo Alegre, município de Itapecerica – MG. Fonte: fotos Google Earth, 2013	95
Figura 17: Transecto para medição da altura e DAP. Fazenda Campo Alegre, município de Itapecerica – MG. Fonte: fotos Google Earth, 2013	96

LISTA DE ABREVIATURAS

Al	Alumínio
°C	Graus Célsius
C	Carbono
C ₃	Plantas que utilizam o ciclo de Calvin-Benson para fotossíntese
C ₄	Plantas que utilizam o ciclo de Hatch-Slack para fotossíntese
Ca	Cálcio
CH ₄	Metano
CO	Carbono orgânico
COS	Carbono orgânico do solo
CO ₂	Dióxido de carbono
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
EUA	Estados Unidos da América
GEE	Gases de efeito estufa
H	Hidrogênio
ha	Hectare (10.000 m ²)
IAF	Índice de área foliar
ILPF	Integração lavoura-pecuária-floresta
K	Potássio
Mg	Magnésio
MJ	Mega Joule
mm	Milímetros cúbicos de precipitação
MM	Matéria mineral
Mn	Manganês
MO	Matéria orgânica
MOS	Matéria orgânica do solo
N	Nitrogênio
nm	Nanômetro (1x10 ⁻⁹ m)
NO ₃ ⁻	Nitrato
P	Fósforo
PB	Proteína bruta
Pg	Petagrama (10 ¹⁵ g = 10 ⁹ t)
ppb	Parte por bilhão
ppm	Parte por milhão
RFA	Radiação fotossinteticamente ativa
RFAdir	Rad. fotoss. ativa direta
RFAdif	Rad. fotoss. ativa difusa
RFA _t	Rad. fotoss. ativa total
RFA _t dir	Rad. fotoss. ativa transmitida direta
RFA _t dif	Rad. fotoss. ativa transmitida difusa
RFA _t at	Rad. fotoss. ativa transmitida total
S-SO ₄ ⁼	Enxofre
SAF	Sistemas agroflorestais
SNK	Student Newman Keuls
SSP	Sistema silvipastoril
t	Tonelada métrica
W	Watt
Zn	Zinco

SISTEMA SILVIPASTORIL COM *Urochloa brizantha* CV. MARANDU E *Pterodon emarginatus* - SUCUPIRA BRANCA

RESUMO

O objetivo do trabalho foi observar e descrever aspectos relacionados ao clima, forrageira, arbórea e características de solo, num período de um ano, em sistema silvipastoril com pastagem de capim braquiarião (*Urochloa brizantha*) e árvores leguminosas de sucupiras brancas (*Pterodon emarginatus*), localizado na fazenda Campo Alegre, município de Itapeçerica, Minas Gerais. A área experimental possuía 61 ha dividida em 26 ha de pastagem solteira (25 árvores por ha dispersas pela pastagem) e 35 ha de sistema silvipastoril (156 árvores por ha), estabelecidos a mais de 30 anos por desmatamento do cerrado e roçadas seletivas sem a utilização de corretivos ou fertilizantes. Foram feitas, em todas as mudanças de estação do ano, medição de radiação fotossinteticamente ativa e índice de área foliar, além de análises químicas de solo e análises bromatológicas de capim. As estações influenciaram a radiação fotossinteticamente ativa em áreas a pleno sol e sombreadas por árvores e o índice de área foliar no sistema silvipastoril. Houve incongruência de recursos nas estações do ano: quando havia umidade e calor no verão, a quantidade de luz transmitida à gramínea sob as árvores sofreu efeitos do maior IAF das arbóreas e maior nebulosidade. Quando havia maior passagem de luz pelas árvores e a insolação diária pela menor nebulosidade era maior no inverno, faltavam umidade e temperatura. O critério tolerância ao sombreamento não pode ser considerado isoladamente na escolha da forrageira a ser utilizada em um sistema silvipastoril. A radiação fotossinteticamente ativa transmitida abaixo das árvores correspondeu em média 69% da RFA total ao longo do ano. Isso correspondeu a uma produção de 65% de matéria seca do capim em relação à área a pleno sol. Concluiu-se que o sistema silvipastoril traz benefícios na utilização da terra, melhorando características de solo, físicas, químicas e biológicas, aumentando a produtividade sistêmica (animal e vegetal), no entanto, requer ajustes de fertilidade de solo pela maior extração de alguns nutrientes e carga animal pela menor produção das gramíneas em ambientes sombreados.

Palavras-chave: sistema silvipastoril, *Urochloa brizantha*, capim braquiarião, *Pterodon emarginatus*, sucupira branca, radiação fotossinteticamente ativa, índice de área foliar, análise físico-química do solo, carbono orgânico

SILVOPASTORAL SYSTEM WITH *Urochloa brizantha* CV. MARANDU AND *Pterodon emarginatus* - SUCUPIRA BRANCA

ABSTRACT

The objective of this work was to observe and describe aspects related to climate, pasture, trees and soil characteristics over a year period of a silvopastoral system with signal grass (*Urochloa brizantha*) and leguminous trees of Sucupiras Brancas (*Pterodon emarginatus*), located at Campo Alegre Ranch in Itapeçerica county, Minas Gerais state, Brazil. The experimental area had 61 ha divided in two: 26 ha of sole pasture (25 trees per ha scattered in the pasture) and 35 ha of silvopasture (SPS) (156 trees per ha). This system was established more than 30 years ago by putting down most of the cerrado vegetation and selecting the sucupira trees during pasture clearings. The area, therefore, did not receive any amendment nor fertilizers. At each season change (equinoxes and solstices) solar radiation data, soil and

pasture samples were collected. Seasons influenced photosynthetic active radiation (PAR) in both areas and the leaf area index (LAI) in the SPS. There was an incongruence of resources among seasons of the year: when there were humidity and heat during summer, the amount of light transmitted under the canopies to the pasture diminished due to the LAI of the trees and cloudiness of the weather. When there was more light passing through the trees and less cloudiness during the winter, there was lack of humidity and temperature. Tolerance to shade criteria can not be used separately when choosing the grass to a silvopastoral system. PAR under the canopies represented 69% of total PAR during the year and allowed the pasture under the trees to produce 65% of the dry matter production of the non-shaded pasture. It was possible to conclude that silvopastoral system might bring benefits to land usage, improving physical, chemical and biological characteristics of the soil, enhancing holistic productivity (animal and vegetation), however, soil fertility and animal concentration demand adjustments because of nutrient extraction and lower pasture production under trees.

Key words: silvopastoral system, *Urochloa brizantha*, signal grass, *Pterodon emarginatus*, sucupira branca, photosynthetic active radiation, leaf area index, physical-chemical soil analysis, organic carbon

INTRODUÇÃO GERAL

O objetivo dessa tese foi observar e descrever aspectos relacionados ao clima, forrageira, arbórea e características de solo, num período de um ano, em sistema silvipastoril com pastagem de capim braquiarião (*Urochloa brizantha*) e árvores leguminosas de sucupiras brancas (*Pterodon emarginatus*), localizado na fazenda Campo Alegre, município de Itapeçerica, Minas Gerais. A área experimental possuía 61 ha dividida em pastagem solteira (26 ha) e silvipastoril (35 ha) que foram estabelecidos a mais de 30 anos por desmatamento do cerrado e roçadas seletivas. A grande densidade das árvores (mais de 150 árvores/ha) e o fato da área nunca ter sido corrigida ou adubada, chamaram a atenção para se verificar como essa integração perdurou no tempo e como as informações extraídas podem contribuir com a implantação e manutenção de outros sistemas agroflorestais. Nessa mesma área já havia sido realizado o trabalho de mestrado, quando foram examinados o desempenho produtivo de novilhas girolando em recria e a carga parasitária de helmintos. Não foram encontradas diferenças em nenhum dos critérios analisados, quando se esperava que houvesse maior carga parasitária e menor peso e ganho de peso no sistema silvipastoril em relação à pastagem solteira, com a mesma carga animal para as duas áreas de pastagem.

O sistema silvipastoril é uma das formas de exploração do solo do sistema agroflorestal e é composto pela integração de animais, pastagens e árvores numa otimização do uso da terra. O conhecimento dos fatores e características relacionados ao sistema silvipastoril, certamente poderão contribuir para escolha, melhoramento e aumento de produção de gramíneas e plantas forrageiras que auxiliarão na alimentação e suporte dos animais nesses sistemas. As alterações nos atributos de solo também são fundamentais no melhor entendimento desses sistemas integrados.

A hipótese desenvolvida para esse trabalho é de que os sistemas silvipastoris trazem benefícios na utilização da terra, melhorando características de solo, físicas, químicas e biológicas, aumentando a produtividade sistêmica (animal e vegetal).

Capítulo 1 - REVISÃO DE LITERATURA

1.1 – Sistemas Silvistoris

O sistema silvistoril (SSP) é um tipo de prática agroflorestal que combina árvores, forrageiras e arbustos com criação animal. É popular tanto nos trópicos quanto nas regiões temperadas. Existem, basicamente, duas formas principais de silvistoril: pastejo direto e corte-fornecimento de volumoso. No pastejo, árvores são plantadas espaçadamente de forma a permitir o desenvolvimento e crescimento do capim que é pastejado pelos animais. Nos sistemas de produção de volumoso, fornece-se em cocho aos animais, material colhido de áreas onde são produzidas espécies arbóreas e arbustivas específicas para corte (Nair, 1993; Nair et al., 2008; Kiptot e Franzel, 2012). Acredita-se que o SSP ocupa 450 milhões de ha no mundo (Nair, 2012). A maior parte dos SSP são grandes áreas de pastejo extensivo em vegetação nativa com árvores espalhadas naturalmente em várias partes do mundo principalmente nas áreas semiáridas e áridas. O corte e fornecimento no cocho é a forma mais intensiva dos SSP e é uma prática muito comum entre pequenos produtores (Kiptot e Franzel, 2012). O pastejo em SSP tem sido reconhecido como manejo ambientalmente desejado em áreas de pastagens degradadas em países desenvolvidos (Rigueiro-Rodriguez et al., 2008; Garret, 2009). Sistemas de pastejo mais intensivo onde pastagens são plantadas juntamente com árvores e os pastos são cercados e o gado manejado, tem sido praticado na América Latina (Somarriba et al., 2012) e principalmente na região de cerrado no Brasil (Nair et al., 2011).

As pesquisas com sistemas silvistoris na região sudeste do Brasil iniciaram-se no final da década de 70 e ficaram concentradas principalmente no Estado de Minas Gerais, onde se encontra a maioria das atividades de reflorestamento com *Eucalyptus* spp. Nesse período, iniciou-se o aproveitamento do sub-bosque das áreas reflorestadas com eucalipto. A vegetação espontânea do sub-bosque destes reflorestamentos era considerada indesejável devido ao fato de competirem com as árvores de eucalipto por água e nutrientes, dificultarem o controle de formigas cortadeiras e, ainda, de serem propagadoras de fogo. Desta forma, procurou-se controlar a vegetação do sub-bosque destes reflorestamentos por meio do pastejo, de modo a reduzir os gastos com mão de obra e herbicidas e, ainda, obter uma receita adicional com a venda dos animais (Garcia e Couto, 1997).

Destaca-se também a importância dos SSP na mitigação dos GEE produzidos pelos ruminantes tanto pela respiração (CO₂) quanto nos processos ruminais fermentativos (CH₄). O Metano tem equivalência de 23 a 25 vezes o CO₂ por sua maior capacidade de absorção de

raios infravermelhos de maior efeito estufa (IPCC, 2007). Dependendo da quantidade e qualidade das biomassas das arbóreas e gramíneas produzidas, da produção de raízes e adição de resíduos (esterco), esses sistemas são capazes de não só zerar os efeitos da criação animal mas somar créditos na mitigação da mudança climática (Smith et al., 2008).

A quantidade de C sequestrado nos SSP depende muito da quantidade e qualidade da biomassa produzida pelos componente arbóreo e não arbóreo do sistema e das propriedades do solo, tais como estrutura e agregados. Howlett et al. (2011) relataram maior armazenamento de C no solo sob a copa (15 m de raio do tronco) de carvalhos (*Quercus suber* L.) no sistema Dehesa (3 milhões ha região mediterrânea da Europa). Em SSP no sul dos Estados Unidos, Haile et al. (2010) relatou que plantas C_3 (árvores), em profundidade no solo, contribuíram com frações de C mais estável (em partículas de solo silto-argilosos) do que plantas C_4 (gramíneas de verão).

Outros benefícios adicionais dos SSP estão ligados a melhoria da qualidade da água (Nair e Graetz, 2004; Michel et al., 2007), conservação do solo, estética rural (ecoturismo), sombreamento e conforto animal (Garret, 2009).

1.2 – Características do solo

O cerrado brasileiro ocupa um quarto do território nacional (200 milhões de ha), o que corresponde ao tamanho do México. Graças a determinação de pesquisadores e apoio de instituições de pesquisa para seleção de variedades de cereais e gramíneas nos últimos 30 anos, fez-se com que os solos ácidos e pobres se tornassem responsáveis por mais de 40% da produção de soja e carne, 20% do arroz, milho e café e 10% do feijão, mandioca e cana de açúcar produzidos atualmente no Brasil. Estima-se que 70% da área do cerrado seja agricultável, no entanto, apenas 5% da área é usada com agricultura e 17% com pastagens plantadas (Marques et al., 2013). Lopes e Guilherme (2007) descreveram os níveis médios dos principais componentes dos solos de cerrado como sendo: pH em água igual a 5,0 (considerado ácido), cálcio trocável igual a $0,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, magnésio trocável igual a $0,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, potássio trocável igual a $0,08 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, fósforo trocável igual a $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$, matéria orgânica igual a $2,2 \text{ dag kg}^{-1}$, e capacidade de troca catiônica (CTC) igual a $1,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, além de níveis tóxicos de alumínio trocável para a maioria das culturas. A toxidez causada por Al afeta cerca de 63% de toda a área de solos do Brasil e 25% do território brasileiro apresenta solos com elevada capacidade de fixação de P (Bot et al., 2000).

Os solos do cerrado são constituídos pelos sesquióxidos de ferro e alumínio: a hematita, goetita e gibsitita (sesquióxido de Al). O principal solo que compõe esse bioma é o Latossolo com 46% da área. Os Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos ocupam 22% da área do cerrado, constituído pela Goethita, óxido de ferro responsável pela coloração amarela e Hematita, responsável pela cor vermelha. São solos ácidos, com baixa fertilidade natural, profundos, muito bem drenados, homogêneos, altamente intemperizados e pobres em nutrientes pela alta lixiviação de bases (K, Ca e Mg) (Ruggiero et al., 2002).

De acordo com Lopes e Guilherme (2007), estimativas de que, no Brasil, causas antrópicas de exaustão de nutrientes do solo, pela retirada das culturas, maiores do que adições via adubação, provocam um déficit anual médio de 25 a 35 kg ha⁻¹ de N + P₂O₅ + K₂O, ou seja, retira-se mais do que se repõe. Levantamento do World Soil Information, estimou que cerca de 240 milhões de hectares de solos no mundo (área equivalente à região dos cerrados brasileiros) estão comprometidos no que diz respeito à sua integridade química, o que está ligado, dentre outros fatores, à deficiência de nutrientes, a qual representa a maior causa de degradação química dos solos no mundo, atingindo cerca de 136 milhões de hectares (dos quais 68 milhões de hectares localizam-se na América do Sul) (Oldeman et al., 1991).

A erosão é a maior causa de degradação de solos no mundo, que tem consequências, às vezes permanentes, sobre a fertilidade dos solos. A exaustão de nutrientes dos solos também é causa de erosão, visto que reduz a cobertura vegetal e, com isso, a resistência do solo à erosão. A erosão atinge cerca de 13% da superfície do planeta, segundo estudos do World Soil Information, afetando cerca de 1,65 bilhão de hectares de terra que se encontram degradados em todo o mundo (Oldeman, 2000). O pior aspecto da queda de fertilidade do solo causada pela erosão é que, ao contrário da exaustão causada por extração de nutrientes em taxa maior que a reposição ou da baixa fertilidade por causas naturais, as quais podem ser recuperadas de maneira simples, a erosão resulta, algumas vezes, em degradação de difícil recuperação ou até mesmo em dano irreparável à capacidade produtiva do solo (Lopes e Guilherme, 2007).

Um dos piores aspectos da erosão e que afeta grandemente a fertilidade dos solos é a perda da matéria orgânica do solo (MOS). Isto é particularmente relevante em solos altamente intemperizados, localizados na região tropical, como é o caso de extensas áreas do Brasil. A MOS pode ser considerada o indicador mais simples e entre os mais importantes para se medir a qualidade do solo e, conseqüentemente, dos agroecossistemas. Alguns efeitos benéficos que a MOS proporciona são: i. estabilização e agregação de partículas de solo, reduzindo a erosão; ii. fonte de C e energia para os microrganismos do solo; iii. melhoria do

armazenamento e fluxo de água e de ar no solo; iv. armazena e provê nutrientes como N, P e S; v. mantém o solo menos compactado; vi. retém C da atmosfera e de outras fontes; vii. retém nutrientes como Ca, Mg e K, pois a MO aumenta a CTC do solo; e viii. serve para reduzir possíveis efeitos ambientais negativos decorrentes de uso inadequado de pesticidas ou de disposição de poluentes no solo (Nair, 2012).

A matéria orgânica do solo desempenha um papel central na regulação da produtividade vegetal nas regiões tropicais. Os processos de decomposição e mineralização dos resíduos vegetais são responsáveis pela principal fonte de nutrientes para as plantas nos ecossistemas naturais e nos agroecossistemas introduzidos e raramente fertilizados (Sanchez et al., 1989). Fernandes et al. (2007) relataram que tanto as pastagens nativas como as pastagens cultivadas na região do Pantanal Mato-Grossense não recebem nenhum tipo de adubação, sendo que a manutenção de níveis satisfatórios de produção depende dos nutrientes naturalmente liberados no solo pelos processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo. Nessa situação, a manutenção de níveis satisfatórios de produção depende da produtividade primária do ecossistema, a qual está intimamente relacionada com a dinâmica dos ciclos biogeoquímicos, principalmente os ciclos do carbono e nitrogênio. Alterações na temperatura, umidade, aeração, absorção e lixiviação, observadas no solo como consequência do cultivo (Sanchez, 1976), além da destruição completa da liteira original, modificam a distribuição e a atividade da fauna e microbiota do solo (Cerri et al., 1985), influenciando assim o tempo de residência do carbono orgânico (CO) armazenado no solo. A diminuição dos valores de adição anual de CO devido ao cultivo combinada com as altas taxas de decomposição, características das regiões tropicais, ocasionam um declínio do seu teor, antes em equilíbrio com a vegetação nativa. Detwiller (1986) estimou uma perda no conteúdo de C de 40% no caso do uso do solo com culturas, e uma perda de 20% no caso de uso com pastagens. Alguns estudos em solos tropicais mostram que, entre diversas áreas desmatadas e cultivadas com pastagens, algumas apresentaram aumento (Teixeira e Bastos, 1989; Chone et al., 1991; Lugo e Brown, 1993; Fisher et al., 1994) e outras diminuição nos estoques de C do solo (Moraes, 1991; Veldkamp, 1994). Um fator que contribui para essas diferenças é a textura do solo, sendo que solos arenosos apresentam índices menores de perda de CO (Mann, 1986) ou até mesmo algum ganho em relação aos valores iniciais, após algum tempo de cultivo (Moraes, 1991).

Os sistemas agroflorestais podem contribuir para o aumento do C no solo nas camadas superficiais e para o sequestro de C na biomassa das plantas (Issac et al., 2005). Pezzoni et al. (2012) estudaram a influência de árvores sucupiras brancas em pastagens de *Urochloa*

decumbens, sobre os atributos físicos e químicos do solo num raio de 30 metros do tronco das árvores. Observaram menor densidade do solo e maior porosidade total próximo aos troncos onde se concentram a maior parte da serrapilheira. Houve diminuição dos teores de K e aumento dos teores de Mg a medida que se afastava dos troncos indicando uma maior absorção do K pelas gramíneas e reciclagem desse nutriente pela serrapilheira enquanto que o Mg foi mais absorvido pelas árvores. Reis et al. (2010) encontraram diferenças nos seguintes atributos de solos quando houve influência de árvores: pH, Al^{+3} , $H + Al$, $S-SO_4^{-2}$, Ca^{+2} , Mn e capacidade de troca catiônica a pH = 7,0.

Vale lembrar que o solo é o compartimento ambiental primário que suporta a agricultura e, conseqüentemente, a sobrevivência do ser humano na face da terra. Manter e aumentar o teor de MOS são condições primordiais para evitar a diminuição da fertilidade dos solos e para garantir sua qualidade e seu funcionamento em agro ecossistemas produtivos (Lopes e Guilherme, 2007).

1.3 – Importância dos elementos meteorológicos

O estudo do clima de uma determinada região é muito importante no entendimento da formação do solo e da vegetação predominante. Wladimir Köppen, biólogo russo, criou o sistema de classificação climática em 1900 a partir de um mapa de vegetação mundial, considerando a vegetação natural como a melhor expressão do clima. Esse sistema tem sido constantemente aperfeiçoado incorporando a temperatura, chuvas e características sazonais. As atividades produtivas também estão fortemente relacionadas e dependentes do clima.

Um dos fatores mais limitantes à produção agrícola na região dos cerrados é a alta probabilidade da ocorrência de veranicos durante a estação das chuvas, associada à baixa capacidade de retenção de umidade e ao limitado crescimento do sistema radicular de várias culturas imposto pela deficiência de Ca e toxidez causada pelo Al no subsolo (Lopes e Guilherme, 2007).

O solo sob influência de árvores, devido aos maiores conteúdos de matéria orgânica, possui maior capacidade de armazenar água (Douglas et al., 2006). Lehmann et al. (1998) avaliaram o comportamento da *Acacia saligna* em um sistema agroflorestal e verificaram que as raízes desta arbórea tornavam-se mais profundas na estação seca e encurtavam na época chuvosa, demonstrando maior capacidade de explorar os recursos do solo em relação às monoculturas. Assim, mesmo na época de chuvas, houve maiores teores de água nas camadas superficiais de solo na área sob influência de árvores em relação àquelas fora da interferência das árvores.

Com relação à influência do sistema silvipastoril sobre as condições de luz, temperatura e umidade, Silva e Nääs (1996) estudando renques arbóreos no noroeste do Paraná concluíram que a presença das árvores de *Grevillea robusta* plantadas em linhas alterou os padrões de incidência de luz solar e dos ventos, bem como o balanço energético, redundando em alterações dos padrões térmicos, de pressão de vapor de água e no saldo de energia disponível ao meio. À noite, a temperatura do ar foi maior sob os renques enquanto que durante o dia a temperatura do ar foi menor nas porções sombreadas. A fração de água disponível no solo foi maior na posição entre renques e menor sob as copas, como resposta às condições para a evapotranspiração e partição da água das chuvas.

Cavalheiro (1994), relata que algumas considerações devem ser observadas no planejamento de uma arborização, sob o aspecto de conforto ambiental: as árvores possibilitam rebaixamento de temperatura; enriquecimento da umidade relativa do ar, através da transpiração da fitomassa (300-450 ml de água m⁻² de área); diminuem a reflexão da luz solar; consomem gás carbônico e liberam oxigênio, devido à fotossíntese e respiração; filtram o ar, retendo partículas sólidas nas folhas; diminuem a velocidade dos ventos; e atenuam os ruídos.

1.4 – Luz e índice de área foliar

Condições climáticas que envolvem aumento da nebulosidade, podem reduzir a quantidade de irradiação solar em pastagens. No norte do Brasil (1°28'S), a duração média da luz solar direta, durante um período de três anos de observações, foi 60% menor na época das águas (dezembro a abril) em comparação a época da seca (maio a novembro). A nebulosidade alta no período das chuvas diminui a duração média da luz direta que chega para a vegetação mesmo com períodos de insolação maiores característicos do verão (Dias-Filho, 2002).

Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é a faixa de radiação espectral entre 400 a 700 nm que as plantas utilizam para fazer fotossíntese (o olho humano é capaz de perceber luz nas faixas entre 380 e 770 nm). É um termo geral para radiação que engloba tanto termos de fóton quanto de energia (McCree, 1972). A unidade utilizada para a faixa de RFA é mol fóton m⁻²s⁻¹. Se o sol é a fonte de RFA, 1 Mj m⁻² é equivalente a 4,6 mol fóton m⁻²s⁻¹ (Norman e Arkebauer, 1991).

A copa de uma árvore pode reter até 94,2% da iluminação total exposta a céu aberto, em uma comparação realizada entre a espécie Sapateiro (*Pera glabrata* Baill.) e a pastagem testemunha de braquiária (*U. decumbens*), a céu aberto em Pirassununga, SP. Os fatores que

influenciam nessa retenção da luminosidade estão relacionados com tipo, tamanho e densidade das folhas e das copas (Martins, 2001).

De acordo com Silva e Nääs (1996), uma estrutura de sombra simples pode efetivamente reduzir a carga de calor radiante que incide sobre um animal em 30% ou mais, pela interceptação da luz solar direta. A presença de árvores em áreas de pastagens causa modificações significativas no ambiente, principalmente em nível de micro clima. A redução na luz solar direta promove decréscimo na temperatura do ar e do solo, melhorando as condições de desenvolvimento para as plantas forrageiras, para o animal e para os microrganismos do solo (Garcia e Couto, 1997).

O índice de área foliar (IAF) é a razão entre o total de área foliar por unidade de cobertura no solo. É considerado um importante parâmetro em modelos ecossistêmicos (White et al., 2000). Por causa da importância do IAF na influência sobre as trocas energéticas, de vapor d'água e dióxido de carbono entre os ecossistemas terrestres e a atmosfera, a maioria dos modelos que simulam os ciclos de carbono e hidrológicos, requerem o IAF como uma variável. Está também relacionado com a disponibilidade de luz no sub-bosque porque a altura e a cobertura das árvores, dentre outras características, influenciam a penetração de luz direta através dos dosséis. A posição, ângulo e relações espaciais de elementos do dossel afetam a passagem da luz solar pelas copas das árvores (Gower et al., 1999). Apesar da importância do IAF como fator determinante em processos ecológicos e biofísicos em ecossistemas terrestres, existem poucos estudos com IAF em áreas de savana do mundo, especialmente nos trópicos. Lê Roux e Mordelet (1995) demonstraram que variações sazonais na taxa de assimilação de CO₂ é dependente da variação do IAF. Variações sazonais no IAF em savanas australianas tiveram grande contribuição por parte de dosséis de espécies de eucaliptos decíduos e semi-decíduos (O'Grady et al., 2000). No cerrado brasileiro, Miranda et al. (1997) descreveram mudanças sazonais no IAF e demonstraram a redução por volta de 35% nas taxas fotossintéticas do ecossistema pela redução do IAF durante a seca. A transpiração das plantas aumenta com o IAF em todas as espécies estudadas no cerrado, tanto nas estações de chuvas quanto nas de seca (Bucci et al., 2008). Silva et al. (2008) observaram que diferentes valores de IAF de espécies arbóreas e gramíneas de um transecto entre uma galeria de floresta e um cerrado foram altamente correlacionados com valores de $\delta^{13}\text{C}$ (assinatura isotópica geológica) do carbono orgânico do solo (COS). Houve um aumento do $\delta^{13}\text{C}$ com o aumento dos valores do IAF das gramíneas e um decréscimo com o aumento do IAF das espécies arbóreas. Recentemente, Lemos-Filho et al. (2010) avaliaram a heterogeneidade espacial e as mudanças sazonais da cobertura do dossel em uma área de

cerrado denso e sua relação com a radiação fotossintética ativa disponível no sub-bosque. Na maior parte dos pontos amostrados, as plantas de sub-bosque não receberam quantidade de luz suficiente para 50% de sua capacidade fotossintética na estação chuvosa. Em contraste, durante a estação seca foi observado saturação de luz em mais de 50% dos pontos, naqueles que possuíam árvores decíduas. A variabilidade de luz no sub-bosque foi maior durante a estação seca do que durante a estação chuvosa e essa heterogeneidade estava relacionada a complexidade da cobertura espacial dos dosséis.

1.5 – Características das gramíneas e árvores em sistemas integrados

Os principais fatores que limitam a vida e a morte de uma planta em um habitat são: o estresse, que é um fenômeno que restringe a produção fotossintética seja ele luz, água, minerais e/ou temperatura; e distúrbio, que é a destruição parcial ou total da biomassa por herbivoria, patógenos, homem, danos pelo vento, geada, fogo, erosão, etc. (Grime, 1977). Quando se examina a composição de alto e baixo estresse com alto e baixo distúrbio, exceto na condição de alto estresse e alto distúrbio que impede que haja recuperação ou restabelecimento da vegetação, observa-se três tipos distintos de estratégia de evolução, considerados extremos, formados por: plantas competitivas (baixo estresse com baixo distúrbio), plantas tolerantes ao estresse (alto estresse com baixo distúrbio) e plantas ruderais (baixo estresse com alto distúrbio). O genótipos da maioria das plantas parecem representar as pressões conflitivas de seleção resultando em combinações particulares entre competição, estresse e distúrbio (Grime, 1977).

O desafio da associação de árvores com culturas e/ou gramíneas é encontrar a sintonia fina entre o estresse provocado às plantas abaixo das árvores quanto a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa que chega até elas, a competição por água e nutrientes do solo, a redução da temperatura que afeta a evapotranspiração e os distúrbios provocados pelos animais durante o pastejo seja pela ingestão e exportação de nutrientes, seja pelo pisoteio e compactação.

Experimentos demonstraram que, espécies competitivas como as gramíneas, tem capacidade de maximizar a produção de matéria seca em ambientes sombreados, modificando o fenótipo por meio de aumentos da área foliar e reduções da razão raiz:parte aérea (Grime, 1977).

Além do sombreamento pelas árvores nos sistemas integrados, pode haver ainda competição com plantas invasoras e redução diurna e estacional da quantidade de luz em função da nebulosidade ou cobertura de nuvens (Dias-Filho, 2002).

Outro ponto importante na associação de plantas diferentes são as vias fotossintéticas que essas plantas utilizam. As árvores utilizam o ciclo de Calvin-Benson, no qual a reação inicial de carboxilação resulta em ácido fosfoglicérico, um ácido de três carbonos e são por isso classificadas em plantas C_3 . Já as gramíneas utilizam o ciclo de Hatch-Slack, no qual a reação inicial de carboxilação resulta em oxaloacetato, um ácido de quatro carbonos e por isso são denominadas plantas C_4 (Ehleringer e Monson, 1993). As plantas C_4 são menos eficientes no uso da luz do que plantas C_3 , porque requerem mais energia para reduzir a molécula de CO_2 . No entanto, essa menor eficiência só ocorre quando a temperatura das folhas é menor do que 25-30°C. Quando a temperatura sobe acima desses valores ocorre a fotorrespiração nas plantas C_3 que diminui a eficiência no uso da luz, o que não ocorre em plantas C_4 e o desequilíbrio desaparece. (Ehleringer e Monson, 1993).

Com relação a eficiência do uso da água, ou seja, a razão entre fotossíntese e perda de água por transpiração, tanto em plantas C_3 quanto em plantas C_4 , as taxas de perda de água por transpiração são diretamente proporcionais à abertura dos estômatos. As taxas fotossintéticas das plantas C_3 estão diretamente correlacionadas com a difusão do CO_2 para dentro das folhas por meio dos estômatos, enquanto que, em plantas C_4 , a taxa fotossintética independe da concentração de CO_2 dentro da folha. A consequência é que a eficiência do uso da água é maior em plantas C_4 do que em plantas C_3 . Sob as mesmas condições ambientais, folhas de plantas C_4 são capazes de fotossintetizar mais (250-350g de água transpirada para cada 1g de biomassa) que aquelas de plantas C_3 (650-800g de água transpirada para cada grama de biomassa) (Ehleringer e Monson, 1993). Sob circunstâncias de baixa umidade de solo, que limitam as plantas de extraírem água do solo, uma maior eficiência do uso da água pode resultar numa vantagem competitiva (Ehleringer e Monson, 1993).

Plantas C_4 também são mais eficientes no uso do nitrogênio em relação às C_3 . Isso se deve porque as primeiras contêm seis vezes menos Rubisco (Ribulose- 1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase) que é a principal enzima na fixação de CO_2 nas reações fotossintéticas. O Rubisco representa um investimento de nitrogênio significativo para plantas C_3 (25-30% do total de nitrogênio das folhas) enquanto que plantas C_4 podem utilizar esse nitrogênio na produção de estruturas associadas ao aumento da captura de recursos para seu crescimento. Em solos com deficiência de nutrientes, a alocação de nitrogênio para crescimento de raízes podem aumentar a habilidade competitiva de plantas C_4 (Ehleringer e Monson, 1993).

Em situações de redução de luz solar, seja por sombreamento de árvores em sistemas silvipastoril, por sombreamento por invasoras ou por nebulosidade em épocas de chuva, as gramíneas C_4 sofrem algumas alterações importantes. Eriksen e Whitney (1981) verificaram

que, canteiros de *Digitaria decumbens*, *Panicum maximum* e *Urochloa brizantha*, sem adubação nitrogenada, produziram de 15 a 18,5 t de matéria seca (MS) ha⁻¹ ano⁻¹ com sombreamento de 55% (45% de regime luminoso) utilizando telas de polipropileno para filtrar os raios solares no Havaí – EUA. Sem adubação nitrogenada, a porcentagem de nitrogênio nas plantas aumentava (de 1,0 a 1,6%) com o decréscimo de irradiância. Sem adubação, a altura das touceiras, com exceção do *Panicum*, mais do que dobrou nos tratamentos com 27 e 45% de intensidade luminosa. A razão de área foliar (area:peso da planta) aumentou com o decréscimo da intensidade luminosa ($p < 0,01$). As concentrações de P, K, Ca, Mg, S, Cu e Zn tendem a ser mais altas nas forragens sombreadas e geralmente mais altas durante as estações mais frias. Os efeitos da luz e temperatura podem ser explicados pela diluição dos nutrientes com o aumento da produção de matéria seca quando submetido a condições de 100% de luz e temperaturas mais elevadas. Em condições de deficiência de nitrogênio, a maior parte dos parâmetros de produtividade e qualidade aumentaram sob sombreamento moderado. A fertilização com N aumenta a produção e dilui as concentrações minerais. Quando há restrição de N, a produção é limitada e ocorre concentração dos minerais na planta. Só houve resposta das gramíneas à fertilização nitrogenada em condições de sombreamento moderado ou alta irradiação. Ao se pesar e observar as raízes após o corte das gramíneas verificou-se que houve uma diminuição da relação raiz-parte aérea e um aumento no período de recuperação. Por isso, ao se manejar pastagens sob sombreamento deve-se evitar a depleção de reservas das raízes, seja diminuindo-se a pressão de pastejo (aumentando-se a oferta de forragem) para que se mantenha uma maior área foliar ou aumentando-se o período de descanso.

Deinum et al. (1996) avaliaram os efeitos de três níveis de irradiância: 17,4; 10,10 e 2,60 MJ m⁻² (consideradas alta, média e baixa irradiância, respectivamente), sobre o crescimento, histologia, anatomia e valor nutritivo das gramíneas *Urochloa brizantha* (A. Rich) Stapf e *Panicum maximum* var. *trichoglume* (K. Schum.) C.E. Hibbard. As forrageiras foram estudadas em vasos sob condições controladas de estufas com fotoperíodo médio de 15 horas e cortadas após período de 8 semanas. O tratamento com maior irradiância (17,4 MJm⁻²) semelhante a irradiância média diária dos trópicos úmidos, promoveu maior crescimento, mais perfilhamento, maior produção por perfilho e aumentou a proporção de talos. O número de células do esclerênquima, a espessura da parede celular de vários órgãos e o conteúdo dos constituintes da parede celular também aumentaram em relação aos outros tratamentos (10,10 e 2,60 MJ m⁻²). Por outro lado, reduziu consideravelmente a concentração total de N e NO₃⁻ e cinzas, a digestibilidade dos constituintes da parede celular das lâminas foliares mas aumentou as bainhas foliares e hastes, especialmente nos *Panicum*. Os efeitos da irradiância

na composição dos órgãos foi a alta digestibilidade da matéria orgânica de toda a planta em baixas irradiâncias. A *Urochloa* foi mais tolerante ao sombreamento do que o *Panicum* com relação ao crescimento, concentração de nitrogênio e digestibilidade, mas acumulou mais nitrato.

Schreiner (1987), testou quatro gramíneas forrageiras a diferentes graus de sombreamento, para aplicação em projetos silvipastoris no estado do Paraná. Durante três anos foram avaliadas as gramíneas: braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf. Prain), pangola (*Digitaria decumbens* Stent), capim limpo (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf e Hubbard) e pensacola (*Paspalum notatum* Flugge var. Saurae), submetidas a quatro graus de sombreamento. Na média das quatro gramíneas, os sombreamentos de 0%, 25%, 50% e 80% produziram 9.968 kg, 9.028 kg, 5.685 kg e 2.106 kg de MS em média nos três anos analisados, respectivamente. Com o sombreamento de 50%, a braquiária decumbens produziu 6.400 kg de MS, mais do que o dobro do que as demais gramíneas (Pangola = 2.320 kg; Capim limpo = 630 kg; Pensacola = 980 kg), no primeiro ano.

As espécies mais tolerantes ao sombreamento nem sempre são as mais produtivas num determinado percentual de sombreamento, devido aos diferentes potenciais de produção das espécies. A quantidade de luz disponível pode ser controlada através de operações de desbaste, da densidade do plantio, da escolha de espécies tolerantes ao sombreamento e seleção de espécies arbóreas em função das características de sua copa (Garcia e Andrade, 2001).

Castro et al. (1999) verificaram que o sombreamento favoreceu o aumento somente na produção de matéria seca do *P. maximum*, para o qual o maior rendimento ocorreu com 30% de sombreamento. As gramíneas *Melinis minutiflora* e *Setaria sphacelata* foram consideradas tolerantes ao sombreamento, pois as suas produções de MS, ao contrário das demais, não foram alteradas significativamente pelo sombreamento. No entanto, suas produções de MS a 30% (3,6 e 5,9 t/ha, respectivamente) e a 60% (2,0 e 5,7 t/ha, respectivamente), foram bem inferiores à do *Andropogon gayanus*, espécie que apresentou queda acentuada na produção de MS com o sombreamento, mas que produziu 9,5 t ha⁻¹ a 30% e 7,0 t ha⁻¹ a 60% de sombreamento. Logo, o critério tolerância ao sombreamento não pode ser considerado isoladamente na escolha da forrageira a ser utilizada em um SSP.

Reis (2011), ao testar diferentes níveis de sombreamento artificial em pastagem de braquiarião, relatou que o sombreamento reduziu a mineralização da matéria orgânica o que influenciou na menor disponibilidade de nutrientes nela complexados.

O componente arbóreo dos sistemas agroflorestais explora perfis mais profundos do solo mas também sofre influência das gramíneas na associação. Silva (1999) verificou que a produção volumétrica, em plantios de *Eucalyptus grandis* consorciados com *Urochloa decumbens*, em relevo declivoso, aos seis anos de idade, foi 55,2% maior do que os plantios solteiros, devido à retenção de umidade, controle de erosão e acréscimo de matéria orgânica ao solo.

Com relação a características das árvores nos sistemas integrados, para que elas não sombreiem excessivamente o sub-bosque várias alternativas podem ser utilizadas como o arranjo espacial, orientação da linha de plantio (Leste-Oeste) seleção de espécies com copas menos densas e desrama e/ou desbaste (Oliveira Neto et al., 2010).

Plantas nativas da vegetação do cerrado brasileiro estão sujeitas ao estresse por alta irradiação solar além de limitações impostas por um período de seca de seis meses e solos pobres em nutrientes e com altos teores de alumínio trocável. Apesar dos poucos estudos e trabalhos científicos existentes com espécies arbóreas nativas brasileiras, Caldas et al. (1997) descreveram uma característica muito interessante numa árvore leguminosa típica do cerrado, que ocorre em uma grande extensão geográfica e conhecida como Sucupira-branca – *Pterodon emarginatus*. Essas arbóreas leguminosas apesar de não serem fixadoras de nitrogênio (Araújo e Hungria, 1994), possuem uma característica de movimentação de seus folíolos chamada de heliotropismo. Os folíolos assumem posições horizontais de manhã e se viram para posições próximas ao vertical ao meio-dia, quando a intensidade da luz solar é elevada. Isso faz com que essa árvore permita uma maior entrada de luz solar na vegetação abaixo de sua copa, comparada a outras espécies arbóreas. Além disso, as árvores de Sucupira são decíduas, características de terrenos secos do cerrado, com dispersão irregular e descontínua, ocorrendo em agrupamentos densos e muitas vezes até em populações puras. A maturação dos frutos verifica-se nos meses de junho-julho com a planta já quase totalmente despida de folhagem (Lorenzi, 2002).

Sistemas Agrossilvipastoris podem permitir aos proprietários rurais e às empresas florestais, amortizar o custo de implantação da floresta, com a comercialização dos grãos produzidos nos primeiros anos de plantio e durante a maturação da floresta, por ocasião da comercialização de produtos originados da pecuária, inserida nos plantios florestais, além da geração de empregos na região (Oliveira, 2005).

No longo prazo, as florestas plantadas podem representar maior retorno financeiro em relação a pastagens. Contudo, a necessidade de recursos durante o período de conversão da pecuária para a silvicultura pode inviabilizar o processo. A integração das duas atividades por

meio dos sistemas silvipastoris podem ser uma alternativa para otimizar os ganhos econômicos a curto e longo prazo (Kallenbach et al., 2006).

1.6 – Estoque de carbono

Os solos tem grande importância para o ciclo global do carbono e o destino do CO₂ antropogênico, por armazenarem na matéria orgânica aproximadamente duas vezes a quantidade de C presente na atmosfera como CO₂, representando um estoque de 1.300 a 1.500 Pg de C no primeiro metro de solo de toda superfície terrestre (Post et al., 1982; Schlesinger, 1985; Sombroek et al., 1993; Batjes, 1996). Quase um terço desse C é constituído de formas lábeis com ciclagem rápida (Schimel, 1995). De acordo com Batjes (1996), o COS representa 68% da reserva total de C global no solo na camada de 0-100 cm, sendo 32% forma inorgânica (carbonatos). No entanto, a liteira não é incluída nos cálculos da massa do C orgânico do solo (Buringh, 1970; Sombroek et al., 1993) apesar desse C poder ser considerável em áreas de florestas ou cobertas por árvores (Batjes, 1996). Estima-se que o montante de C corresponda ao peso seco de 45-50% dos galhos e de 30% da folhagem. Estima-se que 50% da biomassa seja C. Encontrou-se de 20 a 100% mais C em solos com influência de fixadoras de nitrogênio em relação às não fixadoras (Saha et al., 2010). Liteiras ricas em nitrogênio favorecem o desenvolvimento microbiano o que justifica taxas de humificação mais rápida observada em plantios de árvores leguminosas em relação a eucaliptos (Simões et al., 2010).

Mudanças no uso do solo afetam consideravelmente os teores de C no solo, que reduzem, respectivamente, 42 e 59%, quando há uma transição de floresta nativa e pasto para cultura agrícola. Por outro lado, há aumento de 19 e 53%, respectivamente, quando, lavouras foram convertidas em pastagens e em floresta secundária (Guo e Gifford, 2002). Vários estudos demonstraram que o cultivo convencional do solo reduz o montante de C no mesmo por causar a quebra dos agregados (Saha et al., 2010). Veintimilla (2003) verificou a capacidade de armazenamento de C orgânico em florestas secundárias, pastagens melhoradas com uma densidade maior de árvores e pastagens degradadas e encontrou 180,41, 173,09 e 134,71 t ha⁻¹ de C orgânico, respectivamente.

A decomposição de resíduos de tecidos vegetais e outros materiais orgânicos é uma fonte de C e nutrientes para o crescimento de comunidades de microrganismos e de plantas. Muito desse C retorna à atmosfera durante a respiração ou é incorporado na biomassa viva (Haile et al., 2010). O C associado à biomassa microbiana transforma e transfere energia e nutrientes para os demais componentes do ecossistema. Atualmente, tem sido utilizado como

um indicador da qualidade ambiental e da sustentabilidade de agroecossistemas (Simões et al., 2010).

Em torno de um terço da matéria orgânica do solo (MOS) se degrada (quebra) mais devagar e pode estar presente no solo depois de um ano. A fração de MOS que se decompõe mais lentamente é muito importante sob o ponto de vista de sequestro de C. A MOS é protegida no solo por meio de três processos principais: recalcitração bioquímica (ex: lignificação), estabilização química e proteção física (formação de agregados que protegem contra a decomposição por microrganismos). Agregados do solo e tamanho das frações desempenham um efeito importante na retenção de C do solo. Macroagregados são menos estáveis. Logo, a estimativa dos microagregados do solo permite estimar a quantidade de MOS que está protegida. Como a maior parte do COS é encontrado nos agregados, pode-se entender melhor como o C é incorporado, move e deixa o solo ao entender a estrutura e ciclo dos agregados. Argilas, óxidos de ferro e alumínio podem formar compostos com a MOS, repelindo organismos decompositores. Temperaturas mais amenas e locais mais úmidos, quando causam condições anaeróbicas no solo, favorecem o acúmulo de MOS, por reduzir a velocidade da ciclagem da MOS. As espécies de plantas têm um grande impacto na quantidade de C armazenado, pois há variações em relação à fixação de N, associação com micorrizas, nos resíduos vegetais e tipos de microrganismos. Em relação à textura do solo, a argila tende a ser positivamente correlacionada, pois os solos possuem uma formação mais estável dos agregados. Por outro lado, os complexos formados em solos arenosos tendem a ser menos estáveis (Haile et al., 2010).

A matéria orgânica do solo desempenha um papel central na regulação da produtividade vegetal nas regiões tropicais. Os processos de decomposição e mineralização dos resíduos vegetais são responsáveis pela principal fonte de nutrientes para as plantas nos ecossistemas naturais e nos agroecossistemas introduzidos e raramente fertilizados (Sanchez et al., 1989).

Associam-se altos teores de COS à alta riqueza de espécies e de densidade de árvores. As árvores, plantas C₃, contribuem com mais C nas frações de argila e silte. Se os sistemas agroflorestais são cogitados nas políticas públicas globais de sequestro de C, há necessidade de estudos rigorosos em várias etapas do processo. A maioria dos estudos sobre sequestro de C foram realizados em plantações florestais (Rodrigues et al., 2010).

1.7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. *Microrganismos de importância agrícola*. EMBRAPA – CNPAF. Doc.. 44, 1994. 233p.
- BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.* v. 47, 1996. p. 151–163.
- BOT, A.J.; NACHTERGAELE, F.O. e YOUNG, A. *Land resource potential and constraints at regional and country levels*. Rome, Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization, 2000. 114p.
- BUCCI, S.J.; SCHOLZ, F.G.; GOLDSTEIN, G.; HOFFMANN, W.A.; MEIZER, F.C.; FRANCO, A.C.; GIAMBELLUCA, T.; MIRALLES-WILHEL, M, F. Control on stand transpiration and soil water utilization along tree density gradient in a neotropical savanna. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 148, no. 6-7, 2008. p. 839-849.
- BURINGH, P. *Introduction to the study of soils in tropical and subtropical regions*. Pudoc, Wageningen, 1970. 99p.
- CALDAS, L.S.; LÜTTGE, U.; FRANCO, A.C.; HARIDASAN, M. Leaf heliotropism in *Pterodon pubescens*, a woody legume from the Brazilian Cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, vol.9 (1), p.1-7, 1997.
- CASTRO, A. M. G. de; LIMA, S. M. V.; FREITAS FILHO, A. *Manual de capacitação em análise de cadeias produtivas*. Florianópolis: UFSC; Brasília,DF: Embrapa, 1999.
- CAVALHEIRO. F. Arborização urbana: planejamento, implantação e condução. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2; ENCONTRO NACIONAL DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 5, São LUIZ, 1994. *Anais...* São Luiz: SBAR, 1994. p. 227-231.
- CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B. P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em latossolo amarelo da Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 9, 1985. p. 1-4.
- CHONE, T.; ANDREUX, F.; CORREA, J. C.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Changes in organic matter in an oxisol from central Amazonian forest during eight years under pasture determined by ¹³C composition. In: BERTHELIN, J. (Ed.). *Diversity of environmental biogeochemistry*. New York: Elsevier, 1991. p. 397-405.
- DEINUM, B.; SULASTRI, R.D.; ZEINAB, M.H.J.; MAASSEN, A. Effects of light intensity on growth, anatomy and forage quality of two tropical grasses (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* var. trichoglume). *Netherlands Journal of Agricultural Science* v. 44, 1996. p. 111-124.
- DETWILLER, R. P. Land use changes and the global carbon cycle: the role of tropical soils. *Biogeochemistry*, v. 2, 1986, p. 67-93.

DIAS-FILHO, M.B. Photosynthetic light response of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. *Scientia Agricola*. v.59, n.1, 2002. p.65-68.

DOUGLAS, G.B.; WALCROFT, A.S.; HURST, S.E.; et al. Interactions between widely spaced young poplars (*Populus* spp.) and introduced pasture mixtures. *Agroforestry Systems* v. 66, 2006. p. 165–178.

EHLERINGER, J.R.; MONSON, R.K. Evolutionary and ecological aspects of photosynthetic pathway variation. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* v. 24, 1993. p. 411-39.

ERIKSEN, F.I.; WHITNEY, A.S. Effects of Light Intensity on Growth of Some Tropical Forage Species. I. Interaction of Light Intensity and Nitrogen Fertilization on Six Forage Grasses. *Agronomy Journal*, v. 73, May-June, 1981. p. 427-433.

FERNANDES, F.A.; CERRI, C.C.; FERNANDES, A.H.B.M. 13C e a Dinâmica do Carbono Orgânico do Solo em Pastagem Cultivada no Pantanal Sul-mato-grossense. Corumbá: Embrapa Pantanal, *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 2007. 19p.

FISHER, M. J.; RAO, I. M.; AYARZA, M. A.; LASCANO, C. E.; SANZ, J. I.; THOMAS, R. J.; VERA, R. R. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature*, London, v. 371, n. 6494, 1994. p. 236-238.

GARCIA, R.; ANDRADE, C.M.S. Sistemas silvipastoris na Região Sudeste In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C. (Ed.) *Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais*. Juiz de Fora – MG: EMBRAPA-CNPGL, 2001. Cap.10, p.173-187.

GARCIA, R.; COUTO, L. Sistemas silvipastoris: Tecnologia emergente de sustentabilidade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO. 1997. Viçosa. *Anais...* Viçosa: UFV, 1997. p.447-471.

GARRET, H.E. *North American Agroforestry: An Integrated Science and Practice*. 2nd ed. Madison, WI. American Society of Agronomy, 2009. 369p.

GOWER, S.T.; KUCHARIK, C.J.; NORMAN, J.M. Direct and indirect estimation of leaf area index, f APAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, vol. 70, no. 1, 1999. p. 29-51.

GRIME, J.P. Evidence for the Existence of Three Primary Strategies in Plants and Its Relevance to Ecological and Evolutionary Theory. *The American Naturalist*, v. 111, n. 982, Nov. - Dec., 1977. p. 1169-1194

GUO, L.B.; GIFFORD, R.M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, v.8, 2008. p.345-360.

HAILE, S.G.; NAIR, V.D.; NAIR, P.K.R. Contribution of trees to carbon storage in soils of silvopastoral systems in Florida, USA. *Global Change Biology* v.16, 2010. p. 427–438.

HOWLETT, D.S.; MOSQUERA-LOSADA, M.R.; NAIR, P.K.R.; et al. Soil carbon storage in silvopastoral systems and a treeless pasture in northwestern Spain. *Journal of Environmental Quality* v.40, 2011. p. 825–832.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Fourth Assessment Report (AR4)*, Working Group 1, Chapter 2, Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing, Table 2.14, 2007. p. 212.

ISSAC, M.E.; GORDON, A.M.; THEVATHASAN, N.; et al.. Temporal changes in soil carbon and nitrogen in west African multistrata agroforestry systems: a consequence of pools and fluxes. *Agroforestry Systems*, v.65, p. 23-31, 2005.

KALLENBACH, R.L.; KERLEY, M.S.; BISHOP-HURLEY, G.J. Cumulative forage production, forage quality and livestock performance from an annual ryegrass and cereal rye mixture in a Pine-Walnut Silvopasture. *Agroforestry Systems* v.66, 2006. p. 43-53.

KIPTOT, E.; FRANZEL, S. Gender and agroforestry in Africa: Who benefits? The African perspective. In: Nair PKR, Garrity DP (eds), *Agroforestry: The future of global land use*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2012. p. 463–496.

LEHMANN, J.; PETER, I.; STEGLICH, C.; et al. Below-ground interactions in dryland agroforestry. *Forest Ecology and Management*, v.111, 1998. p. 157-169.

LEMOS-FILHO, J.P.; BARROS, C.F.A.; DANTAS, G.P.M.; DIAS, L.G.; MENDES, R.S. Spatial and temporal variability of canopy cover and understory light in a Cerrado of Southern Brazil. *Braz. J. Biol.*, 2010, vol. 70, no. 1, p. 19-24.

LÊ ROUX, X. e MORDELET, P. Leaf and canopy CO₂ assimilation in a West African humid savanna during the early growing season. *Journal of Tropical Ecology*, vol. 11, no. 4, 1995. p. 529-545.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. *Fertilidade do solo e produtividade agrícola*. Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras. In: SBCS, Viçosa, 2007. *Fertilidade do Solo*, 1017p. (eds. NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B. e NEVES, J.C.L.)2007. p. 1-64.

LORENZI, HARRI. *Árvores Brasileiras*. 4ªed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2002. 352p.

LUGO, A. E.; BROWN, S. Management of tropical soils as sink or sources of atmosphere carbon. *Plant and Soil*, v. 149, 1993. p. 27-41.

MANN, L. K. Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science*, v. 142, 1986. p. 279-288.

MARQUES, J.J.; SCHULZE, D.; CURI, N. *Solos do Cerrado*. Universidade Federal de Lavras, 2013. Disponível em: <http://www.dcs.ufla.br/Cerrados/Portugues/CIntroP.htm> Acesso em: 15/05/2013.

MARTINS, J.L. *Avaliação da qualidade térmica do sombreamento natural de algumas espécies arbóreas, em condição de pastagem*. TESE Unicamp - Campinas, SP:, 2001. 99p.

Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000239680> Acesso em : 30 abr. 2009.

MCCREE, K.J. 1972. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agric. Meteorol.* 10:443-453.

MICHEL, G.A.; NAIR, V.D.; NAIR, P.K.R. Silvopasture for reducing phosphorus loss from subtropical sandy soils. *Plant Soil* v. 297, 2007. p. 267 – 276.

MIRANDA, A.C.; MIRANDA, H.S.; LLOYD, J.; et al. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. *Plant, Cell and Environment*, vol. 20, no. 3, 1997. p. 315-328.

MORAES, J. F. L. *Conteúdos de Carbono e Tipologia de Horizontes nos Solos da Bacia Amazônica*. (Tese) - Centro de Energia Nuclear de Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

NAIR, P.K.R. An introduction to Agroforestry. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1993. 489p.

NAIR, P.K.R. Climate change mitigation and adaptation: A low hanging fruit of agroforestry. In: Nair PKR, Garrity DP (eds), *Agroforestry: The future of global land use*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2012. p 31-67.

NAIR, P.K.R.; GORDON, A.M.; MOSQUERA-LOSADA, M.R. Agroforestry. *Encyclopedia of Ecology*, v. 1, 2008. p.101-110.

NAIR, P.K.R.; TONUCCI, R.G.; GARCIA, R.; NAIR, V.D. Silvopasture and carbon sequestration with special reference to the Brazilian Savanna (Cerrado). In: KUMAR, B.M.; NAIR, P.K.R. (eds). *Carbon Sequestration in Agroforestry Systems*. Springer, The Netherlands; 2011. p. 145–162.

NAIR, V.D.; GRAETZ, D.A. Agroforestry as an approach to minimizing nutrient loss from heavily fertilized soils: The Florida experience. *Agroforestry Systems* v.61, 2004. p. 269–279.

NORMAN, J.M. e ARKEBAUER, T.J. Predicting canopy light-use efficiency from leaf characteristics. In: *Modeling plant and soil systems*. J.Hanks e J.T. Ritchie (eds.), American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, USA, 1991. p. 125-143.

O'GRADY, AP., CHEN, X., EAMUS, D. AND HUTLEY, LB. Composition, leaf area index and standing biomass of eucalipt open forests near Darwin in the Northern Territory Australia. *Australian Journal of Botany*, vol. 48, no. 5, 2000. p. 629-638.

OLDEMAN, L.R. Impact of soil degradation: a global scenario. Wageningen, ISRIC, 2000. 12p. (Report 2000/2001)

OLDEMAN, L.R.; HAKKELING, R.T.A. e SOMBROEK, W.G. World map of the status of human induced soil degradation: An explanatory note. 2.ed. Nairobi, International Soil

Reference and Information Centre, United Nations Environment Programme, Global Assessment of Soil Degradation GLASOD, 1991. 35p.

OLIVEIRA NETO, S.N.; VALE, A.B.; NACIF, A.P.; VILAR, M.B.; ASSIS, J.B. *Sistema Agrossilvipastoril – Integração lavoura, pecuária e floresta*. Sociedade de Investigações Florestais – Universidade Federal de Viçosa, 2010. 190p.

OLIVEIRA, T.K. *Sistema agrossilvipastoril com eucalipto e braquiária sob diferentes arranjos estruturais em área de cerrado*. 150p. (Tese de doutorado). Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, 2005.

PEZZONI, T.; VITORINO, A.C.T.; DANIEL, O.; LEMPP, B. Influência de *Pterodon emarginatus* Vogel sobre atributos físicos e químicos do solo e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* Stapf em sistema silvipastoril. *Cerne*, Lavras, v. 18, n. 2, abr./jun. 2012. p. 293-301.

POST, W.M.; EMMANUEL, W.R.; ZINKE, P.J.; et al. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, v.298, 1982. p. 156-159.

REIS, G.L.; LANA, A.M.Q.; MAURICIO, R.M.; et al. Influence of trees on soil nutrient pools in a silvopastoral system in the Brazilian Savannah. *Plant Soil* v.329, 2010. p. 185–193.

REIS, G.L. *Sombreamento e fertilização nitrogenada sobre atributos de solos e produtivos da Brachiaria brizantha cv. Marandu*. 2011, 75p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária.

RIGUEIRO-RODRIGUEZ, A.; MC'ADAM, J.H.; MOSQUERA-LOSADA, M.R. *Agroforestry in Europe*. Dordrecht, The Netherlands, Springer, 2008. 450p.

RODRIGUES, E.F.G.; NAIR, P.K.R.; NAIR, V.D.; et al. Carbon Storage in Soil Size Fractions Under Two Cacao Agroforestry Systems in Bahia, Brazil. *Env. Manag.*, v.45, 2010. p. 274-283.

RUGGIERO, P.G.C.; BATALHA, M.A.; PIVELLO, V.R.; MEIRELLES, S.T. Soil-vegetation relationships in Cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. *Plant Ecology*, v.160, p. 1-16, 2002.

SAHA, S.K.; NAIR, P.K.R.; NAIR, V.D.; et al. Carbon storage in relation to soil size-fractions under tropical tree-based land-use systems. *Plant Soil*, v.328, 2010. p.433-446.

SANCHEZ, P. A. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. New York, NY: John Wiley e Sons, 1976.

SANCHEZ, P. A.; PALM, W. J.; SZOTT, L. T.; CUEVAS, E.; LAL, R. Organic input management in tropical agroecosystem. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (ed.). *Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems*. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. p. 135-162.

SCHIMMEL, D.S. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology*, v.1, 1995. p. 77-91.

SCHLESINGER, W.H. The formation of caliche in soils of the Mojave Desert, California. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, v.49, 1985. p. 57-66.

SCHREINER, H.G. Tolerância de quatro gramíneas forrageiras a diferentes graus de sombreamento. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n.15, dez. 1987. p.61-72.

SILVA, I. J. O.; NÄÄS, I. A. Efeito do sombreamento natural, na redução da carga térmica de radiação. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, IN: 25º, CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 2º, 1996. Bauru. *Resumos...* Bauru: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. 1996. p.428.

SILVA Jr., E.R.; STERNBERG, L.; HARIDASAN, M.; et al. Expansion of gallery forest into central Brazilian savannas. *Global Change Biology*, vol. 14, no. 9, 2008. p. 2108-2118.

SILVA, M.S.S. *Estudo silvicultural e econômico do consórcio de Eucalyptus grandis com gramíneas sob diferentes espaçamentos em áreas acidentadas*. 1999. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SIMÕES, S.M.O.; ZILLI, J.E.; COSTA, M.C.G.; et al. Carbono orgânico e biomassa microbiana do solo em plantios de Acacia mangium no Cerrado de Roraima. *Acta Amazonica*, v.40 (1), 2010. p. 23-30.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; et al. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B*, v.363, 2008. p. 789-813.

SOMARRIBA, S.; BEER, J.; ORIHUELA, J.; et al. Mainstreaming Agroforestry in Latin America. In: NAIR, P.K.R. e GARRITY, D. (eds.). *Agroforestry: The Future of Global Land Use*. Dordrecht, The Netherlands, Springer, 2012. p. 429 – 453.

SOMBROEK, W.G.; NACHTERGAELE, F.O.; HEBEL, A. Amounts, dynamics and sequestrations of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*, v.22, 1993. p. 417-426.

TEIXEIRA, L. B.; BASTOS, J. B. *Matéria orgânica nos ecossistemas de floresta primária e pastagens na Amazônia Central*. Belém, PA: Embrapa/CPATU, 1989. 26 p. (Boletim de Pesquisa, 99).

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in tropical soils under pastures after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, v. 158, 1994. p. 180-186.

VEINTIMILLA, R.A.R. *Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica*. 2003 Tesis M.Sc. CATIE Turrialba, Costa Rica. 81p.

WHITE, M.A.; ASNER, G.P.; NEMANI, R.R.; et al. Measuring fractional cover and leaf area index in arid ecosystems: digital camera, radiation transmittance and laser altimetry methods. *Remote Sensing of Environment*, vol. 74, no. 1, 2000. p. 45-57.

CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL: ELEMENTOS METEOROLÓGICOS, ATRIBUTOS DO SOLO E GRAMÍNEA SOB ÁRVORES

RESUMO

Com o objetivo de caracterizar os elementos meteorológicos, variações de luz abaixo das copas das árvores, atributos físico-químicos do solo e alterações bromatológicas e de produção da gramínea, foram feitas coletas de dados, amostras e análises nas mudanças das estações, durante o ano de estudo. As estações influenciaram a radiação fotossinteticamente ativa em áreas a pleno sol e sombreadas por árvores e o índice de área foliar no sistema silvipastoril. Houve incongruência de recursos nas estações do ano: quando havia umidade e calor no verão, a quantidade de luz transmitida à gramínea sob as árvores sofreu efeitos do maior IAF das arbóreas e maior nebulosidade. Quando havia maior passagem de luz pelas árvores e a insolação diária pela menor nebulosidade era maior no inverno, faltavam umidade e temperatura. O critério tolerância ao sombreamento não pode ser considerado isoladamente na escolha da forrageira a ser utilizada em um sistema silvipastoril. Houve uma correspondência entre a radiação fotossinteticamente ativa transmitida abaixo das árvores (69% da RFA total) e a produção de matéria seca do capim (65% em relação à área a pleno sol). Os teores de Ca e o pH foram menores no SSP nas camadas superficiais (0-10 e 10-20cm). Por outro lado, a matéria orgânica e a porosidade total foram maiores, 15 a 20% e 14,4%, respectivamente, no sistema sombreado. Observou-se que o capim *U. brizantha* teve teores de proteína bruta e enxofre aumentados 18-20% e 19%, respectivamente. No entanto, houve redução no teor de Ca (11%) e na produção de matéria seca (35%). Conclui-se que o sistema silvipastoril estudado apresenta características peculiares em relação ao sistema tradicional de pastagem e que essas diferenças devem ser consideradas nos tratos culturais e na capacidade suporte animal para manejo adequado e sustentável.

Palavras-chave: radiação fotossinteticamente ativa, incongruência de recursos, sombreamento, sistema silvipastoril, *U. brizantha*

ENVIRONMENTAL CHARACTERIZATION: WEATHER ELEMENTS, SOIL ATTRIBUTES AND GRASS UNDER TREES

ABSTRACT

Meteorological data, light information, soil and grass samples were collected during a year period between 2011 and 2012, under a silvopastoral system and an open pasture. The soil samples collected at each seasonal change were analysed for their physical-chemical attributes and the monthly grass samples were analysed bromatologically for their nutritional value. There were seasonal variations in photosynthetically active radiation (PAR) on both systems: silvopastoral and open pasture and in leaf area index (LAI) on the silvopastoral system (SPS). A resource incongruity was verified in the different seasons: when there was humidity and heat during summer, the amount of light transmitted under the trees was diminished by the increase in LAI and nebulosity (cloud cover). When there was more light passing through the trees and there was less cloud cover, there was not much humidity and the temperature restricted the tropical grass growth. Shade tolerance must not be the only criteria to choose pasture species to be integrated with trees in silvopastoral systems. There was a proportional pasture mass production related to PAR transmitted under the trees. An average of 69% of the total PAR during the year, was transmitted to the pasture below the trees and the SPS pasture produced 65% of the total produced in the open pasture. Ca and pH were lower in the top layers of the SPS soil samples (0-10 and 10-20 cm) but organic matter and total porosity were 20 and 14,4% higher, respectively, on the SPS. Signal grass, *U. brizantha*, had higher levels of crude protein and copper on the SPS compared to the open pasture, 18 and 19%, respectively. However, there was reduction in Ca and dry matter on the SPS, 11 and 35%, respectively. The SPS studied had particular characteristics compared to the open pasture and those differences must be considered when fertilizing the pastures and managing the cattle accordingly to its support capability.

Key words: photosynthetically active radiation, leaf area index, silvopastoral system, resource incongruity, shade, *U. brizantha*

2.1. ELEMENTOS METEOROLÓGICOS

2.1.1. INTRODUÇÃO

Os sistemas integrados, agroflorestais, onde existem diferentes extratos de exploração, tanto acima quanto abaixo do solo, necessitam de uma visão holística diante dos desafios e oportunidades na otimização do uso da terra. Nesse sentido, o entendimento das características climáticas e suas variações é muito importante pois a umidade, luz e

temperatura, determinam o crescimento e desenvolvimento de todos os seres vivos envolvidos.

A luz solar, principal fonte de energia para os vegetais, também sofre variações ao longo do ano regida pelos movimentos de translação da terra em volta do sol, que determinam as estações do ano e pelos movimentos de rotação no eixo da terra, que determinam a duração do dia. Fenômenos climáticos de nebulosidade também influenciam na quantidade e qualidade da luz que chega até a superfície terrestre. Além de todas essas variações, existe também a competição por luz dentro dos sistemas agroflorestais.

A quantidade da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é determinada por características da copa, assim como pela localização e pelo tamanho das clareiras existentes no dossel. O índice de área foliar (IAF), razão entre o total da área foliar por unidade de cobertura de solo, é considerado um parâmetro importante em modelos climáticos e de ecossistemas e na avaliação da estrutura do dossel, por caracterizar sua arquitetura e estar relacionado com a produção de biomassa vegetal.

Fotografias hemisféricas digitais constituem uma alternativa para o cálculo do IAF, do balanço de irradiação (quantidade de luz acima e abaixo do dossel) e da arquitetura do dossel, sendo um método indireto (não destrutivos) bastante utilizado por sua praticidade e rapidez na obtenção dos dados. O princípio de uso desse método consiste no balanço entre a luz que atinge o interior do dossel e a luz que chega ao topo do dossel, o que é determinado pelo grau de cobertura do dossel, que por sua vez é associado à densidade foliar e, conseqüentemente, ao IAF.

O objetivo do estudo de variações meteorológicas foi entender a importância dessas e as associações com as variáveis que envolvem os sistemas silvipastoris. Avaliou-se também, o índice de área foliar (IAF) de arbóreas leguminosas nativas - Sucupira Branca (*Pterodon emarginatus*) e a radiação fotossinteticamente ativa disponível para o sistema silvipastoril com Braquiário (*Urochloa brizantha*) durante as estações do ano na região oeste de Minas Gerais.

2.1.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1.2.1 – Localização

Foram utilizados os dados meteorológicos médios diários, durante o período do experimento (23/03/11 a 26/03/12), da estação meteorológica de observação de superfície convencional de Divinópolis do Instituto Nacional de Meteorologia (20°10'24.02"S; 44°52'29.03"W) que está a 15 km (em linha reta) do campo experimental (20°18'16.71"S;

44°55'28.57"W). Os dados diários de evaporação foram medidos em evaporímetro de Piché que mede a evaporação em mililitro (ml) ou em milímetros de água evaporada - a partir de uma superfície porosa, mantida permanentemente umedecida por água. As chuvas medidas em pluviômetro que mede a quantidade de precipitação pluvial (chuva), em milímetros (mm). A insolação ou a duração do brilho solar, em horas e décimos, é o número de horas em que a luz do sol chega até a superfície da Terra sem interferência de nuvens e foi registrada em um heliógrafo que é composto por uma semiesfera de quartzo que fica exposta ao sol sobre um papel fotossensível. Um psicrômetro mediu a umidade relativa do ar, de modo indireto, em porcentagem (%). Compõe-se de dois termômetros idênticos, um denominado termômetro de bulbo seco, e outro com o bulbo envolvido em gaze ou cadarço de algodão mantido constantemente molhado, denominado termômetro de bulbo úmido. O termômetro de máxima e mínima foi utilizado para indicar as temperaturas do ar (°C), ocorridas no dia. A nebulosidade é quantificada a partir de classes em décimos de céu coberto de nuvens com base no reconhecimento de padrões visuais.

O campo experimental se encontra na fazenda Campo Alegre no município de Itapeverica, Minas Gerais, a 725 metros de altitude. É formada por um sistema silvipastoril (SSP) composto por, em sua maioria, por espécies arbóreas nativas, *Pterodon emarginatus* (sucupiras brancas) e pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu (Braquiarião) com mais de 30 anos de estabelecimento. O *Pterodon emarginatus* é uma espécie florestal pertencente à família *Leguminosae*, decíduo, heliófita, seletivo xerófito, característico de terrenos secos e arenosos do cerrado e de sua transição para a floresta semidecídua. Sua dispersão é irregular e descontínua, ocorrendo em agrupamentos densos e, muitas vezes, até em populações puras (Lorenzi, 2002). Além disso, possuem característica de heliotropismo, reduzem a área foliar apresentada à luz vertical em até 40% ao meio-dia, comparada com a área às 8:00 horas da manhã (Caldas et al., 1997).

A área intitulada SSP possui área de 35 ha com distribuição de 156 árvores/ha, e a área controle, chamada pastagem solteira (PS), possui área de 26,5 ha formados com pastagem de braquiarião com árvores esparsas (25 árv./ha), como encontrado nas pastagens da região.

Na figura 1, observa-se que o tipo de clima predominante da região oeste de Minas Gerais onde se encontra o campo experimental, é Cwa – clima temperado úmido com inverno seco, segundo classificação de Köppen (Sá Júnior, 2009).

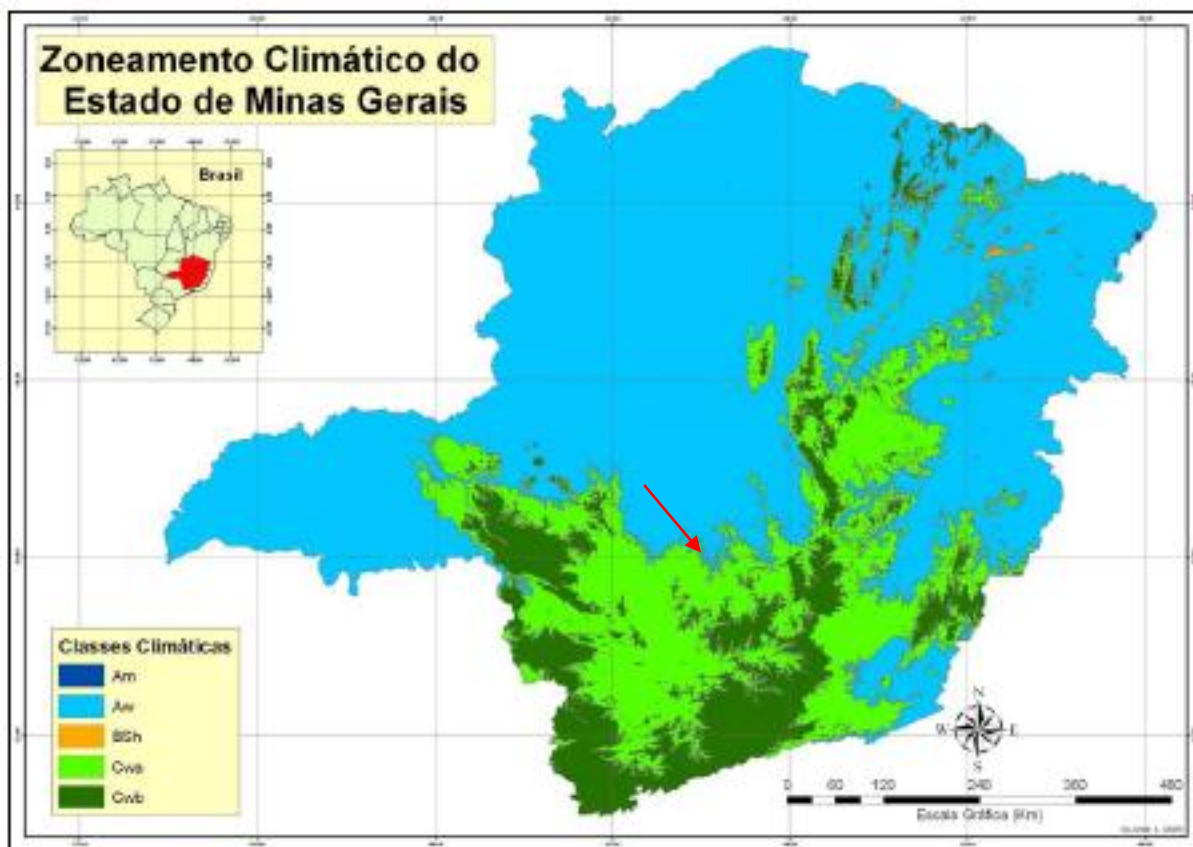


Figura 1: Zoneamento Climático do campo experimental (seta) de acordo com o sistema de classificação climática de Köppen. Fonte: Sá Júnior, 2009

A precipitação pluviométrica média anual da região (Divinópolis – MG), (Somar Meteorologia, 2013) é de 1.471mm, a temperatura mínima média é de 15,1°C e a máxima média de 27,9°C (Fig. 2).

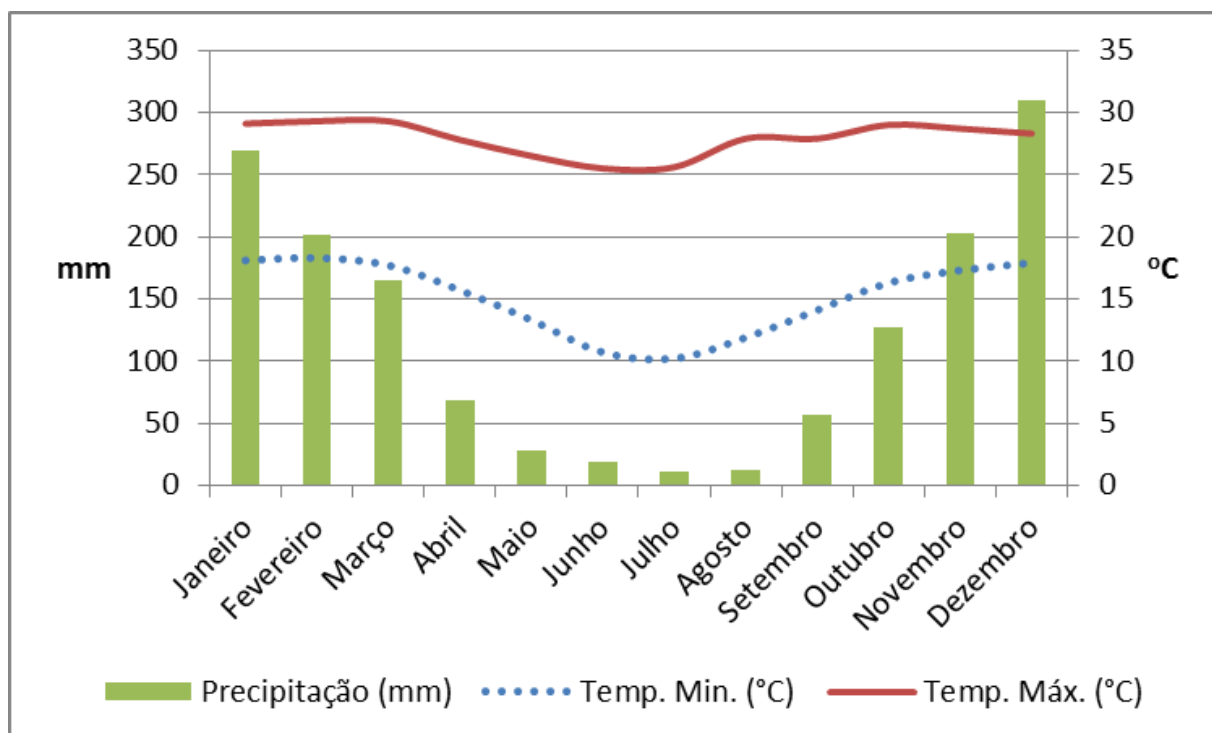


Figura 2: Normais climatológicas (1975-1990) de Divinópolis – MG. Fonte: Somar Meteorologia, 2013

2.1.2.2 – Delineamento, equipamentos, coleta e análises dos dados

Foram distribuídas 10 gaiolas de 1m^3 em cada área experimental, por meio do lançamento aleatório de um quadro de 1m^2 . Essas gaiolas serviram como referência geográfica para a realização de fotos hemisféricas, para estudar as copas das árvores. Foram feitas fotos nos dez pontos (gaiolas) presentes na área SSP, nas mudanças das estações do ano, 23/03/2011, 28/06/2011, 23/09/2011, 22/12/2011 e 26/03/2012, estações outono, inverno, primavera, verão e outono, respectivamente. Os dados foram analisados no delineamento inteiramente ao acaso. O arranjo experimental foi em parcelas subdivididas, com sistema na parcela e estação na subparcela.

Utilizou-se uma máquina fotográfica digital Nikon Coolpix[®] 5.400, acoplada a uma lente “olho de peixe” Nikon[®] FC-E9 (Fig. 3a), situadas embaixo da copa (orientada para o Zênite - Fig. 3b) e com a face superior da máquina voltada para o Norte. Foi utilizado um GPS Garmin GPSMAP 60CSx[®] para indicar o Norte verdadeiro (geográfico). As fotos foram tiradas pela manhã (das 8:00 às 10:00) ou ao final da tarde (das 16:00 às 18:00) para evitar excesso de luz e interferir na interpretação do programa.

Para a estimativa da porcentagem da abertura do dossel as fotos hemisféricas foram processadas no software GLA 2.0 (FRAZER, 1999). Esse software possui modelos matemáticos para cálculo da radiação solar que levam em consideração a topografia do

terreno e padrões estacionais de nebulosidade de acordo com os dados georreferenciais lançados no programa. Ele computa a cobertura de copas e as áreas abertas, o índice de área foliar efetiva, a distribuição de frequência de reflexão solar, a duração do fotoperíodo e calcula a quantidade de radiação solar incidente, direta, difusa e total, acima e abaixo (transmitida) das copas das árvores na superfície horizontal ou relevo inclinado. A fotografia digital foi convertida em preto e branco (Fig. 3c), dividida radialmente e em anéis concêntricos equidistantes de acordo com a geometria óptica da lente de maneira que cada setor represente uma proporção igual do hemisfério. Os índices de área foliar efetivos foram calculados nos anéis 4 (IAF4, 0-60° do Zênite) e 5 (IAF5, 0-75° do Zênite). Eliminou-se o efeito de visada oblíqua crescente à medida que se afasta do centro da fotografia (Fig. 12 b). A fotografia foi segmentada em bitmap binário usando um limiar estimado visualmente (Fig. 3c) (FRAZER, 1999).

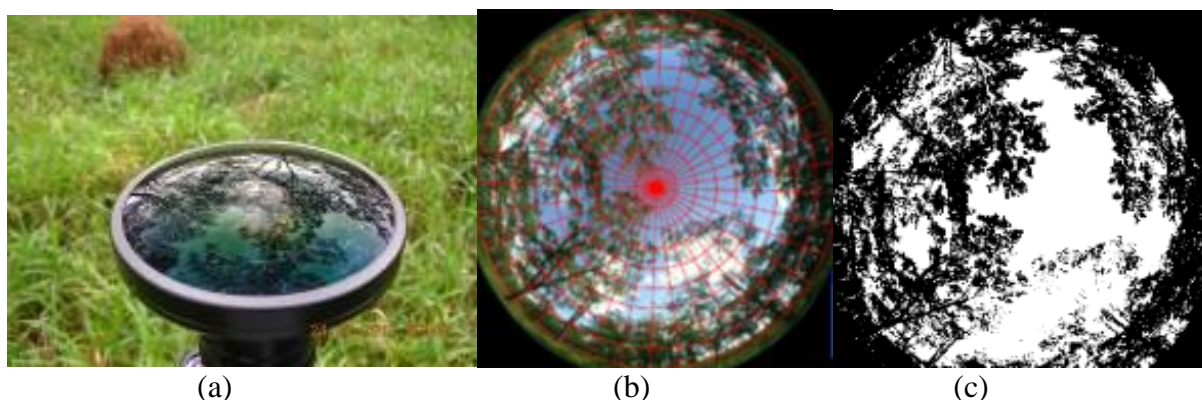


Figura 3: Lente “olho de peixe”(a) e fotografias dividida radialmente em anéis (b) e em preto e branco (c). Fazenda Campo Alegre, Itapeperica – MG, 2011. Fonte: arquivo pessoal

Utilizou-se fórmulas astronômicas (Borges, 2013), para se calcular a duração do fotoperíodo e o percentual de insolação em relação às horas de luminosidade de acordo com as coordenadas geográficas. Por meio de planilha eletrônica EXCEL[®] (BHnorm) desenvolvida por Rolim et al. (1998), calculou-se o balanço hídrico climatológico mensal do solo utilizando-se dados de temperatura do ar, precipitação pluvial e fotoperíodo em função da localização geodésica, de acordo com o método de Thornthwaite e Mather (1955). Após o processamento das 10 fotos em cada estação obteve-se os resultados de: índice de área foliar nos anéis 4 e 5, radiações fotossinteticamente ativas (RFA) acima do dossel: direta (RFAdir), difusa (RFAdif) e total (RFAat). E RFA transmitidas até o nível do solo: direta (RFAtdir), difusa (RFAtdif) e total (RFAatt). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

2.1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período experimental foi de 23 de março de 2011 a 26 de março de 2012, quando foram registrados, 1.324 mm de chuvas, temperatura máxima média de 28,9°C e mínima de 15,3 °C (Fig. 4, Tab. 1). A quantidade de chuvas nesse período, em Divinópolis, MG, foi 10% menor do que a média anual, de acordo com as normais climatológicas elaboradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (2009).

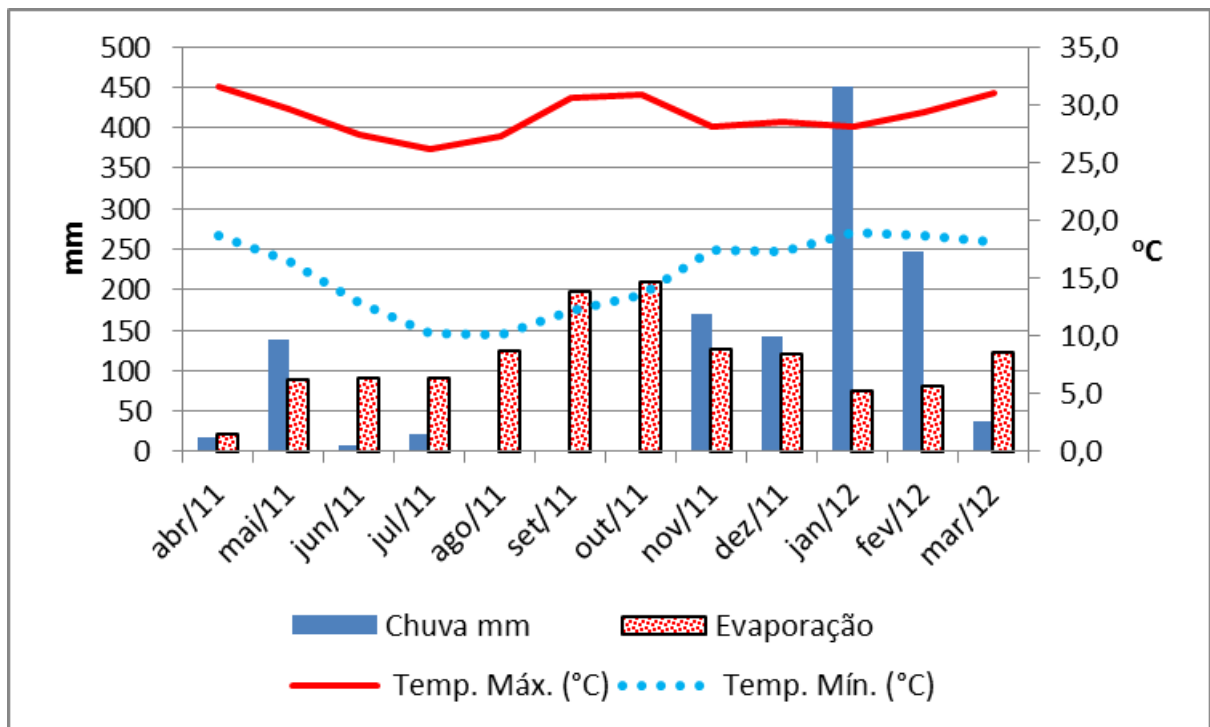


Figura 4: Climatologia do período experimental conforme dados coletados pela estação meteorológica de Divinópolis – abril de 2011 a março de 2012

Tabela 1: Dados meteorológicos do período experimental de acordo com a estação meteorológica do INMET de abril de 2011 a março de 2012, em Divinópolis, MG

Meses	Chuva mm	Dias de chuva	Evapo- transpiração		Temp. Máx. (°C)	Temp. Mín. (°C)	Insolação (horas)	Fotoperí- odo (horas)	% insolação/ fotoperíodo	Nebulosidade (décimos)	Umidade Relativa
			Evaporação Piché (mm)	potencial (mm)							
abr/11	139	9	89	78	29,6	16,4	7,6	11,5	66%	6,0	72,1
mai/11	8	2	91	52	27,3	12,8	7,8	11,0	71%	4,9	71,6
jun/11	22	3	91	38	26,2	10,2	8,2	10,8	76%	3,1	69,5
jul/11			125	45	27,2	10,1	7,8	10,9	71%	3,3	60,4
ago/11			198	73	30,6	12,2	9,4	11,3	83%	2,6	48,7
set/11	1	2	210	80	30,9	13,5	8,4	11,9	71%	4,1	44,0
out/11	171	15	125	90	28,1	17,5	6,1	12,5	49%	8,2	67,9
nov/11	142	11	121	91	28,5	17,3	7,3	13,0	56%	7,4	68,6
dez/11	451	25	75	100	28,1	19,0	4,5	13,2	34%	8,9	79,3
jan/12	248	21	80	103	29,4	18,7	6,3	13,1	48%	8,9	73,8
fev/12	38	6	123	105	31,0	18,1	8,0	12,7	63%	6,8	61,2
mar/12	78	13	105	99	30,3	18,1	7,3	12,2	60%	7,0	67,6
Total/médias	1.296	107	1.432	955	28,9	15,3	7,4	12,0	62%	5,9	65,4

A evaporação total anual (1.432 mm) foi 11% superior a precipitação anual (1.296 mm), no período do ano analisado (abr/11 a mar/12). Sete dos doze meses analisados, maio, junho, julho, agosto, setembro de 2011 e fevereiro e março de 2012 tiveram evaporação total (942 mm) mais de 5 vezes maior do que as chuvas (146 mm). O período de estiagem no terço final do verão, chamado de veranico, é característico da região do cerrado e pode interferir nas produções agrícolas (Lopes e Guilherme, 2007). O mês com maior evaporação foi o mês de setembro (209,5 mm), praticamente sem ocorrências de chuva. As árvores de Sucupira renovam praticamente todas as folhas nos meses de agosto e setembro (Lorenzi, 2002), provavelmente como mecanismo de defesa.

A insolação média diária foi maior no mês de agosto (9 horas) e menor no mês de dezembro (4 h), correspondente aos dias de chuva, 0 e 25, respectivamente. O mês de dezembro foi o que mais choveu (451 mm), o que menos evaporou (75,1 mm), apresentou a maior média de umidade relativa (79,3%), mas por outro lado foi o mês com menor insolação média diária (4 h). Observou-se uma incongruência de recursos, principalmente para as gramíneas abaixo das árvores, com excesso de umidade e pouca luz.

Por meio do acompanhamento diário da insolação em horas e décimos feitos pela estação meteorológica, sobrepos-se esses dados com os de duração do dia para calcular o percentual de insolação em relação às horas de sol de cada dia (Fig. 5 e 6). Acrescentou-se também uma variável qualitativa de nebulosidade e observou-se claramente essa incongruência de recursos entre umidade no solo e luz. Isso traz efeitos negativos principalmente para a gramínea abaixo das árvores.

Na figura 5, observa-se a variação do fotoperíodo (nascer e pôr do sol) com dias mais longos no verão e mais curtos no inverno, mas com maior nebulosidade e, conseqüentemente, menor insolação nesses mesmos períodos. Nos meses de menor nebulosidade (junho, julho, agosto e setembro) e maior insolação em horas por dia, correspondem ao período de baixa precipitação pluviométrica e alta evaporação (fig. 6) demonstrando a incongruência de recursos.

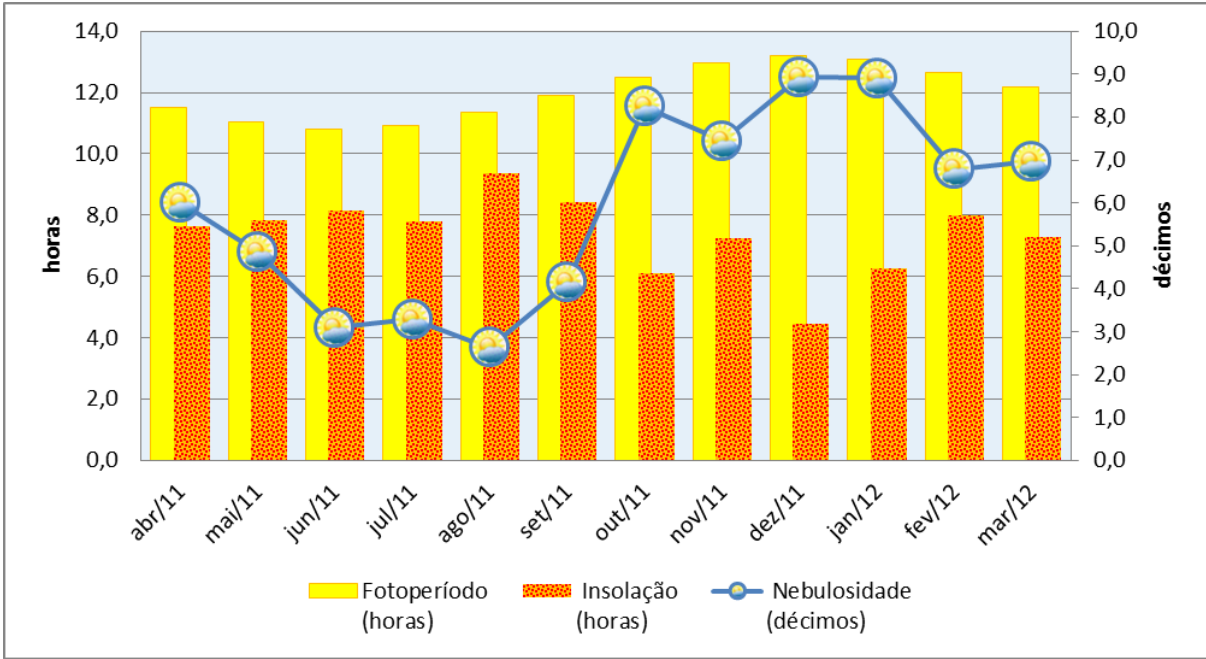


Figura 5: Fotoperíodo médio diário (horas), insolação média diária (horas) e nebulosidade (décimos por dia). Fonte: estação meteorológica do INMET em Divinópolis – MG, 2012

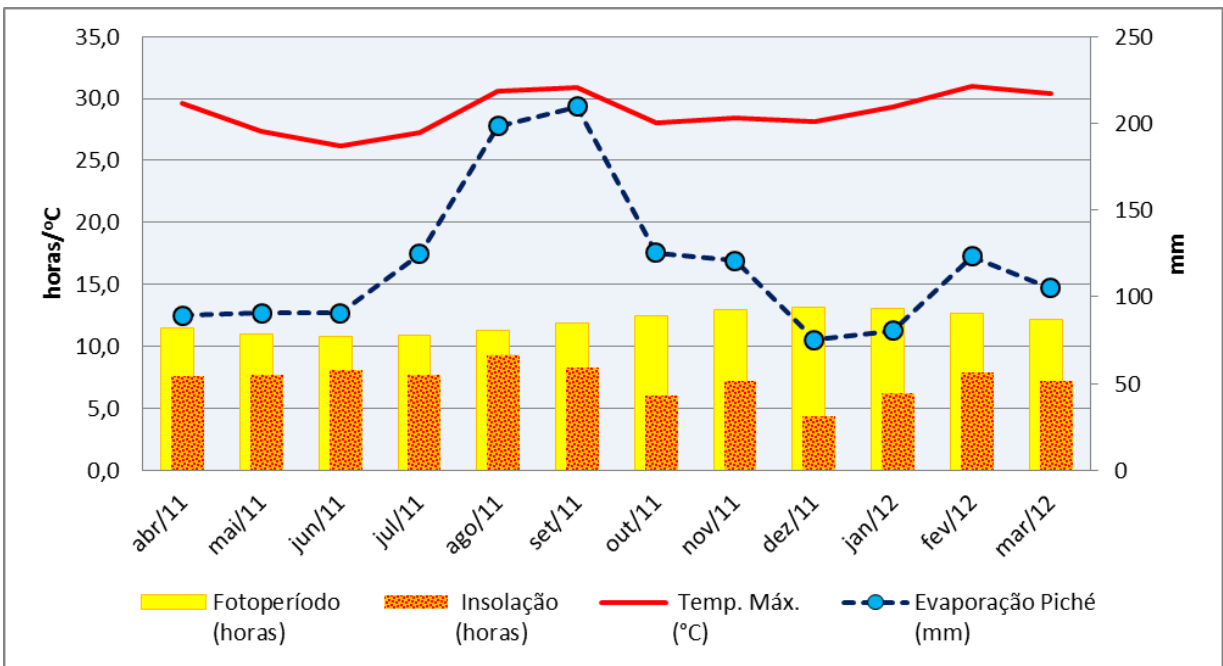


Figura 6: Evaporação, temperatura máxima, horas de sol no dia e insolação. Fonte: estação meteorológica do INMET 2012

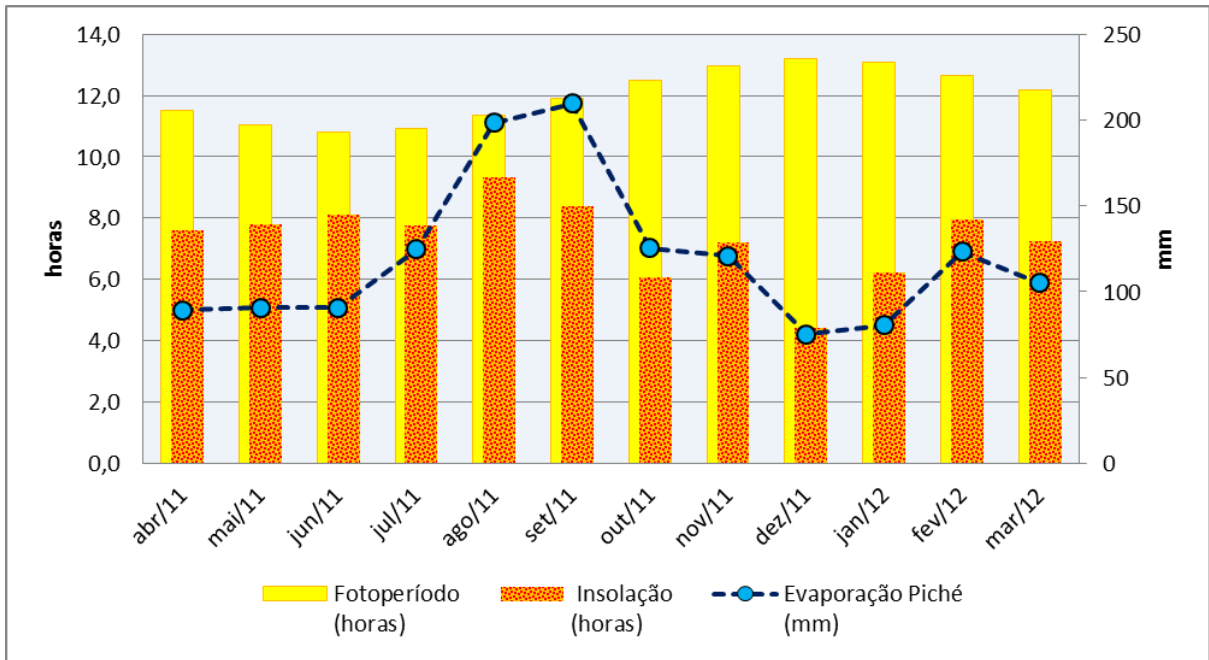


Figura 7: Evaporação, horas de sol no dia e insolação. Fonte: estação meteorológica do INMET 2012

Na figura 6 observa-se uma relação direta entre a evaporação e a temperatura máxima, ou seja, quando a temperatura máxima sobe há um aumento na evaporação e vice e versa. Na figura 7 foi retirada a variável temperatura para melhor visualização da relação entre a evaporação e a insolação média diária. As árvores Sucupira possuem uma capacidade de defesa para o excesso ou diminuição da luz solar incidente chamada heliotropismo descrito por Caldas (1997). Os folíolos se inclinam verticalmente em função da maior ou menor incidência de luz, isso faz com que uma maior quantidade de RFA chegue até o sub-bosque nas horas de maior incidência de luz. Por outro lado, em dias muito nublados e com baixa quantidade de insolação, esse heliotropismo pode agir a favor das árvores e prejudicar a gramínea abaixo delas.

Foi feito um estudo do balanço hídrico da região de Divinópolis no ano de 2011 e no período experimental (de março de 2011 a março de 2012) (fig. 8). O balanço hídrico mostra um grande excedente de umidade no solo de novembro a janeiro e retirada e deficiência de maio a setembro. Esse balanço hídrico do solo pode estar correlacionado com as variações nos nutrientes observadas tanto no solo quanto nas gramíneas em diferentes estações do ano em função dos teores de umidade e capacidade de difusão desses nutrientes. A mobilização e mineralização da matéria orgânica também sofre influência da umidade do solo.

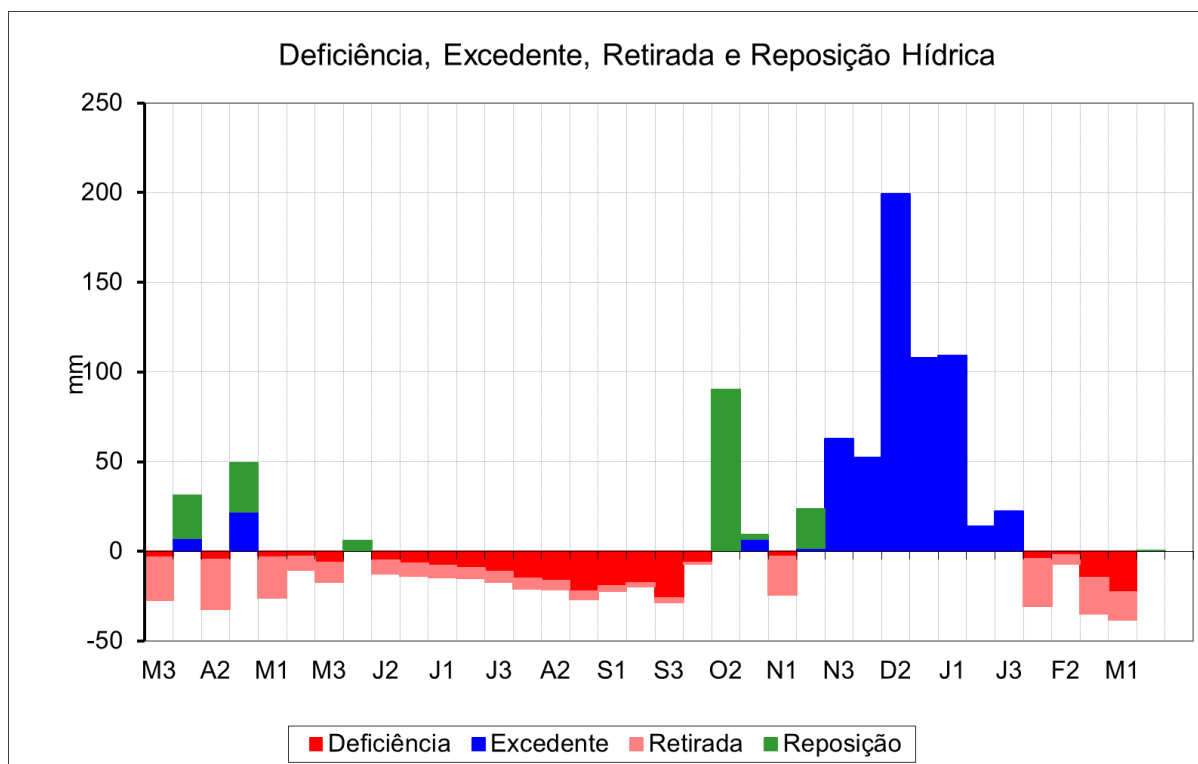


Figura 8: Balanço hídrico do solo durante o período experimental (março 2011 = M3 a março 2012 = M1), segundo método de Thornthwaite e Mather (1955). Fonte: estação meteorológica do INMET Divinópolis, MG 2012

As radiações fotossinteticamente ativas (RFA) acima do dossel apresentaram variações em todas as estações ($P < 0,05$), já as radiações fotossinteticamente ativas transmitidas (RFAt) demonstraram variações mais acentuadas entre o verão e o inverno, o outono e a primavera apresentaram valores intermediários (tab. 2). As radiações direta e difusa transmitidas abaixo do dossel das árvores aumentaram no verão ($P < 0,05$) (tab. 2).

Tabela 2: Radiações acima e abaixo do dossel e índice de área foliar de árvores sucupira em sistema silvipastoril, durante as quatro estações do ano (2011). Fazenda Campo Alegre, Itapeçerica - MG

Variável	Outono	Inverno	Primavera	Verão
RFA _{dir}	20,26b ± 1,2	13,72d ± 0,7	20,08c ± 1,4	24,33a ± 1,4
RFA _{dif}	20,26b ± 1,2	13,72d ± 0,7	20,08c ± 1,4	24,33a ± 1,4
RFA _t	40,52b ± 2,5	27,43d ± 2,6	40,17c ± 5,7	48,66a ± 2,7
RFAt _{dir}	15,34b ± 3,3	9,90b ± 1,9	14,95b ± 3,5	18,30a ± 4,0
RFAt _{dif}	13,34b ± 2,5	9,80b ± 1,4	12,36b ± 2,7	15,66a ± 3,8
RFAt _t	28,69b ± 5,5	19,70c ± 2,6	27,31b ± 6,1	33,96a ± 7,1
IAF ₄	0,54ab ± 0,3	0,46b ± 0,2	0,66a ± 0,3	0,59ab ± 0,3
IAF ₅	0,54b ± 0,2	0,41c ± 0,1	0,66a ± 0,3	0,54b ± 0,2

RFAdir = radiação fotossinteticamente ativa direta acima do dossel ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{dia}$), RFAdif = difusa acima do dossel ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{dia}$), RFAt = total acima do dossel ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{dia}$), RFAtdir = transmitida direta abaixo do dossel ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{dia}$), RFAtdif = transmitida difusa ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{dia}$), RFAtt = transmitida total ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{dia}$), IAF4 = índice de área foliar no anel 4 de 0-60° do zênite e IAF5 de 0-75° do zênite

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey ($P > 0,05$)

A radiação fotossinteticamente ativa total transmitida (RFAtt), que é aquela que chega abaixo dos dosséis para as gramíneas e o IAF foram diretamente afetados pelas estações do ano ($P < 0,05$), existindo diferença entre primavera e inverno com valores intermediários para o índice durante os períodos de verão e outono (Tab. 3). Paciullo et al. (2011) também observaram variação na luz incidente no sub-bosque em diferentes épocas do ano. A formação e manutenção das partes vivas das plantas dependem de diversos fatores genéticos e ambientais. Dentre os fatores ambientais, podemos destacar a disponibilidade de RFA e de água. Na estação seca do ano, a umidade do solo é fator limitante, o que prejudica a formação e manutenção de tecidos vegetais vivos (Souza, 2009).

Além disso, o número de horas de insolação (luz direta) no verão (670 horas) foi menor quando comparado com o inverno (750 horas), representando 89% no verão em relação ao inverno. Existe uma incongruência de recursos: quando há umidade e calor no verão, a quantidade de luz direta sofre efeitos do maior IAF das arbóreas e predominância de somente luz difusa em dias com muita nebulosidade. Por outro lado, no inverno, o número de horas de insolação é maior, mas há uma diminuição da umidade relativa e temperatura do ar.

Tabela 3: Radiação fotossinteticamente ativa total e transmitida abaixo do dossel das árvores, luminosidade e nebulosidade, nas passagens de estações do ano (2011) determinadas pelo programa GLA de análise de fotos hemisféricas. Fazenda Campo Alegre, Itapecerica – MG

Estação	Área		RFAt	RFAtt		Sombreamento	Insolação	Luminosidade diária	Relação insolação/luminosidade	Nebulosidade								
	aberta	IAF		Mol m ² d ⁻¹	Mol m ² d ⁻¹						%							
Inverno	63	a	0,46	27	c	72	28	8,5	11,3	76%	3,1							
Primavera	47	b	0,66	40	ab	68	32	6,4	12,8	50%	7,8							
Verão	53	ab	0,59	49	a	70	30	7,0	12,8	55%	7,7							
Outono	52	ab	0,61	39	bc	67	33	6,8	11,3	60%	5,9							
	54		0,58	39		27		69		31		7,2		12,0		60%		6,2

Letras minúsculas distintas entre colunas, diferem entre si (Teste Tukey $p < 0,05$)

O percentual de área aberta, identificada pelo programa GLA por meio das fotos hemisféricas, foi maior no inverno, menor na primavera e intermediário no verão e outono ($p < 0,05$). A maior percentagem de área aberta e consequentemente de menor sombreamento se deveu a senescência e queda das folhas das árvores nesse período. A Sucupira Branca é uma planta decídua, sendo caracterizada pelo fato de suas folhas senescerem no inverno e rebrotarem na primavera (Lorenzi, 2002). No entanto, nesse período se verificou a menor quantidade de radiação total transmitida (direta + difusa) ($p < 0,05$) abaixo da copa das árvores, em relação às outras estações, mesmo com maior número de horas de insolação (8,5 h), menor nebulosidade e 11,3 horas de luminosidade por dia. A rebrota das folhas na primavera

significou a menor percentagem de área aberta e maior sombreamento, mas a luz transmitida para as gramíneas foi intermediária a alta mesmo com o menor número de horas de insolação por dia (maior nebulosidade) em relação às outras estações do ano. O verão (que iniciou em 22/12/2011 e terminou em 20/03/2012) apresentou a maior quantidade de luz total transmitida dentre as estações, mesmo com área aberta e sombreamento intermediários, 7 horas de insolação por dia com nebulosidade alta mas com maior quantidade de luz por dia. Foram verificados 44 dias (49%) e 461 mm de chuvas, ou seja, choveram mais de 10 mm de média na metade dos dias do período. Nesse momento, houve congruência de recursos luz, umidade e temperatura e a repetição desse fenômeno, provavelmente venha explicar a sobrevivência do sistema por tantos anos.

A radiação fotossinteticamente ativa média anual transmitida ao sub-bosque, representou 69% da RFA total acima das árvores, correspondente a um sombreamento médio anual de 31% (tab. 3). Essa menor quantidade de RFA representou uma diminuição de 35% na produção de MS da pastagens que será abordada no item 2.3 sobre a produção de matéria seca da gramínea.

A competição por luz pode ser um fator limitante quando há restrições de água e nutrientes (Connor, 1983 citado por Veiga, 2001). A competição por recursos como luz, água e nutrientes, em sistemas silvipastoris podem levar à queda acentuada na produtividade do sub-bosque alguns anos após o seu estabelecimento. Entretanto, a quantidade de luz disponível pode ser controlada através de operações de desbaste, da densidade do plantio, da escolha de espécies tolerantes ao sombreamento e seleção de espécies arbóreas em função das características de sua copa (Garcia et al., 2001). As espécies mais tolerantes ao sombreamento nem sempre são as mais produtivas num determinado nível de sombra, devido aos diferentes potenciais de produção das espécies (Garcia et al., 2001).

Castro et al. (1999) procuraram identificar, entre algumas das espécies de gramíneas forrageiras mais utilizadas nas nossas condições, aquelas que apresentassem maior tolerância ao sombreamento. Verificaram que o sombreamento favoreceu o aumento somente na produção de matéria seca do *P. maximum*, para o qual o maior rendimento ocorreu com 30% de sombreamento. As gramíneas *Melinis minutiflora* e *Setaria sphacelata* foram consideradas tolerantes ao sombreamento, pois as suas produções de MS, ao contrário das demais, não foram alteradas significativamente pela sombra. No entanto, suas produções de MS a 30% (3,6 e 5,9 t/ha, respectivamente) e a 60% (2,0 e 5,7 t/ha, respectivamente), foram bem inferiores à do *Andropogon. gayanus*, espécie que apresentou uma queda acentuada na

produção de MS com o sombreamento, mas que produziu 9,5 t/ha a 30% e 7,0 t/ha a 60% de sombreamento.

A densidade de plantio do componente arbóreo tem influência significativa na produção da forragem e sua qualidade nutricional, na altura de plantas, diâmetro a altura do peito e área de copa pelo efeito da competição, tanto intraespecífica e como interespecífica. Há estudos, na Austrália, demonstrando que densidades de plantio de *Eucalyptus grandis* acima de 500 árvores/ha reduziram significativamente a produção da pastagem de *Setaria sphacelata* com o crescimento das árvores. Ao final do estudo, concluiu-se que o sistema ideal deveria ser iniciado com o plantio de 500 árvores/ha, com um desbaste aos cinco anos de idade deixando 50 árvores/ha (Mochiutti e Meirelles, 2001).

Na Califórnia, Jackson et al. (1990) realizaram um estudo sobre o efeito da remoção de árvores nas pastagens. Os autores verificaram que houve aumento de produtividade da forragem em curto prazo, possivelmente devido à maior luminosidade e menor competição por nutrientes e água debaixo das árvores. Entretanto, deve-se considerar que a decomposição dos resíduos das árvores influenciaram o nível de nutrientes presentes no solo. Após alguns anos, houve redução na produtividade que poderia ser atribuído à maior perda de nutrientes e ruptura na ciclagem do nitrogênio.

2.1.4 – CONCLUSÃO

Estudos meteorológicos são importantes ferramentas para melhor entendimento dos processos complexos que ocorrem em sistemas integrados principalmente nos agroflorestais pela competição aos recursos de luz, umidade, temperatura.

A estação do ano afeta o índice de área foliar e a radiação fotossinteticamente ativa acima do dossel e transmitida abaixo do dossel. Existe uma incongruência de recursos nas estações do ano: quando há umidade e calor no verão, a quantidade de luz direta sofre efeitos do maior IAF das arbóreas e quando o número de horas de insolação é maior, faltam umidade e temperatura. Essa incongruência pode ser agravada nos sistemas agroflorestais e deve-se atentar, cuidadosamente, ao se planejar e executar a implantação desses sistemas. O critério tolerância ao sombreamento não pode ser considerado isoladamente na escolha da forrageira a ser utilizada em um sistema silvipastoril.

A radiação fotossinteticamente ativa transmitida abaixo das árvores correspondeu em média 69% da RFA total ao longo do ano. Isso correspondeu a uma produção de 65% de matéria seca do capim em relação à área a pleno sol.

2.1.5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORGES, R.C.M. *Cálculo do nascer e pôr do sol*. Instituto de Informática – UFRGS, 2014. Disponível em: http://www.inf.ufrgs.br/~cabral/Nascer_Por_Sol.html Acesso em: 05/01/2014.
- CALDAS, L.S.; LÜTTGE, U.; FRANCO, A.C.; HARIDASAN, M. Leaf heliotropism in *Pterodon pubescens*, a woody legume from the Brazilian Cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, vol.9 (1), p.1-7, 1997.
- CASTRO, C.R.T.; GARCIA, R.; CARVALHO, M.M.; COUTO, L. Produção Forrageira de Gramíneas Cultivadas sob Luminosidade Reduzida. *Revista brasileira de zootecnia*, v.28, n.5, 1999. p.919-927.
- FRAZER, G.W.; CANHAM, C.D.; LERTZMAN, K.P. *Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation*. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York. 1999. 36p.
- GARCIA, R.; ANDRADE, C.M.S. Sistemas silvipastoris na Região Sudeste. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C., (Eds.) *Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais*. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001. p.173-187.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. *Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1990*. INMET, MAPA, Brasília, 2009. 253p.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Dados atmosféricos 2011/12 da estação Divinópolis – MG., disponibilizados através do convênio com a Universidade Federal de Minas Gerais nº D05/081/2008. 2012.
- JACKSON, L.E.; STRAUSS, R.B., FIRESTONE, M.K., BARTOLOME, J.W. Influence of tree canopies on grassland productivity and nitrogen dynamics in deciduous oak savanna. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.32,p. 89-105, 1990.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. *Fertilidade do solo e produtividade agrícola*. Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras. In: SBCS, Viçosa, 2007. Fertilidade do Solo, 1017p. (eds. NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B. e NEVES, J.C.L.)2007. p. 1-64.
- LORENZI, HARRI. *Árvores Brasileiras*. 4ªed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2002. 352p.
- MOCHIUTTI, S.; MEIRELLES, P.R.L. Sistemas silvipastoris no Amapá: situação atual e perspectivas. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C., (Eds). *Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais*. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001. p.77-99.
- PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; et al. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.46, n.10, out. 2011. p.1176-1183.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.6, 1998. p.133-137.

SÁ JÚNIOR, A. *Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais*. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009. 101p.

SOMAR METEOROLOGIA. Climatologia – Divinópolis, 2013. Disponível em: <http://www.tempoagora.com.br/previsao-do-tempo/brasil/climatologia/Divinopolis-MG/> Acesso em 10/12/2013.

SOUZA, G.M.; BALMANT, B.D.; VITOLO, H.F.; et al. Estratégias de utilização de luz e estabilidade do desenvolvimento de plântulas de *Cordia superba* Cham. (*Boraginaceae*) crescidas em diferentes ambientes luminosos. *Acta Bot. Bras.* V.23(2), 2009. p.474-485.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. *Publications in Climatology*. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.

VEIGA, J.B.; DA VEIGA, D.F.; Sistemas silvipastoris na Amazônia Oriental. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C., (Eds). *Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais*. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001. p. 40-76.

2.2. ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO

2.2.1. INTRODUÇÃO

O solo, meio principal para o crescimento das plantas, é uma camada de material biologicamente ativo, resultante de transformações complexas que envolvem o intemperismo de rochas e minerais, a ciclagem de nutrientes e a produção e decomposição de biomassa. Os agroecossistemas cobrem mais de um quarto da área global da terra, no entanto, quase três quartos da área desses sistemas apresentam baixa fertilidade do solo que, aliado a condições de relevo íngreme, podem afetar a produção agrícola.

Tem crescido a implantação de SSP no Brasil, principalmente nas áreas de cerrado, como alternativa às pressões financeiro-econômicas do uso da terra pela pecuária, possibilitando a intensificação, aumentando a rentabilidade e conservando ambientes, sem que haja necessidade de abertura de novas áreas e migração para outras regiões. Representam, também, menores investimentos e geração de caixa anual pela venda de gado da atividade pecuária, no período de crescimento das árvores.

No entanto, existem ainda poucos estudos na região do cerrado sobre como se comporta o sistema solo-água-plantas-animais com relação aos atributos físico-químicos do solo. A ciclagem química-biológica de nutrientes, os aspectos físicos de porosidade, tamanho de partículas e formação de agregados, são alguns pontos que devem ser considerados nas recomendações técnicas de manejo e condução desses sistemas agroflorestais complexos, que com certeza, não serão os mesmos de sistemas de produção especializados.

Objetivou-se estudar e comparar a alteração dos atributos químicos e físicos do solo no SSP e pastagem de braquiária brizanta em monocultivo sem aplicação de fertilizantes em diferentes estações do ano e em diversas profundidades do solo.

2.2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.2.1. Local de coleta de amostras de solo

De acordo com o Mapa de Solos de Minas Gerais o solo da região da fazenda Campo Alegre, Itapeçerica, MG, é um Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura argilosa; ambas as fases floresta subcaducifólia e floresta subperenifólia, relevo plano e suave ondulado. As áreas onde a pesquisa foi feita, foram abertas e implantadas com pastagens de braquiária, a mais de 30 anos, sem correção do solo com calagem e adubação.

Lopes (1984) descreveu os níveis médios dos principais componentes dos solos de cerrado como sendo: pH em água igual a 5,0, Ca, Mg e K trocáveis igual a 0,3, 0,1 e 0,08 cmolc dm^{-3} , respectivamente. Fósforo disponível, $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$, matéria orgânica, $2,2 \text{ dag kg}^{-1}$, e CTC, $1,1 \text{ cmolc dm}^{-3}$. Com estes níveis, a produção de forragem é capaz de suportar apenas taxas de lotação entre $0,41$ a $0,48 \text{ UA ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Aguiar 1997). Esses níveis estão bem próximos aos encontrados no experimento, nos dois sistemas, na camada arável do solo (0-20 cm): pH em água, 5,0, Ca, Mg e K trocáveis, 0,26, 0,15, 0,10 cmolc dm^{-3} , respectivamente. P disponível, $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$, MO, $2,8 \text{ dag kg}^{-1}$ e CTC, $5,6 \text{ cmolc dm}^{-3}$ (Tab. 4).

Tabela 4: Caracterização química da área experimental, SSP e PS, até 140 cm de profundidade

Profundidade	Unid.	0-10 cm		10-20 cm		20-40 cm		40-100 cm		100-140 cm	
		SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS
pH H ₂ O		4,88	5,08	4,90	5,02	4,84	5,15	4,96	5,20	5,02	5,28
P Meh -1	mg dm ⁻³	0,76	0,85	0,44	0,53	0,38	0,33	0,32	0,25	0,30	0,28
S-SO ₄ =	mg dm ⁻³	5,00	3,75	3,80	4,25	4,00	2,75	4,20	2,75	3,20	2,50
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,26	0,55	0,12	0,25	0,20	0,20	0,16	0,18	0,12	0,15
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,12	0,30	0,10	0,13	0,04	0,10	0,00	0,00	0,00	0,03
K ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,07	0,09	0,07	0,06	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,86	0,55	0,84	0,60	0,74	0,48	0,46	0,28	0,38	0,05
H+Al	cmol _c dm ⁻³	5,84	3,48	5,60	3,85	5,40	3,38	4,58	2,60	4,22	2,08
SB	cmol _c dm ⁻³	0,52	0,94	0,29	0,44	0,28	0,34	0,18	0,19	0,13	0,19
t	cmol _c dm ⁻³	1,38	1,49	1,13	1,04	1,02	0,82	0,64	0,47	0,51	0,24
T	cmol _c dm ⁻³	6,36	4,42	5,89	4,29	5,68	3,72	4,76	2,80	4,35	2,26
V	%	9,7	21,4	6,1	10,3	6,7	9,3	4,5	7,5	3,4	8,6
m	%	61,2	38,1	72,9	58,4	68,9	57,3	64,0	51,9	68,3	20,0
CO	dag kg ⁻¹	2,07	1,90	1,60	1,32	1,42	1,10	1,08	0,80	0,83	0,56
MO	dag kg ⁻¹	3,58	3,27	2,76	2,28	2,44	1,90	1,86	1,38	1,44	0,97
Cu	mg dm ⁻³	1,10	0,67	1,04	0,55	0,86	0,40	0,68	0,30	0,46	0,28
Fe	mg dm ⁻³	130,8	72,0	77,6	44,0	56,2	28,5	29,2	13,5	17,4	8,8
B	mg dm ⁻³	0,11	0,07	0,11	0,07	0,09	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06
Mn	mg dm ⁻³	2,02	2,88	1,30	1,68	1,12	1,35	0,82	0,80	0,82	0,65
Zn	mg dm ⁻³	0,32	0,33	0,22	0,15	0,20	0,13	0,12	0,10	0,12	0,15
Ca/Mg	%	2,1	1,9	1,2	2,0	1,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,3
Ca/K	%	2,7	6,5	1,9	4,2	4,5	4,9	7,3	8,8	9,3	12,5
Mg/K	%	1,2	3,5	1,6	2,1	0,9	2,4	0,0	0,0	0,0	2,5
Ca+Mg/K	%	3,9	10,1	3,5	6,3	5,4	7,4	7,3	8,8	9,3	15,0
Ca/T	%	5,1	12,5	2,8	5,8	4,8	5,5	3,9	6,8	3,1	6,9
Mg/T	%	2,3	6,8	2,0	2,9	0,9	2,7	0,0	0,0	0,0	1,0
K/T	%	2,3	2,1	1,4	1,5	0,9	1,2	0,6	0,7	0,4	0,6
Al/T	%	13,3	12,7	14,8	14,1	12,4	12,7	8,5	9,0	8,0	2,0
H+Al/T	%	90,3	78,6	93,9	89,7	93,3	90,7	95,5	92,5	96,6	91,4
Ca+Mg/T	%	7,3	19,3	4,7	8,8	5,7	8,1	3,9	6,8	3,1	8,0
Ca+Mg+K/T	%	9,7	21,4	6,1	10,3	6,7	9,3	4,5	7,5	3,4	8,6

Na tabela 5 encontra-se a caracterização física do solo do SSP e PS até 140 cm de profundidade.

Tabela 5: Caracterização física do solo da área experimental, SSP e PS, até 140 cm de profundidade. Fazenda Campo Alegre, Itapeçerica - MG

Profundidade		0-10 cm		10-20 cm		20-40 cm		40-100 cm		100-140 cm	
Análise física	Unid.	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS
Macroporos	%	0,11	0,15	0,11	0,08	0,17	0,06	0,12	0,07	0,16	0,14
Microporos	%	0,37	0,29	0,32	0,32	0,32	0,32	0,36	0,34	0,35	0,32
Porosidade total	%	0,48	0,44	0,43	0,4	0,49	0,39	0,48	0,41	0,5	0,45
Massa	g	116	137	118	135	113	138	113	133	109	124
Densidade	g cm ⁻³	1,33	1,48	1,32	1,5	1,3	1,54	1,33	1,46	1,26	1,38
Areia grossa	g kg ⁻¹	329	403	286	400	285	390	294	376	281	334
Areia fina	g kg ⁻¹	82	121	81	111	75	121	71	121	77	106
Silte	g kg ⁻¹	85	73	78	79	90	41	113	77	80	59
Argila	g kg ⁻¹	503	403	559	410	551	448	522	430	562	502

As parcelas experimentais eram constituídas de 20 pontos georreferenciados onde foi colocada uma gaiola de 1m³ em cada. Cada área experimental, SSP e PS, tinha 10 gaiolas distribuídas por meio do lançamento aleatório de um quadro de 1m². Essas gaiolas eram os pontos de referência para coleta de solo nas estações do ano (Fig. 9).

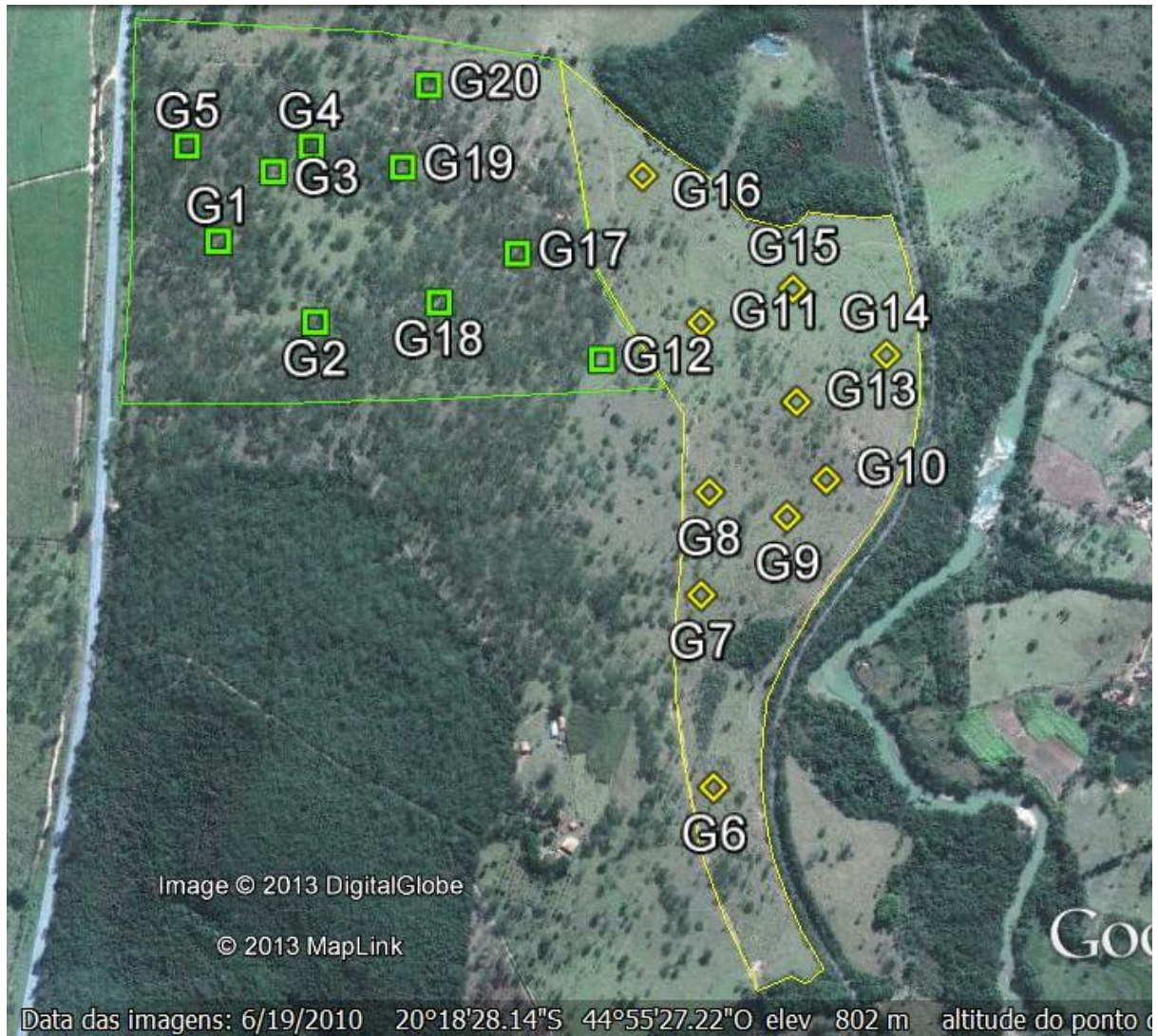


Figura 9: Distribuição dos pontos de amostragem de solo na área SSP (quadrados) e PS (losangos). Fazenda Campo Alegre, município de Itapecerica – MG. Fonte: Google Earth (2010) e georreferenciamento das gaiolas por meio de GPS Garmin GPSMAP 60CSx®.

2.2.2.2. Amostragens sazonais até 40 cm de profundidade

Durante um período de um ano (março de 2011 a março de 2012), nas mudanças das estações do ano (20/03, 21/06, 23/09, 22/12), foram coletadas amostras de solo, nas profundidades de 0-10cm, 10-20cm e 20-40cm, por meio de sonda de aço inox próximas às 20 gaiolas (Fig. 9). As 60 amostras de cada estação (10 amostras de cada sistema nas três profundidades) foram secas à sombra e encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Uberlândia/MG para análises (EMBRAPA, 2009). Para avaliação dos atributos químicos, determinou a acidez ,P, K, Ca, Mg, S-SO₄ disponíveis no solo, MO, C, saturação por Al, CTC e relações entre os nutrientes e CTC do solo.

Os dados foram analisados no delineamento inteiramente ao acaso. O arranjo experimental foi em parcelas sub-subdivididas, com sistema na parcela e profundidade na

subparcela e estação na sub-subparcela. As respostas avaliadas foram submetidas aos testes de Lilliefors (1969) e Bartlett (1937) para verificar normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Foram utilizados os testes de SNK (Student Newman Keuls - Keuls, 1952) para comparar médias, admitindo taxa de erro $\alpha = 0,05$.

2.2.2.3. Amostragens até 140 cm de profundidade

Foram coletadas 5 amostras em cada sistema, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-100 e 100-140 cm, em 15/06/2012, com o objetivo de se verificar a retirada de nutrientes, pelas árvores, em camadas mais profundas. Essas amostras foram enviadas para o Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Uberlândia/MG e feitas análises químicas de solo (macro e micronutrientes) (EMBRAPA, 2009). As variáveis avaliadas foram as mesmas realizadas nas profundidades de 0-40 cm.

O arranjo experimental foi em parcelas subdivididas, com sistema na parcela e profundidade na subparcela. Os dados foram analisados no delineamento inteiramente ao acaso. As respostas avaliadas foram submetidas aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificar normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Foram utilizados os testes de Tukey para comparar médias, admitindo taxa de erro $\alpha = 0,05$. A correlação de Pearson foi utilizada para estudo das associações entre variáveis químicas e físicas do solo.

2.2.2.4. Amostragens indeformadas para análise física

Para determinar a quantidade de C estocado no solo e os teores de nutriente expressos em mg kg^{-1} ou g kg^{-1} , fez-se seis amostragens indeformadas em cada sistema (SSP e PS), no dia 16 de setembro de 2013, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-100 e 100 a 140 cm. Utilizou-se anéis de alumínio de 5 cm de diâmetro e 5 cm de comprimento, de acordo com o método do anel ou cilindro volumétrico (cilindro de Uhland), que foram colocados cuidadosamente, na parte média de cada perfil de solo (Fig. 10).



Figura 10: retirada do cilindro volumétrico (tipo Uhland) de amostras indeformadas para determinação da densidade do solo. Fazenda Campo Alegre, município de Itapecerica – MG, 2013. Fonte: arquivo pessoal

Os anéis foram identificados individualmente, embalados e enviados para o laboratório da Universidade Federal de Uberlândia. As propriedades físicas do solo avaliadas foram: densidade do solo (D_s), pelo método do anel volumétrico; porosidade total (P), calculada pela expressão $P = 1 - D_s/D_p$; macro e microporosidade, com a utilização do extrator de Richards a tensão de 0,006 Mpa.

Os dados foram analisados no delineamento inteiramente ao acaso. O arranjo experimental foi em parcelas subdivididas, com sistema na parcela e profundidade na subparcela. As respostas avaliadas foram submetidas aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificar normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Foram utilizados os testes de Tukey para comparar médias, admitindo taxa de erro $\alpha = 0,05$.

2.2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.2.3.1. Atributos químicos do solo até 40 cm de profundidade nas mudanças das estações do ano

O sistema silvipastoril tem um grande diferencial nos teores de matéria orgânica em relação às pastagens solteiras, principalmente nesse momento onde há necessidade de se mitigar os gases de efeito estufa e sequestrar o C em excesso, emitido antropicamente. A MO do SSP foi, em média, 15% superior à MO da PS em todas as profundidades e estações do ano

analisadas (2,7 e 2,4 dag/kg, respectivamente). De acordo com as médias analisadas dos atributos de CO e matéria orgânica, nos dois sistemas, nas quatro estações e em três profundidades (Tab. 6), observou-se que o CO e a MO foram superiores no SSP em todas as estações e profundidades com exceção da profundidade de 20-40 cm na primavera (14,6% menor). Em média nas quatro estações, o SSP teve teores de CO e a MO 13%, 18% e 17%, superiores a PS nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente. A MO foi maior nas estações de verão e outono no SSP e maior somente no verão na PS. As variações sazonais do CO e da MO estão relacionados aos teores de umidade do solo e atividade biológica na degradação dessa MO.

Tabela 6: Atributos químicos do solo no início de cada estação de 2011, em três profundidades e em dois sistemas: Silvopastoril (SSP) e pastagem solteira (PS). Fazenda Campo Alegre, Itapecerica - MG

Estação do ano	Profundidade cm	pH água		Al ³⁺		H+Al		m		Al / T		H+Al / T		M.O.		C.O.					
		SSP	PS	cmolc dm ⁻³		SSP	PS	SSP	PS	%		SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS				
				SSP	PS					SSP	PS							SSP	PS	SSP	PS
Outono	0-10	4,8	5,1	0,8	0,5	5,60	3,73	58	42	12	11	90	83	3,4	aA*	2,9	aAB*	1,9	aA*	1,7	aAB*
	10-20	4,9	5,1	0,8	0,4	5,45	3,37	68	54	14	12	93	90	2,8	bA*	2,2	bA*	1,6	bA*	1,3	bA*
	20-40	4,9	5,1	0,7	0,4	5,16	3,28	70	60	13	13	94	91	2,4	cA*	1,9	cB*	1,4	cA*	1,1	cB*
		4,8	aB	5,1	abA					13	aA	12	abA								
Inverno	0-10	4,7	5,1	0,9	0,5	7,54	4,58	60	36	11	9	92	84	2,9	aB	2,8	aB	1,7	aB	1,6	aB
	10-20	4,6	5,1	1,0	0,5	6,73	4,00	68	49	14	12	93	87	2,7	abA*	2,3	bA*	1,5	abA*	1,3	bA*
	20-40	4,6	5,1	0,8	0,4	5,55	3,21	73	52	14	11	95	89	2,4	bA*	2,0	bB*	1,4	bA*	1,2	bB*
		4,6	bB	5,1	abA					13	aA	11	abB								
Primavera	0-10	5,0	5,3	0,9	0,4	5,87	3,50	68	38	14	9	94	86	3,0	aB*	2,7	aB*	1,7	aB*	1,5	aB*
	10-20	4,8	5,1	0,9	0,4	5,80	3,12	68	45	14	10	94	88	2,6	bA*	2,2	bA*	1,5	bA*	1,3	bA*
	20-40	4,8	5,2	0,8	0,4	5,33	2,74	73	54	14	12	95	91	2,0	cA*	2,4	abA*	1,2	cA*	1,4	abA*
		4,9	aB	5,2	aA					14	aA	10	bB								
Verão	0-10	5,0	5,1	0,9	0,6	6,69	4,26	63	46	12	13	93	85	3,6	aA*	3,2	aA*	2,1	aA*	1,8	aA*
	10-20	4,9	5,1	0,9	0,6	6,65	4,13	75	62	13	14	96	92	2,7	bA*	2,4	bA*	1,6	bA*	1,4	bA*
	20-40	4,9	5,2	0,8	0,5	6,15	3,67	74	62	12	12	96	93	2,5	bA*	1,8	cB*	1,4	bA*	1,0	cB*
		5,0	aB	5,1	bA	0,84	a	0,46	b	6,04	a	3,63	b								
										13	aA	13	aA								

Letras minúsculas distintas entre colunas, diferem entre si (p<0,05 teste SNK)

Letras maiúsculas distintas, na mesma profundidade e no mesmo sistema, diferem entre si (p<0,05 teste SNK)

* diferem entre sistemas, na linha (p<0,05 teste SNK)

pH = acidez ativa; Al³⁺ = acidez trocável; H+Al = acidez potencial; m = saturação por alumínio (100xAl/t); Al/T = relação de Al com CTC pH 7,0; H+Al/T = relação da acidez potencial com capacidade troca catiônica a pH 7; CO = carbono orgânico; MO = matéria orgânica

Em regiões tropicais, onde a atividade, principalmente de bactérias aeróbicas, é intensa, a mobilização da MO é rápida e quase não se dá acumulação de húmus (Siqueira e Franco, 1988). A matéria orgânica em quantidades suficientes no solo, aumenta o poder tampão que é fator decisivo para a manutenção do equilíbrio dos nutrientes e para que haja respostas positivas na produção de alimentos (Ronquim, 2010).

O solo da área experimental é ácido e não foi corrigido anteriormente com calcário. Essa é uma característica típica dos latossolos vermelho-amarelos dos cerrados (Marques et al., 2013). De acordo com os parâmetros definidos pela CFSEMG (1999), o SSP apresenta acidez elevada (<4,5) e a PS, acidez média (4,5-5,0). Os valores de acidez ativa do solo (pH) são superiores no SSP ($p < 0,05$) em relação aos da PS (Tab. 6). O pH em água não apresentou diferença ($p > 0,05$) entre profundidades nos dois sistemas: SSP e PS, mas foi menor ($p < 0,05$) no SSP, na média das três profundidades analisadas, em todas as estações do ano, em relação à PS. Em sistemas agrícolas, as taxas de adição de H^+ são altas quando os anions dos ácidos adicionados são acumulados no sistema por aumento da matéria orgânica do solo ou aumento da biomassa de uma floresta.

A redução no pH do solo pode estar associada a perda de reservas de nutrientes minerais (Helyar, 2003) e com o maior teor de matéria orgânica (MO) no SSP em relação ao PS que leva a acidificação do solo pela reação de mineralização dessa MO e aumento da saturação do Al. A maior remoção dos cátions: Ca^{2+} , Mg^{2+} (Tab. 9) e K^+ (Tab. 7) e substituição por cátions ácidos: Al^{3+} e H, pelo SSP promove também a acidificação (Vale et al., 1997).

Os teores de Al^{3+} (acidez trocável) e $H + Al$ (acidez potencial) não diferiram entre profundidades e nem entre estações do ano ($p > 0,05$), no entanto, foram maiores ($p < 0,05$) no SSP em relação a PS, 0,84; 0,46 e 6,04; 3,63, respectivamente (Tab.6). A saturação por Al (m%) não variou entre estações mas aumentou ($p < 0,05$) da camada superficial (0-10cm) em relação às demais no SSP, 62, 70 e 73% nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente. Enquanto que na PS, a saturação por Al aumentou significativamente ($p < 0,05$) a medida que se aprofundava, 41, 53 e 57% nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente. Segundo Osaki et al. (1991), valores de saturação de alumínio no solo acima de 45% são altamente prejudiciais às plantas. O alto teor de Al reduz a produção das plantas e demonstra a grande capacidade de tolerância tanto das árvores quanto da gramínea ao Al (Helyar, 2003). Enquanto os cristais de argila estiverem intactos, haverá pouca possibilidade de aparecer Al trocável até níveis tóxicos. Quando, porém, ocorrerem condições

anaeróbias no solo por causa de sua compactação e o valor de pH decrescer, a argila será intemperizada, aumentando a liberação de alumínio (Primavesi, 2006).

A acidez foi maior no inverno em relação as demais estações no SSP. Isso provavelmente ocorreu por causa do menor teor de umidade do solo, efeito de diluição e concentração de íons. De acordo com Ronquim (2010), durante o período das chuvas, os elementos alcalinos, notadamente o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , são lixiviados das camadas superiores pelas águas contendo CO_2 , sendo substituídos nos coloides, pelos íons de H^+ . Após o período das chuvas, pode ter havido uma concentração dos íons H^+ e Al^{3+} . Solos deficientes em cálcio são, em geral, muito ácidos (Raij et al., 1985).

A ciclagem de nutrientes responde pelo atendimento da maior parte da demanda nutricional das árvores. O fluxo de nutrientes via ciclagem aumenta quando as árvores perdem as folhas no inverno. A serrapilheira (folhas, galhos, casca e resíduos vegetais) ao se decompor libera nutrientes para as árvores e gramíneas, os quais são imediatamente aproveitados pelo emaranhado de radículas que se misturam com os componentes da serrapilheira (Gonçalves et al., 1996). O eucalipto possui casca com quantidade significativa de nutrientes sendo o cálcio o que mais acumula nesse componente (Gonçalves et al., 1996). Outras árvores também acumulam Ca e Mg em suas cascas e o mesmo deve ocorrer com a sucupira branca que renova suas cascas anualmente.

Além da exigência das árvores e pastagens serem maiores, quando consorciado, o processo de absorção é potencializado no SSP. Por haver maior quantidade de MO e maior umidade, ocorre maior difusão e maior absorção de nutrientes. As árvores também tem mais raízes, promovem maior interceptação radicular, aumentando ainda mais a absorção dos nutrientes. Há uma maior transpiração pelas árvores, o que aumenta o fluxo de massa, aumentando também a absorção de nutrientes. A ciclagem de nutrientes, variando de acordo com a idade do sistema, pode atender parte das exigências da vegetação (Gonçalves et al., 1996). Esses dados indicam que para fertilização do SSP, tornam-se necessários estudos para definir doses adequadas de calcário e fertilizantes.

Tabela 7: Atributos químicos do solo no início de cada estação de 2011, em três profundidades e em dois sistemas: Silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS). Fazenda Campo Alegre, Itapeçerica - MG

Estação do ano	Profundidade cm	P Ml		K ⁺				K				Ca ²⁺		Mg ²⁺	
		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³				cmolc dm ⁻³							
		SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS		
Outono	0-10	0,6	0,7	38	aAB	44	aB	0,10	aAB	0,11	aB	0,3	0,4	0,2	0,2
	10-20	0,5	0,4	26	bC	27	bC	0,07	bC	0,07	bC	0,2	0,2	0,1	0,1
	20-40	0,2	0,2	19	bA	16	cB	0,05	bA	0,04	cB	0,2	0,2	0,1	0,0
Inverno	0-10	1,0	0,9	42	aA*	66	aA*	0,11	aA*	0,17	aA*	0,3	0,4	0,2	0,3
	10-20	0,9	0,7	35	aB*	48	bA*	0,09	aB*	0,12	bA*	0,2	0,3	0,1	0,2
	20-40	0,6	0,6	22	bA	27	cA	0,05	bA	0,07	cA	0,1	0,2	0,1	0,1
Primavera	0-10	0,7	0,7	39	aAB*	68	aA*	0,10	aAB*	0,17	aA*	0,2	0,2	0,1	0,2
	10-20	0,7	0,6	44	aA	39	bB	0,11	aA	0,10	bB	0,2	0,2	0,1	0,1
	20-40	0,5	0,4	25	bA	21	cAB	0,06	bA	0,05	cAB	0,1	0,1	0,1	0,1
Verão	0-10	1,4	1,4	31	aB	36	aC	0,08	aB	0,09	aC	0,3	0,4	0,2	0,3
	10-20	0,8	0,7	21	bC	22	bC	0,05	bC	0,06	bC	0,2	0,2	0,1	0,1
	20-40	0,5	0,5	16	bA	14	cB	0,04	bA	0,04	cB	0,1	0,1	0,1	0,1

Letras minúsculas distintas entre colunas, diferem entre si (p<0,05 teste SNK)

Letras maiúsculas distintas, na mesma profundidade e no mesmo sistema, diferem entre si (p<0,05 teste SNK)

* diferem entre sistemas, na linha (p<0,05 teste SNK)

Não foram encontradas diferenças (p>0,05) entre os teores de P, para os dois sistemas: SSP e PS, na mudança das estações, até a profundidade de 40 cm, mas houve decréscimo do teor de P em função da profundidade (p<0,05) (Tab. 7), o que comprova a baixa mobilidade desse nutriente nos solos (Rheinheimer et al., 2008). Também não foram encontradas diferenças nos teores de Ca e Mg, entre sistemas, profundidades e estações. Por outro lado, os teores de K diminuíram com a profundidade em ambos sistemas e nas diferentes estações. O K foi maior no inverno do que no verão nas camadas superficiais (0-10 e 10-20cm) nos dois sistemas, possivelmente em função das diluições e mobilizações no colóide do solo durante o período de maior umidade. Os teores de K também foram menores no sistema silvipastoril em relação à pastagem solteira (p<0,05) na camada de 0-10 tanto no inverno quanto na primavera. No entanto, nos períodos de maior umidade no solo, verão e outono, não houve diferença entre sistemas para esse nutriente (p>0,05).

Paciullo et al. (2011), por outro lado, verificaram que árvores leguminosas de 14 anos de implantação e numa densidade de 105 árvores ha⁻¹ (40% de sombreamento), em relação a pastagem a pleno sol, propiciaram o aumento de 1,87 para 5,20 mg cm⁻³ de P e de 30,6 para 47,6 mg cm⁻³ de K, na camada de 0-10 cm, respectivamente.

Tabela 8: Atributos químicos do solo (soma de bases, capacidade de troca cationica efetiva, capacidade de troca cationica, saturação de bases, saturação do alumínio) no início de cada estação do ano, em três profundidades e em dois sistemas: Silvopastoril (SSP) e pastagem solteira (PS). Fazenda Campo Alegre – Itaipericica MG

Estação do ano	Profundidade cm	SB		t		T		V		m	
		SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS
Outono	0-10	0,55	0,70	1,30	1,18	6,15	4,42	10	17	58	42
	10-20	0,37	0,36	1,13	0,80	5,82	3,73	7	10	68	54
	20-40	0,29	0,27	0,98	0,66	5,45	3,55	6	9	70	60
Inverno	0-10	0,61	0,86	1,53	1,33	8,15	5,44	8	16	60	36
	10-20	0,46	0,59	1,46	1,13	7,19	4,59	7	13	68	49
	20-40	0,28	0,40	1,11	0,81	5,84	3,61	5	11	73	52
Primavera	0-10	0,40	0,59	1,27	0,95	6,27	4,09	6	14	68	38
	10-20	0,39	0,42	1,24	0,78	6,19	3,54	6	12	68	45
	20-40	0,26	0,25	1,05	0,60	5,59	2,99	5	9	73	54
Verão	0-10	0,52	0,77	1,40	1,40	7,21	5,03	7	15	63	46
	10-20	0,30	0,37	1,21	0,98	6,95	4,50	4	8	75	62
	20-40	0,25	0,28	1,04	0,75	6,40	3,95	4	7	74	62

Não houve diferença entre as variáveis analisadas ($p > 0,05$ Teste SNK)

No SSP, o solo com maior CTC possui mais macro e microporos que fazem com que haja maior equilíbrio entre as propriedades químicas e físicas do solo.

A matéria orgânica pode representar mais de 80% do valor total da CTC, mas um solo rico em MO, porém ácido, poderá apresentar baixos valores de CTC efetiva (Ronquim, 2010). A CTC efetiva (t) e a saturação por bases (V%) não variaram entre estações mas diminuíram em profundidade em ambos os sistemas (Tab. 8). A CTC efetiva foi maior ($p < 0,05$) no SSP nos três perfis de solo estudados em relação à PS, sendo 13%, 37% e 49% maior, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente. No entanto, a saturação por bases foi menor, em todas as profundidades, no SSP em relação à PS.

No solo do experimento, havia alto valor de CTC total, mas uma parcela significativa das cargas negativas do solo está adsorvendo íons H^+ e a CTC efetiva diminui. A saturação de bases no SSP foi menor 50%, 44% e 42% nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente (Tab. 9).

Tabela 9: Teores médios anuais de cálcio, magnésio, soma de bases, capacidade de troca catiônica efetiva (t) e saturação de bases (V), nas três profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm) e nos dois sistemas, silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS). Fazenda Campo Alegre – Itapecerica MG

Profundidade	Ca ⁺²		Mg ⁺²				SB				t				V					
	cmolc dm ⁻³																			
	SSP		PS		SSP		PS		SSP		PS		SSP		PS		SSP		PS	
0-10 cm	0,27	aB	0,37	aA	0,15	aB	0,23	aA	0,52	aB	0,73	aA	1,38	aA	1,22	aB	7,8%	aB	15,5%	aA
10-20 cm	0,19	bA	0,23	bA	0,11	bA	0,12	bA	0,38	bA	0,44	bA	1,26	bA	0,92	bB	6,1%	bB	10,8%	bA
20-40 cm	0,14	cA	0,16	cA	0,08	cA	0,09	cA	0,27	cA	0,30	cA	1,05	cA	0,70	cB	5,1%	bB	8,8%	cA

Letras minúsculas diferentes entre colunas, diferem entre si pelo teste SNK $p < 0,05$

Letras maiúsculas entre linhas, diferem entre si pelo teste SNK $p < 0,05$

Se houver condições favoráveis à sobrevivência de bactérias e fungos, formam-se ácidos húmicos. Esses ácidos têm um importante papel na formação de grumos e macroporos responsáveis por tornar a terra fofa e facilitar a entrada de ar e água no solo. A matéria orgânica não é, essencialmente, um adubo em forma orgânica, mas um condicionador biofísico do solo que recupera sua porosidade. Além disso, por possuir baixa densidade em relação aos minerais, reduz a densidade aparente do solo (Ronquim, 2010).

O maior teor de bases na superfície se deve ao aumento da matéria orgânica pela contribuição das árvores e das raízes do capim braquiarião, que aumentam a capacidade de troca catiônica (t), que retém essas bases (Tab. 9).

A saturação por bases (V%) nos dois sistemas foi muito baixa, indicando alto teor de acidez trocável e acidez não trocável. Mas, no SSP a saturação foi menor do que na PS, isto devido a maior extração do Ca e Mg pelas árvores e maior acidez no SSP.

Analisando as três profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm), observou-se uma redução dos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} (Tab. 9) e K^+ (Tab. 10) e conseqüentemente da Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (t) e Saturação de Bases (V), nas maiores profundidades em ambos os sistemas (Tab. 9).

Na camada mais superficial de 0-10 cm observou-se teores de Ca, Mg, SB e V menores no SSP em relação ao PS. Os teores de Ca e Mg foram 25% e 34%, respectivamente, mais baixos no SSP em relação ao PS. Pezzoni et al. (2012) verificaram menores teores de Mg próximo a árvores *Pterodon emarginatus* indicando maior absorção desse elemento pelas árvores. O SSP acarreta maior absorção de nutrientes dada a presença das árvores, bem como a produção de massa pelas forragens, que conjuntamente transformam e mobilizam esses nutrientes em massa seca. Não houve diferença nas profundidades 10-20 e 20-40 cm entre os sistemas. A redução nos teores de Ca no complexo de troca, promove o aumento da saturação por Al (Vale et al., 1997). Isso se deve em função dos teores de Al que foram somados nesse indicador. O teor de Al foi 82% mais alto no SSP, por outro lado, a saturação por bases foi menor em todas as profundidades para o SSP.

Já, a capacidade de troca catiônica efetiva foi maior em todas as profundidades para o SSP devido ao menor teor de bases e maior CTC nesse sistema. Essa maior CTC do SSP significa também um maior fator quantidade e poder tampão, ou seja, um maior potencial de produção em relação às pastagens solteiras. No entanto, o SSP requer maior dosagem de calcário e adubação do que o PS, dado sua maior capacidade tampão.

Correlacionando-se as três profundidades e estações do ano, verificou-se também, uma diminuição dos teores de matéria orgânica e potássio em subsuperfície nos dois sistemas (Tab. 10).

Na camada superficial (0-10 cm) os teores de M.O. foram maiores no verão e outono, do que no inverno e primavera, em ambos os sistemas. Os menores teores de M.O. no inverno e outono podem estar relacionados a menor umidade no solo nesses períodos. Com exceção do inverno, em todas as outras estações, o teor de M.O. foi maior no SSP em todas as profundidades.

Tabela 10: Teores de Matéria Orgânica (MO), Potássio (K) e relação do K com a capacidade de troca catiônica (K/T%), em três profundidades, nas transições das quatro estações do ano e nos dois sistemas: silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS). Fazenda Campo Alegre, Itapeçerica - MG

Estação do ano	Profundidade cm	MO				K				K / T			
		dag kg ⁻¹				cmolc dm ⁻³				%			
		SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS				
Outono	0-10	3,4	aA*	2,9	aAB*	0,10	aAB	0,11	aB	1,7	aA*	2,5	aBC*
	10-20	2,8	bA*	2,2	bA*	0,07	bC	0,07	bC	1,2	bAB*	1,8	bB*
	20-40	2,4	cA*	1,9	cB*	0,05	bA	0,04	cB	1,0	bA	1,3	cA
Inverno	0-10	2,9	aB	2,8	aB	0,11	aA*	0,17	aA*	1,4	aA*	3,1	aB*
	10-20	2,7	abA*	2,3	bA*	0,09	aB*	0,12	bA*	1,3	aAB*	2,7	bA*
	20-40	2,4	bA*	2,0	bB*	0,05	bA	0,07	cA	1,0	aA*	1,9	cA*
Primavera	0-10	3,0	aB*	2,7	aB*	0,10	aAB*	0,17	aA*	1,7	abA*	4,3	aA*
	10-20	2,6	bA*	2,2	bA*	0,11	aA	0,10	bB	1,9	aA*	2,8	bA*
	20-40	2,0	cA*	2,4	abA*	0,06	bA	0,05	cAB	1,3	bA*	1,8	cA*
Verão	0-10	3,6	aA*	3,2	aA*	0,08	aB	0,09	aC	1,1	aA*	1,8	aC*
	10-20	2,7	bA*	2,4	bA*	0,05	bC	0,06	bC	0,8	aB	1,3	bB
	20-40	2,5	bA*	1,8	cB*	0,04	bA	0,04	cB	0,6	aA	0,9	bA

Letras minúsculas diferentes entre colunas, por estação, diferem entre si (p<0,05 teste SNK)

Letras maiúsculas distintas, na mesma profundidade e no mesmo sistema, diferem entre si (p<0,05 teste SNK)

* diferem entre sistemas, na linha (p<0,05 teste SNK)

Os teores de K foram menores no SSP nas profundidades 0-10 e 10-20 cm no inverno e de 0-10 cm na primavera. A relação K/T foi menor no SSP em todas as profundidades e estações com exceção do outono na profundidade de 20-40 cm e no verão nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm. Isso se deve a maior CTC no SSP e indica a importância desse sistema na redução do impacto ambiental quanto as perdas de nutrientes para em subsuperfície. As pastagens de braquiária respondem altamente à adubação potássica. As pastagens são extratoras de Ca, Mg e K. A quantidade de K aplicada na fertilização da braquiária é baseada na CTC do solo. Recomenda-se aplicar 5%, 40% e 15% da CTC do solo com potássio, cálcio e magnésio, respectivamente. Como o SSP aumenta a CTC e o cultivo consorciado (árvores e pastagens) exigem uma maior adubação para suprir a maior exigência nutricional, a alta CTC e o maior teor de M.O. do SSP, torna-se necessário um manejo diferenciado da fertilidade do solo e recomendação de adubação para pastos de braquiária cultivados sob árvores.

Não houve diferença entre sistemas, profundidades e estações do ano, nas relações entre nutrientes Ca/Mg, Ca/K, Mg/K e Ca+Mg/K (Tab. 11).

Tabela 11: Relação entre nutrientes em sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem solteira (PS) em quatro estações do ano (2011) e três profundidades. Fazenda Campo Alegre – Itapecerica, MG

Estação do ano	Profundidade cm	Ca/Mg		Ca/K		Mg/K		Ca+Mg/K	
		SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS
Outono	0-10	2,0	2,0	3,5	4,1	1,7	2,0	5,2	6,1
	10-20	2,2	2,1	3,5	3,5	1,6	1,5	5,1	5,0
	20-40	2,8	3,4	4,6	4,8	1,3	1,2	5,9	5,9
Inverno	0-10	2,0	1,8	3,2	2,7	1,7	1,5	4,9	4,2
	10-20	1,9	1,8	2,7	2,5	1,5	1,4	4,2	3,9
	20-40	1,3	2,0	2,4	3,3	1,9	1,7	4,3	5,0
Primavera	0-10	1,6	1,0	2,5	1,3	1,6	1,3	4,1	2,6
	10-20	1,4	1,5	1,6	1,9	1,2	1,3	2,9	3,3
	20-40	1,0	1,0	1,7	2,0	1,7	2,0	3,5	3,9
Verão	0-10	1,8	1,8	3,6	4,7	2,1	2,7	5,7	7,4
	10-20	1,6	2,1	3,0	3,7	1,7	1,8	4,6	5,5
	20-40	1,4	1,4	3,8	4,0	1,7	2,8	5,5	6,8

Não houve diferença entre profundidades, sistemas e estações ($p > 0,05$ Teste Tukey)

Tabela 12: Relação entre nutrientes e a capacidade de troca catiônica em pH 7,0 (T) entre sistemas silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS), em três profundidades e quatro estações do ano (2011). Fazenda Campo Alegre – Itapecerica, MG

Estação do ano	Profundidade cm	Ca / T		Mg / T		K / T				Al / T		H+Al / T		Ca+Mg / T		SB / T	
		%															
		SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS
Outono	0-10	5	9	3	5	2	aA*	3	aBC*	12	11	90	83	8	14	10	17
	10-20	4	6	2	3	1	bAB*	2	bB*	14	12	93	90	6	9	7	10
	20-40	4	6	1	1	1	bA	1	cA	13	13	94	91	5	7	6	9
										13	aA	12	abA				
Inverno	0-10	4	8	2	5	1	aA*	3	aB*	11	9	92	84	6	13	8	16
	10-20	3	6	2	4	1	aAB*	3	bA*	14	12	93	87	5	10	7	13
	20-40	2	6	2	3	1	aA*	2	cA*	14	11	95	89	4	9	5	11
										13	aA	11	abB				
Primavera	0-10	3	5	2	5	2	abA*	4	aA*	14	9	94	86	5	10	6	14
	10-20	3	5	2	4	2	aA*	3	bA*	14	10	94	88	5	9	6	12
	20-40	2	3	2	3	1	bA*	2	cA*	14	12	95	91	4	7	5	9
										14	aA	10	bB				
Verão	0-10	4	8	2	5	1	aA*	2	aC*	12	13	93	85	6	13	7	15
	10-20	2	5	1	2	1	aB	1	bB	13	14	96	92	4	7	4	8
	20-40	2	4	1	3	1	aA	1	bA	12	12	96	93	4	6	4	7
										13	aA	13	aA				

Letras minúsculas diferentes entre colunas, por estação, diferem entre si ($p < 0,05$ teste SNK)

Letras maiúsculas distintas, na mesma profundidade e no mesmo sistema, diferem entre si

($p < 0,05$ teste SNK)

* diferem entre sistemas, na linha ($p < 0,05$ teste SNK)

A relação Al/T entre sistemas (Tab.12), diferiu ($p < 0,05$) no inverno e primavera e não apresentou diferenças nas demais estações (verão e outono). Entre épocas, apenas a PS foi diferente ($p < 0,05$) porque o SSP apresenta características mais próximas de solo com alto poder tampão e com alto teor de matéria orgânica.

De acordo com Guilherme et al. (1995), o equilíbrio de cátions na CTC $pH=7,0$ do solo deve estar dentro dos limites para Ca de 60 a 80%, para o Mg de 10 a 20%, para o K de 5 a 10% e menos de 20% para o Al. Considerando somente a camada arável (0-20cm) o SSP e PS apresentaram relações de Ca/T, Mg/T, K/T e Al/T de 4 e 7%; 2 e 4%; 1 e 3%; 13 e 11%, respectivamente. As relações do Ca e Mg com a CTC estão 10 vezes abaixo do desejado, a do K, de três a cinco vezes abaixo e somente a relação do Al com a CTC está dentro do desejado.

2.2.3.2. Atributos químicos do solo até 140 cm de profundidade

Nas análises em profundidade, confirmou-se o que havia sido encontrado na camadas mais superficiais (0-10, 10-20 e 20-40 cm), entretanto, outras informações foram acrescentadas nas profundidades de 40-100 e de 100 a 140 cm. Mesmo sob a justificativa de que os latossolos são profundos, pobres e lixiviados, a integração de pastagens e árvores faz com que sejam necessárias investigações nas camadas mais profundas em virtude da maior capacidade das espécies arbóreas explorarem esses extratos (Jobbagy e Jackson, 2000).

Na tabela 13 observa-se que a matéria orgânica (MO) diferiu significativamente entre os dois sistemas, sendo 20% superior no SSP. Isso se deve, provavelmente, a maior reciclagem de nutrientes feita pelas árvores ao renovarem todas as folhas no final do inverno, queda de galhos e cascas dos troncos que são ciclados, além das raízes. Tudo isso favorece a mineralização da matéria orgânica nesse ambiente, provavelmente, em função de uma microbiota mais ativa e melhores propriedades físicas.

A maior matéria orgânica no SSP (Tab. 13) acarreta maior CTC, maior retenção de nutrientes e menor lixiviação e contaminação de águas subterrâneas.

Tabela 13: Médias e desvios padrão de pH em água, matéria orgânica, carbono orgânico, Cu e Fe, variáveis que apresentaram diferenças entre sistemas em profundidades até 140 cm (2011). Fazenda Campo Alegre, Itapeçerica - MG

Variável	SSP			PS		
		dp			dp	
pH Água	4,9	± 0,2	b	5,1	± 0,2	a
MO (dag kg ⁻¹)	2,4	± 0,8	a	2,0	± 0,8	b
CO (dag kg ⁻¹)	1,4	± 0,5	a	1,1	± 0,5	b
Cu (mg dm ⁻³)	0,8	± 0,3	a	0,4	± 0,2	b
Fe (mg dm ⁻³)	62,2	± 46,4	a	33,4	± 24,1	b

Letras minúsculas diferentes entre linhas, diferem entre si (teste de Tukey p<0,05)

O C foi significativamente maior no SSP quando comparado com a PS (Tab. 13). O sistema radicular da braquiária e das arbóreas são grandes acumuladores de C. O SSP além de sua importância no sequestro de C pelas árvores, possui também a contribuição da gramínea na acumulação do C em suas raízes.

O cobre e ferro também diferiram significativamente entre os dois sistemas (Tab. 13). Na braquiária solteira os teores de Cu e Fe foram menores, provavelmente devido a ciclagem de nutrientes pelas folhas das árvores que são grandes extratoras de Fe e Cu, comparativamente à pastagem de braquiária (Tab.14).

Tabela 14: Atributos químicos do solo em profundidades até 140 cm (2011). Fazenda Campo Alegre – Itapeçerica, MG

Profundidade cm	P	S-SO ₄ ⁼	K	B	Cu	Fe	Zn
	mg dm ⁻³						
0-10	0,80 ± 0,19 a	4,44 ± 1,67 a	32,1 ± 9,3 a	0,10 ± 0,05 a	0,91 ± 0,35 a	105 ± 40 a	0,32 ± 0,13 a
10-20	0,48 ± 0,10 b	4,00 ± 1,00 ab	25,9 ± 9,1 a	0,09 ± 0,05 a	0,82 ± 0,33 a	63 ± 29 b	0,19 ± 0,13 b
20-40	0,36 ± 0,15 bc	3,44 ± 0,88 ab	16,7 ± 2,7 b	0,07 ± 0,04 ab	0,66 ± 0,27 bc	44 ± 21 c	0,17 ± 0,13 b
40-100	0,29 ± 0,06 c	3,56 ± 1,81 ab	8,0 ± 1,2 c	0,06 ± 0,01 b	0,51 ± 0,27 c	22 ± 13 d	0,11 ± 0,03 b
100-140	0,29 ± 0,06 c	2,89 ± 0,60 b	5,2 ± 1,9 d	0,06 ± 0,02 b	0,38 ± 0,16 c	14 ± 6 e	0,13 ± 0,07 b

Letras minúsculas diferentes entre colunas, diferem entre si (Teste de Tukey p<0,05)

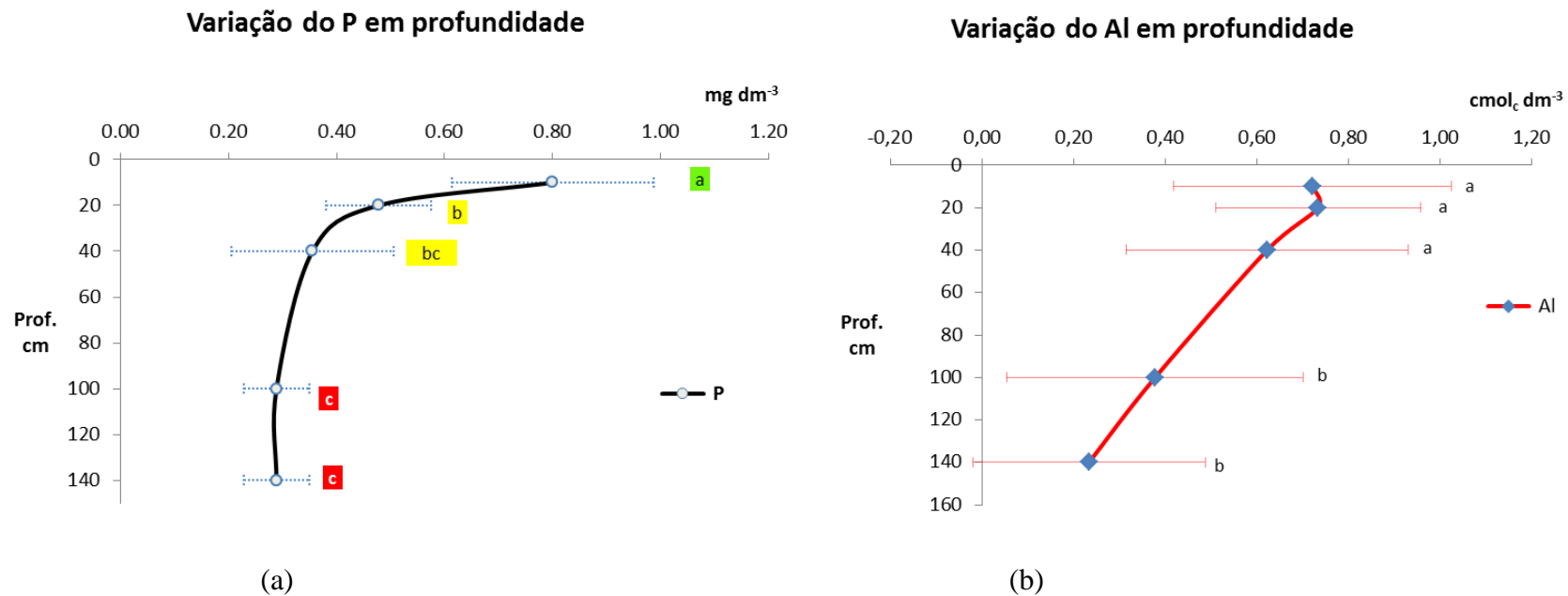


Figura 11: Variação do P (a) e Al (b) em profundidade até 140 cm. Fazenda Campo Alegre, município de Itapeçerica – MG. Letras minúsculas distintas diferem entre si (Tukey p<0,05)

O alumínio diminuiu em profundidade ($p < 0,05$) (Tab. 15 e Fig. 11b) mostrando que o cultivo altera as condições do solo, que normalmente é mais ácido quando se aprofunda no perfil do solo. No entanto, porque as plantas extraem mais Ca, Mg e K das camadas de 0 até 40 cm, a acidez concentra-se mais de 0-40 cm do que de 40-140 cm. Provavelmente, a menor umidade na camada superficial (0-40 cm) e a decomposição da MO, que faz com que haja maior produção de ácidos orgânicos, aumentam a acidez comparativamente às camadas mais profundas.

Tabela 15: Variáveis que apresentaram diferenças em profundidades até 140 cm. Fazenda Campo Alegre – Itapeçerica MG

Profundidade cm	CO dag kg ⁻¹	M.O.	K cmol	Al cmol _c dm ⁻³	SB
0-10	2,00 ± 0,18 a	3,44 ± 0,31 a	0,08 ± 0,02 a	0,72 ± 0,30 a	0,71 ± 0,33 a
10-20	1,48 ± 0,28 b	2,54 ± 0,49 b	0,07 ± 0,02 a	0,73 ± 0,22 a	0,36 ± 0,12 b
20-40	1,28 ± 0,23 c	2,20 ± 0,40 c	0,04 ± 0,01 b	0,62 ± 0,31 a	0,31 ± 0,11 b
40-100	0,95 ± 0,21 d	1,64 ± 0,37 d	0,02 ± 0,00 c	0,38 ± 0,32 b	0,19 ± 0,05 b
100-140	0,71 ± 0,18 e	1,23 ± 0,31 e	0,01 ± 0,01 d	0,23 ± 0,25 b	0,16 ± 0,06 b

Letras minúsculas diferentes entre colunas, diferem entre si (Teste de Tukey $p < 0,05$)

Mesmo o Al sendo menor nas camadas mais profundas, o fósforo foi significativamente superior ($p < 0,05$) nas camadas superficiais (Tab. 14 e Fig. 11a). Isso mostra a reciclagem do P pelas folhas das árvores que caem a cada ano. Os teores de P nos latossolos vermelho-amarelo são muito baixos (Lopes, 1994).

Na PS o Ca foi mais elevado em todas as profundidades, no entanto, observa-se que nas maiores profundidades, não há diferença entre os teores de Ca ($p > 0,05$). Nas profundidades de 0-10 e de 10-20 cm, existem diferenças ($p < 0,05$) entre os sistemas. Na profundidade de 20-40 cm não há diferença o que indica que no SSP há maior utilização do Ca pelas plantas (Tab.16 e Fig. 12). Provavelmente, o sistema SSP com mais água, favorece a absorção do Ca. Esse fato justifica a maior acidez do solo nos sistemas sombreados porque sempre que o Ca é absorvido e não há reposição, ocorre um aumento da acidez na CTC (substituição do Ca²⁺ por Al³⁺ e H⁺).

Tabela 16: Variação do cálcio entre sistemas e profundidades até 140 cm (2011). Fazenda Campo Alegre, Itapeçerica - MG

Profundidade cm	SSP	PS
0-10	0,26 ± 0,15 bA	0,55 ± 0,24 aA
10-20	0,12 ± 0,04 bB	0,25 ± 0,10 aB
20-40	0,20 ± 0,12 aAB	0,20 ± 0,00 aB
40-100	0,16 ± 0,05 aAB	0,18 ± 0,05 aB
100-140	0,12 ± 0,04 aB	0,15 ± 0,06 aB

Letras minúsculas diferentes entre linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Letras maiúsculas diferentes entre colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

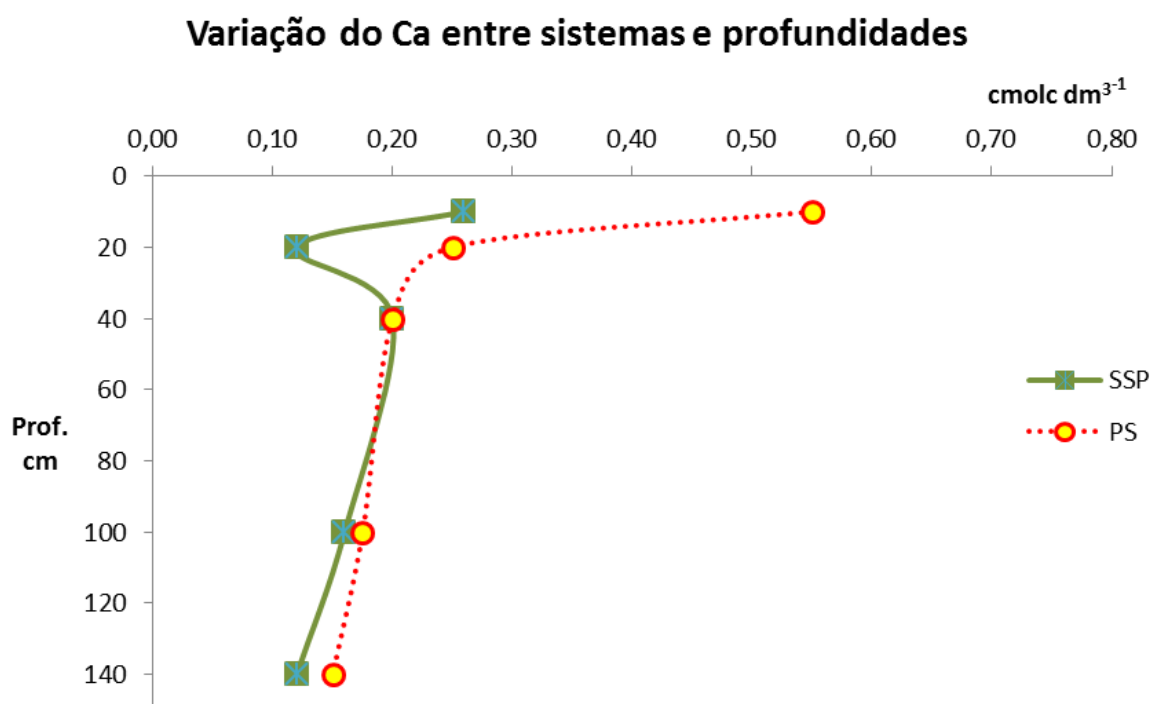


Figura 12: Variação dos teores de cálcio nos sistemas silvipastoril e pastagem solteira nas profundidades 0-10, 10-20, 20-40, 40-100 e 100-140 cm. Fazenda Campo Alegre, Itapeçerica - MG.

Houve redução nos teores de Ca, Mg, K e aumento do Al e da acidez do solo no SSP em comparação ao PS. Ao aumento da acidez no SSP se deve a absorção do Ca, Mg e K que implicam no aumento da CTC efetiva e potencial do solo. Ao se optar pela intensificação do uso do solo por meio do uso de sistemas agroflorestais, deve-se levar em consideração a maior extração de nutrientes e suas consequências.

2.2.3.3. Atributos físicos do solo até 140 cm de profundidade

Na camada de 0 a 20 cm, foram encontrados valores elevados de densidade do solo em ambos sistemas (1,32 a 1,50 g cm⁻³) (Tab. 17). De acordo com Camargo e Alleoni (1997), as densidades ideais para solos de textura argilosa, seriam na faixa de 1,0 a 1,2 kg dm⁻³ (=g cm⁻³). Brassard e Barcellos (2005) analisaram um latossolo sob pastagem de cinco a sete anos com baixa produtividade e observaram perda da porosidade superficial até uma profundidade média de 0,5m. As densidades encontradas estavam entre 0,8 e 1,2 g cm⁻³.

No entanto, a densidade do sistema silvipastoril foi em média, para todas as profundidades, 11% inferior à PS. Não houve diferença (p>0,05) da densidade entre profundidades para cada sistema. Kumar et al. (2010) observaram densidade 5,6% menor em sistemas agroflorestais (1,35 g cm⁻³) do que em pastagens puras (1,43 g cm⁻³). Os valores mais elevados de densidade do solo na PS, podem estar relacionados com o processo constante de umedecimento e secagem e com o maior impacto de gotas de chuvas sobre a superfície do solo, favorecendo a desagregação e remoção de partículas e contribuindo para a translocação de partículas mais finas para os horizontes inferiores, causando entupimento dos poros (Nunes et al., 2010).

Tabela 17: Atributos físicos do solo nos sistemas silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS) nas profundidades (Prof.) de 0-10, 10-20, 20-40, 40-100 e 100-140 cm. Fazenda Campo Alegre - Itapeçerica MG

Prof. cm	Densidade g cm ⁻³		Porosidade total		Poros. total		Macroporos		Microporos	
	SSP	PS	SSP	PS	%		SSP	PS	SSP	PS
0-10	1.33	1.48	48	44	46	AB	11	15	37	29
10-20	1.32	1.50	43	40	41	B	11	8	32	32
20-40	1.30	1.54	49	39	44	AB	17	6	32	32
40-100	1.33	1.46	48	41	44	AB	12	7	36	34
100-140	1.26	1.38	50	45	48	A	16	14	35	32
Todas prof.	1.31	1.47	48	42	45		14	10	34	32

Letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si (p<0,05 teste de Tukey)

O SSP possuiu porosidade total 14,4% acima da PS, em todas as profundidades (p<0,05). Isso implica numa densidade 11% menor para o SSP em relação à PS (Tab. 17). Ferreira et al. (2000) estudou a distribuição de poros por tamanho do horizonte B de latossolos vermelho-amarelos e verificaram que estes apresentavam estrutura granular e percentuais de argila, porosidade total, macroporos e microporos de: 51, 59, 22, 37, respectivamente.

Não foram encontradas diferenças entre sistemas e nem entre profundidades quanto aos percentuais de macro e microporos. Os macroporos são importantes para a aeração do

solo e infiltração de água, enquanto que os microporos garantem a retenção e o armazenamento de água para as plantas (física do solo). A distribuição dos poros por tamanho depende tanto da textura quanto da estrutura do solo. Reis (2007) também não observou diferenças ($p > 0,05$) em macro, microporos e porosidade total entre um sistema silvipastoril com alta densidade de árvores (160 árvores ha^{-1}) e pastagem de braquiária sem árvores. O teor de matéria orgânica do SP foi menor do que a pastagem controle por diversos fatores (subpastejo, espécie de arbórea, liteira rica em lignina) nas camadas até 40 cm e isso pode ter interferido no fato de não se ter encontrado diferenças entre densidade e porosidade entre os sistemas (Reis, 2007).

Kumar et al. (2010) utilizaram tomografia computadorizada para medir macroporosidade em sistemas agroflorestais tampão e pastagens. Na camada de 0-10 cm de profundidade, a macroporosidade medida pela tomografia ($> 1.000 \mu m$ diâmetro) foi 13 vezes maior nos sistemas agroflorestais ($0,020 m^3 m^{-3} = 2\%$) do que nas pastagens ($0,0045 m^3 m^{-3}$). Os parâmetros de porosidade medidos com o tomógrafo tiveram correlação positiva com a condutividade hidráulica saturada.

2.2.4. CONCLUSÕES

O sistema silvipastoril com árvores de *Pterodon emarginatus* (sucupiras brancas) e *Urochloa brizantha* cv. Marandu (Braquiarião) contribui para aumento do C e matéria orgânica do solo em relação a pastagens solteiras de braquiarião. Os dados indicam que sistemas silvipastoris tem que ser manejados diferentemente de sistemas de pastagens solteiras em monocultivo, no que se refere as práticas de fertilidade de solo e nutrição.

2.2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. P. A. Possibilidades de intensificação do uso da pastagem através de rotação sem ou com uso mínimo de fertilizantes. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., Piracicaba, 1997. *Anais ... Piracicaba: FEALQ, 1997.* 327 p. p. 85-138.

BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Statistical Society, Series A* 160, 1937. p. 268–282

BRASSARD, M.; BARCELLOS, A.O. Conversão do Cerrado em pastagens cultivadas e funcionamento de latossolos. *Cadernos de Ciência e tecnologia*, v.22, n.1, p. 153-168, 2005.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba, USP/ESALQ. 1997, 132f.

CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Antonio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Victor Hugo Alvarez V., Editores. – Viçosa, MG, 1999. 359p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes*. 2 ed. rev. e ampliada. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

FERREIRA, M.M.; DIAS JÚNIOR, M.S.; MESQUITA, M.G.B.F.; et al. *Física do Solo*. TA – 29, Editora UFLA, 2000.79p.

GONÇALVES, J.L.M.; MORO, L. Uso de cinza de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, Águas de Lindóia, 1996. Solo/Suelo. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

GOOGLE EARTH. Foto de satélite do campo experimental em Itapecerica – MG. Coordenadas: 20°18'28.14"S 44°55'27.22"O. Data das imagens: 19/06/2010. Acesso em 10/05/2013.

GUILHERME, L.R.G.; VALE, F.R.; GUEDES, G.A.A. *Fertilidade do solo: Dinâmica e disponibilidade de nutrientes*. Lavras: ESAL.FAEPE, 1995. 171 p.

HELYAR, K. Manejo da acidez do solo a curto e a longo prazos. In: 4º Simpósio sobre rotação soja/milho no plantio direto. Encarte técnico. *Informações agrônômicas* no. 104, Piracicaba, dezembro 2003, 12p.

JOBBAGY, E.; JACKSON, R.B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Appl.* v.10(2), 2000. p.423-436.

KEULS, M. The use of the "studentized range" in connection with an analysis of variance. *Euphytica* v.1, 1952. p. 112–122.

KUMAR, S.; ANDERSON, S.H.; UDAWATTA, R.P.; GANTZER, C.J. CT-measured macropores as affected by agroforestry and grass buffers for grazed pasture systems. *Agroforestry Systems*, 79: 59-65, 2010.

LILLIEFORS, H. On the Kolmogorov–Smirnov test for the exponential distribution with mean unknown. *Journal of the American Statistical Association*, v. 64, 1969. p. 387–389.

LOPES, A. S. *"Solos sob cerrados": características, propriedades e manejo*. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1984. 162p.

LOPES, A.S. Solos sob cerrado: *Manejo da fertilidade para a produção agropecuária*. ANDA, São Paulo, 1994. 56p.

MARQUES, J.J.; SCHULZE, D.; CURI, N. *Solos do Cerrado*. Universidade Federal de Lavras, 2013. Disponível em: <http://www.dcs.ufla.br/Cerrados/Portugues/CIntroP.htm> Acesso em: 15/05/2013.

NUNES, L.A.P.L.; DIAS, L.E.; JUCKSCH, I.; BARROS, N.F. Atributos físicos do solo em área de monocultivo de cafeeiro na Zona da Mata de Minas Gerais. *Bioscience Journal*, v.26 p. 71-78, 2010.

OSAKI, M.; SHIMANO, T.; TADANO, T. Redistribution of carbon and nitrogen compounds from the shoot to the harvesting organs during maturation in field crops. *Soil Sci. Plant Nutr.* 37, 1991. p. 117–128.

PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; et al. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.46, n.10, out. 2011. p.1176-1183.

PEZZONI, T.; VITORINO, A.C.T.; DANIEL, O.; LEMPP, B. Influência de *Pterodon emarginatus* Vogel sobre atributos físicos e químicos do solo e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* Stapf em sistema silvipastoril. *Cerne*, Lavras, v. 18, n. 2, abr./jun. 2012. p. 293-301.

PRIMAVESI, A. Soil system management in the humid and subhumid tropics. In: *Biological approaches to sustainable soil system*. Taylor e Francis (ed.) CRC Press, 2006. p. 15-26.

RAIJ, B. van; SILVA, N.M. da; BATAGLIA, O.C.; et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas : Instituto Agrônomo, 1985. 107 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

REIS, G.L. *Influência de um sistema silvipastoril estabelecido no bioma cerrado sobre a ciclagem de nutrientes, atributos do solo, da forrageira e do armazenamento de carbono*. 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.2, 2008. p. 576-586.

RONQUIM, C.C. *Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais*. – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8, 2010. 30p.

SIQUEIRA, J.; FRANCO, A. A. Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas. *Ciências agrárias nos trópicos brasileiros*. Brasília, DF: MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS, 1988. 235 p.

VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A. de A.; FURTINI NETO, A.E. *Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes*. Lavras:ESAL/FAEPE, 1997. 171p. (Curso-Especialização por Tutoria à Distância em Solos e Meio Ambiente).

2.3. CARACTERIZAÇÃO BROMATOLÓGICA E VALOR NUTRITIVO DE *Urochloa brizantha* CV. MARANDU SOB SOMBREAMENTO DAS ÁRVORES

2.3.1 – INTRODUÇÃO

Diante da necessidade de aumento de produtividade por área, frequentemente as árvores nas pastagens são consideradas como um empecilho à maior produção de forragem, por restringirem a luminosidade disponível, competirem pelos nutrientes e água. O sombreamento também pode promover alterações bromatológicas e do valor nutritivo das gramíneas do sub-bosque como aumento no teor de proteína e de fibra, redução nos teores minerais e da digestibilidade. Alterações fisiológicas como a diminuição da relação raiz:parte aérea também podem ocorrer na tentativa de adaptação à menor luminosidade, o que pode reduzir a capacidade de recuperação ou até a degradação das pastagens sombreadas.

O objetivo desse trabalho foi verificar e identificar variações bromatológicas e do valor nutritivo da pastagem sob as árvores.

2.3.2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.3.2.1 - Pontos de coleta de amostras

Em fevereiro de 2011 foram distribuídas 10 gaiolas de 1m³ nos 35 ha da área SSP e 10 gaiolas nos 26,5 ha da área PS, por meio do lançamento aleatório de um quadro de 1m² (Fig. 13). Foi feito um corte rente ao solo, para uniformização, no local onde foram colocadas as gaiolas.



Figura 13: Distribuição aleatória das gaiolas de 1x1 m no campo experimental. Fazenda Campo Alegre, município de Itapeçerica – MG. Fonte: arquivo pessoal

2.3.2.2 - Delineamento experimental

Durante o período de 12 meses (março de 2011 a março de 2012) foram coletadas amostras nas 20 gaiolas (10 na área SSP e 10 na área de PS) cortadas rente ao solo. Durante as estações de outono e verão foi possível fazer três cortes em cada gaiola a intervalos médios de 30 dias e nas estações de inverno e primavera foram feitos dois cortes em cada gaiola. Os cortes feitos em cada gaiola numa determinada estação, foram considerados replicas. O arranjo experimental foi em parcelas subdivididas, com sistema na parcela e estação na subparcela. Os dados foram analisados no delineamento inteiramente ao acaso. As médias foram submetidas aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificar normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Foram utilizados os testes de Tukey para comparar médias, admitindo taxa de erro $\alpha = 0,05$.

2.3.2.3 - Análises laboratoriais

As amostras colhidas nas gaiolas eram refrigeradas e levadas para o laboratório da PUC Minas Betim onde eram pesadas e secas em estufa de circulação forçada a 60°C até

atingirem peso constante. As amostras foram moídas a 0,5 mm e encaminhadas para análise mineral e bromatológica na Universidade Federal de Uberlândia.

A composição bromatológica: proteína bruta (PB), Fibra Detergente Ácido (FDA), foi feita pelo método sequencial (Van Soest, 1991). A análise foliar mineral de N, P, K, Ca, Mg, S e Matéria Mineral (MM) foi feita no laboratório de solos da Universidade Federal de Uberlândia, utilizando-se as técnicas de permanganometria, colorimetria e fotometria de chama.

2.3.2.4. Cálculo da extração de nutrientes

A extração dos nutrientes foi calculada pela fórmula: $Nut_{ext} = 0,0001 MS \times TN$ (Primavesi et al., 2004), onde: Nut_{ext} = nutriente extraído em $kg ha^{-1}$; MS = matéria seca em $kg ha^{-1}$; TN = teor do nutriente na folha em $g kg^{-1}$.

2.3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O capim braquiarão apresentou teores de nitrogênio (N) e conseqüentemente de proteína bruta (calculada como $N \times 0,625$), superiores no SSP em relação à PS ($p < 0,05$), com exceção da estação do inverno (Tab. 18). O teor de proteína bruta do capim chegou a ser 20 e 18% maior em relação ao sistema PS, para as estações da primavera e verão, respectivamente. Isto está de acordo com o que foi encontrado por Sousa et al. (2010), que verificou um teor de PB 22% maior no capim braquiarão cortado acima de 30 cm de altura em SSP com árvores de Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), durante o verão. Paciullo et al. (2011) encontraram teores de PB no capim braquiária decumbens de 9,7%, 10,7% e 14% para sol pleno, 20% e 70% de sombreamento, respectivamente. Isso correspondeu a aumentos de 10% e 52% em relação ao pleno sol, respectivamente.

O capim sob o SSP do experimento apresentou 19% mais P e 21% mais S, mas 11% menos Ca nas folhas da gramínea, em média de todas as estações ($p < 0,05$). O Ca é imóvel nas plantas, por isso acumula menos. Reis (2007), também observou aumento de 57% no teor de P quando cortou o capim acima de 30 cm de altura, no entanto não verificou diferença no teor de Ca nas folhas.

Tabela 18: Análise bromatológica do capim braquiarião nos sistemas silvipastoril e pastagem solteira na mudança das estações do ano 2011 - Fazenda Campo Alegre - Itapecerica MG

Nutriente	N		PB		P		K		Ca		Mg		S		MM		FDA		FDN	
	g kg ⁻¹										%									
Estação	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS
Outono	18,3 _{bA}	16,2 _{bB}	11,4 _{bA}	10,1 _{bB}	1,7	1,4	21,5	23,9	4,9	5,6	3,1	3,2	1,1	0,9	51,3	51,3	32,3	32,9	63,7	61,8
Inverno	17,8 _{bA}	17,1 _{bA}	11,1 _{bA}	10,7 _{bA}	1,3	1,2	17,4	18,6	5,0	6,0	2,7	2,8	1,0	0,9	45,2	46,5	35,9	36,0	66,7	61,4
Primavera	24,6 _{aA}	20,5 _{aB}	15,4 _{aA}	12,8 _{aB}	1,4	1,1	26,3	25,2	4,7	5,1	2,4	2,4	0,9	0,7	60,4	54,9	31,3	32,8	59,4	57,3
Verão	17,6 _{bA}	14,9 _{bB}	11,0 _{bA}	9,3 _{bB}	1,2	1,0	15,8	17,7	5,1	5,5	2,9	2,9	0,9	0,7	43,6	42,7	35,2	34,6	62,6	60,7
Anual	-	-	-	-	1,4_A	1,2_B	20,3	21,3	4,9_B	5,5_A	2,8	2,8	1,0_A	0,8_B	50,1	48,8	33,7	34,1	63,1	60,3

Letras distintas minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas diferem entre si (p<0,05 teste de Tukey)

-- A média geral das estações não representa todas as estações porque existe diferença entre elas

Não houve diferença ($p>0,05$) em FDA e FDN, o que também não foi observado por Reis (2007) e Sousa et al. (2010) em capim braquiarião em sistemas silvipastoris na região do cerrado. Não houve diferença também ($p>0,05$), nos teores de K, Mg, MM entre sistemas.

Por outro lado, a produção do capim cortado rente ao solo dentro das gaiolas de 1m^3 localizadas no SSP foi significativamente menor em relação a pleno sol, com exceção da estação de outono (Tab. 19).

Tabela 19: Teores de matéria seca do capim braquiarião nos sistemas silvipastoril e pastagem solteira na mudança das estações do ano 2011 - Fazenda Campo Alegre - Itapeçerica MG

Estac	MS				MS			
	SSP	PS	Geral	%	SSP	PS	$\text{g (m}^2\text{)}^{-1}$	
Outono	26,9	27,3	27,1	b	42,5	aA	28,6	bA
Inverno	31,3	26,9	29,1	b	13,3	bB	30,8	bA
Primavera	26,6	27,9	27,3	b	16,1	bB	39,2	abA
Verão	32,0	31,9	31,9	a	25,5	abB	51,1	aA
					97,4		149,8	

Letras distintas minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas diferem entre si ($p<0,05$ teste de Tukey)

Somando-se as produções de MS dentro das gaiolas em todas as estações observou-se produção de MS 65% menor no SSP (97,4/149,8%) em relação ao pleno sol. Essa produção menor pode estar relacionado com a menor radiação fotossinteticamente ativa total transmitida para a gramínea, média 69% do total de RFA_{total}, como observado anteriormente no item 2.2.

Dias Filho (2000) observou redução de 75% na produção de MS da parte aérea de *U. brizantha* em vasos sob sombrites com 70% de interceptação da luz solar. A redução relativa da massa de raiz foi acima de 90%, provocada pelo sombreamento.

Paciullo et al. (2011) não observaram diferenças na produção de braquiária decumbens (*Urochloa decumbens*) em SSP, cortada a 5 cm do solo sob uma densidade de 105 árvores ha^{-1} e um percentual de sombreamento de 29%. No entanto, o solo foi corrigido com calcário, segundo análise e foi feita adubação para implantação da pastagem, o que pode ter contribuído para as produções obtidas.

O corte rente ao solo, a cada 30 ou 50 dias, de acordo com a estação do ano, pode ter interferido na produção do capim por causa da constante mobilização de nutrientes das raízes para rebrota do capim. O mesmo procedimento foi adotado para os tratamentos SSP e PS. No entanto, sob sombreamento as gramíneas tendem a reduzir o perfilhamento, promovem o

alongamento das folhas e colmos e diminuem a relação raiz: parte aérea, o que reduz a capacidade de rebrota e a produtividade da forragem (Paciullo et al., 2011).

Não foi possível calcular a eficiência de recuperação dos nutrientes porque não foi feita nenhuma adubação nos sistemas e não foi possível medir a quantidade de liteira produzida pelas árvores. No entanto, houve recuperação dos nutrientes reciclados pela queda das folhas da sucupira e da gramínea e de suas respectivas raízes. De acordo com Aguiar (2008), no solo pode haver até 165 kg de N devido à mineralização da matéria orgânica do solo, 10 kg ha⁻¹ano⁻¹ de N-atmosférico, excreta de animais, decomposição da parte aérea não consumida e decomposição de raízes. Essa quantidade de N implica em um potencial de produção de MS sem aplicação desse nutriente, de aproximadamente 9.000 kg MS ha⁻¹ano⁻¹.

Tabela 20: Nutrientes extraídos (kg ha⁻¹) em cortes frequentes rente ao solo em sistemas silvipastoril e pastagem solteira, nas quatro estações do ano 2011. Fazenda Campo Alegre, Itapecerica MG

Estac	N		P		K		Ca		Mg		S	
	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS	SSP	PS
	kg ha ⁻¹											
Outono	7,8	4,6	0,7	0,4	9,1	6,8	2,1	1,6	1,3	0,9	0,5	0,3
Inverno	2,4	5,3	0,2	0,4	2,3	5,7	0,7	1,8	0,4	0,9	0,1	0,3
Primavera	4,0	8,0	0,2	0,4	4,2	9,9	0,8	2,0	0,4	0,9	0,1	0,3
Verão	4,5	7,6	0,3	0,5	4,0	9,0	1,3	2,8	0,7	1,5	0,2	0,4
Anual	18,6	25,6	1,4	1,7	19,7	31,5	4,8	8,2	2,8	4,2	1,0	1,2
Média	4,7	6,4	0,4	0,4	4,9	7,9	1,2	2,1	0,7	1,1	0,2	0,3

A extração de nutrientes pela gramínea sob cortes frequentes foi menor no SSP do que na PS (Tab. 20) nas estações do ano, porque o capim no SSP teve menor produção de matéria seca em função da menor quantidade de radiação fotossinteticamente ativa disponível sob as árvores, mesmo com maiores teores de alguns nutrientes (N, P, S). Essa menor produção e menor extração provavelmente justificariam essa estabilização do sistema por mais de 30 anos, sob baixo suporte e carga animal no pastejo embaixo das árvores.

2.3.4 - CONCLUSÃO

O capim braquiarião apresentou maiores teores de proteína bruta, fósforo e enxofre e menor teor de cálcio nas folhas colhidas durante um ano sob sistema silvipastoril. Não houve diferença entre tratamentos para teores de fibra detergente neutro e ácido, magnésio, potássio e matéria mineral. A produção de matéria seca foi 35% menor no SSP em relação à PS com a redução da radiação fotossinteticamente ativa abaixo das árvores em 31%. Ou seja, 69% de

RFA transmitida para o sub-bosque corroborou na produção da gramínea, 65% do alcançado a pleno sol. Essa menor produção, fez com que, também, a extração de nutrientes fosse menor.

2.3.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A.P.A. Produção de leite em pastagens, In: ENCONTRO DE PRODUTORES DE GADO LEITEIRO F1: avanços tecnológicos, n.6, 2008, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: PUC Minas, 2008.

DIAS-FILHO, M.B. Growth and biomass allocation of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. *Pesq. Agrop. Brasileira*, Brasília - DF. v.35, n.12, dez. 2000. p.2335-2341.

PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; et al. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.46, n.10, out. 2011. p.1176-1183.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORREA, L.A.; et al. Adubação Nitrogenada em Capim-Coastcross: Efeitos na Extração de Nutrientes e Recuperação Aparente do Nitrogênio. *R. Bras. Zootec.* v.33, n.1, 2004. p. 68-78.

REIS, G.L. *Influência de um sistema silvipastoril estabelecido no bioma cerrado sobre a ciclagem de nutrientes, atributos do solo, da forrageira e do armazenamento de carbono.* 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SOUSA, L.F.; MAURICIO, R.M.; MOREIRA, G.R.; et al. Nutritional evaluation of “Braquiaraõ” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. *Agroforestry Syst*, v.79, 2010. p.189-199.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and no starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci.* v.74, 1991. p.3583–3597

CAPÍTULO 3 – ESTOQUE DE CARBONO NO SISTEMA SILVIPASTORIL

RESUMO

Os sistemas agroflorestais possuem alto potencial de armazenar C comparado com áreas de lavoura ou de pastagens em condições similares. O sistema silvipastoril estoca carbono no componente arbóreo e nas gramíneas, tanto na parte aérea (troncos, galhos e folhas) quanto na parte subterrânea (raízes). Calculou-se o estoque de carbono no solo e nas árvores a partir de análises físico-químicas do solo e do levantamento e medição das árvores. Calculando-se o estoque de CO por hectare, multiplicando-se o teor de CO por kg de solo, pela densidade do solo, verificou-se que o SSP, mesmo com teores de CO no solo maiores, não apresentou diferença na quantidade de CO por ha até a profundidade de 40 cm. Por outro lado, quando se analisou o estoque de CO em maiores profundidades (140 cm), observou-se o maior estoque de CO no SSP. O teor de CO no solo foi 23% em média mais alto ($p < 0,05$) no SSP ($1,40 \text{ dag kg}^{-1}$) do que na PS ($1,14 \text{ dag kg}^{-1}$). A gramínea na PS é capaz de estocar mais CO, nas camadas superficiais (0-10 cm), do que o SSP. No entanto, a medida que se aprofunda no perfil do solo a superioridade das árvores em armazenar e reter o CO se destaca. O estoque de CO no solo do SSP (213 t ha^{-1}) chega a ser 17% maior do que no solo da PS (183 t ha^{-1}). O estoque de C no solo do SSP (213 t ha^{-1}) encontrado foi 2,1 vezes maior do que o C estocado nas árvores ($99,6 \text{ t ha}^{-1}$). Quando se comparou os dois sistemas, o CO do solo somado ao C estocado nas árvores, encontrou-se $313 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$ ($213 + 100 \text{ t ha}^{-1}$) para o SSP e 200 t ha^{-1} ($183 + 16 \text{ t ha}^{-1}$) para a PS, uma diferença de 57% de C estocado a mais no SSP.

Palavras-chave: sistema silvipastoril, estoque de carbono, carbono orgânico, análise físico-química solo

CARBON STORAGE IN THE SILVOPASTORAL SYSTEM

ABSTRACT

Agroforestry systems have great potential in stocking C compared to crops or pastures alone in similar conditions. Silvopastoral systems stock carbon in the trees and in the grasses, both on the overground (tree trunk, branches and leaves) and the underground (roots). Carbon stock was calculated by soil physical-chemical analysis and by measuring trees and using models for C content. The organic carbon (OC) stock per ha was calculated multiplying the OC levels per kg of soil by the density of the soil. Even with higher levels of OC in the soil of

the SPS, there was no difference in the quantity of OC per ha down to 40 cm deep. But, when the OC stock was calculated to depths up to 140 cm, higher OC stock was found in the SPS. OC levels, in the SPS, were 23% higher ($p < 0.05$) than in the OP, 1.40 dag kg^{-1} , 1.14 dag kg^{-1} , respectively. The tropical signal grass was capable to stock more OC than the SPS in the superficial layer of the soil (0-10 cm). However, deeper layers of the soil, down to 140 cm, had higher amounts of OC in the SPS. Soil OC in the SPS (213 ton ha^{-1}) was 2.1 times higher than what was found stocked in the trees (99.6 ton ha^{-1}) and was 17% higher than the amount found in the OP (183 ton ha^{-1}). Comparing both systems, SPS and OP, for total carbon stockage (trees + soil), the SPS stocked 57% more carbon than the OP, 313 ton ha^{-1} and 200 ton ha^{-1} , respectively.

Key words: silvopastoral system, carbon stock, organic carbon, physical-chemical soil analysis,

3.1 - INTRODUÇÃO

O aumento dos níveis de CO_2 e outros gases de efeito estufa de origem antropológica tem sido considerado importante causador da mudança climática global. As pesquisas científicas e os meios de comunicação cada vez mais conscientizam a opinião pública global da necessidade de se pressionar governos e nações para mitigar as emissões e buscar formas de sequestrar esses gases. Comprovadamente, os sistemas agroflorestais possuem alto potencial de armazenar C comparado com áreas de lavoura ou de pastagens em condições similares. Entretanto, poucos estudos de campo foram realizados. O sistema silvipastoril estoca carbono no componente arbóreo e nas gramíneas, tanto na parte aérea (troncos, galhos e folhas) quanto na parte subterrânea (raízes). O componente animal exporta pequena parte desse carbono (respiração, fermentação, produção de carne e leite) mas tem papel importante na formação da MO (fermentação e decomposição tecidos vegetais, produção de esterco e resíduos). O estoque de carbono no solo, no entanto, é o grande trunfo desse sistema. O montante de C armazenado depende da qualidade do solo, principalmente dos percentuais de areia e argila. Os sistemas com maior quantidade de árvores estocam uma quantidade de C em camadas do solo mais profundas em relação a sistemas com poucas árvores. Quanto mais próximo das árvores, maior é a quantidade de C armazenada no solo. Sistemas agroflorestais de longo prazo estocam uma quantidade de C maior que florestas naturais.

Objetivou-se, nessa parte do estudo, verificar e calcular o estoque de carbono no solo e nas árvores a partir de análises físico-químicas do solo e do levantamento e medição das árvores.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 – Avaliação do estoque de carbono no solo

As amostragens de solo feitas nas mudanças das estações do ano, nas profundidades de 0-10cm, de 10-20cm e de 20-40cm, foram analisadas para os teores de CO pelo método de Walkley Black (1934 descrito pela Embrapa, 2009) e leitura em colorímetro. Os teores de matéria orgânica (MO) foram calculados por meio da equação: $MOS = C \times 1,724$, partindo-se da premissa de que, em média, a MOS possui 58% de C.

As respostas avaliadas foram submetidas aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificar normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Os dados foram analisados no delineamento inteiramente ao acaso. O arranjo experimental foi em parcelas sub-subdivididas, com sistema na parcela e profundidade na subparcela e estação na sub-subparcela. Foram utilizados os testes de SNK para comparar médias, admitindo taxa de erro $\alpha = 0,05$.

Foram coletadas também amostras até 140 cm de profundidade para se verificar a retirada de nutrientes, pelas árvores, em camadas mais profundas. Em 15/06/2012, foram coletadas 5 amostras em cada sistema, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-100 e 100-140 cm. O mesmo procedimento de envio e análise foi feito para essas amostras em profundidade.

As respostas avaliadas foram submetidas aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificar normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Os dados foram analisados no delineamento inteiramente ao acaso. O arranjo experimental foi em parcelas subdivididas, com sistema na parcela e profundidade na subparcela. Foram utilizados os testes de Tukey para comparar médias, admitindo taxa de erro $\alpha = 0,05$. Para se transformar os resultados obtidos de CO e MO de dag kg^{-1} em t ha^{-1} , utilizou-se os fatores multiplicativos de transformação segundo CFSEMG (1999).

Na camada de 0-40 cm tem-se, em 1 ha, 4.000 m^3

Com a densidade de solo de $1,33 \text{ kg dm}^{-3} = 1.330 \text{ kg m}^{-3} = 1.330 \text{ t ha}^{-1}$

1 dag CO $\text{kg}^{-1} = 10 \text{ g CO kg}^{-1}$ de solo, em 1.330 t de solo tem-se $13,3 \text{ t CO ha}^{-1}$

3.2.2 - Avaliação do estoque de carbono nas árvores

Foi feito um levantamento da distribuição das árvores utilizando-se um GPS Garmin GPSMAP 60CSx[®]. Cada árvore foi identificada pela coordenada geográfica e tiradas medidas de largura do tronco na altura do peito, altura do fuste e altura da copa (Fig. 14).



Figura 14: Identificação das árvores medidas e medição do perímetro na altura do peito. Fazenda Campo Alegre, município de Itapeçerica – MG. Fonte: arquivo pessoal

O diâmetro do tronco na altura do peito (DAP) foi obtido pela medição do perímetro ou circunferência do tronco a 1,30 m de altura (CAP) e calculado pela fórmula: $DAP = CAP / \pi$ (Batista, 2001).



Figura 15: Medição da altura de árvores utilizando-se um smartphone Samsung S4 e um aplicativo Smart Measure. Fazenda Campo Alegre, município de Itapecerica – MG. Fonte: arquivo pessoal

A altura foi calculada pelo aplicativo para aparelhos smartphones android, Smart Measure (versão 1.5.6) desenvolvido pela Smart Tools Co., utilizando-se um smartphone S4 da Samsung. Foi utilizada uma trena de 50 m para medir a distância fixa de 20 m do aparelho até o pé da árvore. Com o fornecimento da altura do tripé que sustentava o aparelho, fazia-se a calibração do aplicativo conferindo-se a distância fixa de 20 m até a árvore e por angulação do aparelho o aplicativo calculava a altura. A altura do fuste foi considerada até a base inferior da copa e onde havia mais ramificações. A altura da copa considerou-se a parte mais alta da copa (Fig. 15).

Para calcular a quantidade de C estocado nas árvores foi utilizado o modelo de Chave et al. (2005) que leva em consideração o diâmetro das árvores na altura do peito, a densidade da madeira, a altura da árvore e o tipo de clima onde a vegetação está inserida (período de meses que a evapotranspiração excede a precipitação pluviométrica). O modelo se restringe a florestas de clima tropical.

$$\begin{aligned} \langle AGB \rangle_{est} &= \exp(-2.187 + 0.916 \times \ln(\rho D^2 H)) \\ &\equiv 0.112 \times (\rho D^2 H)^{0.916} \end{aligned}$$

Biomassa estimada da parte aérea ($\langle AGB \rangle_{est}$) segundo Chave et al. (2005). ρ = densidade da madeira; D = DAP; H = altura da árvore

A densidade da madeira de sucupira utilizada foi a relatada por Lorenzi (2002) de $0,94\text{g cm}^{-3}$. O cálculo do conteúdo de C estocado nas árvores foi feito multiplicando-se a biomassa das árvores por 50% (Brown e Lugo, 1982; Roy et al., 2001; Malhi et al., 2004). Para o cálculo do C estocado nas árvores por hectare multiplicou-se a quantidade média de árvores por ha pelo conteúdo de C estocado, em média, nas árvores.

Foram contadas e georreferenciadas 664 árvores, em sua maioria sucupiras brancas em 4,24 ha o que corresponde a $156\text{ árvores ha}^{-1}$. Como é um ambiente natural, a distribuição não é homogênea mas a amostragem representa bem a área de 35 ha considerada no silvipastoril, pois da mesma forma que existem áreas menos adensadas, também existem áreas mais densas do que a amostra (Fig. 16).

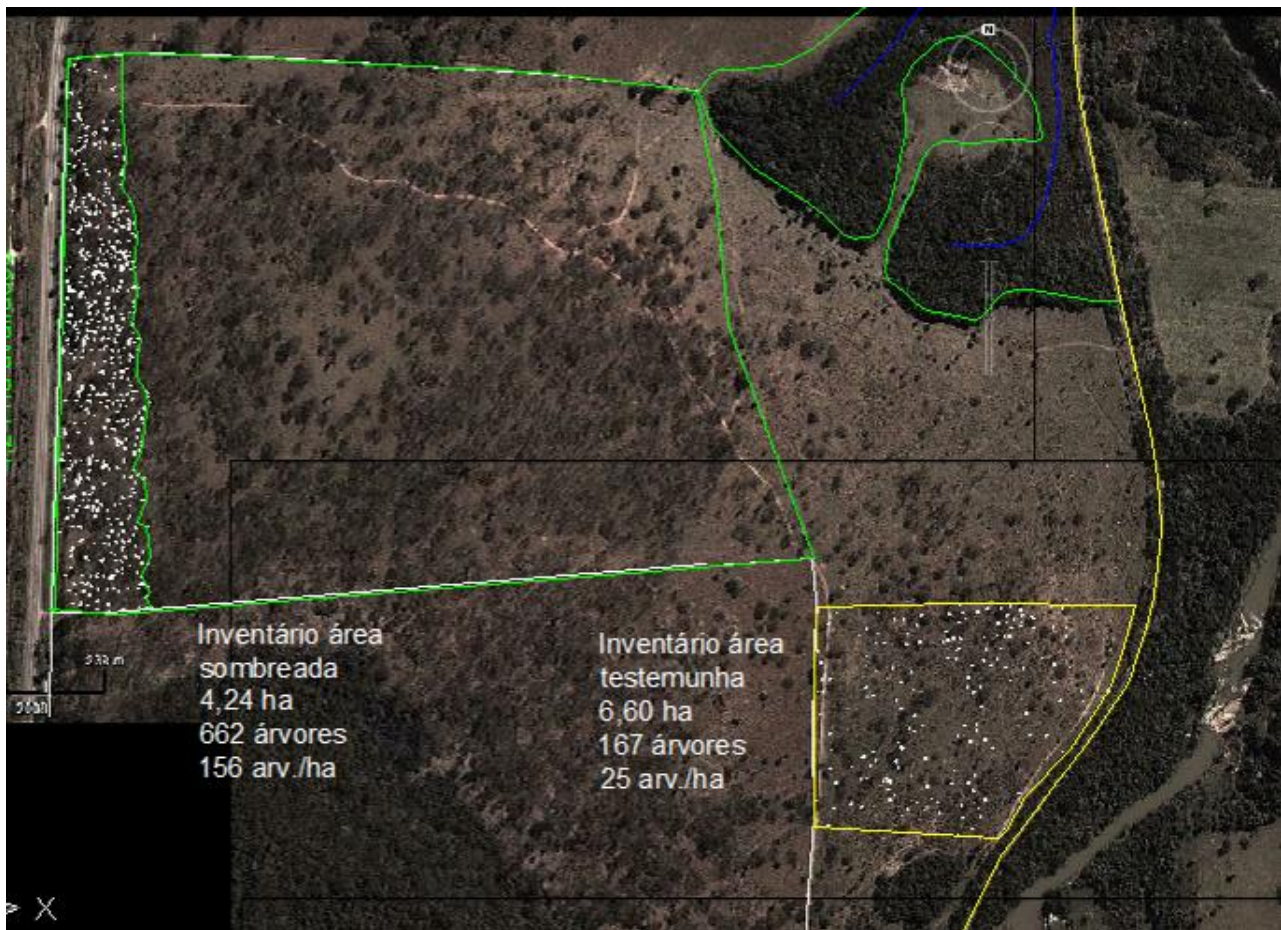


Figura 16: Localização, georreferenciamento e contagem das árvores no campo experimental.



Figura 17: Transecto para medição da altura e DAP. Fazenda Campo Alegre, município de Itapeçerica – MG. Fonte: fotos Google Earth, 2013

Foram feitas a medição de altura e DAP de 44 árvores aleatoriamente num transecto do campo experimental (Fig. 17).

3.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 - Estoque de carbono no solo

As análises de solo das coletas feitas nas mudanças de estação, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, demonstraram que o CO apresentou diferenças ($p < 0,05$) entre sistemas, entre estações do ano e entre profundidades (Tab. 21).

Tabela 21: Teores de carbono orgânico (CO) e matéria orgânica (MO), e o estoque de C em toneladas por ha, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40cm, nas mudanças das estações, nos sistemas silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS). Fazenda Campo Alegre – Itapecerica MG

Estação do ano	Profundidade cm	CO				MO				Relação SSP/PS	Densidade		Estoque C		Relação SSP/PS	
		SSP		PS		SSP		PS			SSP	PS	SSP	PS		
		dag kg ⁻¹									kg dm ⁻³		t ha ⁻¹			
Outono	0-10	1,9	aA*	1,7	aAB*	3,4	aA*	2,9	aAB*	17%	1,33	1,48	26,0	24,6	6%	
	10-20	1,6	bA*	1,3	bA*	2,8	bA*	2,2	bA*	24%	1,32	1,50	21,2	19,4	9%	
	20-40	1,4	cA*	1,1	cB*	2,4	cA*	1,9	cB*	25%	1,30	1,54	35,9	33,9	6%	
Inverno	0-10	1,7	aB	1,6	aB	2,9	aB	2,8	aB	7%	1,33	1,48	22,8	23,5	-3%	
	10-20	1,5	abA*	1,3	bA*	2,7	abA*	2,3	bA*	17%	1,32	1,50	20,4	19,9	3%	
	20-40	1,4	bA*	1,2	bB*	2,4	bA*	2,0	bB*	19%	1,30	1,54	36,2	35,8	1%	
Primavera	0-10	1,7	aB*	1,5	aB*	3,0	aB*	2,7	aB*	12%	1,33	1,48	23,2	22,9	2%	
	10-20	1,5	bA*	1,3	bA*	2,6	bA*	2,2	bA*	16%	1,32	1,50	19,9	19,5	2%	
	20-40	1,2	cA*	1,4	abA*	2,0	cA*	2,4	abA*	-15%	1,30	1,54	31,0	42,7	-28%	
Verão	0-10	2,1	aA*	1,8	aA*	3,6	aA*	3,2	aA*	14%	1,33	1,48	27,8	27,1	3%	
	10-20	1,6	bA*	1,4	bA*	2,7	bA*	2,4	bA*	15%	1,32	1,50	20,7	20,5	1%	
	20-40	1,4	bA*	1,0	cB*	2,5	bA*	1,8	cB*	37%	1,30	1,54	37,3	32,1	16%	
												80,6	80,5	0,2%		

Letras minúsculas diferentes entre colunas, por estação, diferem entre si (p<0,05 teste SNK)

Letras maiúsculas distintas, na mesma profundidade e no mesmo sistema, diferem entre si (p<0,05 teste SNK)

* diferem entre sistemas, na linha (p<0,05 teste SNK)

Com exceção da amostragem feita no inverno na camada de 0-10 cm e na primavera na de 20-40 cm, todos os outros extratos e estações tiveram teores de CO e a MO maiores no SSP ($p < 0,05$) em relação à PS. O SSP apresentou, em torno de 16% a mais de CO em relação à PS. No entanto, como observado no capítulo 2, a densidade do solo no SSP foi, em média, 11% menor ($p < 0,05$) do que na PS. Calculando-se o estoque de CO por hectare, multiplicando-se o teor de CO por kg de solo pela densidade do solo, verificou-se que o SSP, mesmo com teores de CO no solo maiores, não apresentou diferença na quantidade de CO por ha até a profundidade de 40 cm.

Por outro lado, quando se analisou o estoque de CO em maiores profundidades (140 cm) (Tab. 22), observou-se o maior estoque de CO no SSP. O teor de CO no solo foi 23% em média mais alto ($p < 0,05$) no SSP ($1,40 \text{ dag kg}^{-1}$) do que na PS ($1,14 \text{ dag kg}^{-1}$). Como demonstrado na tabela anterior, a gramínea na PS é capaz de estocar CO nas camadas superficiais (0-10 cm) tanto ou mais do que no SSP. No entanto, a medida que se aprofunda no perfil do solo a superioridade das árvores em armazenar e reter o CO se destaca. O estoque de CO no SSP (213 t ha^{-1}) chega a ser 17% maior do que a PS (183 t ha^{-1}) (Tab. 22).

Tabela 22: Teores de carbono orgânico (CO), e o estoque de C em t por ha, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-100 e 100-140 cm, nos sistemas silvipastoril (SSP) e pastagem solteira (PS). Relações entre o CO e o estoque de C entre os sistemas. Fazenda Campo Alegre – Itapecerica MG

Prof cm	CO		Relação SSP/PS	Densidade SSP PS kg dm^{-3}	Estoque C		Relação SSP/PS		
	SSP	PS			SSP	PS			
10	2,07	1,90	2,00 A	9%	1,33	1,48	27,6	28,0	-1%
20	1,60	1,32	1,50 B	21%	1,32	1,50	21,1	19,8	7%
40	1,42	1,10	1,28 C	28%	1,30	1,54	36,9	33,8	9%
100	1,08	0,80	0,95 D	35%	1,33	1,46	85,8	70,3	22%
140	0,83	0,56	0,71 E	47%	1,26	1,38	41,9	31,1	35%
	1,40	a 1,14	b	23%			213	183	17%

Letras minúsculas distintas entre colunas e maiúsculas entre linhas, diferem entre si ($p < 0,05$ teste SNK)

Veintimilla (2003) verificou a capacidade de armazenamento de C orgânico em florestas secundárias, pastagens melhoradas com uma densidade maior de árvores e pastagens degradadas e encontrou $180,41$, $173,09$ e $134,71 \text{ t ha}^{-1}$ de C orgânico, respectivamente. Fernandes et al. (2007) observaram em solos arenosos na região do pantanal mato-grossense (Espodosolo Ferrocárbico hidromórfico), que área sob pastagem de 20 anos apresentaram teores de C maiores em todo perfil do solo até 100 cm de profundidade em relação aqueles obtidos em área de vegetação nativa.

O teor de CO no solo diminui ($p < 0,05$) a medida que se aprofunda no perfil do solo, tanto no SSP quanto na PS e em todos os perfis de solo observou-se superioridade do SSP ($p < 0,05$). O teor de CO na PS reduziu 336% da camada de 0-10 para a camada de 100-140 cm (1,90 para 0,56 dag kg⁻¹, respectivamente), enquanto que no SSP essa redução foi de 249% da camada de 0-10 para de 100-140 cm (2,07 para 0,83 dag kg⁻¹, respectivamente).

O estoque de C no SSP, na camada de 0-40 cm de solo, foi 5% maior do que na PS, enquanto que na camada de 40-140 cm, o SSP foi 26% superior à PS. A PS apresentou maior estoque de C (1% a mais) do que o SSP na camada de 0-10 cm, mas estoques 7%, 9%, 22% e 35% menores nas camadas 10-20, 20-40, 40-100 e 100-140 cm, respectivamente.

Concluiu-se que é fundamental as análises de C em profundidades (pelo menos até 140 cm) para se estudar a importância dos sistemas agrofloretais com relação a capacidade de sequestro de C no solo.

3.3.2 - Estoque de carbono nas árvores

A altura média da copa das árvores foi de 17,2 m e o DAP médio de 38 cm. A biomassa média ponderada foi de 1.276 kg o que corresponde a um estoque médio por árvore de 638 kg de C. Multiplicando-se pelas 156 árvores ha⁻¹ chega-se ao estoque de C por ha de 99,6 t C ha⁻¹. Como a área de silvipastoril tem 35 ha tem-se um estoque de C total na parte aérea das árvores de 3.484 t.

3.3.3 - Estoque de C no solo e árvores

O estoque de C no solo do SSP (213 t ha⁻¹) encontrado foi 2,1 vezes maior do que o C estocado nas árvores (99,6 t ha⁻¹). Existe ainda o C estocado na parte aérea das gramíneas mas que está em constante ciclagem, seja pela ingestão dos animais, seja pela senescência e morte sendo novamente incorporado ao CO do solo.

Quando se comparou os dois sistemas, o CO do solo somado ao C estocado nas árvores, encontrou-se 313 t ha⁻¹ C (213 + 100 t ha⁻¹) para o SSP e 200 t ha⁻¹ (183 + 16 t ha⁻¹) para a PS, uma diferença de 57% de C estocado a mais no SSP.

O manejo adequado das pastagens, sobretudo com a reposição da fertilidade do solo, possibilita o acúmulo de C no solo a uma taxa de 0,3 t C ha⁻¹ ano⁻¹ (IPCC, 2007) o que equivale a 1,1 t de CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹. Esse acúmulo no solo seria suficiente para anular 80% da emissão anual de metano de um bovino de corte adulto (57 kg CH₄ ano⁻¹ x 25, que é o potencial de aquecimento do gás metano), correspondente a 1,42 t de CO₂ equivalente (IPCC, 2007).

Sem se considerar o acúmulo anual de C pelas árvores e gramíneas ao solo, somente o estoque existente seria capaz de mitigar a produção de CO₂ (respiração), CH₄ (fermentação entérica) e NO₂ (excreção) dos bovinos por muitos anos.

3.4 – CONCLUSÃO

O estoque de C no solo e nas árvores é um dos principais benefícios dos sistemas silvipastoris. O carbono estocado no solo foi 2,1 vezes maior do que o carbono estocado nas árvores. O SSP estudado estocou 213 t ha⁻¹ no solo e 100 t ha⁻¹ nas árvores o que corresponde a 57% a mais de C estocado em relação à pastagem solteira (200 t ha⁻¹). Essa estocagem de C do SSP é mais do que suficiente para mitigar os gases de efeito estufa produzidos pela atividade pecuária.

3.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, J.L.F. Mensuração de árvores. *Uma introdução à dendrometria*. ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001. 95p.

BROWN, S.; LUGO, A.E. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica* v. 14, 1982. p. 161–187

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* v. 145, 2005. p. 87–99

CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Antonio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Victor Hugo Alvarez V., Eds. – Viçosa, MG, 1999. 359p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes*. 2 ed. rev. e ampliada. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

FERNANDES, F.A.; CERRI, C.C.; FERNANDES, A.H.B.M. ¹³C e a Dinâmica do Carbono Orgânico do Solo em Pastagem Cultivada no Pantanal Sul-mato-grossense. Corumbá: Embrapa Pantanal, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2007. 19p.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Fourth Assessment Report (AR4)*, Working Group 1, Chapter 2, Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing, Table 2.14, 2007. p. 212.

LORENZI, HARRI. *Árvores Brasileiras*. 4ªed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2002. 352p.

MALHI, Y.; BAKER, T.R.; PHILLIPS, O.L.; et al. The above-ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots. *Global Change Biology* v. 10, 2004. p. 563–591

ROY, J.; SAUGIER, B.; MOONEY, H.A. *Terrestrial global productivity*. Academic Press, San Diego, 2001. 575p.

VEINTIMILLA, R.A.R. *Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica*. 2003 Tesis M.Sc. CATIE Turrialba, Costa Rica. 81p.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid tritration method. *Soil Science*, 37:29-38, 1934.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pressões econômicas, sociais e ambientais direcionam os sistemas agropecuários ao aumento da eficiência no uso dos recursos como solo, água e energia. Devido a intensificação do uso desses recursos, novas tecnologias devem ser geradas em busca da sustentabilidade, para atender um mundo em constante mudança. Os sistemas silvipastoris podem ser uma alternativa de integrar pastagens já existentes, muitas delas degradadas, com produção de árvores, visando aumentar a rentabilidade das propriedades e a sustentabilidade da produção pecuária, promovendo a preservação ambiental e o equilíbrio social. A reposição de nutrientes ao solo, principalmente de C, é muito importante para manutenção e incremento da fertilidade do solo. Entretanto, a comunidade científica tem papel fundamental no estudo, pesquisa e fornecimento de informações e tecnologias adaptadas a esses sistemas. Além disso deve chamar atenção da sociedade da importância dos sistemas agrônômicos integrados na mitigação dos gases emitidos e da produção de alimentos e produtos de forma econômica, ambiental e socialmente sustentáveis.

Os sistemas agroflorestais não substituirão totalmente a agricultura, pecuária e silvicultura intensivos, mas podem ser importantes alternativas de produção para o uso da terra, especialmente em áreas mais sujeitas a degradação. Grandes, médios e pequenos empreendimentos agropecuários serão cada vez mais pressionados no sentido de mitigar os impactos ambientais e sociais gerados por essas atividades e os SAF podem auxiliar nesses aspectos, armazenando C nas árvores e no solo, gerando emprego e renda para todos os envolvidos.

Outro ponto que se destaca é que em determinadas propriedades há necessidade de se observar a estabilidade temporal e biológica do ecossistema e que em algumas situações podem ser utilizadas espécies vegetais nativas adaptadas ao clima, solo e uso. O estudo feito na fazenda Campo Alegre foi exemplo disso, sinalizando que o sistema silvipastoril pode ser conduzido dentro de uma fazenda comercial com resultados promissores. Por outro lado, quebrou-se a crença que o sistema natural se mantém em constante equilíbrio. Existe uma competição pelos recursos como nutrientes e umidade do solo pelas diferentes espécies vegetais e por luz, principalmente, pelas gramíneas. Para que se possa explorar de forma mais racional os sistemas integrados, é muito importante conscientizar da necessidade de correção da acidez do solo e suplementação de nutrientes, mesmo que em reduzidos níveis, para promover um equilíbrio mínimo entre eles. Com relação as gramíneas, deve-se orientar quanto à espécie a ser escolhida e adaptações destas para que sobrevivam e tenham melhor

produtividade. O manejo florestal como a desrama, desbaste, orientação em relação ao sol e a densidade de árvores, entre outros são muito importantes para o sucesso produtivo. A incongruência de recursos, ou seja, quando há umidade e temperatura, há também menos luz para as gramíneas pelo maior sombreamento das árvores e pela nebulosidade das estações de chuvas, é importante fator a ser considerado no estabelecimento de sistemas integrados.

O conhecimento nos traz grandes responsabilidades, principalmente no compartilhamento e aplicação do saber, para que gerações futuras possam vivenciar um mundo melhor.