



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

EDINEI DE ALMEIDA

**MORFOESTRUTURA E ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS
ARENOSOS**

Londrina
2012

EDINEI DE ALMEIDA

**MORFOESTRUTURA E ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS
ARENOSOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina.

Orientadora: Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães.

Londrina
2012

Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

A447m	<p>Almeida, Edinei de. Morfoestrutura e atributos físicos de solos arenosos / Edinei de Almeida. – Londrina, 2012. 105 f.: il.</p> <p>Orientador: Maria de Fátima Guimarães. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2012. Inclui bibliografia.</p> <p>1. Estrutura do solo – Teses. 2. Física do solo – Teses. 3. Solos – Manejo – Teses. 4. Solos – Degradação – Teses. 5. Agricultura familiar – Teses. I. Guimarães, Maria de Fátima. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 631.43</p>
-------	---

EDINEI DE ALMEIDA

MORFOESTRUTURA E ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS ARENOSOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Maria de Fátima Guimarães
UEL – Londrina – PR

Prof. Dr. Michel Brossard
IRD

Prof. Dr. João Tavares Filho
UEL – Londrina – PR

Prof. Dr. Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame
UEL – Londrina – PR

Prof. Dr. Ricardo Ralisch
UEL – Londrina - PR

Prof. Dra. Maria de Fátima Guimarães
UEL – Londrina - PR

Londrina, 28 de fevereiro de 2012.

DEDICO

Dedico essa dissertação à:
Basilio Piccinin
Marina Bonin Piccinin
Eurico Corrêa de Almeida
Suzana Etz Rodrigues de Almeida
Natanael Rodrigues de Almeida
Maria de Lourdes Piccinin de Almeida
Eduardo de Almeida
Vanessa Maria Ludka

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha orientadora pela sabedoria, generosidade e amizade que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Aos Professores João Tavares Filho, Ricardo Ralisch, Osvaldo Coelho Pereira Neto, Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame e Débora Cristina Santiago que deram grande contribuição neste trabalho.

Aos amigos e colegas da UEL Jean Carlo Santos de Oliveira, Diogo Gomes, Alex Figueiredo, Fernanda Bortoloto, Alexandre Reis, Giovani Arieira, Clarissa Tieme Feltram, José Francirlei de Oliveira, Stanilas Mayi III, Adriano Thibes Hoshino e Jenniffer Schnitzer.

Aos amigos e colegas da ASPTA, EPAGRI e aos agricultores que contribuíram para que esta trabalho fosse possível.

A CAPES pela bolsa de mestrado e ao CNPq pelos projetos financiados que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

ALMEIDA, Edinei de. **Morfoestrutura e atributos físicos de solos arenosos**. 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

RESUMO

Este estudo foi realizado nos municípios de Canoinhas (SC) e Palmeira (PR) em sistemas produtivos familiares. O objetivo deste trabalho foi avaliar as morfoestruturas modificadas pelos sistemas agrícolas, textura, argila dispersa em água, carbono orgânico, densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade dos agregados e resistência à penetração em sistemas silvopastoris e cultivos anuais com sistema convencional de preparo de solo. Os resultados deste trabalho mostram a presença de estruturas compactas (Δ) que dificultam o enraizamento das culturas e, de camadas superficiais com volume estrutural livre (L), que nos sistemas de cultivos anuais estão sujeitas à remoção pelo processo de erosão. Os agregados maiores apresentaram correlação positiva com carbono orgânico, alumínio e argila+sílica e correlação negativa com cálcio, magnésio e areia. Portanto, no manejo destes solos o revolvimento e a aplicação de calcário devem ser realizados considerando seus efeitos na estrutura, estabilidade dos agregados, argila dispersa e na matéria orgânica. O processo de intensificação do uso do solo que vem ocorrendo nesta região apresenta grande potencial de degradação destes solos.

Palavras-chave: Agricultura familiar. Estrutura do solo. Perfil cultural. Unidades morfológicamente homogêneas.

ALMEIDA, Edinei de. **Morphostructural and physical attributes of the sand soils.** 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

ABSTRACT

The aim of this work was to assess soil morphostructure, texture, clay dispersion, organic carbon, bulk density, macro and microporosity, aggregate stability and penetration resistance in the livestock and annual crop systems of smallholder farmers in Canoinhas (SC) and Palmeira (PR), Southern Brazil. It was verified soil compaction (Δ), that hinder the rooting of crops, as well as loose soil (L) in the superficial layer, which may cause erosion in annual crop system. Positive correlation was found between larger aggregates and organic carbon, aluminum and clay + silt, however, negative correlation was found for calcium, magnesium and sand. Therefore, the soil tillage and lime application should be made considering its effects in the soil structure, aggregate stability, dispersed clay and organic matter. In addition, the intensification of soil use that has been occurring in this region recently may dramatically increase the soil degradation.

Keywords: Smallholder farmers. Soil structure. Cropping profile. Morphologically homogeneous units.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Localização dos municípios das áreas estudadas no projeto: Palmeira (PR) Canoinhas (SC)	12
Figura 2.2 – Evolução da produção agrícola no município de Palmeira	14

ARTIGO A

Figura 3.1 – Perfis Culturais digitalizados - Canoinhas (largura: 0,90 m; profundidade 0,4m)	29
Figura 3.2 – Perfis Culturais digitalizados - Palmeira (largura: 0,90 m; profundidade (0,40m)	30

ARTIGO B

Figura 4.1 – Análise de componentes principais dos atributos físicos na profundidade de 0 – 0,1 m).....	44
Figura 4.2 – Análise de componentes principais dos atributos físicos na profundidade de 0 – 0,1 m).....	50
Figura 4.3 – Análise de componentes principais dos atributos físicos na profundidade de 0 – 0,1 m).....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Perfis de solo realizados na região de estudo pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos	13
Tabela 2.2 – População Rural Residente no Brasil, na Unidade da Federação, Mesorregião e Município	15
Tabela 2.3 – Avaliação Visual da Estrutura do Solo	19

ARTIGO A

Tabela 3.1 – Uso e declividade das áreas estudadas	27
Tabela 3.2 – Descrição dos sistemas de produção: sucessão e/ou rotação de culturas, uso e preparo de solo das áreas estudadas	28

ARTIGO B

Tabela 4.1 – Uso e declividade das áreas estudadas	34
Tabela 4.2 – Descrição dos sistemas de produção: sucessão e/ou rotação de culturas, uso e preparo de solo das áreas estudadas	35
Tabela 4.3 – Textura e carbono orgânico das áreas sob diferentes sistemas de uso na profundidade 0,6 a 0,8 m	35
Tabela 4.4 – Umidade gravimétrica (g g^{-1}) do solo no momento de avaliação da resistência a penetração	37
Tabela 4.5 – Granulometria, argila dispersa e carbono orgânico das áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo nas profundidades de 0 – 0,1; 0,1 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m	39
Tabela 4.6 – Classes de tamanhos de agregados, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado e índice de estabilidade de agregados das áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo nas profundidades de 0 – 0,1; 0,1 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m	40
Tabela 4.7 – Densidade do solo, macroporosidade e microporosidade, volume total de poros, relação macroporos e volume total de poros	41
Tabela 4.8 – Resistência a penetração em MPa nas áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo nas profundidades de 0 – 0,1; 0,1 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m	42

Tabela 4.9 – Teores de Cálcio, Magnésio e Alumínio dos sistemas sob diferentes sistemas de uso e manejo nas profundidades de 0 – 0,1; 0,1 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m.....	43
Tabela 4.10 – Coeficiente de correlação e p valor da análise de correlação entre as classes de agregados e os atributos químicos na profundidade de 0 – 0,1 m	45
Tabela 4.11 – Coeficiente de correlação e p valor da análise de correlação entre as classes de agregados e os atributos físicos na profundidade de 0 – 0,1 m	46
Tabela 4.12 – Coeficiente de correlação e p valor da análise de correlação entre as classes de agregados e os atributos químicos na profundidade de 0,1 – 0,2 m	51
Tabela 4.13 – Coeficiente de correlação e p valor da análise de correlação entre as classes de agregados e os atributos físicos na profundidade de 0,1 – 0,2 m	52
Tabela 4.14 – Coeficiente de correlação e p valor da análise de correlação entre as classes de agregados e os atributos químicos na profundidade de 0,2 – 0,4 m	55
Tabela 4.15 – Coeficiente de correlação e p valor da análise de correlação entre as classes de agregados e os atributos físicos na profundidade de 0,2 – 0,4 m	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 ESTRUTURA DO SOLO	17
2.2 ESTABILIDADE DE AGREGADOS.....	21
2.3 RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO	23
3 ARTIGO A: MORFOESTRUTURA DE SOLOS ARENOSOS	25
3.1 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
3.3 CONCLUSÕES.....	31
4 ARTIGO B: ESTABILIDADE DE AGREGADOS E ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SOLOS ARENOSOS	32
4.1 MATERIAL E MÉTODOS	33
4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.3 CONCLUSÕES.....	61
5 CONCLUSÕES GERAIS	62
REFERÊNCIAS	63
APÊNDICES	69
Apêndice A – Gráficos de intervalo de confiança	70

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo foi realizado em sistemas produtivos familiares no município de Canoinhas, Norte Catarinense, e de Palmeira, Centro-Oriental Paranaense. Segundo EMBRAPA (2006), estas regiões se caracterizam por uma grande variação de tipos de solo, predominando os Cambissolos, Neossolos e Argissolos. Estes solos, de forma geral, apresentam limitações para uso agrícola e nas últimas décadas vem ocorrendo um processo de intensificação no seu uso nestas regiões. As regiões estudadas possuem uma economia predominantemente agrícola, com grande parcela da população na área rural e expressiva presença de agricultores familiares.

No município de Canoinhas no período de 2000 a 2008 a produção aumentou no caso da soja ,de 21.600 para 40.800 toneladas/ano, do milho de 55.200 para 76.950 toneladas/ano, do fumo de 7.572 para 10.710 toneladas/ano e do feijão de 4.351 para 5.400 toneladas/ano (SECRETARIA DE ESTADO E PLANEJAMENTO DE SANTA CATARINA, 2012). Segundo dados do DERAL-SEAB (2010) tendo como base o período de 2004 a 2007, o município de Palmeira apresentou um incremento nominal de 23,2% no montante da soma de sua produção passando de R\$ 179.873.242,97 em 2004 para um total de R\$ 221.627.185,50 sendo o 17º município em volume de produção no Paraná. Neste município 91,1% das propriedades possuem menos de 100 ha, porém ocupam apenas 30,1% da área total.

Neste trabalho apresentamos dois artigos, o primeiro intitulado “Morfoestrutura de solos arenosos” e o segundo “Estabilidade de agregados e atributos físicos e químicos de solos arenosos”. No segundo artigo, foi avaliado carbono orgânico, os atributos físicos estabilidade de agregados, textura, dispersão de argila, densidade do solo, resistência a penetração, macro e microporosidade e os atributos químicos cálcio, magnésio e alumínio. Neste estudo foram avaliados quatro sistemas de produção, dois no município de Palmeira (PR), cultivos anuais e silvopastoril, e dois em Canoinhas (SC), cultivos anuais e silvopastoril.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O presente estudo foi realizado em sistemas produtivos familiares no município de Canoinhas, Norte Catarinense, e de Palmeira, Centro-Oriental Paranaense. Os agricultores familiares cultivam o solo nestas regiões a, pelo menos, três gerações no caso dos descendentes, principalmente, de poloneses, ucranianos, alemães e italianos e desde o século XVIII no caso dos cablocos descendentes de portugueses e índios. A localização dos municípios das áreas de estudo é apresentada na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Localização dos municípios das áreas estudadas: no Sul do Brasil, duas no município de Palmeira (PR) (cultivos anuais e silvopastoril), e duas em Canoinhas (SC) (cultivos anuais e silvopastoril)



Na Tabela 2.1 são apresentadas as análises de alguns perfis de solo realizados pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (EMBRAPA, 2006).

Tabela 2.1 – Perfis de solo realizados na região de estudo (EMBRAPA, 2006)

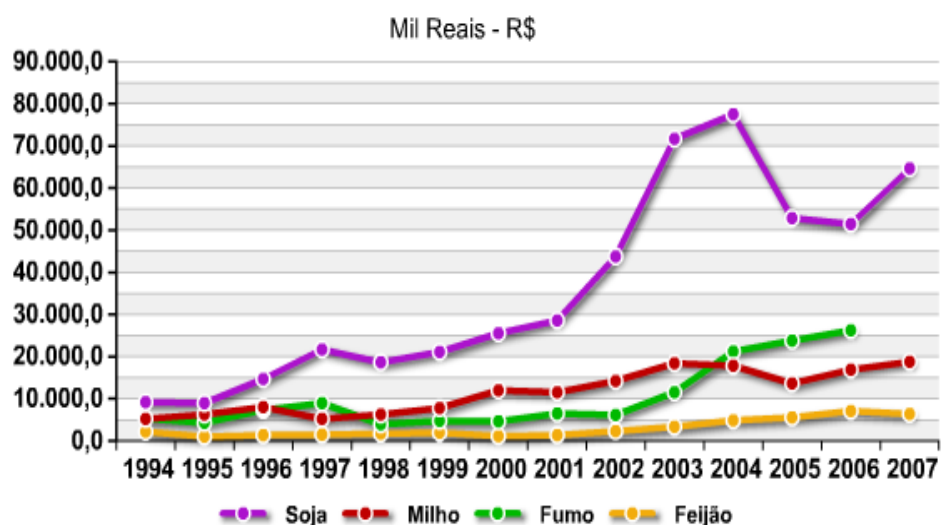
Perfil	Município	Solo	Horizonte	metros	g kg ⁻¹					cmolc	%	g kg ⁻¹
				Profundidade	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Dispersa	Al ⁺³	V	Carbono Orgânico
13	São Mateus do Sul	Latossolo Vermelho	A1	0 - 0,13	20	90	200	690	230	4,1	9	48,4
			A3	0,13 - 0,35	20	80	170	730	190	3,8	2	25,5
59	São João do Triunfo	Nitossolo Bruno	A	0 - 0,20	10	40	360	590	490	9,6	4	23,0
			Bt	0,60 – 1,20	10	40	340	610	170	10,7	2	6,1
109	Palmeira	Cambissolo	A	--	40	490	220	250	120	3,3	4	13,9
			(B)	--	30	490	220	260	10	2,6	5	5,5
112	Paula Freitas	Cambissolo	A	0 - 0,20	10	220	250	520	230	6,6	1	26,7
			(B)	0,60 – 0,80	10	200	260	530	0	3,8	3	5,0

A região se caracteriza por uma grande variação de tipos de solo, predominando os cambissolos, neossolos, argissolos (EMBRAPA, 2006). Estes solos, de forma geral, apresentam limitações para uso agrícola (MERTEN et al. 1994) e nas últimas décadas vem ocorrendo um processo de intensificação do seu uso nesta região.

Conforme dados do Valor Bruto da Produção Agropecuária divulgado pelo DERAL – SEAB (2010), tendo como base o período de 2004 a 2007, o município de Palmeira apresentou um incremento nominal de 23,2% no montante da soma de sua produção passando de R\$ 179.873.242,97 em 2004 para um total de R\$ 221.627.185,50 sendo o 17º município em volume de produção no Paraná. O dados do Censo Agropecuário do IBGE (2006), apresentados na Figura 2.2, mostram a evolução da produção agrícola no município de Palmeira nos últimos anos. Para a geração de renda monetária a soja e milho são cultivados principalmente pelos grandes produtores e o feijão e fumo pelos agricultores familiares. O milho é uma cultura muito cultivada pelos agricultores familiares desta região, mas sua utilização é predominantemente para uso interno na propriedade gerando renda não monetária. Os dados demonstram um expressivo aumento na produção agrícola que tem como consequência a intensificação do uso do solo nos dois casos, considerando que não tem ocorrido significativa expansão da área agrícola.

A intensificação destes sistemas tem causado um grande impacto na fertilidade física destes solos, estudo realizado por Ralisch et al. (2010) no município de Palmeira demonstra a presença de estruturas compactadas em subsuperfície limitando o crescimento das raízes nos sistemas com mecanização intensiva.

Figura 2.2 – Evolução da produção agrícola no município de Palmeira



Fonte: IBGE (2006).

As regiões estudadas possuem uma economia predominantemente agrícola, com grande parcela da população na área rural (Tabela 2.2) e expressiva presença de agricultores familiares. Segundo dados do DERAL-SEAB (2010) no município de Palmeira 91,1% das propriedades possuem menos de 100 ha, porém ocupam apenas 30,1% da área total. Os dados evidenciam forte concentração das terras, onde 8,9% dos produtores detém 69,9% das terras. Estes dados mostram a importância do uso sustentável do recurso natural solo, devido sua importância econômica e social, principalmente nas áreas dos agricultores familiares que cultivam solos com maior limitação de aptidão agrícola.

No município de Canoinhas no período de 2000 a 2008 a produção aumentou no caso da soja ,de 21.600 para 40.800 toneladas/ano, do milho de 55.200 para 76.950 toneladas/ano, do fumo de 7.572 para 10.710 toneladas/ano e do feijão de 4.351 para 5.400 toneladas/ano (SECRETARIA DE ESTADO E PLANEJAMENTO DE SANTA CATARINA, 2012).

Neste contexto, existe um problema de exclusão dos agricultores familiares, principalmente os mais pobres, para ambientes marginais, que tem como uma das grandes limitações solos de baixa aptidão agrícola (ALTIERI, 2002). O uso sustentável dos recursos naturais e a viabilidade econômica dos sistemas agrícolas familiares apresentam-se como um desafio, e existem casos como a experiência do Norte de Santa Catarina, onde agricultores familiares que vem construindo alternativas para superar estes desafios (ALTIERI et al. 2011;. ALMEIDA et al. 2009).

Tabela 2.2 – População Rural Residente no Brasil, na Unidade da Federação, Mesorregião e Município

	%
Brasil	15,64
Paraná	14,67
Centro Oriental Paranaense	15,30
Palmeira	39,68
Santa Catarina	16,01
Norte Catarinense	12,28
Canoinhas	25,57

Fonte: IBGE (2010).

O uso sustentável dos recursos naturais é um dos maiores desafios da humanidade na atualidade. A agricultura com base na gestão destes recursos (solo, água, nutrientes e agrobiodiversidade) produz alimentos, fibras, combustíveis e serviços ambientais. Estudos demonstram a importância dos serviços ambientais realizados pelos ecossistemas agrícolas e todos dependem completamente dos ecossistemas terrestres e dos serviços por eles fornecidos (MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005; COSTANZA, 2008; BOUMANS e COSTANZA, 2009; HONG et al., 2009; PORTER et al., 2009; MUELLER et al., 2010).

Para atender amplamente o rápido crescimento da demanda por alimentos, água, madeira, fibras e combustíveis, nos últimos 50 anos, os seres humanos têm mudado os ecossistemas mais rapidamente e extensivamente quando comparados com qualquer outro período da história da humanidade. Quase dois terços dos serviços ambientais estão em rápido declínio em todo o mundo. Esta transformação do planeta tem contribuído para um substancial ganho do bem estar humano e desenvolvimento econômico, mas nem todas as regiões ou grupos humanos tem se beneficiado deste processo. Entretanto, os custos completos associados a estes ganhos ainda foram devidamente considerados (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005; TILMAN, 1999; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989).

Embora a taxa de crescimento populacional dos 6 bilhões de habitantes da terra comece a decrescer, a produção mundial de alimentos deverá dobrar o atual nível até a metade do século XXI. A estimativa é que até a metade do século XXI a população mundial estará entre 9 a 10 bilhões de pessoas (SHERWOOD; UPHOFF, 2000).

Para a próxima duplicação de produção de alimentos estima-se que haverá a necessidade de 3 vezes a quantidade atual de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, um aumento de duas vezes a área irrigada e 18 % das áreas cultivadas. Este aumento aparentemente pequeno das áreas cultivadas é devido às áreas férteis já estarem sendo, em sua maioria, utilizadas. Portanto, esta demanda implicaria numa perda de 268 milhões de hectares de ecossistemas naturais ao redor do mundo (TILMAN, 1999).

As conquistas da agricultura nas últimas décadas têm sido impressionantes. A produção de grãos, principalmente trigo, arroz e milho, aumentou numa taxa maior que o crescimento da população humana. Porém, estes aumentos de produção tiveram custos ambientais que não podem ser ignorados e que ameaçam a própria base da sobrevivência humana. Neste sentido, o recurso básico que tem sido mais negligenciado pela agricultura moderna é o solo (TILMAN, 1999).

A região do Vale do Paraíba, que no passado prosperou com a riqueza da agricultura, principalmente no ciclo do café, hoje apresenta um panorama agrícola decadente. Os solos degradados pela atividade agrícola insustentável suportam principalmente uma pastagem degradada que é à base de uma atividade pecuária que continua degradando o solo e gerando pouca riqueza. Albuquerque et al. (2011) aborda a fragilidade de solos principalmente em algumas regiões no Sul do Brasil. Os autores discutem a fragilidade dos solos principalmente das encostas basálticas, devido aos declives acentuados; do Alto e Médio Vale do Itajaí, devido aos declives acentuados e baixa fertilidade química; da Campanha Gaúcha, devido principalmente a sua textura superficial arenosa. Os solos do Norte Catarinense e Centro Oriental Paranaense, que não são abordados por estes autores, apresentam, de maneira geral, elevado teor de silte e a predominância das classes fina e principalmente muito fina tornando estes solos susceptíveis a erosão e a degradação estrutural.

2.1 ESTRUTURA DO SOLO

As funções do solo são diretamente influenciadas pela estrutura, e esta é influenciada pelo manejo agrícola. A estrutura é uma propriedade complexa e está relacionada ao tamanho das partículas, a mineralogia e a agregação das partículas primárias por compostos organo-metálicos, cátions e a matéria orgânica (MUELLER et al., 2010; BALL et al., 2007; BRONICK; LAL, 2005; SHEPHERD et al., 2002), que depende de processos químicos, físicos e biológicos e tem uma relação direta com as funções do solo.

Segundo Dexter (1988), aspectos da estrutura do solo são importantes para a retenção de água, capacidade de infiltração, porosidade, resistência à penetração de raízes e desenvolvimento das plantas. De acordo Roger-Estrade et al. (2000) a estrutura do solo na camada revolvida das áreas cultivadas é influenciada por fatores externos, causados pelo homem (tráfego de máquinas e uso de implementos agrícolas) ou naturais (clima, fauna de solo e raízes). Estes fatores podem causar compactação, fragmentação ou mesmo a desagregação do solo e o efeito combinado destes fatores altera as características do solo as quais definem sua estrutura, principalmente o arranjo espacial, o tamanho e a forma das partículas do solo e conseqüentemente o volume do espaço poroso.

Muito da biodiversidade do agroecossistema vive no solo e desempenha importantes funções que afetam direta e indiretamente o desenvolvimento das plantas cultivadas (NIELSEN et al., 2011; ROGER-ESTRADE, 2010; LAVELLE, 2002; FRAGOSO et al., 1997; LAVELLE et al., 1997).

Na Europa a partir de meados do século XX os estudos sobre a fertilidade física do solo, em função da intensificação da mecanização nos sistemas produtivos, passou a adquirir grande importância. A distribuição espacial das estruturas no solo é bastante heterogênea e no horizonte revolvido dos solos agrícolas (Ap) esta heterogeneidade é ainda maior. A utilização de metodologias de avaliação das estruturas no campo, como a Avaliação Visual da Qualidade do Solo (BALL et al., 2007) e o Perfil Cultural (GAUTRONNEAU; MANICHON, 1987; TAVARES FILHO et al., 1999a), associada a avaliação de atributos físicos do solo é uma importante ferramenta para avaliação das condições do solo para o desenvolvimento das culturas agrícolas.

Na Holanda, Peerlkamp e colaboradores desenvolveram na década de 60 uma metodologia de avaliação visual da qualidade do solo, que foi posteriormente adaptado por Ball et al. (2007). A metodologia esta baseada na distinção das características das estruturas do solo divididas em classes conforme descrito na Tabela 2.3. Baseados nesta metodologia Mueller et al. (2009a) e Mueller et al. (2009b) avaliaram solos no Canadá, China e Alemanha sob diferentes sistemas de manejo agrícola e relacionaram os resultados da avaliação da qualidade visual do solo com avaliações de atributos físicos com uma boa correlação. As estruturas avaliadas visualmente como não favoráveis estavam associadas com o aumento da densidade do solo, da resistência a penetração e redução da taxa de infiltração.

Batey e McKenzie (2006) discutem a metodologia da avaliação visual do solo para a avaliação da compactação. A compactação do solo tem tornado-se um grande problema nos sistemas agrícolas porque alteram a estrutura, aumentam a densidade e reduzem a macroporosidade, estas alterações interferem diretamente no desenvolvimento das culturas agrícolas.

Ball e Douglas (2003) utilizaram esta metodologia para a avaliação de um experimento de manejo em um Argissolo na Escócia. A metodologia permitiu uma boa correlação com a avaliação das raízes, a identificação das estruturas deterioradas causadas pelo revolvimento do solo e a ação das raízes das gramíneas na recuperação das estruturas do solo. A avaliação visual e tátil das estruturas e crescimento das raízes permite uma avaliação sistêmica das condições físicas do solo.

Tabela 2.3 - Avaliação visual da estrutura do solo (BALL et al., 2007).

Qualidade da Estrutura	Facilidade de rompimento (solo úmido)	Tamanho e aparência dos agregados	Porosidade visível	Comportamento das raízes
Friável	Agregados destorroam facilmente entre os dedos	A maioria menor que 6 mm após o destorroamento	Porosidade muito alta	Raízes em todo solo
Intacto	Agregados quebram facilmente com uma mão	Uma mistura de agregados arredondados porosos de 2 a 70 mm. Sem presença de torrões.	A maioria dos agregados são porosos.	Raízes em todo solo
Firme	Agregados quebram com uma mão	Uma mistura de agregados porosos de 2 mm a 10 mm; menos que 30% são menores que 1 cm . Alguns agregados angulares (torrões) não porosos também podem estar presentes	Macroporos e fissuras presentes. Alguma porosidade intra-agregado evidenciada pelos poros e raízes.	A maioria das raízes estão ao redor dos agregados.
Compacto	Requer considerável esforço para romper os agregados com uma mão	A maioria dos torrões maior que 10 cm não porosos e subangulares. Estruturas horizontais também são possíveis. Menos que 30 % são menores que 7 cm .	Poucos macroporos e fissuras.	Todas as raízes estão nos macroporos e ao redor dos agregados.
Muito Compacto	Difícil	A maioria dos torrões são angulares e não porosos, maiores que 10 cm e poucos menores que 7 cm .	Porosidade muito baixa; macroporos podem estar presentes. Pode conter zonas de anaerobiose	Poucas, se presentes, restrita as fissuras.

Na França, Henin na década de 60 desenvolveu a metodologia do Perfil Cultural baseada na observação das estruturas de solos agrícolas com o objetivo de dialogar com estudantes e extensionistas. Gautronneau e Manichon (1987), baseados nos trabalhos desenvolvidos inicialmente por Henin complementaram o desenvolvimento desta metodologia. A metodologia do Perfil Cultural foi adaptada para os solos tropicais e subtropicais brasileiros por Tavares Filho et al. (1999a). Esta metodologia consiste na definição das camadas com estruturas semelhantes, definido posteriormente por Tamia et al. (1999) com Unidades Morfológicamente Homogêneas, e pela descrição das estruturas de cada camada e a determinação do estado interno dos torrões. Tal método mostra-se eficiente no diagnóstico qualitativo do estado físico dos solos no campo, na orientação de amostragem de solos, no estudo dos efeitos da antropização, na visualização das interações físicas, químicas e biológicas dos solos, nos estudos de mecânica do solo no campo e no estudo da organização estrutural de solos agrícolas, além de auxiliar na análise do sistema radicular.

Utilizando a metodologia Perfil Cultural, Perreira Neto et al. (2007) estudou diferentes sistemas de uso e manejo em um Latossolo Vermelho em Rio Verde (GO). Neste estudo foram avaliados os sistemas de preparo convencional, plantio direto com diferentes tempos de implantação que foram comparados com a mata. As estruturas nas áreas de plantio direto se aproximaram da mata a partir do 9º e 10º anos de transição, sendo que áreas com menor tempo de transição as estruturas eram mais próximas do sistema de preparo convencional.

Neves et al. (2003) estudou diferentes sistemas de preparo de solo em soja, cana-de-açúcar e citrus utilizando esta metodologia e comparou com os resultados de densidade do solo, porosidade total e porosidade em mercúrio. Os resultados de campo foram coerentes com os resultados de laboratório. As estruturas em processo de compactação corresponderam a valores de densidade de solo de 1,42 a 1,33 Mg m⁻³, que foi significativamente maior que o valor 1,18 Mg m⁻³ obtido nas estruturas não compactadas.

Muller et al. (2001) avaliou o perfil cultural, o sistema radicular, a densidade do solo, macro e microporosidade em um Argissolo com diferentes sistemas de pastagem no Pará. O estudo foi realizado em três sistemas de pastagem, produtiva, em declínio, degradada e em uma área de mata como referência. A pastagem degradada apresentou maiores resultados de densidade de solo, menor floculação de argila e porosidade total e estes resultados foram coerentes com as estruturas descritas pelo método do perfil cultural. A avaliação do sistema radicular demonstrou que a área de pastagem degradada estava associada a um menor crescimento das raízes e a concentração das raízes em

superfície. Estes resultados demonstram que a degradação das pastagens, que abrange grandes áreas no Brasil, não pode ser resolvida com o simples aporte de nutrientes e a recuperação da fertilidade física é fundamental para a recuperação destas áreas.

Fregonezi et al. (2001) estudou na região do triângulo mineiro um sistema de pastagem de baixa produtividade, dois sistemas de pastagem renovada e uma área de cerrado como referência. Os resultados da densidade de solo foram maiores na pastagem degradada, menores no cerrado e as pastagens renovadas apresentaram valores intermediários e foram coerentes com as estruturas do perfil cultural.

2.2 ESTABILIDADE DE AGREGADOS

A estabilidade de agregados é um parâmetro complexo que influencia muitas propriedades do solo, incluindo a estabilização do carbono, porosidade, infiltração, aeração, condutividade hidráulica, resistência a erosão e escoamento superficial. A manutenção da estabilidade dos agregados é fundamental para preservar a produtividade do solo e minimizar a erosão (AN et al. 2010; BARTHES; ROOSE, 2002).

Os agregados não são simplesmente um arranjo aleatório das várias partículas que compõem a textura. O pré-requisito para a formação dos agregados estáveis em água é a floculação das partículas de argila, sendo o primeiro estágio da formação dos macroagregados. A estabilidade dos microagregados ($< 250 \mu\text{m}$) ocorre principalmente devido a ação dos polissacarídeos, resíduos orgânicos e bactérias. A estabilidade dos macroagregados dependem mais das raízes e fungos. O material orgânico liberado pelas raízes pode estabilizar os agregados diretamente, ou indiretamente provendo uma fonte de energia para os microrganismos da rizosfera (TISDALL, 1994; TISDALL; OADES, 1982). As raízes da gramíneas são mais eficientes para o processo de agregação do solo (TISDALL; OADES, 1979).

A qualidade da matéria orgânica exerce grande influência no processo de agregação. Tisdall e Oades (1982) dividem os agentes de agregação em três grandes grupos: transitória, temporária e persistente. O primeiro grupo é composto por substâncias de rápida decomposição microbiana, incluindo os polissacarídeos. O segundo grupo é composto pelas raízes e hifas dos fungos e o terceiro grupo é composto por substâncias húmicas aromáticas associadas a minerais na forma de organo-minerais, estas substâncias são estáveis e são responsáveis pela estabilidade dos microagregados. Segundo An et al. (2010) relativamente pouca informação é disponível sobre o conteúdo de carbono e sua distribuição nos diferentes

tamanhos de agregados. De acordo com Abiven et al. (2007), a importância relativa dos diferentes mecanismos de agregação relacionadas aos agentes biológicos ainda não está totalmente clara.

Salton et al. (2008) estudando a agregação do solo e a estabilidade de agregados em lavouras no sistema de plantio direto, em lavouras com rotação com pastagens e pastagens permanentes concluíram que as pastagens apresentaram maior DMP e IEA. Observou-se também um efeito positivo do teor de argila na agregação comparando-se os diferentes locais estudados.

Vezzani e Mielniczuk (2011) avaliando um experimento de 17 anos em um Argissolo distrófico na Depressão Central do Rio Grande do Sul determinaram que um Campo Nativo apresentou 76,4 % de solo agregado, distribuídos em 63,8 % de macroagregados e 23,6 % de partículas simples, com estoque de C de 20,0 Mg ha⁻¹ na profundidade de 0–7,5 cm. O uso agrícola com revolvimento intenso do solo e baixa adição de resíduos (sistema lavoura) reduziram a proporção de solo agregado para 49,9 % e aumentou a de partículas simples para 50,1 %. O estoque de C reduziu para 11,8 Mg ha⁻¹ na mesma profundidade. A partir dessa condição, o sistema sem revolvimento de solo, com maior diversidade de espécies de plantas e grande adição de resíduos elevou, em 15 anos, a proporção de solo agregado para 70,7 %, e a dos macroagregados, para 53,5 %. A pastagem perene (Pangola) elevou a proporção de solo agregado para 74,1 % e a dos macroagregados para 61,8 %, igualando-se ao Campo Nativo. Os sistemas de plantio direto e adubação verde recuperaram os estoques de C no nível do Campo Nativo. No entanto, a Pangola, que apresentou os maiores índices de agregação do solo, teve o estoque C inferior ao desses sistemas, enfatizando a ação positiva do sistema radicular denso na recuperação da agregação do solo.

Zotarelli et al. (2007) em Latossolos em Londrina (PR) e Passo Fundo (RS) avaliaram o fracionamento de agregados e mostraram que o plantio direto promove condições para a formação de agregados, principalmente na camada de 0–5 cm de profundidade, e esse efeito foi relacionado a uma maior acumulação de C do solo sob plantio direto do que o preparo convencional. Especialmente a combinação do plantio direto com os adubos verdes promoveu a estabilização dos agregados. O sistema de plantio direto aumentou a proteção física do carbono nos agregados. Este processo era melhor conhecido para os solos das regiões temperadas com predominância de argila 2:1 e este trabalho confirmou que este processo também ocorre nos Latossolos com predominância de argila 1:1 e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

2.3 RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO

A resistência à penetração é uma propriedade física que expressa o grau de compactação, e conseqüentemente a facilidade das raízes penetrarem no solo. A resistência do solo à penetração integra os efeitos da densidade e da umidade, nas condições físicas do solo necessárias para o crescimento das raízes (TORMENA et al., 2002).

Stolf et al. (1983) propôs a utilização do penetrômetro de impacto para a avaliação da resistência a penetração, principalmente nas áreas de cana-de-açúcar. Este equipamento foi desenvolvido no Planalsucar a partir da modificação do penetrógrafo convencional. As dimensões do cone e da haste seguem o mesmo padrão do penetrógrafo, padronizado pela ASAE (American Society of Agricultural Engineers), a principal diferença esta na utilização de um peso padrão (4 kg) que aplica uma força na haste em função de seu curso de queda livre (400 mm). A cada determinado número de impactos é medido o quanto a haste penetrou no solo. A vantagem deste aparelho é que ele é mais barato que o penetrógrafo, não exige calibração e os resultados independem do operador. Este equipamento ampliou muito a avaliação da resistência a penetração no solo tanto na pesquisa quanto como uma ferramenta para tomada de decisão nos sistemas agrícolas.

Tormena et al. (2002) estudaram a resistência a penetração em um Latossolo, cultivado com mandioca, após dois anos de implantação de três sistemas de preparo de solo, plantio direto, preparo mínimo e preparo convencional. Os resultados mostraram que no solo sob condições mais úmidas, os valores de resistência à penetração podem ser considerados não impeditivos para os sistemas Preparo Convencional e Preparo Mínimo e pouco impeditivo para o sistema Plantio Direto. No entanto, com o secamento do solo os valores de resistência podem atingir níveis altamente impeditivos restringindo a disponibilidade de água às plantas, especialmente sob Plantio Direto. Entretanto um estudo realizado por Pereira Neto et al. (2007) demonstrou que o tempo necessário para que o plantio direto transforme a estrutura do solo para uma condição mais próxima a do ecossistema natural é de pelo menos 8 anos, no caso do trabalho realizado por Tormena et al. (2002) a avaliação foi realizada após dois anos. No próprio trabalho estes últimos autores comentam sobre a necessidade de estudos mais prolongados.

Silva et al. (2000) estudaram o efeito do tráfego de uma colhedora de grãos utilizando o método da resistência a penetração em um Latossolo, com textura superficial argilosa, no Rio Grande do Sul. As avaliações foram realizadas no sistema de solo convencional e plantio direto e estes sistemas como solo úmido e seco. Na avaliação foi

considerada a área afetada e a não afetada pela passagem do pneu da colhedora. Na área afetada pela passagem do pneu nos dois sistemas de preparo de solo houve um aumento da resistência a penetração na profundidade de 5 a 17 cm, mas em condição úmida não chegava a ser limitante ao crescimento das raízes. Entretanto com o solo seco, a compactação causada pela colhedora chegava a ser limitante para o crescimento das raízes.

A avaliação da resistência a penetração (quantitativa) associada à avaliação do perfil cultural (qualitativa) é uma metodologia interessante para avaliar as condições do solo para o desenvolvimento das culturas agrícolas. Esta metodologia foi utilizada na região norte do Paraná por Tavares Filho et al. (1999b) em um Nitossolo, em uma área com mais de 10 anos de preparo convencional e por Tavares Filho et al. (2001) em um Latossolo, com textura argilosa, comparando áreas de preparo convencional e plantio direto. No primeiro estudo a maior resistência a penetração ocorria entre 0,10 e 0,25 m. No segundo estudo a área de plantio direto apresentou maior resistência a penetração de 0 a 0,15 m, de 0,15 a 0,35 não houve diferença entre os dois sistemas e a partir de 0,35 m os valores foram menores na área do plantio direto. Nos dois estudos a avaliação da resistência a penetração e do perfil cultural apresentaram resultados coerentes. A metodologia do perfil cultural mesmo com um número reduzido de repetições por área permitiu uma boa avaliação da heterogeneidade das estruturas do solo nas áreas e sua relação com a distribuição das raízes.

3 ARTIGO A

MORFOESTRUTURA DE SOLOS ARENOSOS

Resumo: Este estudo foi realizado nos municípios de Canoinhas (SC) e Palmeira (PR) em sistemas produtivos familiares. O objetivo deste trabalho foi avaliar as morfoestruturas modificadas pelos sistemas agrícolas pelo método do perfil cultural em sistemas silvopastoris e cultivos anuais com sistema convencional de preparo de solo. Os resultados deste trabalho mostram a presença de estruturas compactas (Δ) em subsuperfície que dificultam o enraizamento das culturas e a infiltração da água e de camadas superficiais com volume estrutural livre (L), que nos sistemas de cultivos anuais estão sujeitas à remoção pelo processo de erosão.

Palavras-chave: Agricultura familiar. Estrutura do solo. Perfil cultural. Unidades morfológicamente homogêneas.

Abstract: The aim of this work was to assess the soil morphostructure in the livestock and conventional annual crop sites using the cultural profile method on smallholder farmers in Canoinhas (SC) and Palmeira (PR), southern Brazil. It was found the soil compactation (Δ) below the surface layer. This process inhibits the crop growth, as well as the soil water infiltration in this layer. In addition, the structural free volume (L) in the superficial soil layer may be removed by erosion.

Keywords: Smallholder farmers. Soil structure. Cropping profile. Morphologically homogeneous units.

INTRODUÇÃO

Nos municípios de Canoinhas (SC) e Palmeira (PR) agricultores familiares cultivam solos de baixa a média aptidão para a mecanização agrícola intensiva e, o processo de intensificação da agricultura que vem ocorrendo tem o potencial de causar a degradação destes solos. Os solos predominantes nesta região pertencem às classes Cambissolo, Neossolo e Argissolo (EMBRAPA, 2006) e o conhecimento do impacto dos sistemas agrícolas nesses solos é fundamental para o estabelecimento de um manejo conservacionista. Um estudo de Ralisch et al. (2010) demonstrou uma degradação das estruturas do solo nos sistemas agrícolas da região, principalmente associada a sistemas com maior intensidade de mecanização.

A estrutura do solo desempenha importante papel nas funções do solo e sua degradação pode resultar em conseqüências ambientais e agronômicas, como a perda da produtividade agrícola e erosão do solo (MUELLER et al. 2010; CHAPLAIN et al., 2011). A avaliação do impacto das práticas de manejo do solo é necessária para avaliar as modificações

em sua estrutura (PAGLIAI et al. 2004) e para Neves et al., (2003) uma das dificuldades da avaliação das propriedades físicas está relacionada a grande heterogeneidade estrutural existente no solo. Ressalta-se que métodos de amostragem aleatórios em profundidades pré-estabelecidas sem considerar esta variabilidade dificultam as avaliações.

A metodologia do perfil cultural vem sendo utilizada para a avaliação da variabilidade espacial das estruturas do solo em sistemas agrícolas (RALISCH et al 2010, NEVES et al 2003, MULLER et al, 2001, FREGONEZI et al 2001). O perfil cultural é o conjunto dos horizontes do solo individualizados pela intervenção de implementos agrícolas, pelo comportamento das raízes das plantas do local, pela influência dos fatores naturais (clima) e pelas técnicas de cultivo adotadas (GAUTRONNEAU; MANICHON, 1987). É um modelo prático de avaliação da dinâmica da estrutura do solo em campos cultivados que pode ser uma importante ferramenta de auxílio para os agricultores aperfeiçoarem suas práticas de manejo, que requer uma avaliação de longo prazo dos efeitos dos sistemas de cultivo nas mudanças das estruturas do solo (ROGER-ESTRADE et al. 2000).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as morfoestruturas modificadas pelos sistemas agrícolas em Cambissolos de sistemas produtivos familiares de cultivos anuais e silvopastoril.

3.1 MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foram avaliados, em unidades produtivas familiares, dois sistemas de uso, silvopastoril e cultivos anuais, em dois tipos de solo, um no município de Canoinhas - SC (26° 09' S, 50° 28' O) e outro no município de Palmeira – PR (25° 31' S, 50° 06' O). De acordo com a classificação de Koeppen-Geiger, o clima na região é Cfb Subtropical Úmido Mesotérmico, com verões frescos, sem estação seca e com geadas severas.

A discussão dos resultados será realizada comparando os dois sistemas de uso em cada tipo de solo. A descrição e o histórico das áreas estão apresentados nas Tabelas 3.1 e 3.2.

A avaliação do perfil cultural foi realizada no segundo semestre de 2009 em uma trincheira de 1 x 1 x 1 m por área de estudo. Na época de avaliação do perfil as áreas de cultivos anuais estavam cultivadas com adubação verde de inverno. A parede do perfil avaliada foi perpendicular ao sentido das operações agrícolas.

O método da avaliação do perfil consiste da estratificação e da descrição das estruturas do solo, segundo a metodologia proposta por Tavares Filho et al. (1999a). As

diferentes estruturas de cada camada do perfil cultural foram classificadas em unidades morfologicamente homogêneas (UMH's). Essas UMH's foram quantificadas pelo uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), e o SIG utilizado foi o programa computacional ArcView v.8. (PEREIRA NETO et al. 2007). As áreas das UMH's foram quantificadas por camada de profundidade do solo a cada 0,1 m. Em função da declividade da área foi realizada uma adaptação a esta metodologia, o retângulo de 0,1 m x 0,9 m relativo à área de cada 0,1 m de profundidade no perfil do solo foi dividida verticalmente em 9 partes de 0,1 m x 0,1 m cada (Figuras 3.1 e 3.2). Desta forma, cada quadrado de 0,1 m x 0,1 m acompanhou o nível do terreno permitindo maior precisão no cálculo das áreas das estruturas.

Tabela 3.1 – Uso e manejo das áreas estudadas

Área	Município	Sistema de Manejo	Declividade
SP1	Canoinhas (SC)	Silvopastoril	6%
CA1	Canoinhas (SC)	Cultivos Anuais	6%
SP2	Palmeira (PR)	Silvopastoril	9%
CA2	Palmeira (PR)	Cultivos Anuais	10%

Sistemas de Produção – SP: Silvopastoril; CA: Cultivo Anual. Local – 1: Canoinhas; 2:Palmeira

Tabela 3.2 - Histórico dos sistemas de produção: sucessão e/ou rotação de culturas, uso e preparo de solo das áreas estudadas

Sistemas		2006–2006	2006–2007	2007–2007	2007–2008	2008–2008	2008–2009	2009–2009
		Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
SP1	Cultura	Sistema silvopastoril						
	Preparo de Solo	Sem revolvimento						
CA1	Cultura	Az	Fumo	Aveia	Milho	Er	Milho	Er
	Preparo de Solo	PC	PC	PC	PC	PC	SD	Pousio
SP2	Cultura	Sistema silvopastoril						
	Preparo de Solo	Sem revolvimento						
CA2	Cultura	Av	Milho	Av	Milho	Av	Feijão	Av
	Preparo de Solo	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC

Av: aveia; PC: preparo convencional; SD: Semeadura Direta

Sistemas de Produção – SP: Silvopastoril; CA: Cultivo Anual. Local – 1: Canoinhas; 2: Palmeira

Os mapas dos perfis culturais do solo foram escaneados e importados para o SIG, procedendo-se o seu georreferenciamento, feito com pontos de controle situados nos quatro vértices do perfil, com unidade linear em metros (de 0 a 0,4 m na altura do perfil e de 0 a 0,9 m no seu comprimento). Obteve-se assim um mapa com as áreas de cada UMH (em cm^2) total e a cada 0,1 m de profundidade (PEREIRA NETO et al. 2007).

3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O perfil SP1 (Figura 3.1) apresentou uma fina camada $L_{tft}(\Delta)$ (5 cm) formada por terra fina e pequenos torrões Δ com presença de grande quantidade de raízes superficiais. A segunda camada, $F_{mtgt}\Delta\mu/\Delta$, variou de 0,05 à 0,2 e 0,3 m, era composta por grandes e médios torrões compactos com pouca porosidade, presença de grandes canais (em torno de 25 mm de diâmetro) produto de atividade biológica. Em seguida encontra-se uma camada fissurada, $F_{mtp}\mu\Delta$, composta por médios e pequenos torrões porosos, com presença de algumas estruturas compactas. Em todo perfil foi observado grande atividade biológica e

forte enraizamento. A presença de grande quantidade de canais biológicos e estruturas porosas compensam as estruturas adensadas naturais do solo.

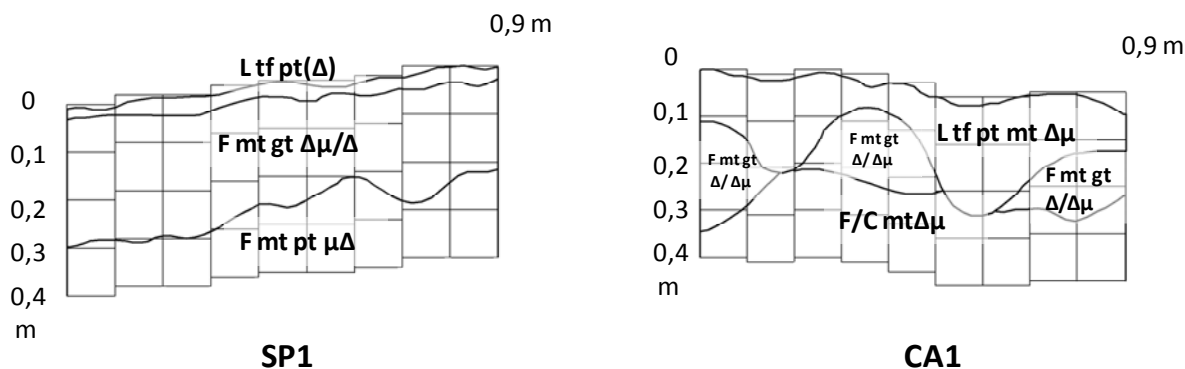


Figura 3.1 -Perfis Culturais digitalizados - escala em metros (largura: 0,90 m; profundidade: 0,40 m); Estruturas: L: livre; C: contínuo; F: fissurado; pt, mt e gt: pequeno, médio e grande torrão; Estado interno: Δ , ($\Delta \mu$ e $\mu \Delta$), μ : compacto, compactação média e poroso. Sistemas de Produção: SP: silvopastoril, CA: cultivos anuais.

O Perfil CA1 (Figura 3.1) apresentou uma primeira camada com uma estrutura $Ltfptmt\Delta\mu$ formada por terra fina, pequenos e médios torrões com compactação média ($\Delta\mu$), com profundidade variando em torno de 0,1 a 0,2 m. Esta variação e a forma desta camada no perfil têm relação com o trabalho do sulcador utilizado na cultura do fumo. Abaixo desta camada a estrutura é do tipo $Fmtgt\Delta/\Delta\mu$ que se apresentou formando “bolsões” de compactação. Na camada de 0,3 – 0,4 m predominou a estrutura $F/Cmt\Delta\mu$ formada por médios torrões com compactação média e presença de estruturas mais porosas ($\Delta\mu$). Observou-se grande atividade biológica com presença de canais biológicos e estruturas porosas ricas em matéria orgânica. Os canais e essas estruturas estavam colonizados pelas raízes e apareciam em diferentes profundidades no perfil, observou-se também o transporte de solo das camadas superiores, com cor mais escura, para camadas mais profundas do solo.

O perfil SP2 (Figura 3.2) apresentou a primeira camada variando de 0,1 a 0,2 m de profundidade formada por uma estrutura contínua com porosidade e compactação médias $C/F\Delta\mu$. Neste volume estrutural observou-se grande quantidade de agregados associados às raízes. A segunda camada era formada por pequenos torrões porosos $C/F\mu pt\mu\Delta$. Observou-se a presença de canais biológicos em todo perfil e de raízes bem ramificadas explorando todo volume do solo. O Perfil CA2, de 0 a 0,1 m de profundidade, apresentou uma camada livre ($Ltf mt\Delta\mu$) formada por terra fina e médios torrões compactos com alguma porosidade. Na profundidade de 0,1 a 0,2 m, observou-se a presença de volumes estruturais $Ltf mt\Delta\mu$ e $Fmt\Delta$. As estruturas destas duas camadas foram formadas pelo revolvimento do solo pela grade. A presença desta camada livre acima de uma estrutura compacta (“pé de

grade”) em um solo com alto teor de silte e de areia fina e muito fina, e declividade de 9 % cria as condições para a remoção da camada superficial ($Ltfmt\Delta\mu$) pela erosão. As raízes estavam bem distribuídas por todo perfil, com exceção do volume estrutural $Fmt\Delta$, onde as raízes se desenvolviam nas fissuras e nos canais biológicos. A partir de 0,3 m de profundidade predomina uma estrutura contínua formada por agregados milimétricos ($C\mu\Delta$), com raízes bem ramificadas explorando todo volume do solo e grande presença de atividade biológica.

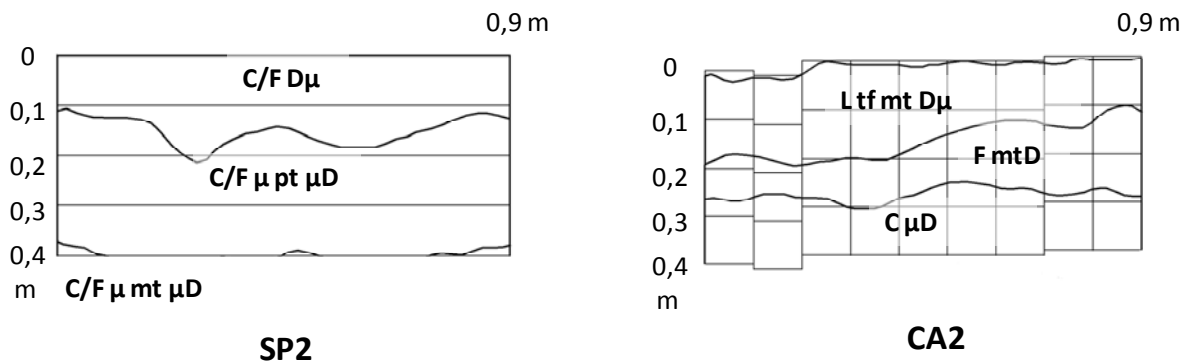


Figura 3.2 - Perfis Culturais digitalizados - escala em metros (largura: 0,90 m; profundidade: 0,40 m); Estruturas: L: livre; C: contínuo; F: fissurado; pt, mt e gt: pequeno, médio e grande torrão; Estado interno: D, ($D\mu$ e μD), μ : compacto, compactação média e poroso. Sistemas de Produção: SP: silvopastoril, CA: cultivos anuais.

Ralisch et al. (2010) utilizando a metodologia do perfil cultural para avaliar o impacto do manejo agrícola em Cambissolos nesta mesma região observou a presença de volumes estruturais compactos, $C\Delta$, na profundidade entre 0,1 – 0,2 m que impediam o enraizamento das culturas nas áreas com mecanização intensiva. As raízes mais agressivas dos adubos verdes, inclusive a do feijão de porco, tinham dificuldade de romper esta camada o que dificultava muito a recuperação estrutural desses solos.

Tamia et al. (1999) avaliando sistemas de produção de cultivos anuais com preparo convencional do solo e plantio direto na Costa do Marfim encontrou uma clara relação entre as características morfoestruturais das unidades morfologicamente homogêneas (UMH's) e o desenvolvimento das raízes de milho. Neste mesmo estudo foi observada boa correlação entre a resistência a penetração, as estruturas das UMH's e com a densidade das raízes de milho.

Fregonezi et al. (2001) avaliando um Latossolo, pelo método do perfil cultural, demonstraram que as estruturas do solo da pastagem convencional estavam degradadas se comparadas as do cerrado. Estas estruturas foram recuperadas pela renovação da pastagem associada ao uso de leguminosas no sistema e controle da quantidade do número de animais na área.

Os resultados deste trabalho e da literatura demonstram que os sistemas agrícolas com problemas de manejo causam a degradação da fertilidade física do solo. A adoção do manejo conservacionista na região de estudo será fundamental para evitar a redução da produtividade das culturas agrícolas e a degradação dos recursos naturais.

3.3 CONCLUSÕES

1- Nos sistemas de cultivos anuais avaliados foi constatada em subsuperfície a presença de estruturas compactas (Δ) que dificultam o enraizamento das culturas e de camadas superficiais com volume estrutural livre (L) que cria condições para a remoção desta camada pela erosão.

2- No sistema SP2 foi observado uma compactação superficial causado pelo pisoteio animal.

4 ARTIGO B

ESTABILIDADE DE AGREGADOS E ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS EM SOLOS ARENOSOS

Resumo: Este estudo foi realizado em sistemas produtivos familiares nos municípios de Canoinhas (SC) e Palmeira (PR). O objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade de agregados, granulometria, dispersão de argila, densidade do solo, resistência à penetração, macroporosidade, microporosidade, carbono orgânico, cálcio, magnésio e alumínio em sistemas silvopastoris e de cultivos anuais com sistema convencional de preparo de solo. Os agregados maiores apresentaram correlação positiva com carbono orgânico, alumínio e argila + silte e correlação negativa com cálcio, magnésio e areia. Portanto, no manejo destes solos o revolvimento e a aplicação de calcário devem ser realizados considerando seus efeitos estabilidade dos agregados, argila dispersa e na matéria orgânica. O processo de intensificação do uso do solo que vem ocorrendo nesta região apresenta grande potencial de degradação destes solos.

Palavras-chave: Agricultura familiar. Dispersão de argila. Intensificação do uso do solo. Porosidade do solo. Granulometria do solo.

Abstract: The aim of this work was to assess soil aggregate stability, granulometric fractions, clay dispersion, bulk density, soil penetration resistance, macroporosity, microporosity, organic carbon, calcium, magnesium and aluminum in the livestock and annual crop systems of smallholder farmers in Canoinhas (SC) and Palmeira (PR), Southern Brazil. Positive correlation was found between larger aggregates and organic carbon, aluminum and clay + silt, however, negative correlation was found for calcium, magnesium and sand. Therefore, the soil tillage and lime application in these soils should be made considering its effects aggregate stability, dispersed clay and organic matter. In addition, the intensification of soil use that has been occurring in this region recently may dramatically increase the soil degradation.

Keywords: Smallholder farmers. Clay dispersion. Land use intensification. Soil porosity. Soil granulometric fractions.

INTRODUÇÃO

A estabilidade de agregados é um parâmetro complexo que influencia muitas propriedades do solo, incluindo a estabilização do carbono, porosidade, infiltração, aeração, condutividade hidráulica, resistência a erosão e escoamento superficial. A manutenção da estabilidade dos agregados é fundamental para preservar a produtividade do solo e minimizar a erosão (AN et al. 2010; BARTHES; ROOSE, 2002).

A influência dos sistemas de uso e manejo de solo na estabilidade e na distribuição das classes de agregados tem sido objeto de diversos estudos (VEZZANI E

MIELNICZUK 2011; KASPER et al. 2009; SALTON et al. 2008; ZOTARELLI et al. 2007; PINHEIRO et al. 2004; CASTRO FILHO et al. 2002; CASTRO FILHO et al. 1998; SILVA; MIELNICZUK, 1998), que tem demonstrado o efeito do revolvimento do solo na redução da quantidade dos agregados maiores, redução da estabilidade e dos teores da matéria orgânica. Entretanto, poucos estudos têm sido realizados nos Cambissolos da região deste estudo.

Neste estudo, principalmente os solos com maiores teores de areia e silte, possuem agregados frágeis com baixa resistência tênsil que são facilmente degradados pelo preparo convencional do solo. A avaliação da estabilidade dos agregados e dos outros atributos físicos estudados neste trabalho permite aprofundar o conhecimento sobre as limitações da aptidão agrícola destes solos relacionadas à alta erodibilidade e baixa aeração. Os altos teores de carbono orgânico minimizam estes problemas e a compreensão da sua dinâmica e funções podem permitir aprofundar o conhecimento sobre os agregados destes solos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade de agregados, granulometria, dispersão de argila, densidade do solo, resistência à penetração, macroporosidade, microporosidade, carbono orgânico, cálcio, magnésio e alumínio para compreender as modificações causadas nestes atributos pelo uso do solo.

4.1 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em sistemas de produção de unidades familiares nos municípios de Canoinhas (26° 09' S, 50° 28' O), no Norte Catarinense, e de Palmeira (25° 31' S, 50° 06' O), na região Centro Oriental do Paraná. De acordo com a classificação de Koeppen-Geiger, o clima na região é Cfb, Subtropical Úmido Mesotérmico, com verões frescos, sem estação seca e com geadas severas. A temperatura média no mês mais quente é 20,8 °C (janeiro), e do mês mais frio é de 12,7 °C (Julho), com uma temperatura média anual de cerca de 17 °C. A precipitação média anual totaliza 1.953,8 ± 389,7 mm com mínima e máxima registradas como 1261,1 mm (1985) e 3168,4 milímetros (1983), respectivamente. A precipitação é bem distribuída durante todo o ano, com uma média de 149 ± 20 dias de chuva, e a evaporação média anual é de 835,1 ± 123,9 mm (Thomaz, 2009).

Neste estudo foram avaliados dois sistemas de uso (sistema silvopastoril e de cultivos anuais) em dois tipos de solo (Cambissolo de Canoinhas e Palmeira). A descrição e o histórico das áreas estão apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Para cada sistema foram coletadas amostras de solo, em 6 pontos, nas profundidades 0 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 a 0,40 m, para a determinação em triplicata no laboratório da granulometria, dispersão de argila, classes de agregados, cálcio, magnésio, alumínio e carbono orgânico. Também foram coletadas na profundidade de 0,6 a 0,8 m uma amostra composta por sistema para análise da granulometria e do carbono orgânico (Tabela 4.3).

Tabela 4.1 – Uso e manejo das áreas estudadas

Área	Município	Sistema de Manejo	Declividade
SP1	Canoinhas (SC)	Silvopastoril	6%
CA1	Canoinhas (SC)	Cultivos Anuais	6%
SP2	Palmeira (PR)	Silvopastoril	9%
CA2	Palmeira (PR)	Cultivos Anuais	10%

Sistemas de Produção – SP: Silvopastoril; CA: Cultivo Anual. Local – 1: Canoinhas; 2:Palmeira

Tabela 4.2 - Histórico dos sistemas de produção: sucessão e/ou rotação de culturas, uso e preparo de solo das áreas estudadas

Sistemas		2006 – 2006	2006 – 2007	2007 – 2007	2007 – 2008	2008 – 2008	2008 – 2009	2009 – 2009
		Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
SP1	Cultura	Sistema silvopastoril						
	Preparo de Solo	Sem revolvimento						
CA1	Cultura	Az	Fumo	Aveia	Milho	Er	Milho	Er
	Preparo de Solo	PC	PC	PC	PC	PC	SD	Pousio
SP2	Cultura	Sistema silvopastoril						
	Preparo de Solo	Sem revolvimento						
CA2	Cultura	Av	Milho	Av	Milho	Av	Feijão	Av
	Preparo de Solo	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC

Av: aveia; PC: preparo convencional; SD: Sementeira Direta

Sistemas de Produção – SP: Silvopastoril; CA: Cultivo Anual. Local – 1: Canoinhas; 2: Palmeira

Tabela 4.3 - Granulometria e carbono orgânico das áreas sob diferentes sistemas de uso na profundidade 0,6 a 0,8 m.

	g kg ⁻¹			Silte/Argila	g kg ⁻¹
	Argila	Silte	Areia		Carbono Orgânico
Profundidade 0,6 – 0,8 m					
SP1	518	282	200	0,54	16,8
CA1	540	247	213	0,46	13,6
SP2	335	295	370	0,88	8,5
CA2	255	361	384	1,42	6,7

Sistemas de Produção – SP: Silvopastoril; CA: Cultivo Anual; 1: Canoinhas e 2: Palmeira

Para realização das análises granulométricas foi utilizado o método da pipeta (com as amostras oxidadas anteriormente com peróxido de hidrogênio 30 %) utilizando NaOH 1 mol / litro⁻¹ como agente dispersante, e agitação lenta por 16 horas. A dispersão de argila também foi realizada pelo método da pipeta com agitação lenta por 16 horas, sem a utilização do agente dispersante e as amostras não foram anteriormente oxidadas. Para as avaliações de densidade do solo, macroporosidade e microporosidade foram coletados 6 anéis volumétricos, de 50 mm de altura e 48 mm de diâmetro em cada área, nas mesmas profundidades. Para a determinação dessas análises utilizou-se o método da mesa de tensão (CLAESSEN et. al. 1997).

O carbono orgânico foi determinado pelo método de Walkley-Black e a análise de cálcio, magnésio e alumínio segundo metodologia descrita por Pavan et. al. (1992).

A estabilidade de agregados foi determinada pelo método de Yoder (1936) modificada por Castro Filho et al. (1998), com 3 repetições de laboratório para cada amostra. Utilizaram-se as peneiras de malhas 8,0 – 4,0 – 2,0 – 1,0 – 0,5 e 0,25 mm de diâmetro. O solo retido em cada peneira foi quantificado, inclusive os agregados menores que 0,25 mm, subtraindo-se o somatório do peso das outras classes de agregados do peso total da amostra seca. Obteve-se assim 7 classes de agregados, cujos diâmetros médios foram, respectivamente, 6,0 – 3,0 – 1,5 – 0,75 – 0,375 e 0,125 mm. As médias dos valores obtidos foram usadas para o cálculo do diâmetro médio ponderado - DMP, diâmetro médio geométrico - DMG e índice de estabilidade de agregados – IEA. Cada um destes índices apresenta um princípio diferente: o DMP aumenta seu valor quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores; o DMG representa a estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência; o IEA é uma medida de agregação total do solo, não considerando a distribuição por classes de agregados. Este índice será menor quanto maior a quantidade de agregados < 0,25 mm.

Estes índices foram obtidos através das seguintes fórmulas:

Diâmetro Médio Ponderado (DMP):

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)$$

w_i = proporção de cada classe em relação ao total;

x_i = diâmetro médio das classes (mm);

Diâmetro Médio Geométrico (DMG):

$$\text{DMG} = \text{EXP} \frac{\sum_{I=1}^N w p \cdot \log x_i}{\sum_{I=1}^N w_i}$$

wp = peso dos agregados de cada classe (g);

Índice de Estabilidade de Agregados (IEA):

$$\text{IEA} = \left(\frac{\text{Peso da amostra seca} - \text{wp}_{25} - \text{areia}}{\text{Peso da amostra seca} - \text{areia}} \right) 100$$

em que, wp₂₅ = peso seco dos agregados da classe < 0.25 mm;

Para o cálculo do IEA foi descontada a areia de acordo com Castro Filho et al. (1998).

A resistência a penetração foi determinada no segundo semestre de 2010 em 20 pontos inteiramente casualizados em cada área, com medidas de resistência a cada centímetro, utilizando-se um penetrógrafo eletrônico (Penetrologger Eijkelkamp). No mesmo momento foram coletadas amostras de solo compostas, uma para sistema, nas profundidades de 0 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m, para a determinação da umidade gravimétrica. Os resultados da umidade gravimétrica estão apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Umidade gravimétrica (g g⁻¹) do solo no momento de avaliação da resistência a penetração.

Profundidade	SP1	CA1	SP2	CA2
00 – 0,2 m	0,301	0,282	0,213	0,203
0,2 – 0,4 m	0,310	0,292	0,215	0,218

Sistemas de Produção: SP: silvopastoril; CA: Cultivos Anuais

A análise estatística utilizada foi a análise de componentes principais (HAIR, 2005) e análise de correlação entre as classes de agregados e atributos físicos e químicos.

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da granulometria, argila dispersa e carbono orgânico estão apresentados na Tabela 4.5; as classes de agregados, DMP, DMG e IEA na Tabela 4.6; a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e volume total de poros na Tabela 4.7; a resistência a penetração na Tabela 4.8; e os teores de Ca, Mg e Al na Tabela 4.9.

Na análise de componentes principais na profundidade de 0 – 0,1 m o primeiro eixo explicou 54,59% e o segundo 36,94%, totalizando 91,53% da variância total dos dados. O primeiro eixo separou os sistemas de manejo e o segundo os tipos de solo (Figura 4.1).

A correlação dos atributos agregados > 8 mm (0,98) e diâmetro médio ponderado (0,97) foram muito altas, e a resistência a penetração (0,86) e a microporosidade (0,86) foram altas, com o sistema silvopastoril, no eixo 1. Os agregados de 1 a 0,5 mm (-0,99) e de 0,5 a 0,25 (-0,99) e a macroporosidade (-0,94) apresentaram correlação muito alta, os agregados de 2 a 1 mm (-0,88) e de 4 a 2 mm (-0,78) apresentaram correlação alta, e os agregados de 8 a 4 mm (-0,68), < 0,25 mm (-0,63) e argila dispersa (-0,52) apresentaram média correlação com os sistemas de cultivos anuais, no eixo 1 (Figura 4.1). A maior quantidade de agregados menores nos sistemas cultivos anuais é coerente com o revolvimento devido ao uso de implementos de preparo do solo e a maior resistência à penetração nos sistemas silvopastoris é coerente com uma compactação superficial causada pelo pisoteio animal.

A areia total (0,99) apresentou correlação muito alta, e a densidade do solo (0,89) e agregados < 0,25 mm (0,72) apresentaram média correlação com o Cambissolo do município de Palmeira, no eixo 2. A argila + silte (-0,99) e volume total de poros (0,90) apresentaram correlação muito alta, o índice de estabilidade de agregados (-0,85) alta, e os agregados de 8 a 4 mm (-0,64), de 4 a 2 mm (-0,60) e a argila dispersa (-0,60) média correlação com o Cambissolo de Canoinhas, no eixo 2 (Figura 4.1). A granulometria separou os dois Cambissolos, e a correlação dos agregados < 0,25 mm com o Cambissolo de Palmeira deve estar relacionado aos maiores valores de silte e areia, principalmente fina e muito fina.

Assim, na profundidade de 0 - 0,10 m os sistemas de manejo foram discriminados pelo tamanho dos agregados e os tipos de solo pela granulometria.

Tabela 4.5 - Granulometria, argila dispersa e carbono orgânico das áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo nas profundidades de 0 – 0,1; 0,1 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m.

			g kg ⁻¹					Silte/Argila	g kg ⁻¹	
	Argila	Silte	Areia						Argila Dispersa	Carbono Orgânico
			M. Grossa	Grossa	Média	Fina	M. Fina			
Profundidade 00 – 0,1 m										
SP1	480	278	1	1	3	41	201	0,59	128	35,4
CA1	395	313	3	2	3	32	212	0,84	257	28,9
SP2	218	304	4	4	17	199	251	1,41	109	25,1
CA2	197	358	1	1	3	102	339	1,84	86	26,6
Profundidade 0,1 – 0,2 m										
SP1	497	263	1	1	2	40	194	0,53	258	33,8
CA1	438	304	1	1	2	31	222	0,73	287	29,7
SP2	225	320	5	4	14	189	241	1,44	108	22,2
CA2	200	362	0	1	3	94	337	1,90	104	21,1
Profundidade 0,2 – 0,4 m										
SP1	505	256	1	1	3	37	184	0,51	286	24,3
CA1	473	279	2	1	2	30	204	0,60	315	25,3
SP2	276	285	4	4	16	183	236	1,05	168	16,9
CA2	240	315	0	1	3	99	343	1,32	116	17,5

Sistemas de Produção – SP: Silvopastoril; CA: Cultivo Anual; 1: Canoinhas e 2 : Palmeira
 Na granulometria - M. Grossa: Muito Grossa; e M. Fina: Muito Fina.

Tabela 4.6 - Classes de tamanhos de agregados, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado e índice de estabilidade de agregados das áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo nas profundidades de 0 – 0,1; 0,1 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m.

	Gramas kg ⁻¹							DMG	DMP	IEA
	> 8 mm	4 – 8 mm	2 – 4 mm	1 – 2 mm	0,5 – 1 mm	0,25 – 0,5 mm	< 0,25 mm			
Profundidade 00 – 0,1 m										
SP1	652	130	82	43	32	16	43	3,38	4,48	94,39
CA1	445	137	109	80	77	37	114	1,95	3,36	85,47
SP2	648	103	64	35	31	17	103	2,85	4,35	80,04
CA2	446	129	80	52	60	34	199	1,62	3,28	64,06
Profundidade 0,1 – 0,2 m										
SP1	405	180	128	81	70	38	98	1,97	3,27	87,48
CA1	467	160	127	73	59	24	90	2,20	3,57	87,93
SP2	401	152	96	59	53	35	204	1,56	2,38	62,28
CA2	461	128	79	50	47	26	210	1,68	2,54	63,22
Profundidade 0,2 – 0,4 m										
SP1	296	169	133	93	93	51	166	1,34	2,63	78,21
CA1	318	199	149	98	85	40	112	1,61	2,86	85,00
SP2	270	172	116	71	68	38	266	1,07	1,89	52,33
CA2	285	117	72	47	61	37	380	0,77	1,72	27,40

Sistemas de Produção – SP: Silvopastoril; CA: Cultivo Anual; 1: Canoinhas e 2 : Palmeira

Tabela 4.7 - Densidade do solo, macroporosidade e microporosidade, volume total de poros, relação macroporos e volume total de poros.

	kg dm ⁻³	dm ³ dm ⁻³			
	Densidade do solo	Macroporosidade	Microporosidade	Volume Total de Poros (VTP)	Relação Macroporos e VTP
Profundidade 00 – 0,1 m					
SP1	1,06	0,06	0,53	0,59	0,10
CA1	1,14	0,13	0,40	0,53	0,24
SP2	1,22	0,04	0,46	0,50	0,08
CA2	1,17	0,09	0,42	0,51	0,17
Profundidade 0,1 – 0,2 m					
SP1	1,01	0,06	0,53	0,59	0,10
CA1	1,14	0,11	0,41	0,52	0,21
SP2	1,19	0,06	0,44	0,51	0,12
CA2	1,27	0,06	0,41	0,47	0,13
Profundidade 0,2 – 0,4 m					
SP1	1,01	0,08	0,50	0,59	0,14
CA1	1,09	0,06	0,49	0,55	0,10
SP2	1,15	0,08	0,44	0,52	0,16
CA2	1,20	0,09	0,42	0,50	0,17

Sistemas de Produção – SP: Silvopastoril; CA: Cultivo Anual;. 1: Canoinhas e 2 : Palmeira

Tabela 4.8 - Resistência a penetração em MPa nas áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo nas profundidades de 0 – 0,1; 0,1 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m.

Profundidade 00 – 0,1 m										
SP1	1,15	1,27	1,26	1,27	1,24	1,19	1,14	1,10	1,04	1,00
CA1	0,45	0,53	0,57	0,58	0,60	0,60	0,61	0,63	0,65	0,70
SP2	1,48	1,79	1,90	1,94	1,97	1,92	1,91	1,81	1,78	1,68
CA2	0,09	0,12	0,16	0,16	0,17	0,20	0,23	0,39	0,51	0,54
Profundidade 0,1 – 0,2 m										
SP1	0,98	0,96	0,94	0,93	0,91	0,89	0,89	0,90	0,88	0,86
CA1	0,72	0,75	0,80	0,80	0,79	0,77	0,77	0,75	0,79	0,80
SP2	1,61	1,59	1,54	1,52	1,49	1,41	1,40	1,31	1,24	1,19
CA2	0,66	0,75	0,87	0,93	1,00	1,04	1,08	1,11	1,15	1,18
Profundidade 0,2 – 0,4 m										
SP1	0,84	0,83	0,80	0,78	0,78	0,79	0,80	0,83	0,86	0,85
CA1	0,84	0,84	0,89	0,95	0,93	0,90	0,92	0,94	0,94	0,93
SP2	1,12	1,02	0,98	0,97	1,00	0,96	0,87	0,84	0,80	0,78
CA2	1,22	1,12	1,07	0,97	0,88	0,83	0,83	0,78	0,75	0,74

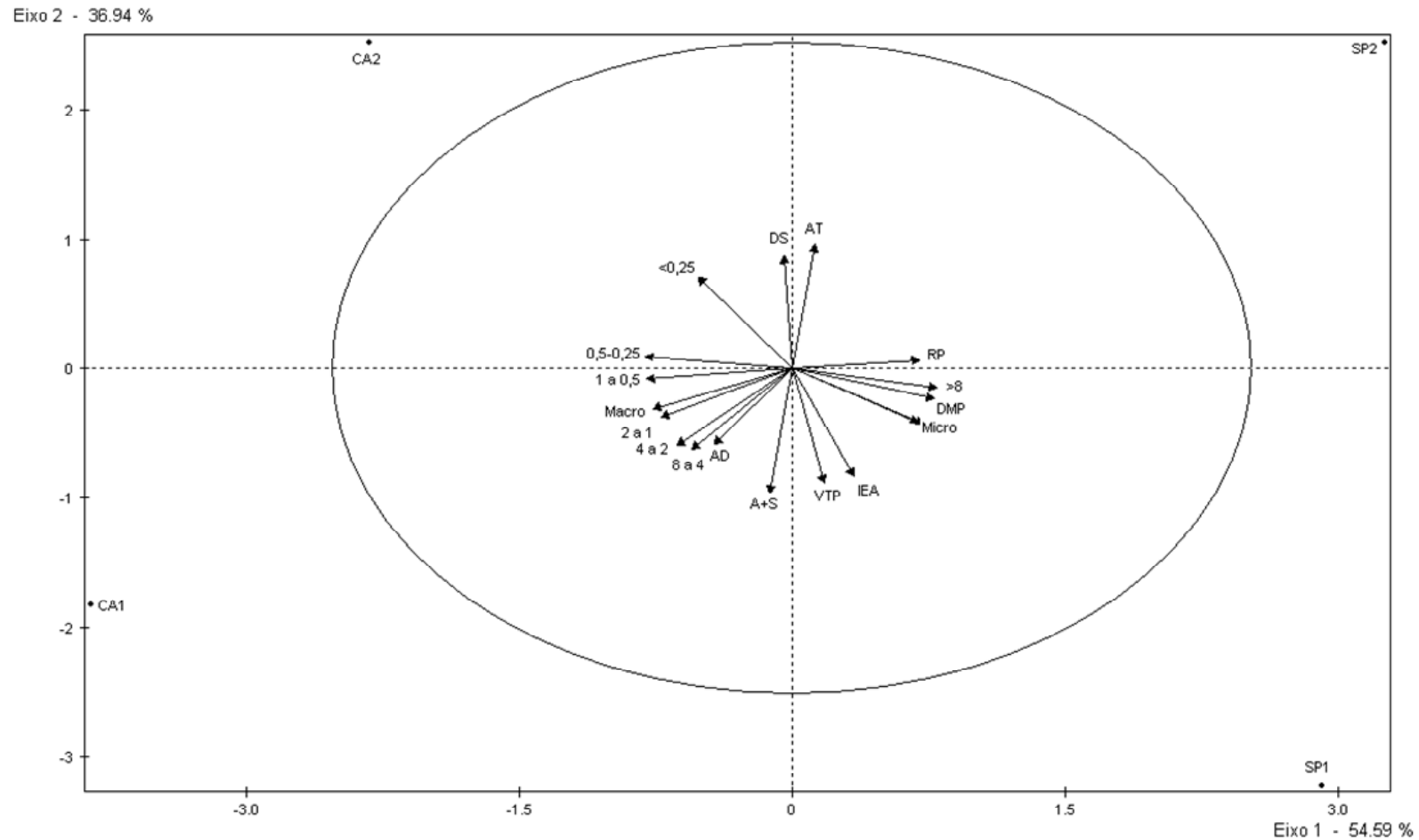
Sistemas de Produção – SP: Silvopastoril; CA: Cultivo Anual; 1: Canoinhas e 2 : Palmeira

Tabela 4.9 - Teores de Cálcio, Magnésio e Alumínio dos sistemas sob diferentes sistemas de uso e manejo nas profundidades de 0 – 0,1; 0,1 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m.

	Cálcio	Magnésio	Alumínio
Profundidade 00 – 0,1 m			
SP1	0,52	1,19	2,47
CA1	5,07	1,69	0,08
SP2	0,58	0,79	4,50
CA2	7,30	4,01	0,06
Profundidade 0,1 – 0,2 m			
SP1	0,42	0,61	3,26
CA1	3,26	1,61	0,64
SP2	0,11	0,47	5,09
CA2	5,74	4,02	0,38
Profundidade 0,2 – 0,4 m			
SP1	0,21	0,42	3,31
CA1	1,44	1,25	1,14
SP2	0,09	0,25	4,64
CA2	3,14	2,12	2,62

Sistemas de Produção – SP: Silvopastoril; CA: Cultivo Anual;. 1: Canoinhas e 2 : Palmeira

Figura 4.1 - Análise de componentes principais dos atributos físicos na profundidade de 0 – 0,1 m.



Sistemas de Produção – SP: Silvopastoril; CA: Cultivo Anual; 1: Canoinha e 2: Palmeira

Atributos Físicos: AT: Areia Total; A+S: Areia + Silte; AD: Argila Dispersa; DS: Densidade do Solo; Macro: Macroporosidade; Micro: Microporosidade; VTP: Volume Total de Poros; DMP: Diâmetro Médio Ponderado; DMG: Diâmetro Médio Geométrico; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; > 8: agregados maiores que 8 mm; 8 a 4: agregados de 8 a 4 mm; 4 a 2: agregados de 4 a 2 mm; 2 a 1: agregados de 2 a 1 mm; 1 a 0,5: agregados de 1 a 0,5 mm; 0,5 a 0,25: agregados de 0,5 a 0,25 mm; < 0,25: agregados menores que 0,25 mm.

Tabela 4.10 - Coeficiente de correlação e p valor da análise de correlação entre as classes de agregados e os atributos químicos na profundidade de 0 – 0,1 m.

	Cálcio	Magnésio	Alumínio	Carbono Orgânico
> 8 mm	-0,67899 0,0003	-0,51122 0,0107	0,70203 0,0001	0,23419 0,2707
8 - 4 mm	0,22552 0,2893	0,14622 0,4954	-0,42868 0,0366	0,19388 0,3640
4 - 2 mm	0,22696 0,2862	0,02319 0,9143	-0,48837 0,0155	0,19720 0,3557
2 - 1 mm	0,38518 0,0631	0,10605 0,6219	0,59435 0,0022	-0,03350 0,8765
1 - 0,5 mm	0,62553 0,0011	0,38348 0,0643	-0,69681 0,0002	-0,17028 0,4263
0,5 - 0,25 mm	0,66403 0,0082	0,52678 0,0082	-0,64314 0,0007	-0,24109 0,2564
> 0,25 mm	0,73140 0,0001	0,71289 0,0001	-0,49477 0,0140	-0,52277 0,0088

Tabela 4.11 - Coeficiente de correlação e p valor da análise de correlação entre as classes de agregados e os atributos físicos na profundidade de 0 – 0,1 m.

	Argila + Silte	Areia	Argila Dispersa	Densidade do Solo	Macro- porosidade	Micro- porosidade	VTP *
> 8 mm	-0,04715	0,04696	-0,22039	0,03245	-0,53564	0,61508	0,21618
	0,8268	0,8275	0,3007	0,8804	0,0070	0,0014	0,3103
8 - 4 mm	0,42949	-0,42867	0,24700	-0,27908	0,35664	-0,16943	0,19720
	0,0362	0,0366	0,2446	0,1866	0,0871	0,4287	0,3557
4 - 2 mm	0,49156	-0,49076	0,42163	-0,20690	0,41948	-0,26528	0,14525
	0,0147	0,0149	0,0420	0,3320	0,0411	0,2103	0,4983
2 - 1 mm	0,38125	-0,38136	0,50992	-0,13664	0,51621	-0,43097	0,02671
	0,0660	0,0660	0,0109	0,5243	0,0098	0,0355	0,9014
1 - 0,5 mm	0,18970	-0,19009	0,43566	-0,06763	0,60505	-0,62511	-0,14073
	0,3746	0,3736	0,0333	0,7535	0,0017	0,0011	0,5119
0,5 - 0,25 mm	0,09398	-0,09442	0,26829	0,02591	0,46711	-0,56057	-0,21840
	0,6623	0,6608	0,2049	0,9043	0,0214	0,0044	0,3052
> 0,25 mm	-0,50284	0,50287	-0,21030	0,19673	0,30023	-0,60862	-0,50341
	0,0123	0,0123	0,3240	0,3569	0,1514	0,0016	0,0121

* VTP : volume total de poros

Na análise de correlação, os agregados > 8 mm apresentaram média correlação positiva com alumínio e microporosidade e média correlação negativa com cálcio, magnésio e macroporosidade. Os agregados de 2 a 1 mm apresentaram média correlação positiva com alumínio, macroporosidade e argila dispersa. Os agregados de 1 a 0,5 mm apresentaram média correlação positiva com o cálcio e macroporosidade e média correlação negativa com alumínio e microporosidade. Os agregados de 0,5 a 0,25 mm apresentaram média correlação positiva com o cálcio e magnésio e média correlação negativa com alumínio e microporosidade. Os agregados $< 0,25$ mm apresentaram média correlação positiva com o cálcio, magnésio e com a areia e média correlação negativa com o alumínio, carbono orgânico, argila + silte, microporosidade e volume total de poros (Tabelas 4.10 e 4.11).

Os agregados maiores apresentaram correlação positiva com o alumínio. Os agregados menores apresentaram correlação positiva com o cálcio, magnésio e areia, e negativa com alumínio, carbono orgânico e argila + silte. Este fato, alerta para a necessidade da adoção de sistemas que conservam matéria orgânica e para o cuidado que se deve ter com a recomendação da calagem para esses solos. Ressalte-se ainda, que a prática da calagem envolve a utilização de implementos que revolvem o solo, desestruturando-o para incorporar o calcário, e por consequência a matéria orgânica, acelerando sua decomposição.

Na análise de componentes principais na profundidade de 0,1 – 0,2 m o primeiro eixo explicou 65,51% e o segundo eixo 30,91 %, totalizando 96,82% da variância total dos dados. O primeiro eixo separou os tipos de solo e o segundo eixo os sistemas de manejo. Os atributos areia total (0,99), agregados $< 0,25$ mm (0,98) e densidade do solo (0,90) apresentaram correlação muito alta, e resistência a penetração (0,64) correlação média, com o Cambissolo de Palmeira, no eixo 1. Os atributos argila + silte (-0,98), agregados de 2 a 1 mm (-0,98), índice de estabilidade de agregados (-0,98), agregados de 4 a 2 mm (-0,97), argila dispersa (-0,96) e agregados de 1 a 0,5 mm (-0,94) apresentaram correlação muito alta, agregados de 8 a 4 mm (-0,89), volume total de poros (-0,87), diâmetro médio geométrico (-0,86) alta correlação, e microporosidade (-0,56) apresentou média correlação, com o Cambissolo de Canoinhas, no eixo 1 (Figura 4.2). Nesta profundidade a granulometria discrimina os dois Cambissolos, como na profundidade 0 – 0,1 m, discriminação esta que ocorre também em função das classes de agregados.

Os atributos agregados > 8 mm (0,98), diâmetro médio ponderado (0,90) apresentaram correlação muito alta, macroporosidade (0,79) alta correlação, e diâmetro médio geométrico (0,51) média correlação, com os sistemas de cultivos anuais, no eixo 2. Os agregados de 0,5 a 0,25 mm (-0,98) apresentaram correlação muito alta e microporosidade (-

0,79) correlação alta, e resistência a penetração (-0,63) média correlação, com os sistemas silvopastoris, no eixo 2 (Figura 4.2). À exceção das outras classes de agregados que discriminaram os tipos de solos, os agregados > 8 mm e os de 0,5 e 0,25 mm discriminaram os sistemas de uso. A correlação muito alta dos agregados > 8 mm com os sistemas de cultivos anuais está relacionada à presença de agregados maiores compactos abaixo da profundidade de preparo de solo. A maior quantidade de agregados de 0,5 a 0,25 mm nos sistemas silvopastoris pode estar relacionada à fragilidade dos agregados destes solos, principalmente os maiores, que aumenta em profundidade.

Assim, na profundidade de 0,1 - 0,20 m os tipos de solo foram discriminados pela granulometria e pelo tamanho dos agregados, e os sistemas de uso por duas classes de agregados.

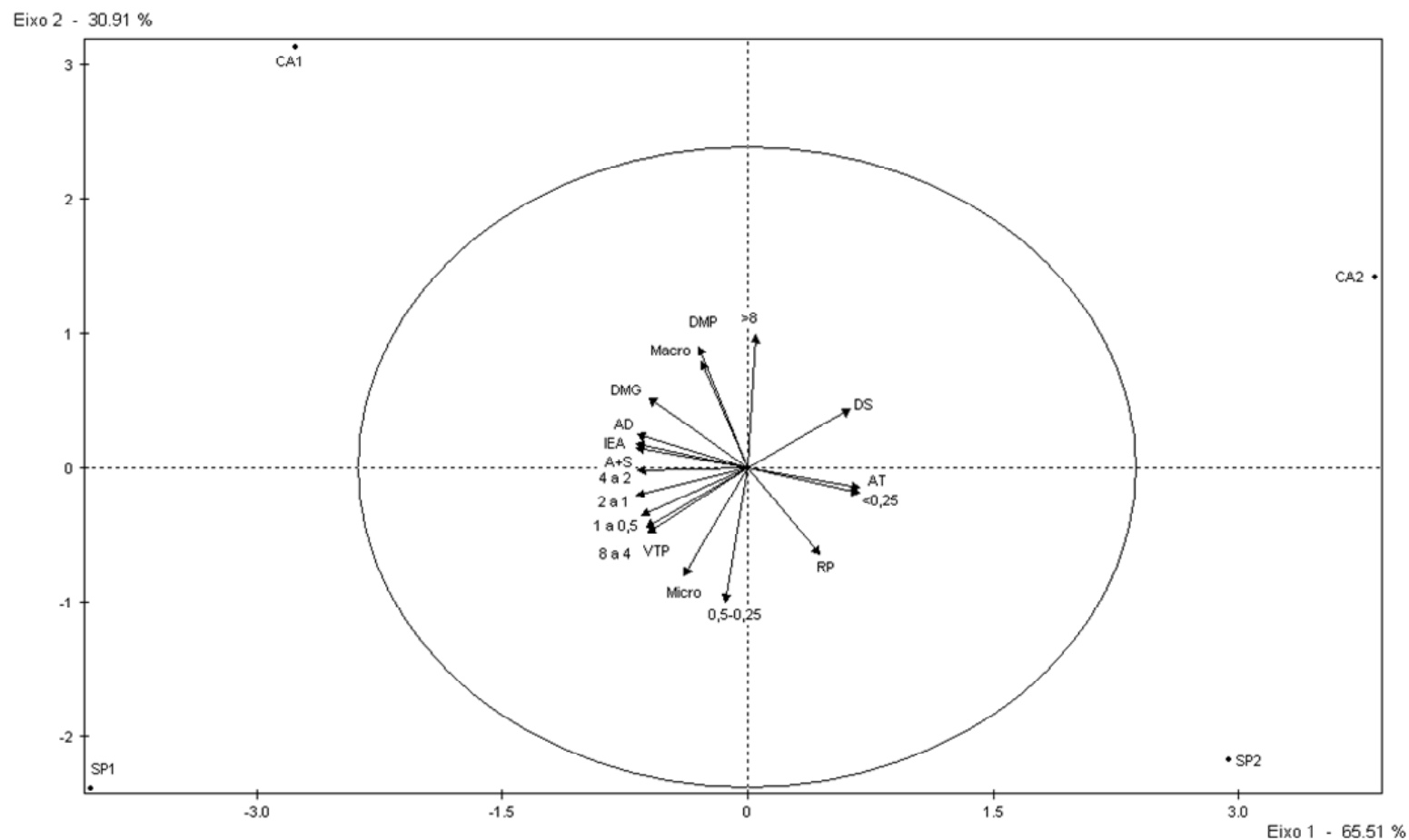
Na análise de correlação, os agregados de 8 a 4 mm apresentaram média correlação positiva com o carbono orgânico e média correlação negativa com o cálcio e magnésio. Os agregados de 4 a 2 mm apresentaram média correlação positiva com carbono orgânico e média correlação negativa com magnésio. Os agregados de 2 a 1 mm apresentaram média correlação positiva com carbono orgânico e média correlação negativa com o magnésio e com o cálcio. Os agregados de 0,5 a 0,25 mm apresentaram média correlação positiva com o alumínio e os agregados < 0,25 mm alta correlação negativa com o carbono orgânico (Tabela 4.12).

Portanto, nesta profundidade os agregados maiores apresentam correlação positiva com o carbono orgânico e negativa com cálcio e magnésio e os agregados menores correlação negativa com alumínio e carbono orgânico.

Os agregados de 8 a 4 mm apresentaram média correlação negativa com a densidade do solo. Os agregados de 4 a 2 mm apresentaram média correlação positiva com argila dispersa e argila + silte e média correlação negativa com areia total e densidade de solo. Os agregados de 2 a 1 mm apresentaram alta correlação positiva com argila + silte, média correlação positiva com argila dispersa e volume total de poros, alta correlação negativa com areia total, e média correlação negativa com densidade do solo e microporosidade. Os agregados de 1 a 0,5 mm apresentaram média correlação positiva com volume total de poros, argila + silte e argila dispersa e média correlação negativa com areia total e densidade do solo. Os agregados de 0,5 a 0,25 apresentaram média correlação positiva com a microporosidade. Os agregados < 0,25 mm apresentaram alta correlação positiva com areia total e média correlação positiva com densidade do solo, alta correlação negativa com argila + silte, e

média correlação negativa com argila dispersa. Os agregados maiores apresentaram correlação positiva com argila + silte e negativa com a areia (Tabela 4.13).

Figura 4.2 - Análise de componentes principais dos atributos físicos na profundidade de 0,1 – 0,2 m.



Sistemas de Produção – SP: Silvopastoril; CA: Cultivo Anual; 1: Canoinhas e 2: Palmeira

Atributos Físicos: AT: Areia Total; A+S: Areia + Silte; AD: Argila Dispersa; DS: Densidade do Solo; Macro: Macroporosidade; Micro: Microporosidade; VTP: Volume Total de Poros; DMP: Diâmetro Médio Ponderado; DMG: Diâmetro Médio Geométrico; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; > 8: agregados maiores que 8 mm; 8 a 4: agregados de 8 a 4 mm; 4 a 2: agregados de 4 a 2 mm; 2 a 1: agregados de 2 a 1 mm; 1 a 0,5: agregados de 1 a 0,5 mm; 0,5 a 0,25: agregados de 0,5 a 0,25 mm; < 0,25: agregados menores que 0,25 mm.

Tabela 4.12 - Coeficiente de correlação e p valor da análise de correlação entre as classes de agregados e os atributos químicos na profundidade de 0,1– 0,2 m.

	Cálcio	Magnésio	Alumínio	Carbono Orgânico
> 8 mm	0,48257	0,39486	-0,46812	0,12765
	0,0169	0,0562	0,0211	0,5523
8 - 4 mm	-0,59858	-0,57503	0,30451	0,57101
	0,0020	0,0033	0,1480	0,0036
4 - 2 mm	-0,42498	-0,52584	0,11128	0,58455
	0,0384	0,0083	0,6047	0,0027
2 - 1 mm	-0,51326	-0,59769	0,19504	0,64822
	0,0103	0,0020	0,0020	0,0006
1 - 0,5 mm	-0,40357	-0,44484	0,17985	0,49682
	0,0505	0,0294	0,4004	0,0135
0,5 - 0,25 mm	-0,46818	-0,37258	0,51463	0,17273
	0,0210	0,0730	0,0101	0,4196
> 0,25 mm	0,21046	0,33662	0,12215	-0,83209
	0,3236	0,1077	0,5696	0,0001

Tabela 4.13 - Coeficiente de correlação e p valor da análise de correlação entre as classes de agregados e os atributos físicos na profundidade de 0,1 – 0,2 m.

	Argila + Silte	Areia	Argila Dispersa	Densidade do Solo	Macro- porosidade	Micro- porosidade	VTP *
> 8 mm	0,02835	-0,01531	-0,02270	0,24360	0,10584	-0,29705	-0,25804
	0,8954	0,9434	0,9162	0,2514	0,6226	0,1587	0,2235
8 - 4 mm	0,47893	-0,47805	0,45787	-0,61259	0,06914	0,47288	0,60525
	0,0179	0,0181	0,0245	0,0015	0,7482	0,0196	0,0017
4 - 2 mm	0,69846	-0,70755	0,72851	-0,61225	0,17862	-0,36768	0,57283
	0,0001	0,0001	0,0001	0,0013	0,4036	0,0771	0,0034
2 - 1 mm	0,76276	-0,77232	0,73132	-0,74662	0,06215	-0,57093	0,71330
	0,0001	0,0001	0,001	0,0001	0,7730	0,0036	0,0001
1 - 0,5 mm	0,61493	-0,62620	0,52033	-0,58884	0,07464	0,49338	0,63354
	0,0014	0,0011	0,0064	0,0025	0,7289	0,0143	0,0009
0,5 - 0,25 mm	0,00579	-0,01482	-0,06592	-0,36489	-0,23152	0,53337	0,42937
	0,9786	0,9452	0,7596	0,0796	0,2763	0,0073	0,0363
< 0,25 mm	-0,77293	0,76923	-0,70041	0,58064	-0,19465	-0,34172	-0,55580
	0,0001	0,0001	0,0001	0,0,0029	0,3621	0,1022	0,0048

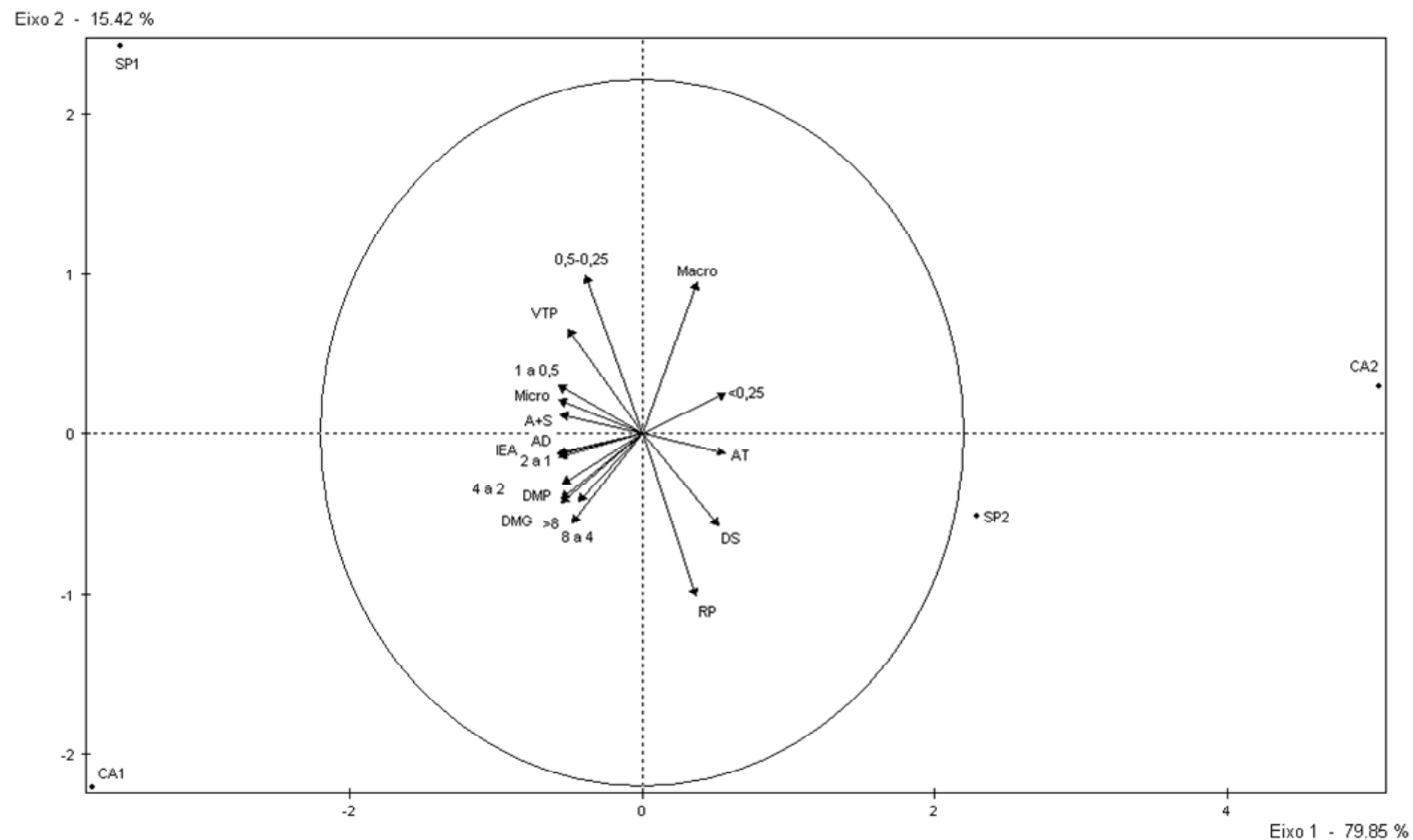
ilvopastoril

Na análise de componentes principais na profundidade de 0,2 – 0,4 m o primeiro eixo explicou 79,85% e o segundo eixo 15,42%, totalizando 95,27% da variância total dos dados. Os atributos areia total (0,97), agregados < 0,25 mm (0,97) e densidade do solo (0,90) apresentaram correlação muito alta, e macroporosidade (0,65) e resistência a penetração (0,63) apresentaram correlação média, com o solo de Palmeira, no eixo 1. Os atributos argila dispersa (-0,99), índice de estabilidade de agregados (-0,99), microporosidade (-0,99), agregados de 2 a 1 mm (-0,98), agregados de 1 a 0,5 mm (-0,97), argila + silte (-0,97), diâmetro médio geométrico (-0,95), diâmetro médio ponderado (-0,94), agregados de 4 a 2 mm (-0,93) apresentaram correlação muito alta, volume total de poros (-0,86), de 8 a 4 mm (-0,82) apresentaram correlação alta, e agregados > 8 mm (-0,74) e agregados de 0,5 a 0,25 mm (-0,66) apresentaram média correlação, com o Cambissolo de Canoinhas, no eixo 1 (Figura 4.3). Nesta profundidade a ACP discrimina os tipos de solo no eixo 1, mas não discrimina os sistemas de uso no eixo 2.

Na análise de correlação, os agregados de 4 a 2 mm apresentaram média correlação positiva com o carbono orgânico e média correlação negativa com o cálcio e magnésio. Os agregados de 2 a 1 mm e de 1 a 0,5 mm apresentaram média correlação positiva com carbono orgânico. Os agregados < 0,25 mm apresentaram alta correlação negativa com o carbono orgânico (Tabela 4.14).

Os agregados de 8 a 4 mm apresentaram média correlação positiva com argila dispersa e argila + silte e média correlação negativa com areia. Os agregados de 4 a 2 mm apresentaram alta correlação positiva com argila + silte, média correlação positiva com microporosidade e volume total de poros, alta correlação negativa com argila dispersa, areia, e média correlação negativa com densidade do solo. Os agregados de 2 a 1 mm apresentaram alta correlação positiva com argila dispersa e argila + silte, média correlação positiva com microporosidade e volume total de poros, alta correlação negativa com areia total, e média correlação negativa com densidade do solo. Os agregados de 1 a 0,5 mm apresentaram média correlação positiva com argila + silte, argila dispersa, microporosidade e volume total de poros, e média correlação negativa com areia total e densidade do solo. Os agregados < 0,25 mm apresentaram alta correlação positiva com areia total e média correlação positiva com densidade do solo, alta correlação negativa com argila dispersa, argila + silte, e média correlação negativa com microporosidade e volume total de poros. Os agregados maiores apresentaram correlação negativa e os agregados < 0,25 mm positiva com a areia (Tabela 4.15).

Figura 4.3 - Análise de componentes principais dos atributos físicos na profundidade de 0,2 – 0,4 m.



Sistemas de Produção – SP: Silvopastoril; CA: Cultivo Anual; 1: Canoinha e 2: Palmeira

Atributos Físicos: AT: Areia Total; A+S: Areia + Silte; AD: Argila Dispersa; DS: Densidade do Solo; Macro: Macroporosidade; Micro: Microporosidade; VTP: Volume Total de Poros; DMP: Diâmetro Médio Ponderado; DMG: Diâmetro Médio Geométrico; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; > 8: agregados maiores que 8 mm; 8 a 4: agregados de 8 a 4 mm; 4 a 2: agregados de 4 a 2 mm; 2 a 1: agregados de 2 a 1 mm; 1 a 0,5: agregados de 1 a 0,5 mm; 0,5 a 0,25: agregados de 0,5 a 0,25 mm; < 0,25: agregados menores que 0,25 mm.

Tabela 4.14 - Coeficiente de correlação e p valor da análise de correlação entre as classes de agregados e os atributos químicos na profundidade de 0,2 – 0,4 m.

	Cálcio	Magnésio	Alumínio	Carbono Orgânico
> 8 mm	0,18850	0,21891	-0,44757	0,24372
	0,3777	0,3041	0,0283	0,2511
8 - 4 mm	-0,30172	-0,44356	-0,23618	0,49318
	0,1519	0,0299	0,2665	0,0143
4 - 2 mm	-0,50323	-0,52444	-0,23274	0,67302
	0,0122	0,0085	0,2738	0,0003
2 - 1 mm	-0,41828	-0,48339	-0,24919	0,66194
	0,0419	0,0167	0,2403	0,0004
1 - 0,5 mm	-0,28139	-0,44004	-0,11561	0,55236
	0,1829	0,0314	0,5906	0,0051
0,5 - 0,25 mm	-0,21916	-0,40761	0,15326	0,23930
	0,3035	0,0480	0,4746	0,2601
> 0,25 mm	0,25334	0,33178	0,42204	-0,67150
	0,2323	0,1132	0,0399	0,0003

Sistemas de Produção - CA: cultivo anual; SP: silvopastoril

Tabela 4.15 - Coeficiente de correlação e p valor da análise de correlação entre as classes de agregados e os atributos físicos na profundidade de 0,2 – 0,4 m.

	Argila + Silte	Areia	Argila Dispersa	Densidade do Solo	Macro- porosidade	Micro- porosidade	VTP *
> 8 mm	0,23439	-0,23568	0,23108	-0,13155	0,07781	0,05176	0,12435
	0,2703	0,2676	0,2773	0,5401	0,7178	0,8102	0,5626
8 - 4 mm	0,59601	-0,59663	0,68682	-0,33367	-0,19334	0,44082	0,31697
	0,0021	0,0021	0,0002	0,1111	0,3654	0,0311	0,1313
4 - 2 mm	0,76478	-0,76474	-0,82927	-0,53073	-0,25459	0,68261	0,52967
	0,0001	0,0001	0,0001	0,0076	0,2299	0,0002	0,0078
2 - 1 mm	0,81713	-0,81669	0,87796	-0,53788	-0,26016	0,71316	0,55842
	0,0001	0,0001	0,0001	0,0067	0,2195	0,0001	0,0046
1 - 0,5 mm	0,73323	-0,73271	0,73067	-0,50609	-0,18080	0,59800	0,50063
	0,0001	0,0001	0,0001	0,0116	0,3979	0,0020	0,0127
0,5 - 0,25 mm	0,36397	-0,36322	0,36147	-0,40477	-0,01644	0,34802	0,36831
	0,0804	0,0811	0,0826	0,0498	0,9392	0,0956	0,0766
< 0,25 mm	-0,78378	0,78442	-0,83644	0,50948	0,15728	-0,58010	-0,50134
	0,0001	0,0001	0,0001	0,0110	0,4630	0,0030	0,0126

: silvopastoril

Os resultados deste trabalho demonstram a correlação positiva dos agregados maiores com o teor argila, matéria orgânica e alumínio, e correlação negativa com cálcio e magnésio.

Na análise visual dos agregados no sistema SP1, na profundidade 0 a 0,1 m, foi observado agregados porosos com algum grau de compactação ($\mu\Delta$) e rugosidade interna intermediária, e nas profundidades de 0,1 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 agregados porosos (μ) com porosidade e rugosidade interna altas. Já no sistema CA1, na profundidade 0 a 0,1 m, observou-se grande presença de agregados pequenos (< 2 mm) compactos (Δ) e de agregados compactos com algum grau de porosidade visível ($\mu\Delta$). Nas profundidades de 0,1 a 0,2 m e de 0,2 a 0,4 m predominava agregados maiores que 2 mm compactos (Δ) e agregados compactos com algum grau de porosidade ($\mu\Delta$).

A observação dos agregados no momento da análise permitiu avaliar que o sistema SP2 nas profundidades 0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m apresentavam agregados compactos com alguma porosidade ($\Delta\mu$) e rugosidade interna intermediária. Na profundidade de 0,2 a 0,4 m apresentava agregados porosos com alguma compactação ($\mu\Delta$). Foi observado grande presença de raízes e de atividade biológica neste sistema. No sistema CA2 apresentava na profundidade 0 a 0,1 m grande presença de pequenos agregados (menores que 2 mm) compactos (Δ) e agregados compactos com algum grau de porosidade ($\mu\Delta$). Nas profundidades de 0,1 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m predominava agregados maiores que 2 mm compactos (Δ) e agregados compactos com algum grau de porosidade ($\mu\Delta$).

Os resultados demonstram o efeito do preparo convencional do solo com a utilização da grade disco, sulcador e grade niveladora nos sistemas de cultivos anuais reduzindo os agregados maiores que 8 mm e aumentando os agregados das classes menores, na profundidade de 0 a 0,1 m. O preparo convencional também está relacionado a presença de estruturas compactas com alguma porosidade, nas outras profundidades estudadas. O sistema SP1 apresentou agregados porosos com algum grau de compactação ($\mu\Delta$) na profundidade de 0 a 0,1 m, devido ao pisoteio dos animais, mas nas profundidades 0,1 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m apresentou agregados porosos (μ), denotando que o efeito do pisoteio é bastante superficial. A pequena quantidade de animais por área, característica dos sistemas silvopastoris tradicionais da região (faxinais ou caívas), permite compreender o baixo impacto deste sistema neste solo, principalmente no SP1 que apresenta características mais próximas aos sistemas silvopastoris tradicionais.

Pinheiro et al (2004), estudando diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho distrófico, observou que o sistema com revolvimento de solo sem o

aporte de matéria orgânica reduziu a agregação e os teores de matéria orgânica, e que a proporção de agregados > 2 mm parece ser um bom indicador da influência do sistema de manejo na agregação do solo. Castro Filho et al (2002) avaliando um sistema de preparo convencional de solo e um sistema de plantio direto em um Latossolo Vermelho distrófico, concluiu que o sistema de plantio direto tem melhor índice de agregação devido ao maior teor de matéria orgânica. Wuddivira e Camps-Roach (2007), determinaram que o efeito positivo da argila na agregação depende muito da mineralogia da argila, e que cálcio com adição de matéria orgânica promove a agregação em alguns tipos de solo e a desagregação em outros em função da quantidade adicionada. O efeito positivo da matéria orgânica na agregação é mais pronunciado em solos com baixo teor de argila e apresenta pouca contribuição em solos com alto teor de argila, dominado por minerais expansivos.

Kasper et al. (2009) estudando o efeito dos sistemas de manejo concluíram que o sistema de cultivo influencia a estabilidade e a composição química dos agregados. O estudo demonstrou que o preparo convencional interfere mais nas propriedades do solo que o cultivo mínimo. Castro Filho et al (1998) estudando diferentes sistemas de manejo de solo e rotação de culturas concluíram que o sistema de plantio direto melhorou o estado de agregação do solo com incremento de carbono orgânico, sobretudo na profundidade 0 a 0,1 m. Silva e Mielniczuk (1998) estudando diferentes sistemas de manejo de solo e rotação de culturas constataram que as gramíneas perenes por meio de seu sistema radicular tiveram grande efeito na agregação e na estabilidade dos agregados.

Os resultados deste trabalho constataram o efeito positivo do teor de argila na agregação e os sistemas silvopastoris apresentaram maior DMP e IEA. Salton et al. (2008) estudando a agregação do solo e a estabilidade de agregados em lavouras no sistema de plantio direto, em lavouras com rotação com pastagens e pastagens permanentes concluíram que as pastagens apresentaram maior DMP e IEA. Observou-se também um efeito positivo do teor de argila na agregação comparando-se os diferentes locais estudados.

Vezzani e Mielniczuk (2011) avaliando um experimento de 17 anos em um Argilsolo distrófico na Depressão Central do Rio Grande do Sul determinaram que um Campo Nativo apresentou 76,4 % de solo agregado, distribuídos em 63,8 % de macroagregados e 23,6 % de partículas simples, com estoque de C de 20,0 Mg ha⁻¹ na profundidade de 0–7,5 cm. O uso agrícola com revolvimento intenso do solo e baixa adição de resíduos (sistema lavoura) reduziu a proporção de solo agregado para 49,9 % e aumentou a de partículas simples para 50,1 %. O estoque de C reduziu para 11,8 Mg ha⁻¹ na mesma profundidade. A partir dessa condição, o sistema sem revolvimento de solo, com maior diversidade de espécies

de plantas e grande adição de resíduos elevou, em 15 anos, a proporção de solo agregado para 70,7 %, e a dos macroagregados, para 53,5 %. A pastagem perene (Pangola) elevou a proporção de solo agregado para 74,1 % e a dos macroagregados para 61,8 %, igualando-se ao Campo Nativo. Os sistemas de plantio direto e adubação verde recuperaram os estoques de C no nível do Campo Nativo. No entanto, a Pangola, que apresentou os maiores índices de agregação do solo, teve o estoque C inferior ao desses sistemas, enfatizando a ação positiva do sistema radicular denso na recuperação da agregação do solo. No trabalho aqui apresentado, também foi constatado a redução do solo agregado e do teor de matéria orgânica quando comparado o sistema silvopastoril com o sistema de cultivos anuais.

Zotarelli et al. (2007) em Latossolos de Londrina (PR) e Passo Fundo (RS) avaliaram o fracionamento de agregados e mostraram que o plantio direto promove condições para a formação de agregados, principalmente na camada de 0-5 cm de profundidade, e esse efeito foi relacionado a uma maior acumulação de C do solo sob plantio direto do que o preparo convencional. Especialmente a combinação do plantio direto com os adubos verdes promoveu a estabilização dos agregados. O sistema de plantio direto aumentou a proteção física do carbono nos agregados. Este processo era melhor conhecido para os solos das regiões temperadas com predominância de argila 2:1 e este trabalho confirmou que este processo também ocorre nos Latossolos com predominância de argila 1:1 e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. A relação do aumento da matéria orgânica com a maior agregação do solo ocorreu nos dois tipos de solo avaliados nesta dissertação.

Torres et al. (2010) estudando um Latossolo Vermelho no Triângulo Mineiro sob preparo convencional de solo, semeadura direta, pastagem e campo nativo encontraram valores de macroporosidade próximo a $0,33 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$. Giarola et al. (2007) estudando um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem comparado com uma área de mata nativa próxima verificaram que na primeira área ocorreu uma redução da macroporosidade e da porosidade total e um aumento da densidade do solo. No trabalho aqui apresentado, os valores da macroporosidade geralmente foram menores que $0,10 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$. A baixa macroporosidade destes solos deve estar relacionada aos elevados teores de areia fina, muito fina e silte. Pagliai et al. (2004), avaliaram porosidade, micromorfologia, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados em sistemas de preparo convencional e cultivo mínimo. Os resultados demonstraram melhores resultados das propriedades físicas no sistema de cultivo mínimo e um efeito positivo da aplicação de matéria orgânica.

Os maiores valores de macroporosidade no sistema CA1 na profundidade 0-0,1 m deve-se ao revolvimento do solo causado pelo preparo convencional. Mesmo nas áreas

influenciadas pelo revolvimento do solo os valores da macroporosidade foram inferiores a 1/3 da porosidade total considerado ideal (KIEHL, 1979). Almeida et al (2008), estudando um Latossolo Vermelho distroférico encontraram 0,19 - 0,07 e 0,13 $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$ de macroporosidade de 0 - 0,1, 0,1 - 0,2 e 0,2 - 0,4 m, respectivamente. A menor macroporosidade de 0,1 - 0,2 foi causada pelo implemento utilizado no preparo convencional do solo. Nesta profundidade também houve uma redução da porosidade total.

Na avaliação dos resultados do carbono e da argila dispersa é importante considerar que o sistema CA2 recebe anualmente em média um aporte de 15 m^3/ha de esterco de peru compostado no ciclo agrícola da cultura de verão e este aporte não ocorreu no sistema SP2. Portanto, o revolvimento do solo e a aplicação de calcário no sistema CA2, que tem potencialmente um efeito na redução da matéria orgânica e no aumento da dispersão de argila, deve estar sendo compensada pelo aporte de matéria orgânica.

Os solos foram discriminados pela granulometria ou pela granulometria e distribuição das classes de agregados dependendo da profundidade. Os sistemas de uso foram discriminados pela distribuição das classes de agregados. Em Canoinhas e em Palmeira a predominância das frações areia fina e principalmente muito fina tornam estes solos susceptíveis a erosão, principalmente em Palmeira onde os teores de areia, silte e a relação silte/argila são maiores, e está associado a maior declividade (Tabela 4.1). Esta granulometria contribui para a limitação da aptidão agrícola destes solos, tendo a matéria orgânica papel determinante na formação e estabilidade estrutural, e a intensificação da agricultura nesta região pode causar a rápida degradação destes solos.

Em nenhum dos dois locais os valores de densidade do solo são limitantes ao desenvolvimento das raízes na umidade em que os anéis foram coletados, próximos a capacidade de campo. Este teor de umidade é predominante no campo a maior parte do ano, em função da alta pluviosidade, ausência de estação seca e pela baixa taxa de infiltração da maioria dos solos desta região. O volume desses solos varia muito em função da umidade, e isto deve ser considerado na avaliação da densidade desses solos.

No Cambissolo de Canoinhas a relação Silte/Argila variou de 0,6 a 0,84 no sistema de cultivos anuais e de 0,51 a 0,59 no sistema silvopastoril. No Cambissolo de Palmeira a relação Silte/Argila variou de 1,32 a 1,90 no sistema de cultivos anuais e de 1,05 a 1,41 no sistema silvopastoril (Tabela 4.5). Marques et al (2007), encontraram em um Cambissolo Háptico Tb distrófico em Fernando de Noronha valores da relação Silte/Argila variando de 0,61 a 1,21. Rolim Neto et al (2009) estudando os solos na região da Bacia do

Alto Parnaíba, em Minas Gerais, encontraram valores da relação Silte/Argila variando de 1,47 a 2,51 em um Cambissolo Háplico Ta eutrófico.

A avaliação dos Cambissolos de Palmeira e Canoinhas com diferentes granulometrias na mesma Análise de Componentes Principais (ACP) permitiu constatar, por exemplo, que a correlação positiva dos agregados maiores com alumínio e matéria orgânica, e a correlação negativa com cálcio e magnésio ocorre nos dois tipos de solo. Este resultado é importante porque existe grande variabilidade na granulometria nos solos desta região. Entretanto, no caso da argila dispersa este atributo não discriminou bem os sistemas de uso, que deve ter sido influenciado pela análise dos dois tipos de solo na mesma ACP.

4.3 CONCLUSÕES

- Os solos foram discriminados pela granulometria ou pela granulometria e distribuição das classes de agregados dependendo da profundidade. Os sistemas de uso foram discriminados pela distribuição das classes de agregados.

- Os agregados maiores apresentaram correlação positiva com os teores de alumínio, carbono orgânico e argila+silte e correlação negativa com os teores de cálcio, magnésio e areia.

- Os sistemas de cultivos anuais apresentaram redução no tamanho dos agregados na camada 0 – 0,1 m.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados deste trabalho demonstram as limitações da aptidão agrícola dos solos nas áreas estudadas e que intensificação do uso destes solos pode causar sua degradação. A granulometria com elevados teores de silte, predomínio das classes de areia fina e principalmente muito fina e a alta relação silte/argila favorecem o processo erosivo nestes solos. A presença de estruturas compactas (Δ) em subsuperfície que dificultam o enraizamento das culturas e a infiltração da água, e de camadas superficiais com volume estrutural livre (L) que cria condições para a remoção desta camada pela erosão. Os agregados maiores apresentaram correlação positiva com carbono orgânico, alumínio e argila+silte e correlação negativa com cálcio, magnésio e areia. Portanto, no manejo destes solos o revolvimento e a aplicação de calcário devem ser realizados considerando seus efeitos na estabilidade dos agregados, argila dispersa e na matéria orgânica.

REFERÊNCIAS

- ABIVEN, S.; MENASSERI, S.; ANGERS, D. A.; LETERME, P. Dynamics of aggregate stability and biological binding agents during decomposition of organic materials. **European Journal of Soil Science**. February, 58, 239–247, 2007.
- ALBUQUERQUE, J.A.; ALMEIDA, J.A.; GATIBONI, L.C.; ELTZ, L.F.L. Atividades agrícolas de produção em solos frágeis no Sul do Brasil. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A.L.; GATIBONI, L.C. **Tópicos em ciência do solo**, v. 7, p. 367 – 403, 2011.
- ALMEIDA E.; PETERSEN P.; SILVA, F.J.P. Lidando com extremos climáticos; análise comparativa entre lavouras convencionais e em transição agroecológica no Planalto Norte de Santa Catarina. **Agriculturas: experiências em agroecologia**. Rio de Janeiro, 6(1):28 – 32, 2009.
- ALMEIDA, V. P.; ALVES, M. C.; SILVA, E. C. ; OLIVEIRA, S. A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, n. 3, pp. 1227-1237, 2008.
- ALTIERI, M. A.; FUNES-MONZOTE, F. R.; PETERSEN, P. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. **Agronomy for Sustainable Development**. 2011.
- ALTIERI, M. A. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 93, 1–24, 2002.
- AN, S.; MENTLER, A.; MAYER, H.; BLUM, W. E.H. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. **Catena**, 81, 226–233, 2010.
- BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L. J. Field assessment of soil structural quality – a development. **Soil Use and Management**, 23, 4, 329–337, 2007.
- BALL, B. C.; DOUGLAS, J. T. A simple procedure for assessing soil structural, rooting and surface conditions. *Soil Use and Management*, 19, 1, 50 -56, 2003.
- BATEY, T.; MCKENZIE, D. C. Soil Compaction: Identification Directly In The Field. **Soil Use And Management**, 23, 4, 329–337, 2006.
- BARTHÈS, B.; ROOSE, E.; Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. **Catena**, 47, 133–149, 2002.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, 124 3 –22, 2005.
- BOUMANS, R. & COSTANZA, R. The multiscale integrated Earth Systems model (MIMES): the dynamics, modeling and valuation of ecosystem services. *GWSP Issues in Global Water System Research*, 2009. Disponível em: <http://www.uvm.edu/giee/publications/Boumans_Costanza_GWSP%20Chapter_2007.pdf>. Acesso em: 23 set. 2011.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I.C.B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, 65, 45 – 51, 2002.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:527-538, 1998.

CHAPLAIN, V.; DEFOSSEZ, P.; RICHARD, G.; TESSIER, D.; ROGER-ESTRADE, J. Contrasted effects of no-till on bulk density of soil and mechanical resistance **Soil & Tillage Research** 111, 105–114, 2011.

CLAESSEN, M.E.C. (Org.). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, (Embrapa-CNPq. Documentos, 1), 212p., 1997.

COSTANZA, R. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed. **Biological Conservation**, 141, 350 –352, 2008.

DERAL - SEAB (DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL – SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO). Palmeira -Aspectos Socioeconômicos da Agropecuária, 13 p., 2010.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**. v. 11, n. 3-4, p. 199-238, 1988.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 412 p., 2006.

FRAGOSO, C.; BROWN, G. G.; PATRÓN, J. C.; BLACHART, E.; LAVELLE, P.; PASHANASI, B.; SENAPATI, B.; KUMAR, T. Agriculture intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. **Applied Soil Ecology**, 6, 17 -35, 1997.

FREGONEZI, G. A. F.; BROSSARD, M.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C. Modificações morfológicas e físicas de um latossolo argiloso sob pastagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n. 25, p. 1017-1027, 2001.

GAUTRONNEAU, Y, MANICHON, H. Guide méthodologique du profil cultural. Lyon: CEREF-GEARA, 71 p., 1987.

GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; DUTRA, A. C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n. 31, p. 863-873, 2007.

HAIR, J.F; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise Multivariada de dados**, 5 ed. Porto Alegre: BOOKMAN, p. 89-124; 381-417, 2005.

HONG, B.; LIMBURG, K. E.; ERICKSON, J. D.; GOWDY, J. M.; NOWOSIELSKI, A. A.; POLIMENI, J. M. AND STAINBROOK, K. M.. Connecting the ecological-economic dots in human-dominated watersheds: Models to link socio-economic activities on the landscape to stream ecosystem health. **Landscape and Urban Planning**, 91, 78–87, 2009.

IBGE – CENSO 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 set. 2011.

IBGE – CENSO AGROPECUÁRIO 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/agropecuario.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2011.

KASPER, M.; BUCHAN, G.D.; MENTLER, A.; BLUM, W.E.H. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. *Soil & Tillage Research* 105, 192–199, 2009.

KIEHL, E. J.. Manual de Edafologia. Relações solo-planta. Ed Agronômica Ceres. São Paulo, 1979.

LAVELLE, P.; Functional domains in soils. **Ecological Research**, 17, 441 – 450, 2002.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O. W.; DHILLION, S. Soil Function in changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, 33, 4, 159 -193, 1997.

MARQUES, F. A.; RIBEIRO, M. R.; BITTAR, S.M. B.; LIMA NETO, J.DE A.; LIMA, J.F.W.F. . Caracterização e classificação de cambissolos do arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 31, n. 5, pp. 1023-1034, Out. 2007.

MERTEN, G.H.; RIBEIRO, M.F.S.; BENASSI, R.D.; MILLEO, R.D.S.; CURCIO, G.R.; ARAUJO, A.J.; CHAIMSOHN, F.P.; FERNANDES, F.F.; MACHADO, M.; SAMAHA, M.J.; GOMES, E.P.; SIQUEIRA, E.M.; SILVA, F.A. **Manejo de Solos de Baixa Aptidão Agrícola no Centro-Sul do Paraná**. Londrina, Iapar, 1994.

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. Ecosystem and human well-being - synthesis. 2005. Disponível em: <<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2011.

MUELLER, L.; SCHINDLER, U.; MIRSCHEL, W.; SHEPHERD, G.; BALL, B. C.; HELMING, K.; ROGASIK, J.; EULENSTEIN, F.; WIGGERING, H. Assessing the productivity function of soils. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 30, 601–614, 2010.

MUELLER, L.; KAY, B. D.; HU, C.; LI, Y.; SCHINDLER, U.; BEHRENDT, A.; SHEPHERD, T. G.; BALL, B. C. Visual assessment of soil structure: Evaluation of methodologies on sites in Canada, China and Germany Part I: Comparing visual methods and linking them with soil physical data and grain yield of cereals. **Soil & Tillage Research** 103, 178–187, 2009a.

MUELLER, L.; KAY, B. D. K.; HUC, C.; LI, Y.; SCHINDLER, U.; BEHRENDT, A.; SHEPHERD, T.; BALL, B. C. Visual assessment of soil structure. Part II: Implications of tillage, rotation and traffic on sites in Canada, China and Germany **Soil & Tillage Research** 103, 188–196, 2009b.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P.F.S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1409-1418, nov. 2001.

NEVES, C.S.V.J.; FELLER, C.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; TAVARES FILHO, J.; FORTIER, M. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological units identified by the Cropping Profile Method in clayey Oxisols in Brazil. **Soil & Tillage Research**. v. 71, p. 109–119, 2003.

National Research Council. Alternative Agriculture. 448 p. 1989.

NIELSEN, U. N.; AYRES, E.; WALL, D. H.; BARDGETT, R. D. Soil biodiversity and carbon cycling: a review and synthesis of studies examining diversity–function relationships. **European Journal of Soil Science**, 62, 105–116, February 2011.

PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Soil structure and the effect of management practices. **Soil & Tillage Research** 79, 131–143, 2004.

PAVAN, M. A., BLOCH, M. D. M., ZEMOULSKI, H. C., MIYAZAWA, M., ZOCOLER, D. C. Manual de análises químicas de solo e controle de qualidade. (**IAPAR, Circular Técnica, 76**), 40 p. Londrina, IAPAR, 1992.

PEREIRA NETO, O.C.; GUIMARÃES, M. F.; RALISCH, R.; FONSECA, I. C. B. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 11, n. 5, p. 489–496, 2007.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil & Tillage Research**, 77, p. 79–84, 2004.

PORTER, J.; COSTANZA, R.; SANDHU, H.; SIGSGAARD, L. AND WRATTEN, S.. The Value of Producing Food, Energy, and Ecosystem Services within an Agro-Ecosystem. **Ambio** v. 38, n. 4, June 2009.

RALISCH, R.; ALMEIDA, E.; SILVA, A. P.; PEREIRA NETO, O. C.; GUIMARÃES, M. F. Morphostructural Characterization of Soil Conventionally Tilled with Mechanized and Animal Traction with and without Cover Crop. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, 2010.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L.M. DA; PARAHYBA, R. DA B.V.; GUERRA, S.M.S.; HECK, R. Topolitossequências de solos do Alto Paranaíba: atributos físicos, químicos e mineralógicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, pp. 1795-1809, 2009.

ROGER-ESTRADE, J., RICHARD, G., BOIZARD, H., BOIFFIN, J., CANEILL, J., MANICHON, H., Modelling structural changes in tilled topsoil over time as a function of cropping systems. **European Journal Soil Science**. v. 51, p. 455–474, 2000.

ROGER-ESTRADE, J.; ANGER, C.; BERTRAND, M.; RICHARD, G. Tillage and soil ecology: Partners for sustainable agriculture. **Soil & Tillage Research** 111, 33–40, 2010.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M. & DIRCEU LUIZ BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em mato grosso do sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:11-21, 2008.

SECRETARIA DE ESTADO E PLANEJAMENTO DE SANTA CATARINA, Florianópolis . Disponível em: <<http://www.spg.sc.gov.br/Estatistica/Dados%20Estatistico%20Municipais/PAM%20Lav.Tem.BR,SC%20e%20mun.1991%20a%202008.xls>> Acesso em: 07 jan. 2012.

SHEPHERD, M.A.; HARRISON R. & WEBB, J. Managing soil organic matter - implications for soil structure on organic farms. **Soil Use and Management**, 18, 284 - 292, 2002.

SHERWOOD, S. & UPHOFF, N. Soil health: research, practice and policy for a more regenerative agriculture. **Applied Soil Ecology**, 15, 85-97, 2000.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade dos agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, pp. 311-317, 1998.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. R. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**. v. 30, n. 5, p. 795-801, 2000.

STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V.L. **Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR/STOLF**; STAB., p. 18-23, 1983.

TAMIA, A.; MOREAU, R.; FORTIER, M.; YORO, G. Influence du travail du sol sur l'évolution physique d'un sol forestier ferrallitique après défrichement motorisé. **Étude et Gestion des Sol**, 6, 1, 27 – 39, 1999.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; BALBINO, L.C. & NEVES, C.S.V.J. Método do Perfil Cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 23, p. 393-399, 1999a.

TAVARES FILHO, J.; EIRA, G.C.; LUDWIG FARIA, L.R. Avaliação da compactação em um solo cultivado no sistema convencional. **Engenharia Agrícola**. v. 19, n. 2, p. 219-225, 1999b.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARAES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 25, p. 725-730, 2001.

THOMAZ, E. L. The influence of traditional steep land agricultural practices on runoff and soil loss. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 130, 23–30, 2009.

TILMAN, D. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, 96, 5995-6000, May, 1999.

TISDALL, J. M. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. **Plant and Soil** 159:115-121, 1994.

TISDALL, J. M. & OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, 33, 141 -163, 1982.

TISDALL, J. M. & OADES, J. M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal Soil Research**, 17, 429 – 441, 1979.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. DA; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**. v.59, n.4, p.795-801, 2002.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J; PEREIRA, M. G. M. G. Alterações dos atributos físicos de um latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.4, p.817-822, jul./ago. 2010.

VEZZANI, F. & MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:213-223, 2011.

WUDDIVIRA, M. N. & CAMPS-ROACH, G. Effects of organic matter and calcium on soil structural stability. *European Journal of Soil Science*, 58, 722–727, June 2007.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society Agronomy**, 28, 196 – 206, 1936.

ZOTARELLI, L.; ALVES, B.J.R. ; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; SIX, J. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two Oxisols. **Soil & Tillage Research**, 95, 196–206, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Gráficos de Intervalo de Confiança

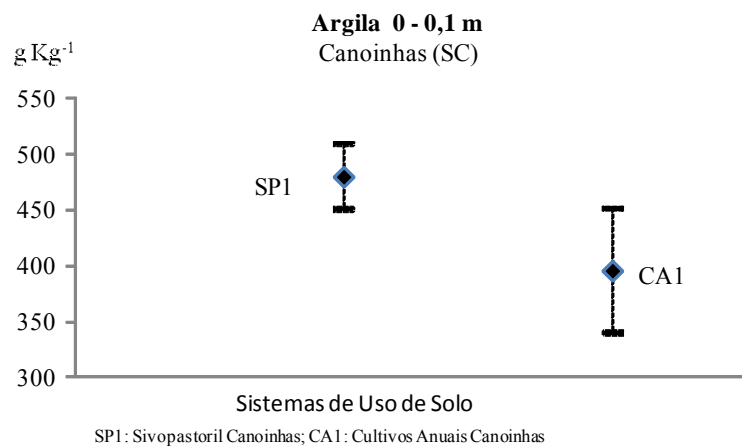


Gráfico 1

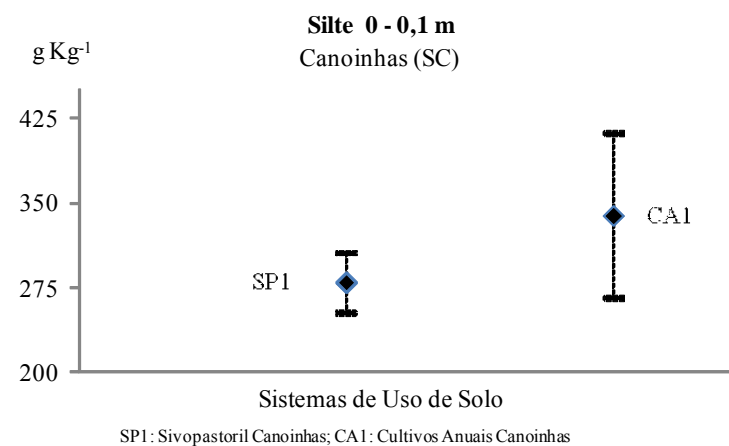


Gráfico 2

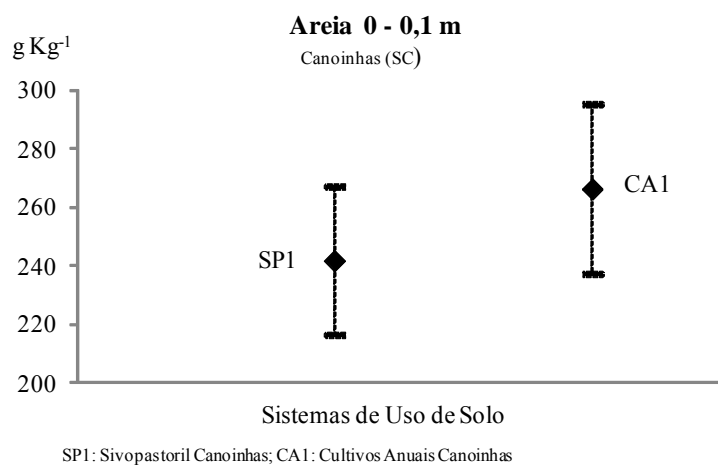


Gráfico 3

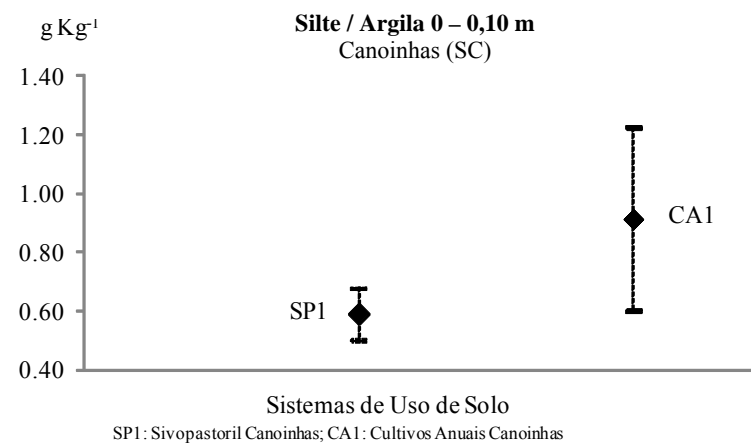
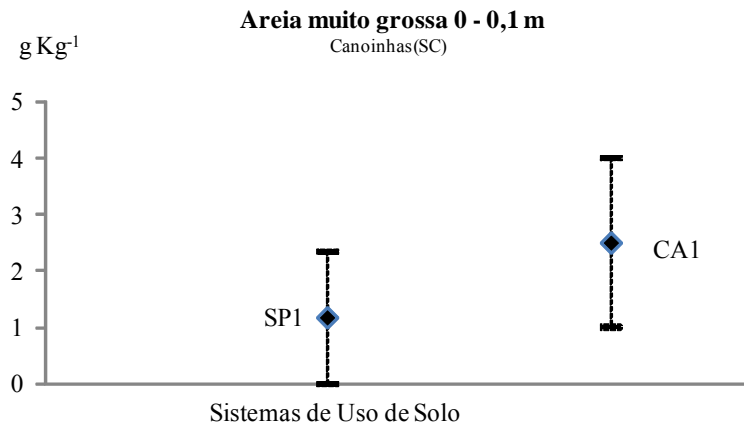
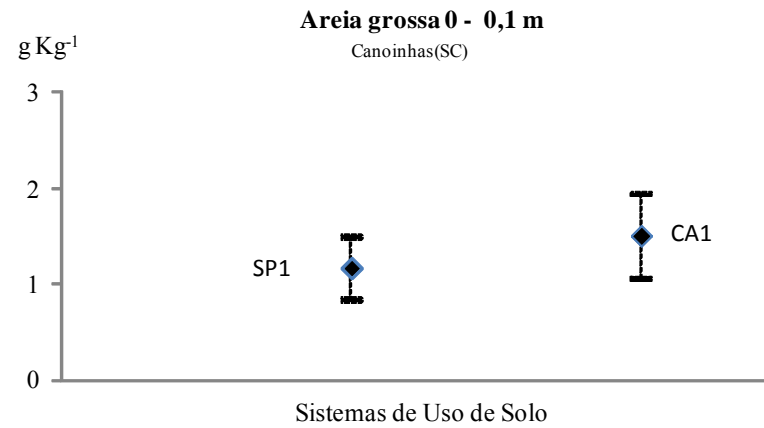


Gráfico 4



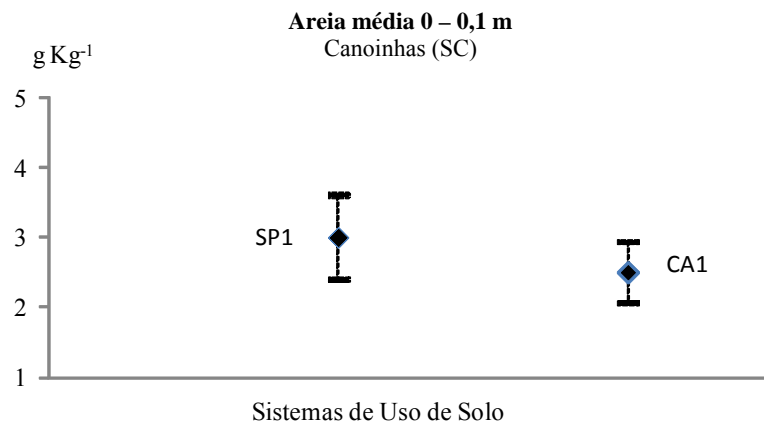
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 5



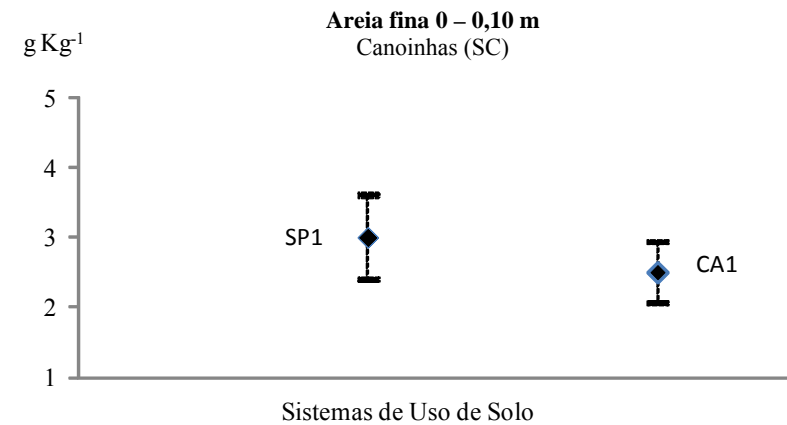
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 6



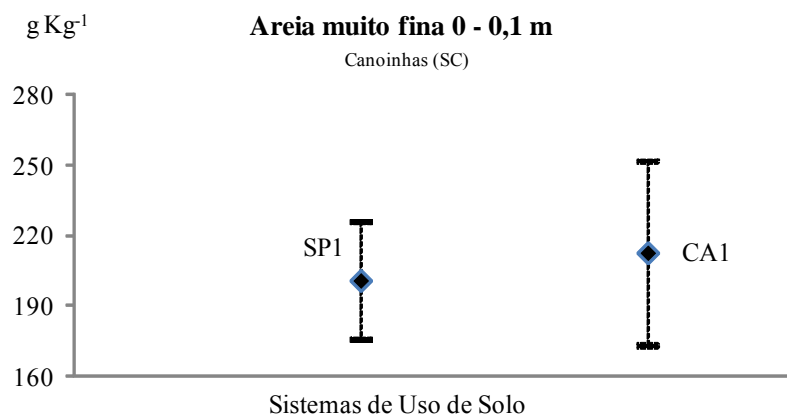
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 7



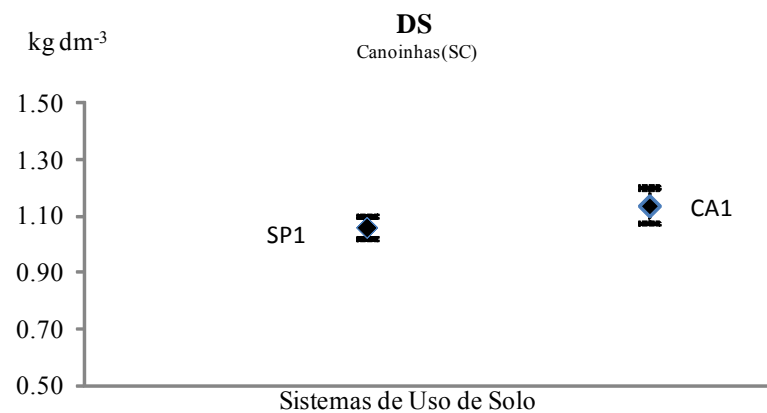
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 8



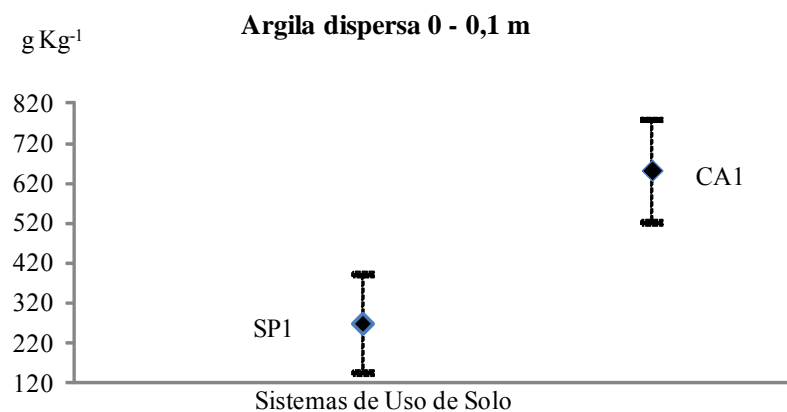
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 9



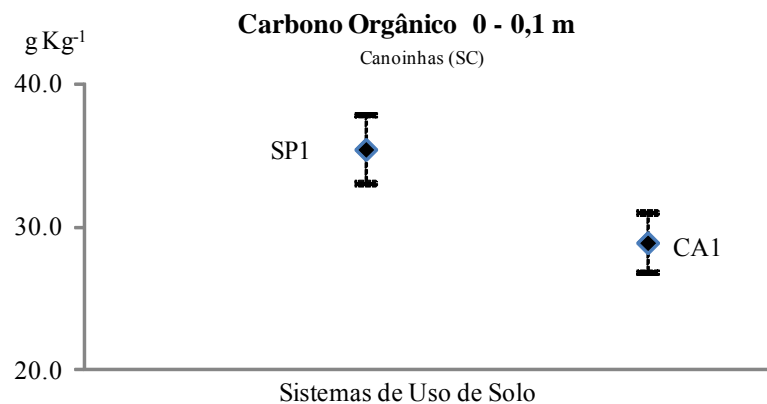
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 10



SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 11



SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 12

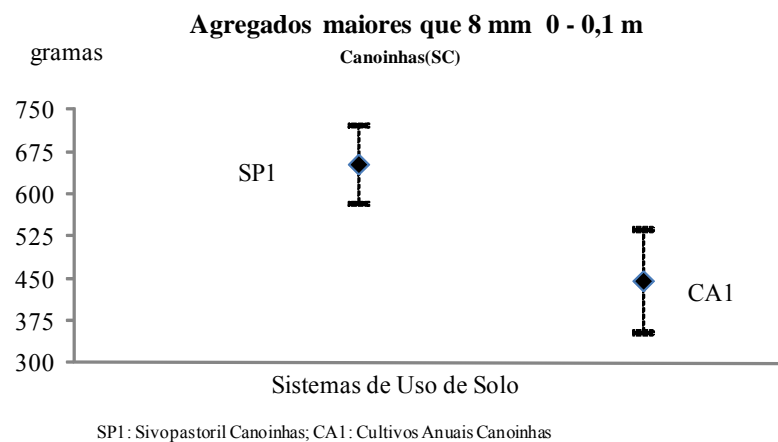


Gráfico 13

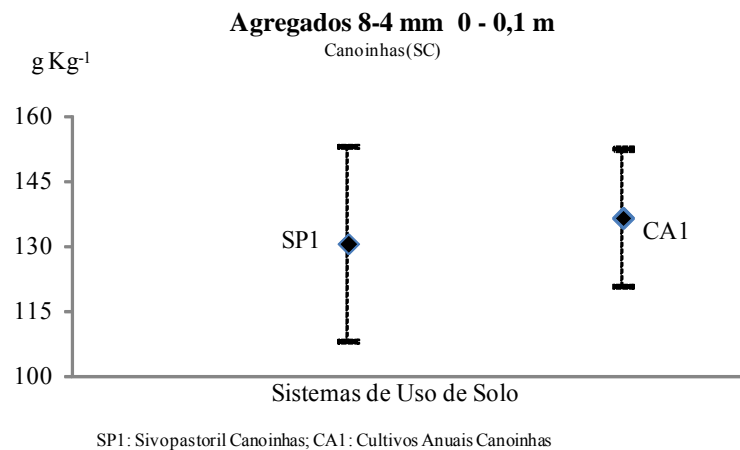


Gráfico 14

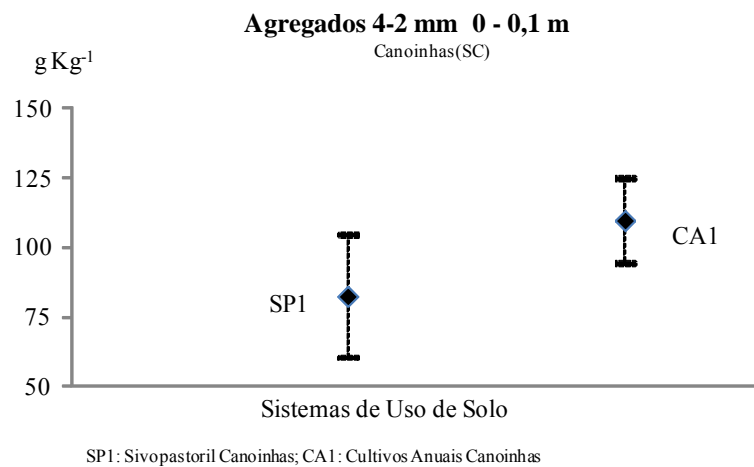


Gráfico 15

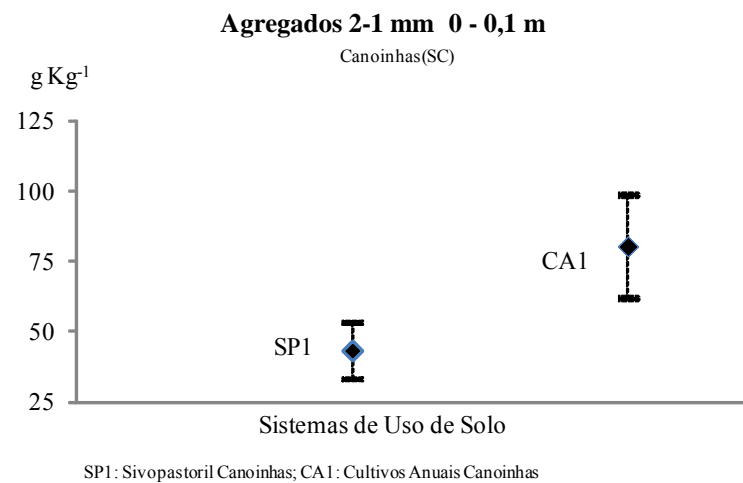
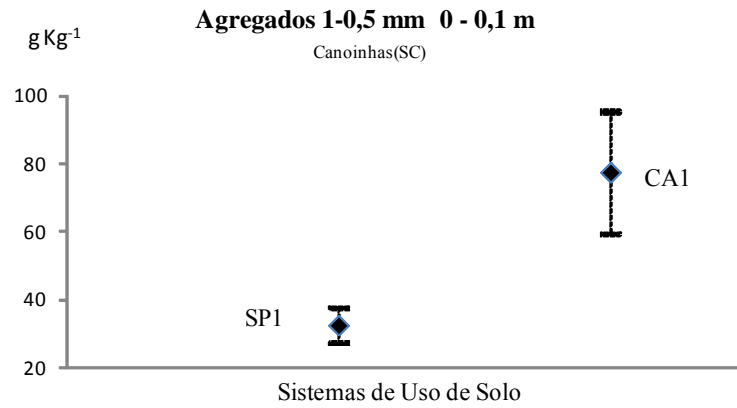
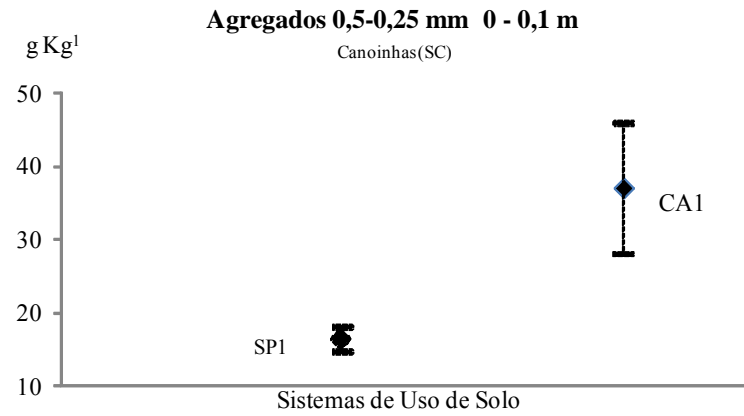


Gráfico 16



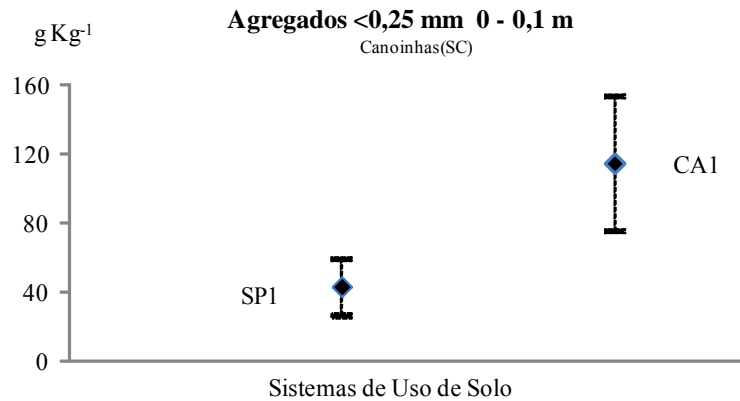
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 17



SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 18



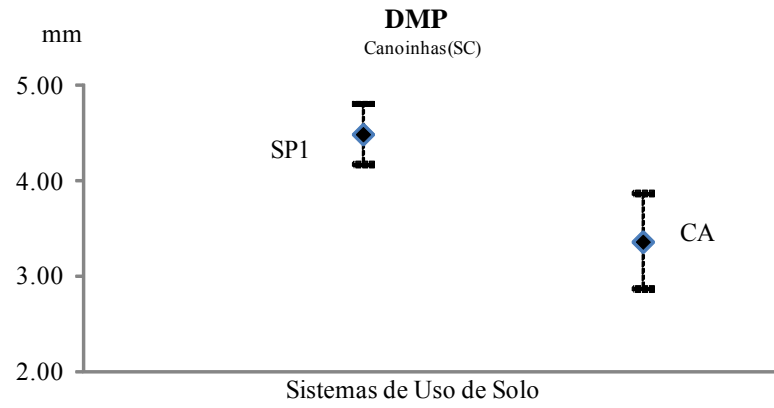
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 19



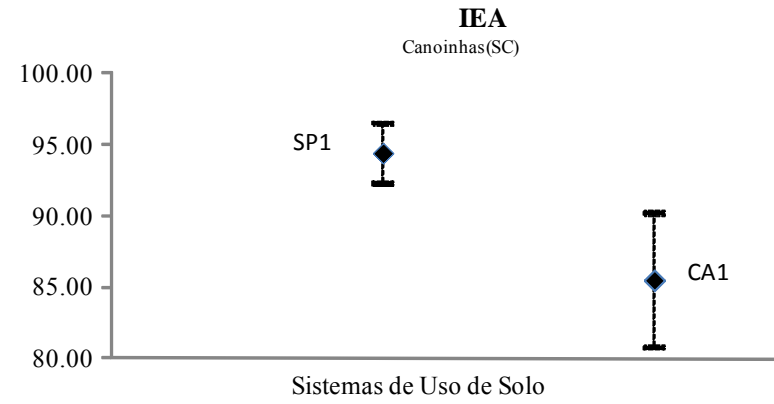
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 20



SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 21



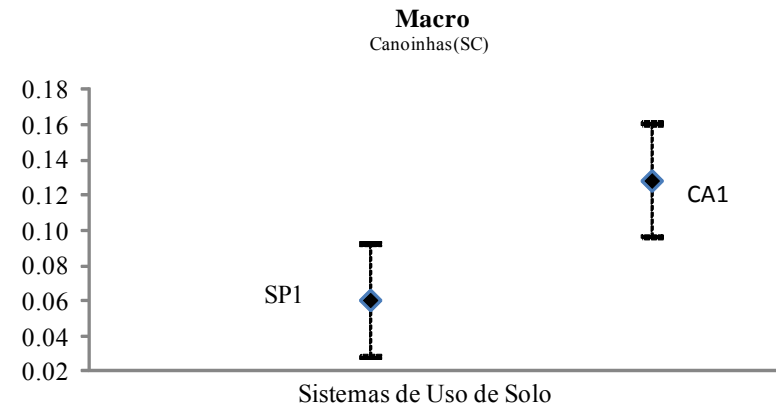
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 22



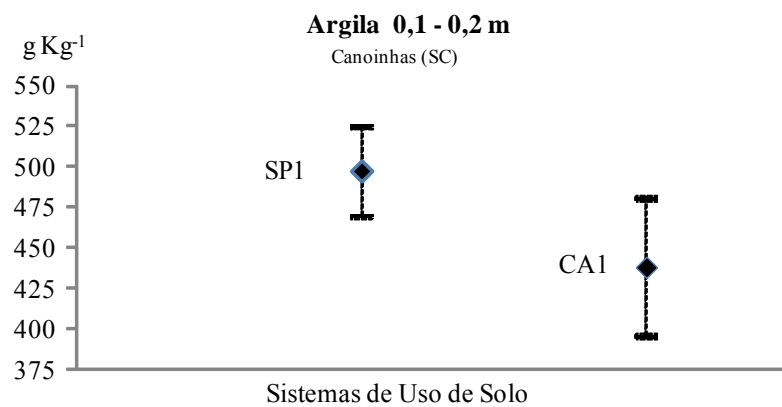
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 23



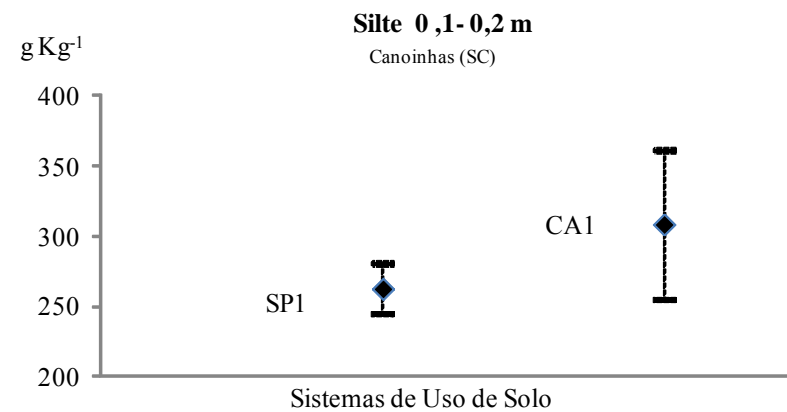
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 24



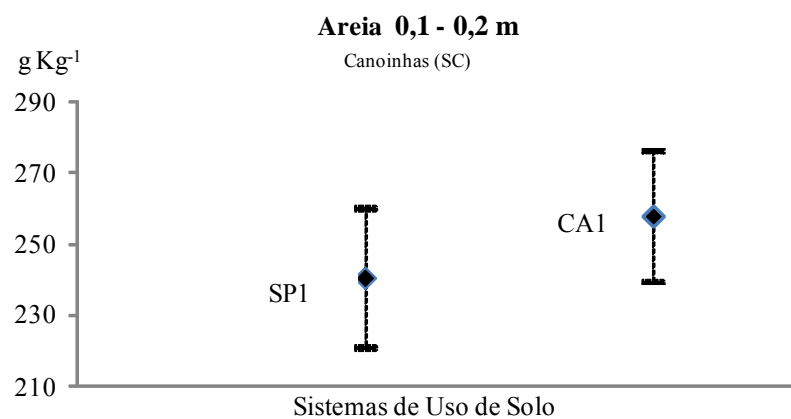
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 25



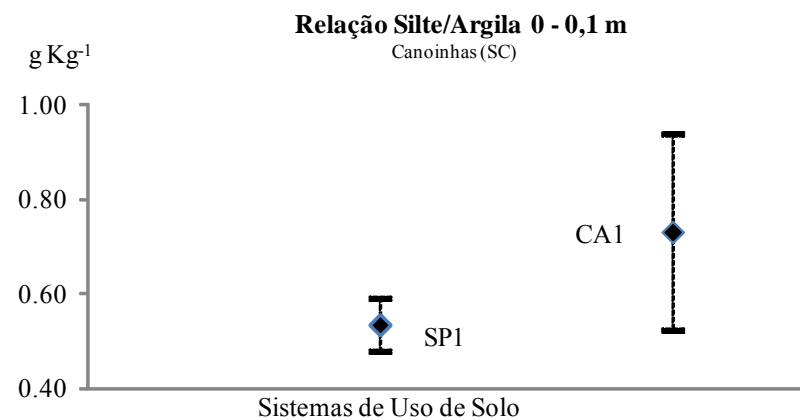
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 26



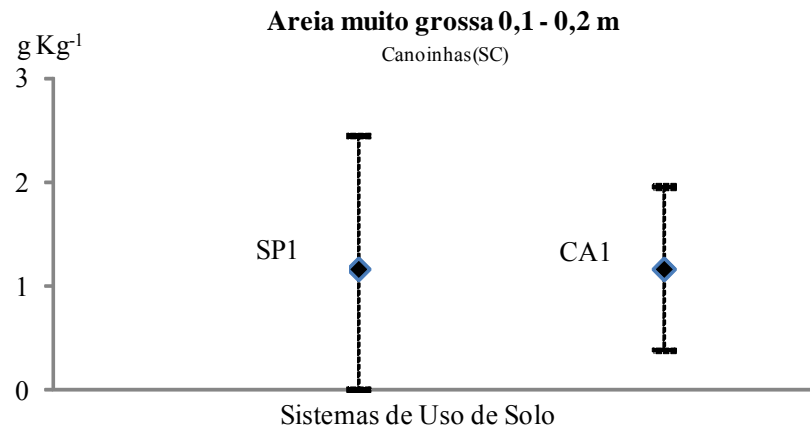
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 27



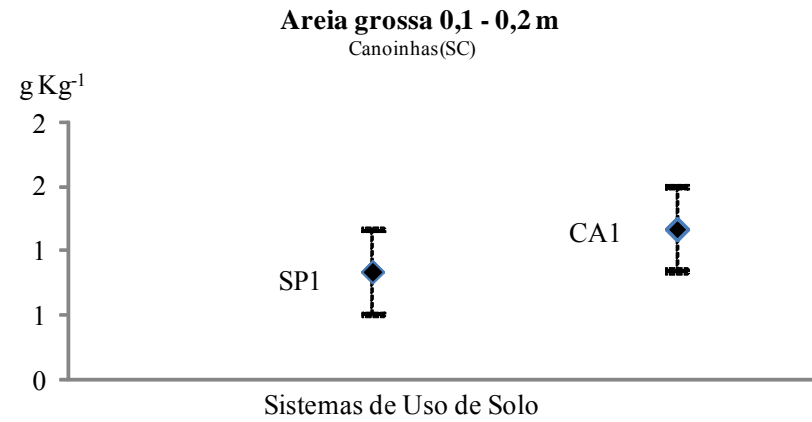
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 28



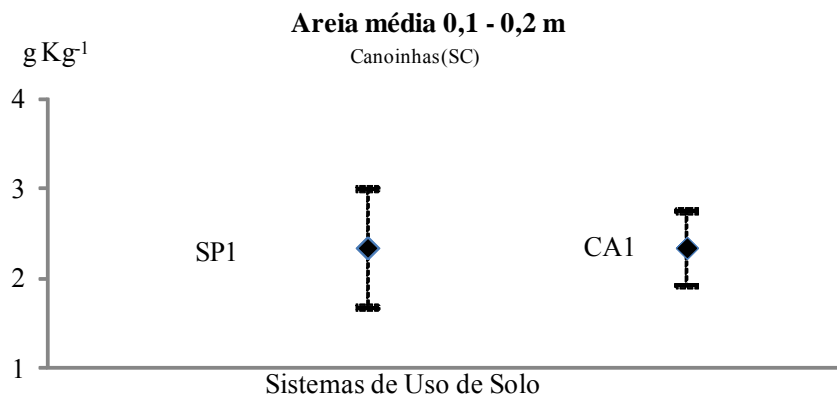
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 29



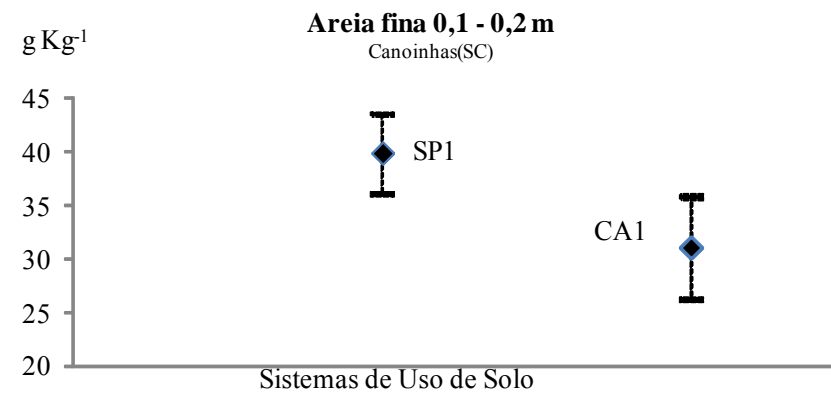
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 30



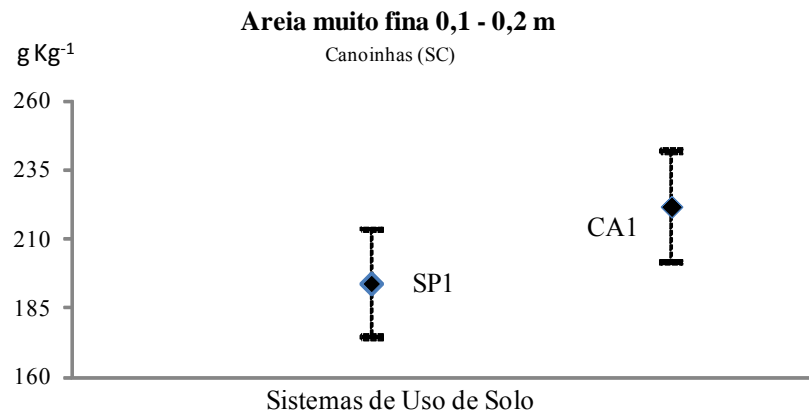
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 31



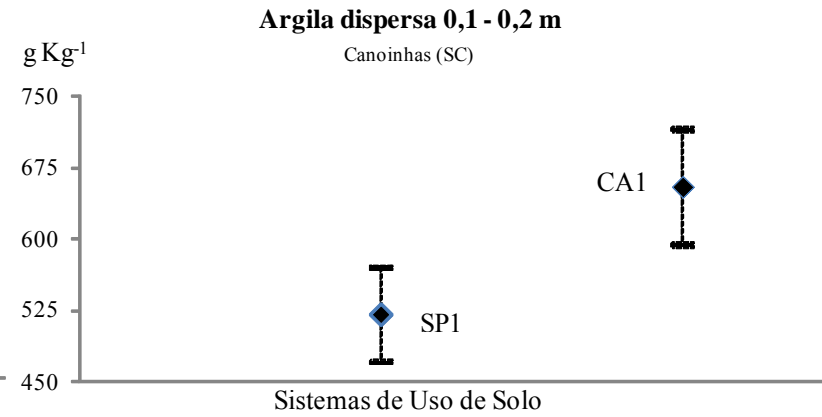
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 32



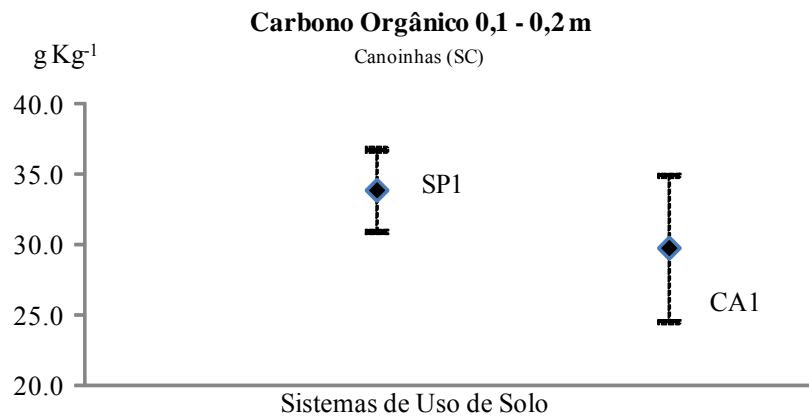
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 33



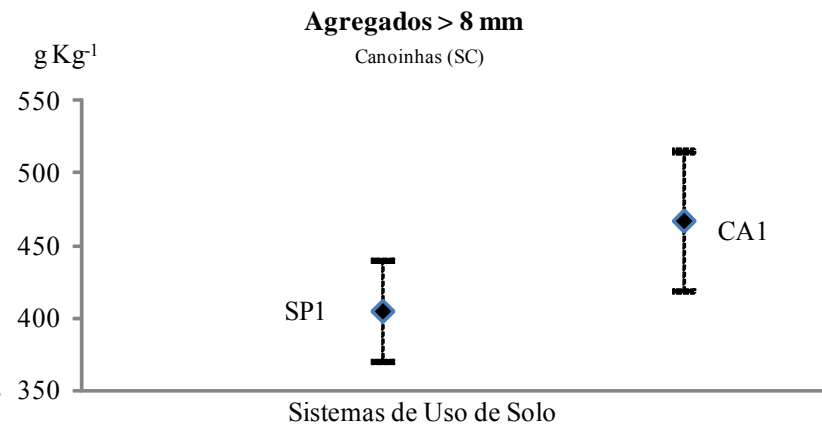
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 34



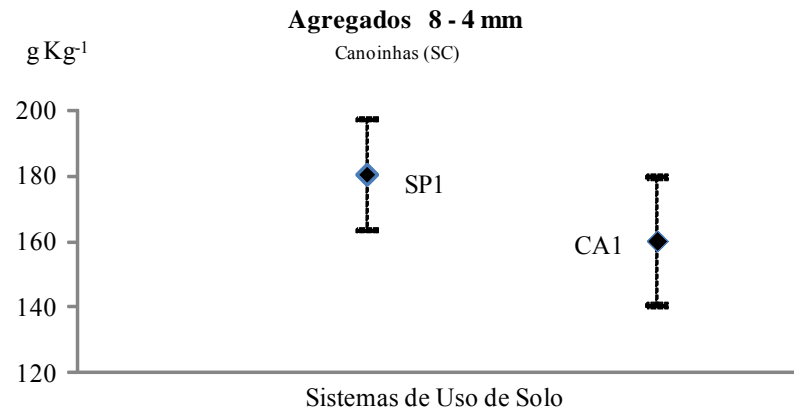
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 35



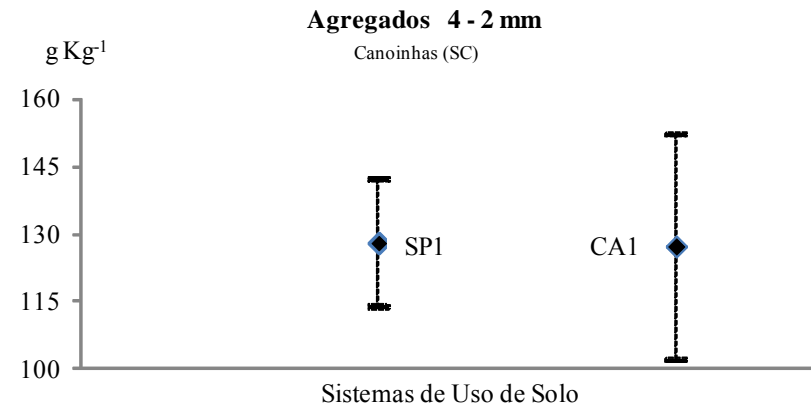
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 36



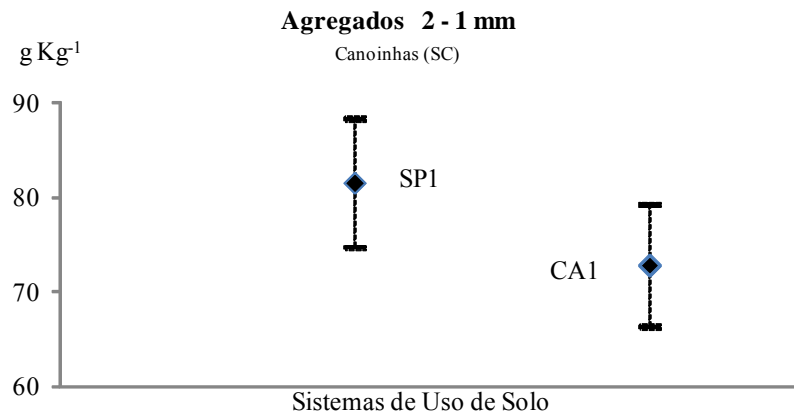
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 37



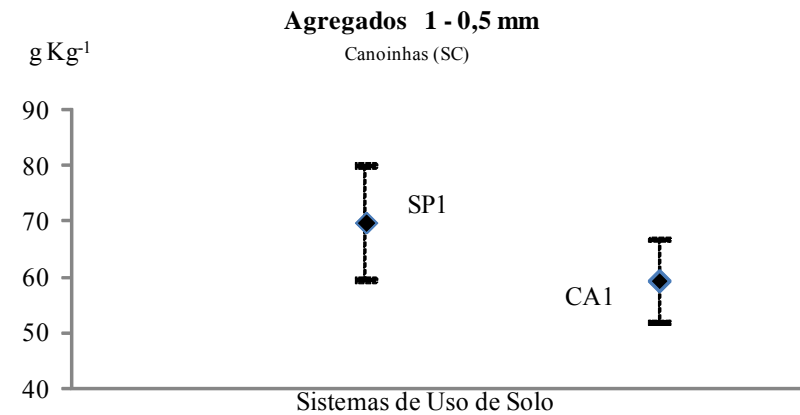
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 38



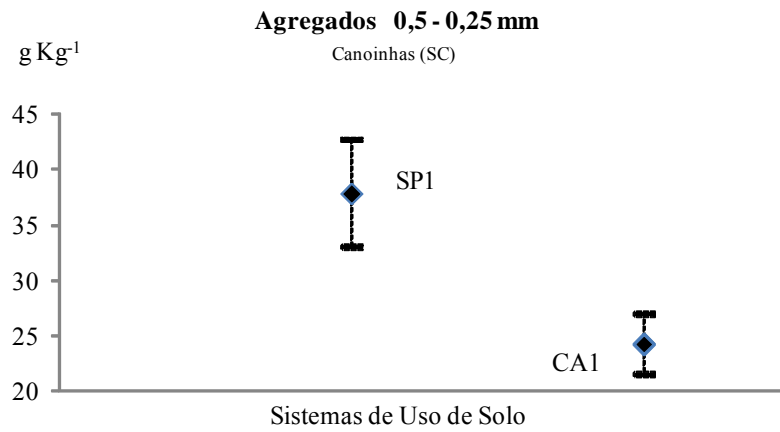
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 39



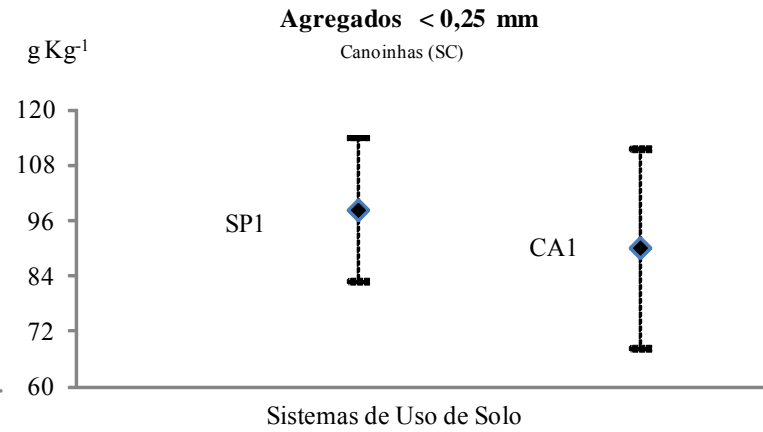
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 40



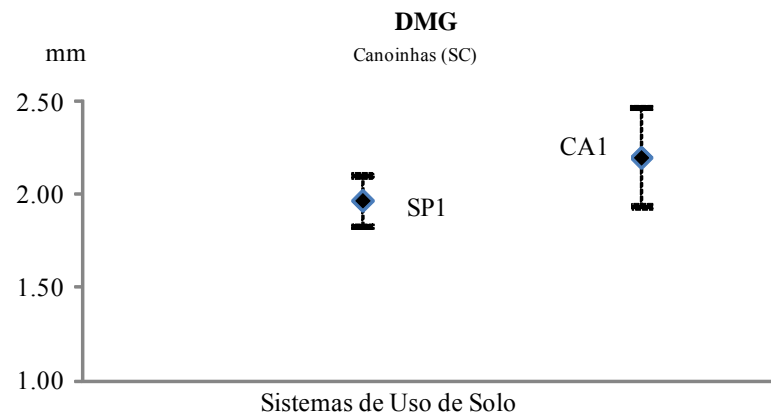
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 41



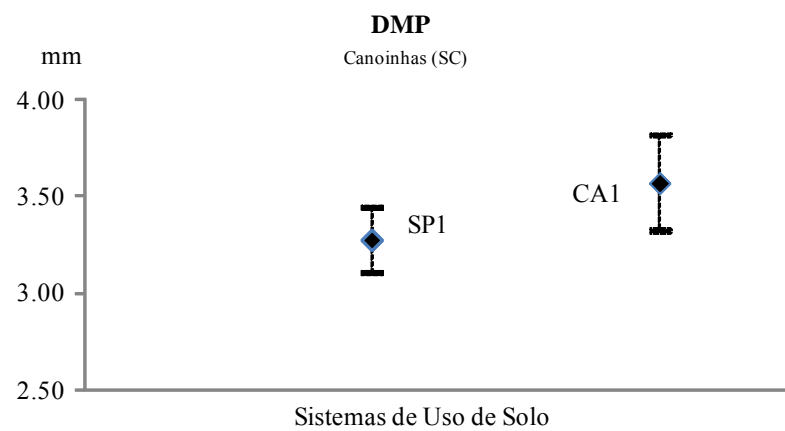
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 42



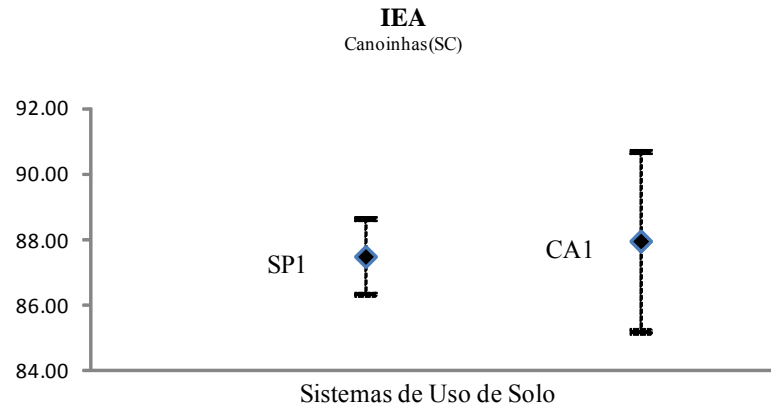
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 43



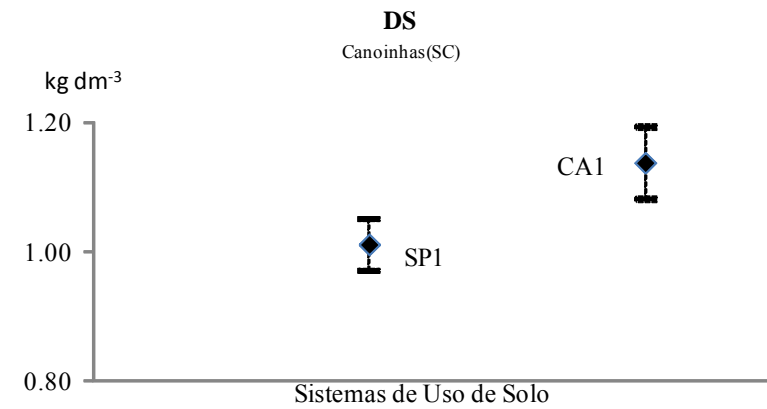
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 44



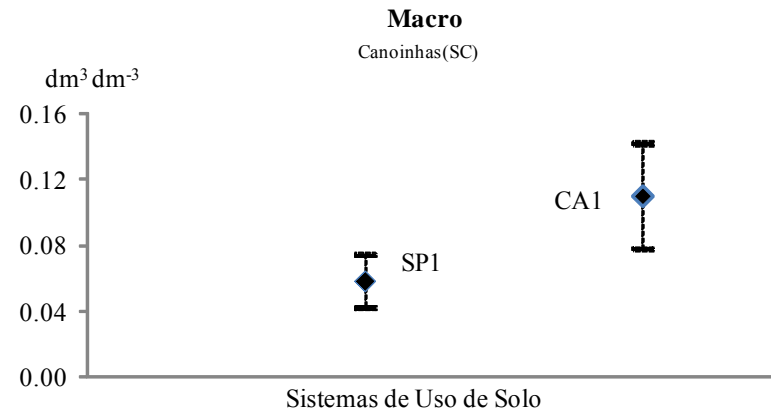
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 45



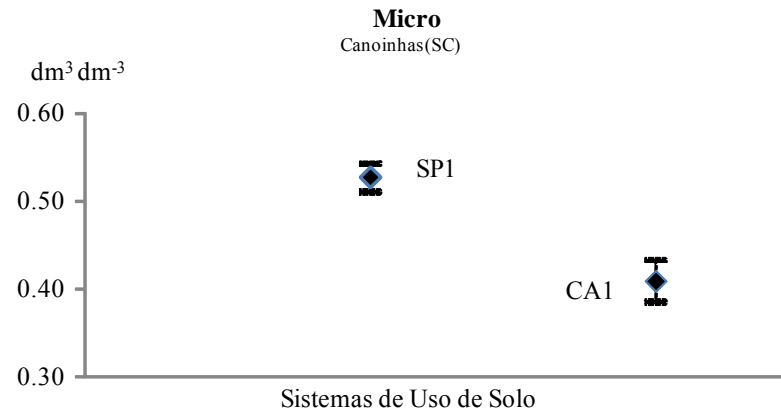
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 46



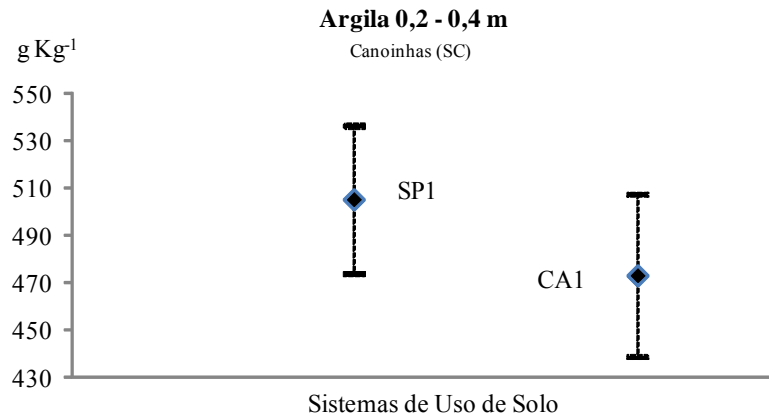
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 47



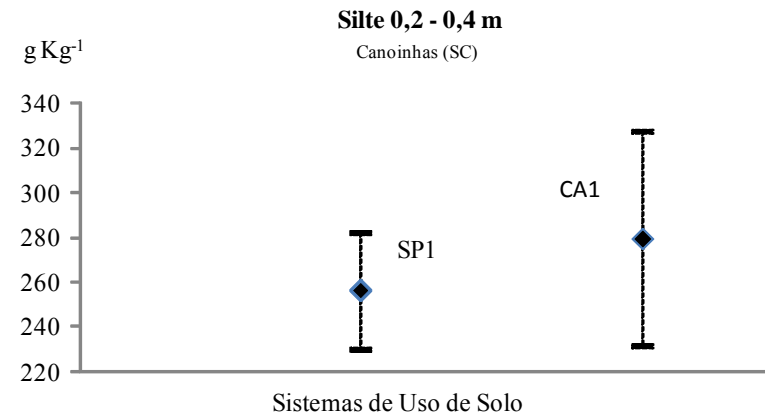
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 48



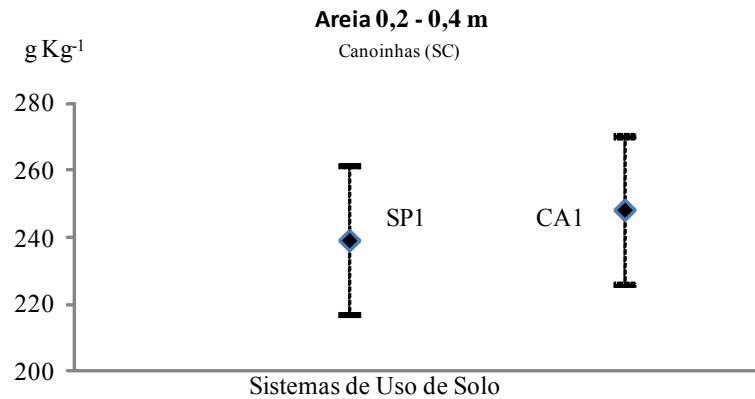
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 49



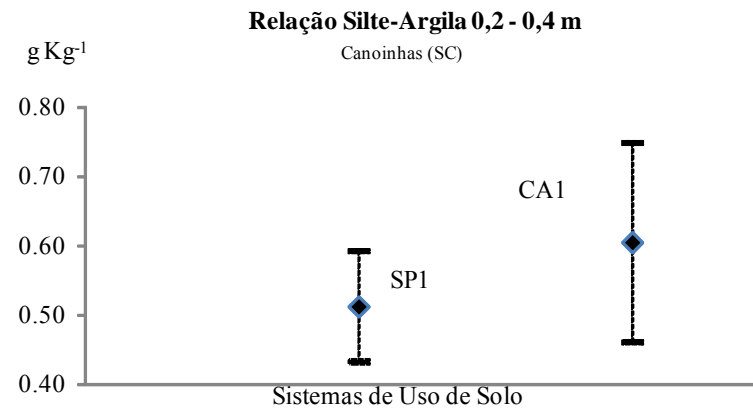
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 50



SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 51



SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 52

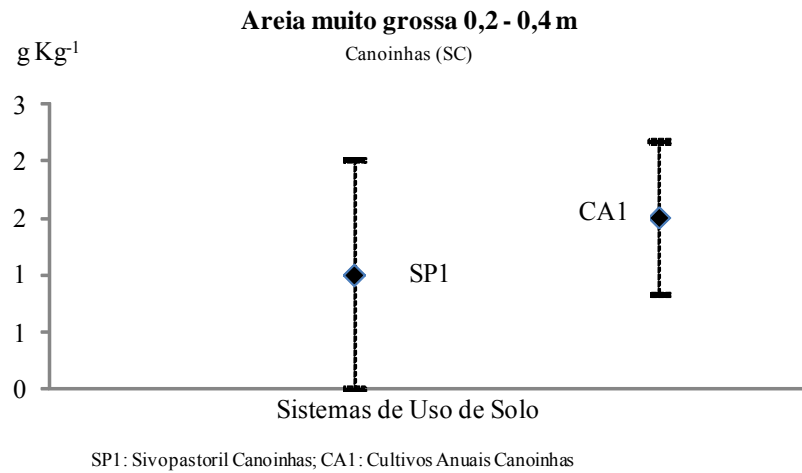


Gráfico 53

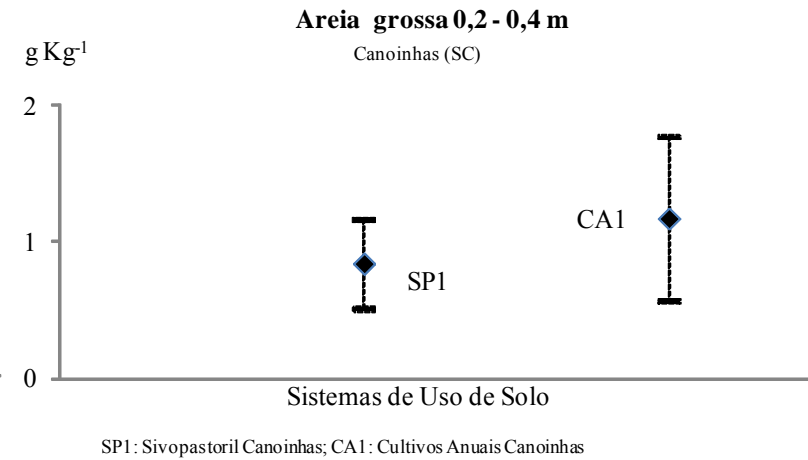


Gráfico 54

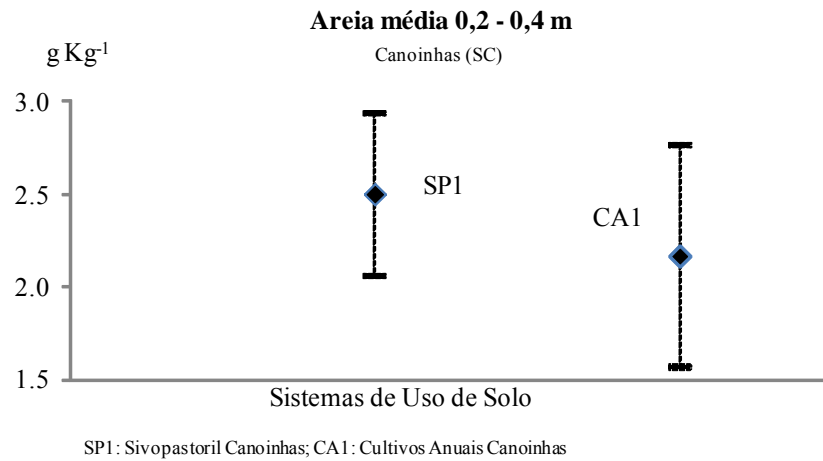


Gráfico 55

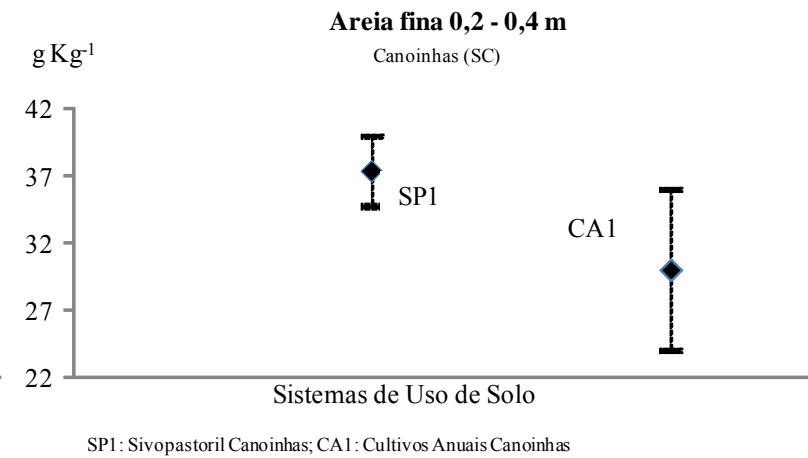
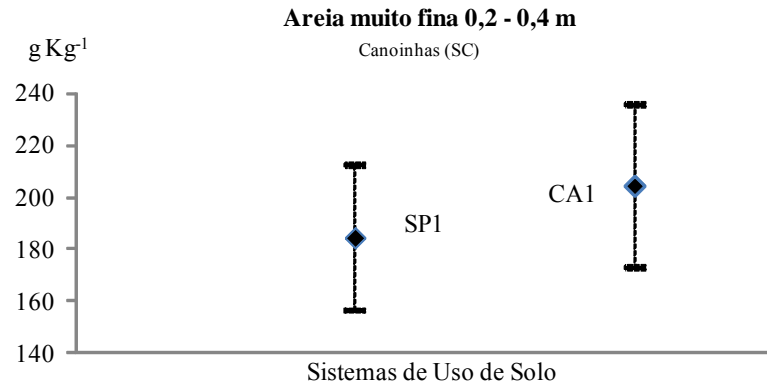
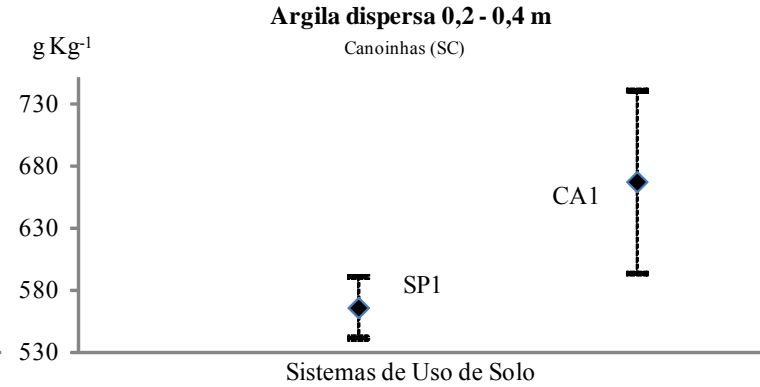


Gráfico 56



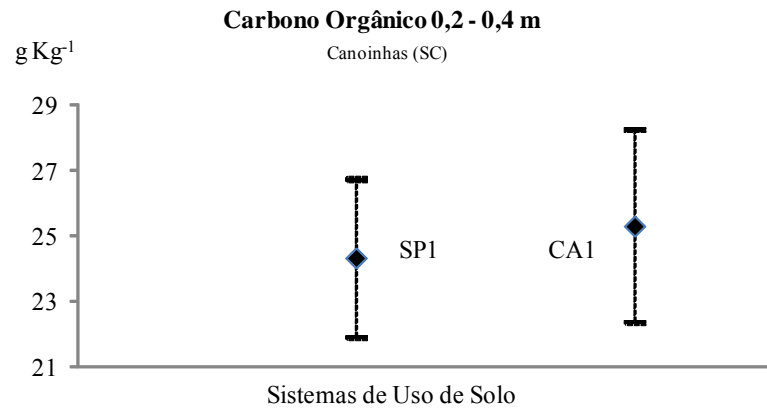
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 57



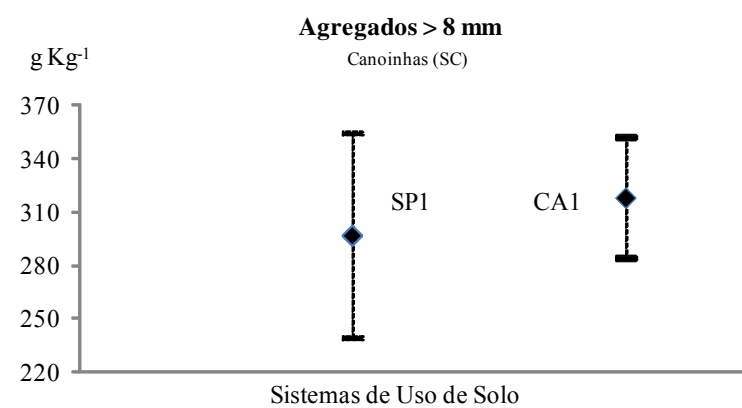
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 58



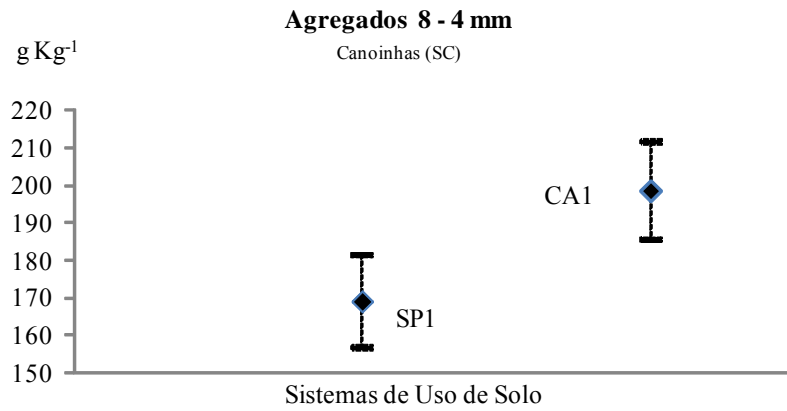
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 59



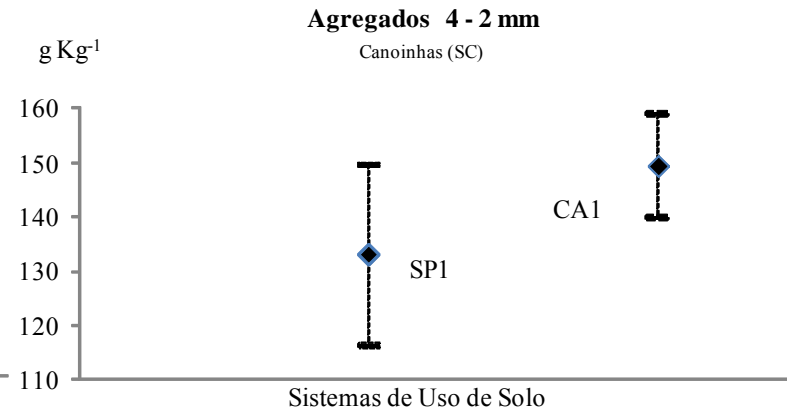
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 60



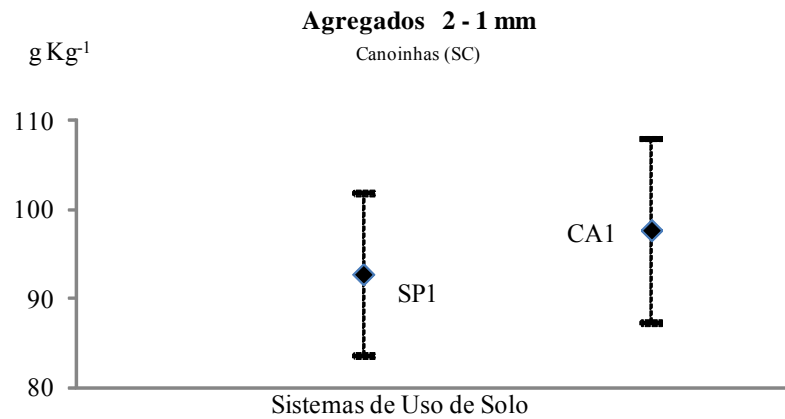
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 61



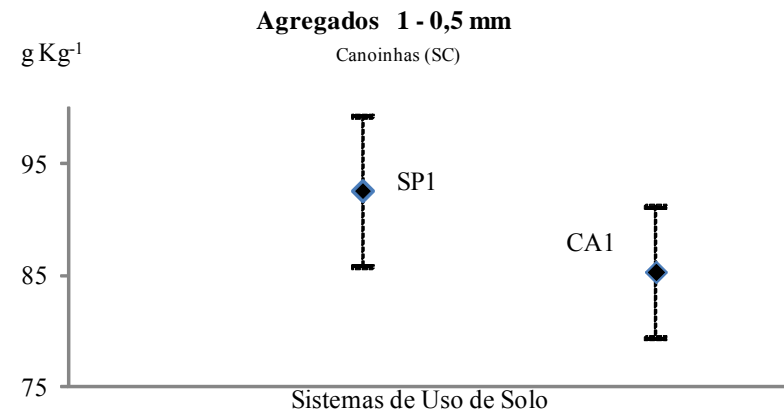
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 62



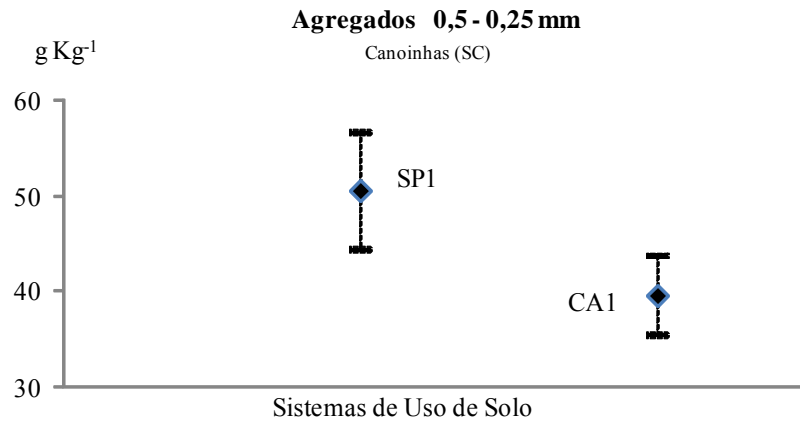
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 63



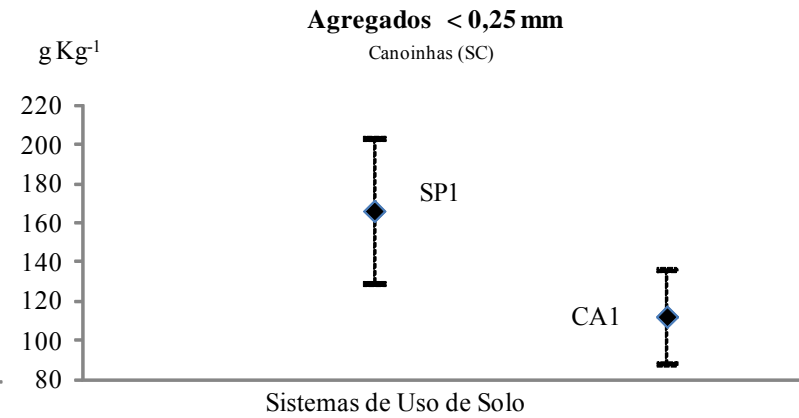
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 64



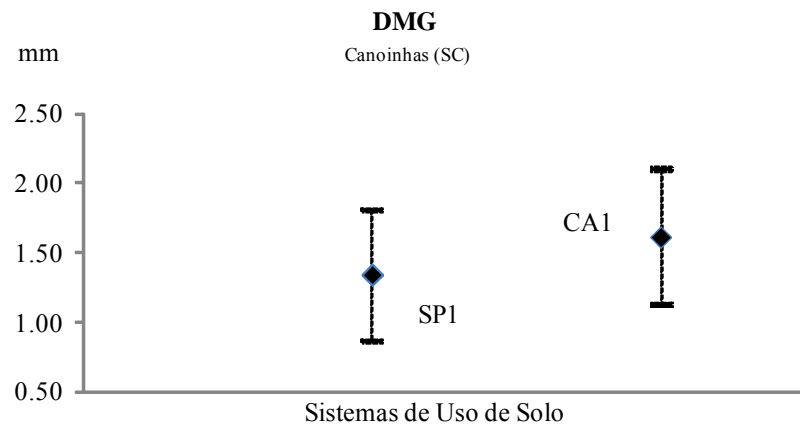
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 65



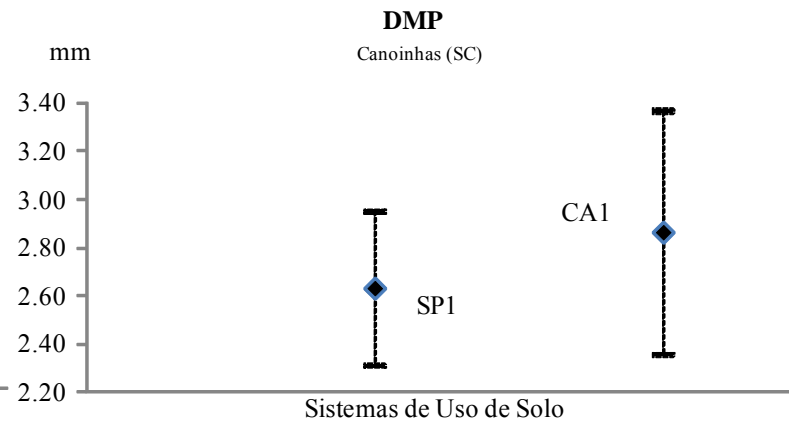
SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 66



SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 67



SP1: Sivopastoril Canoinhas; CA1: Cultivos Anuais Canoinhas

Gráfico 68

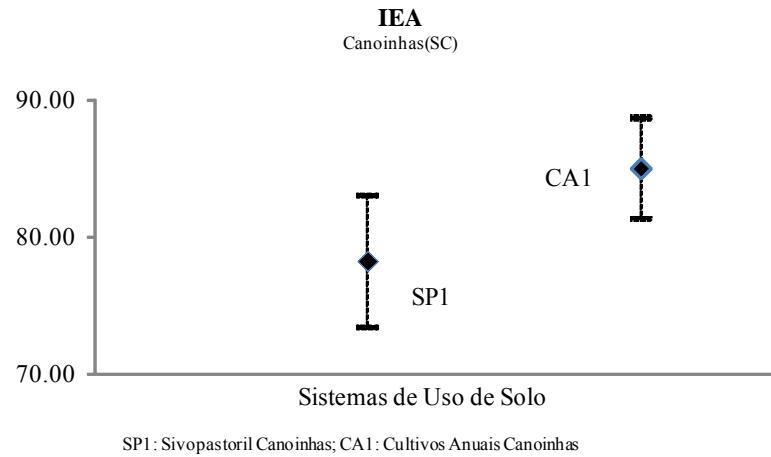


Gráfico 69

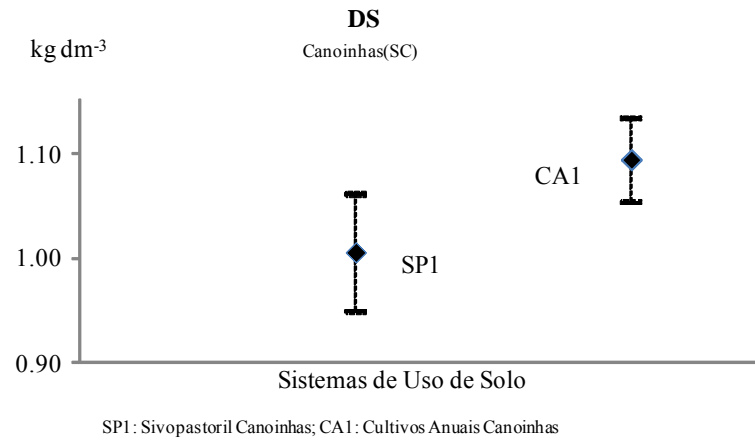


Gráfico 70

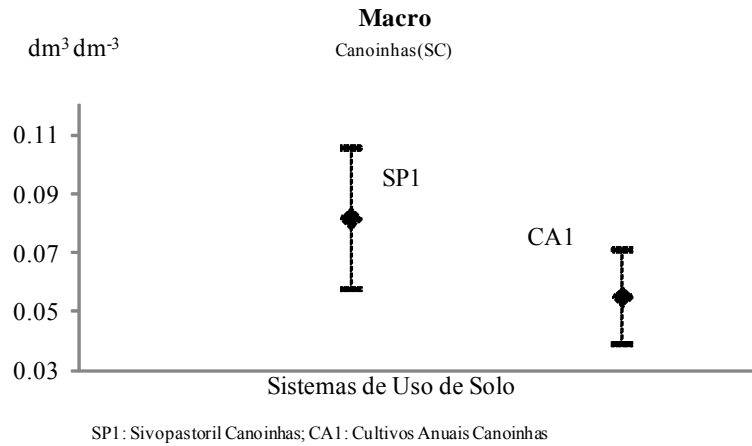


Gráfico 71

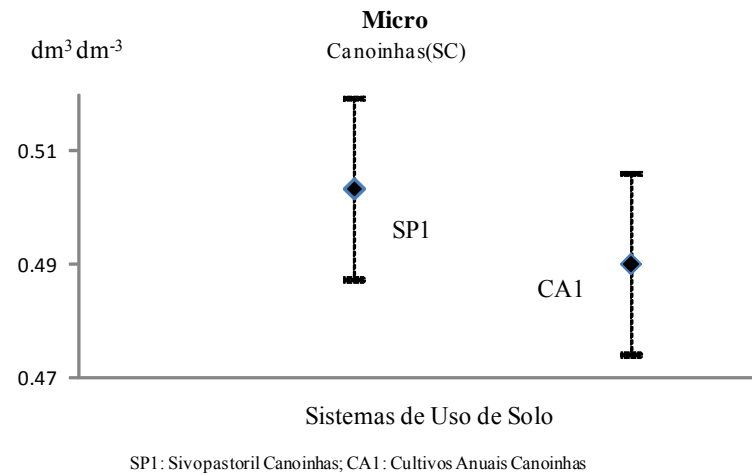
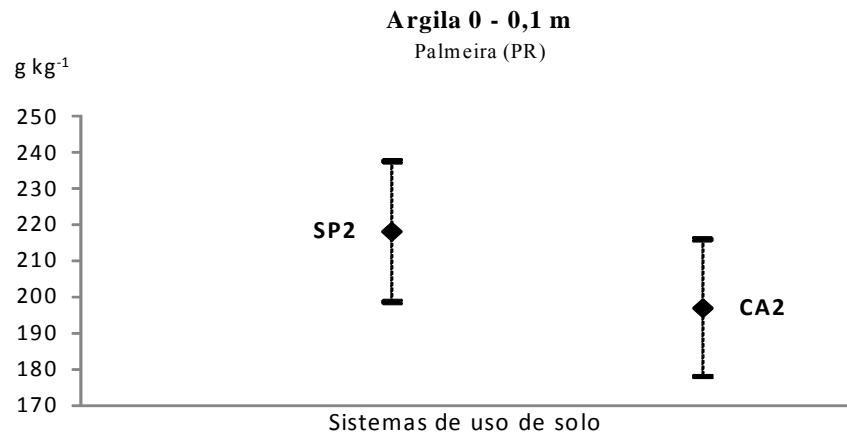
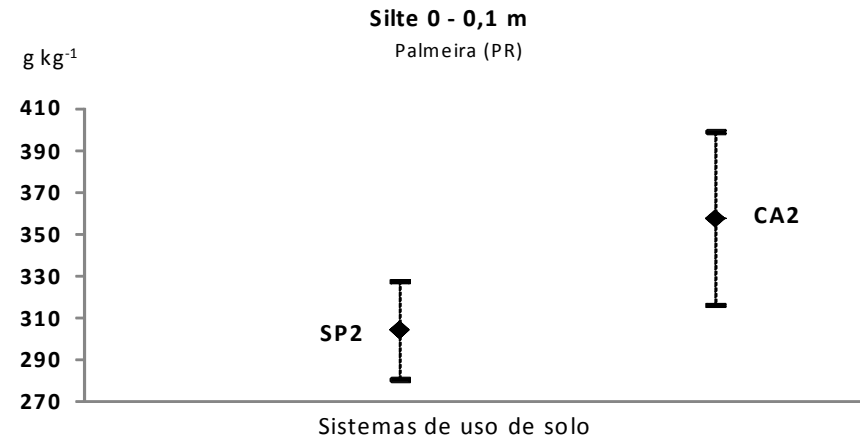


Gráfico 72



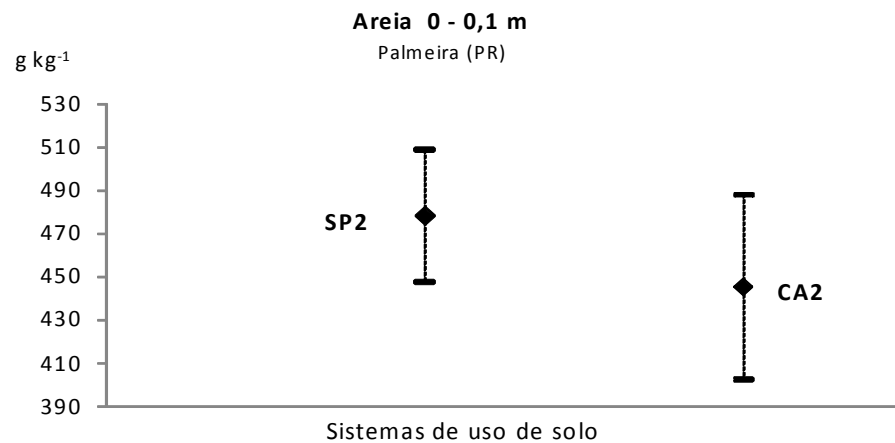
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 73



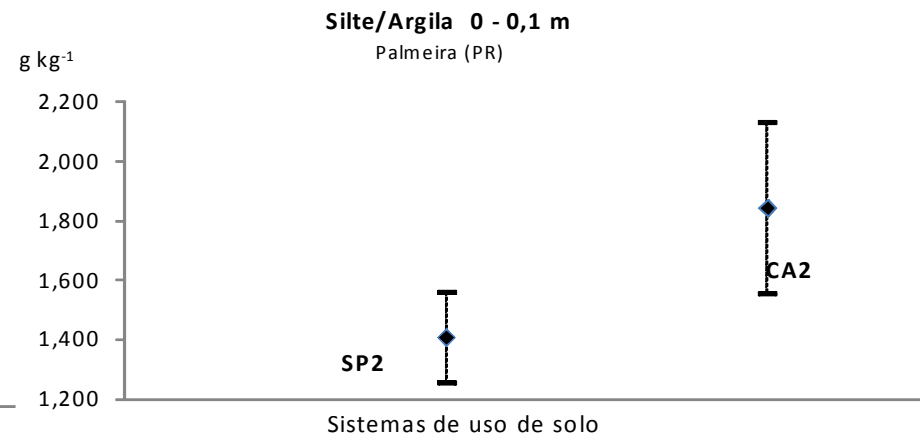
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 74



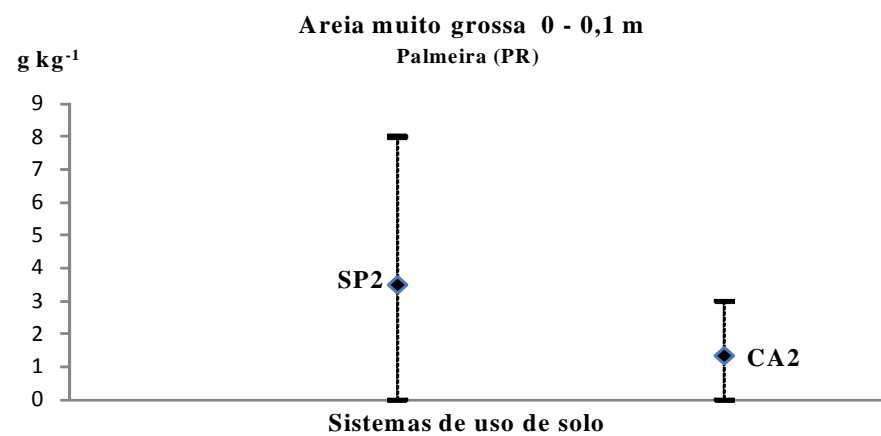
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 75



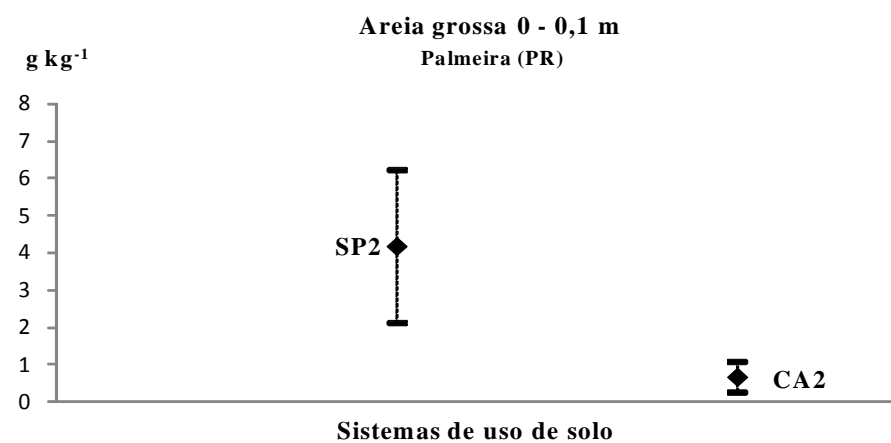
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 76



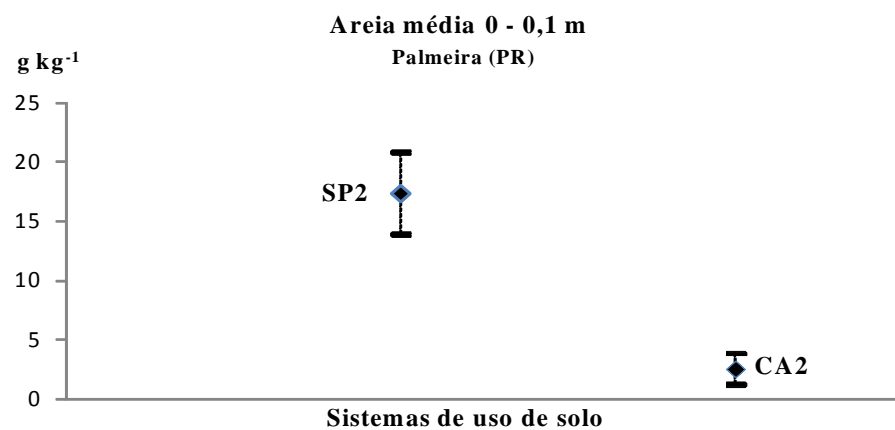
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 77



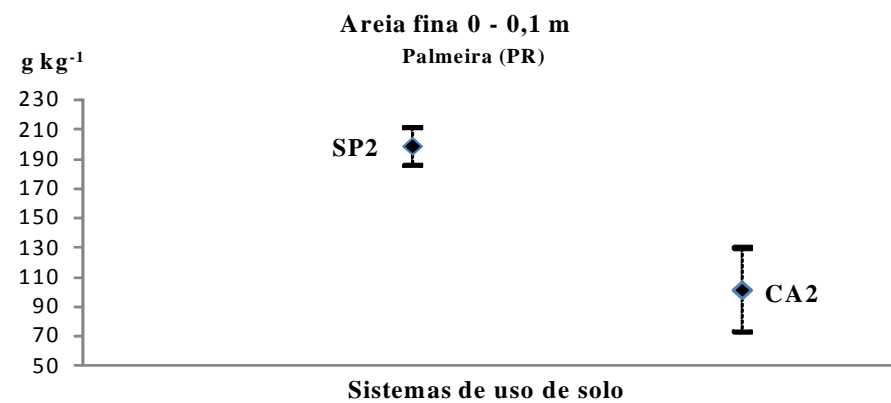
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 78



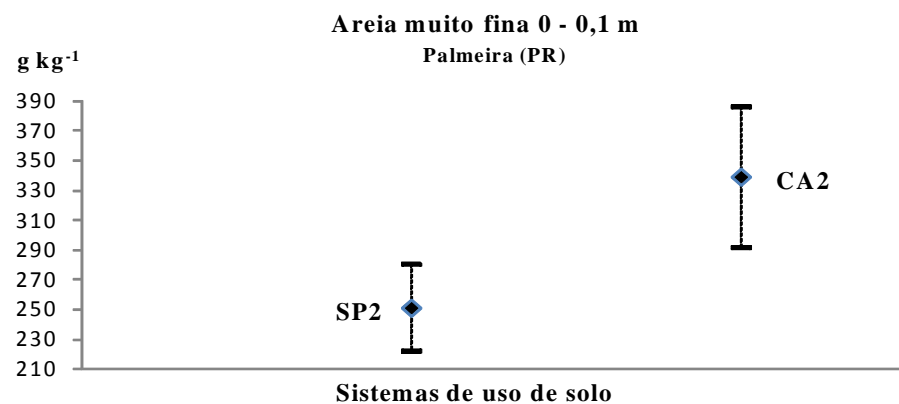
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 79



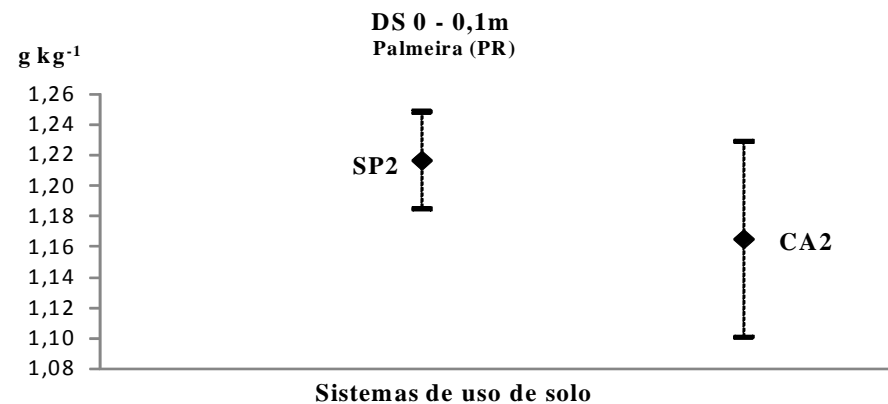
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 80



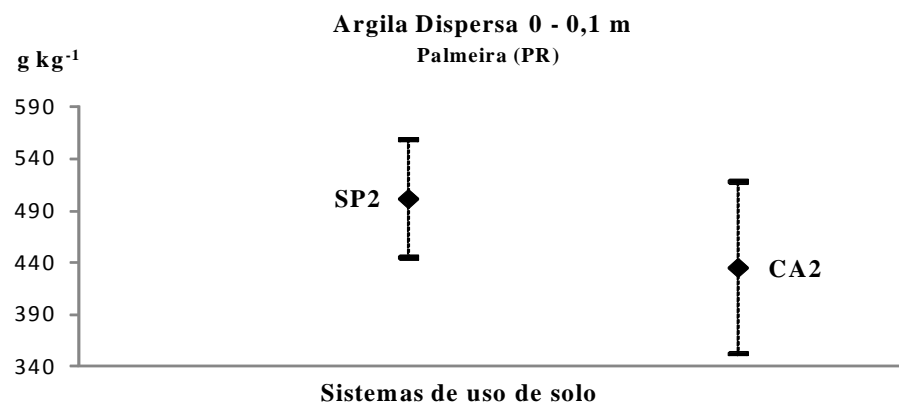
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 81



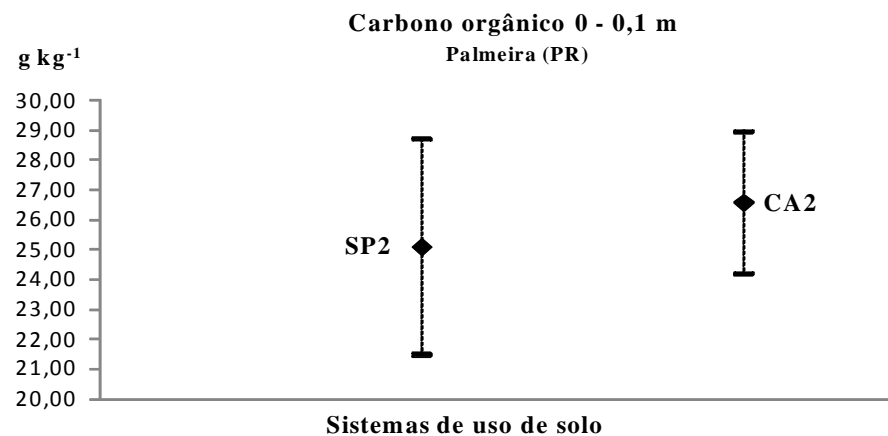
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 82



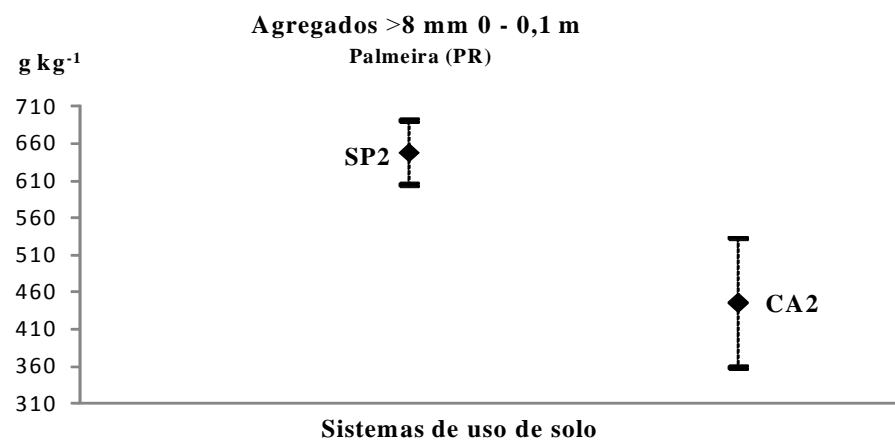
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 83



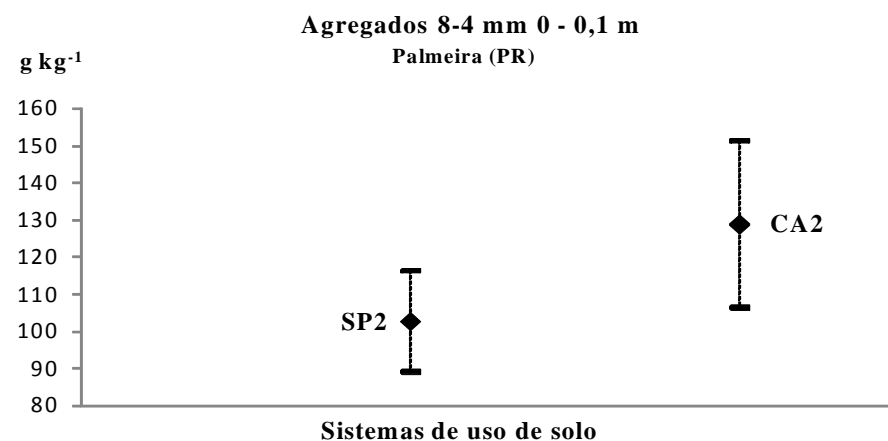
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 84



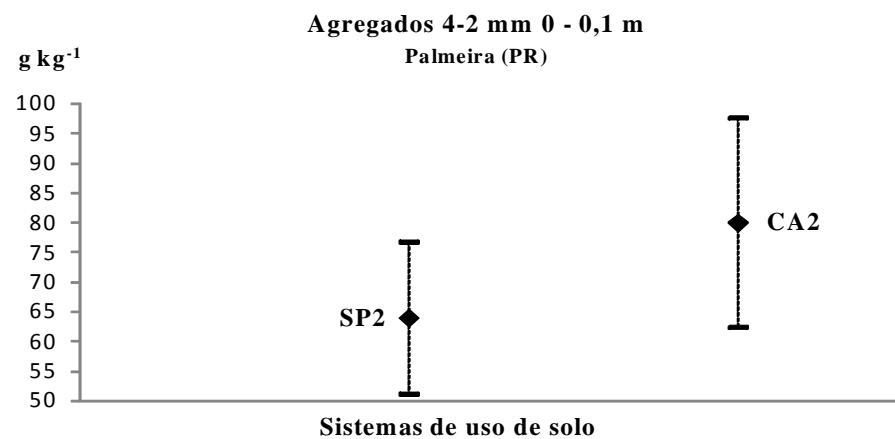
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 85



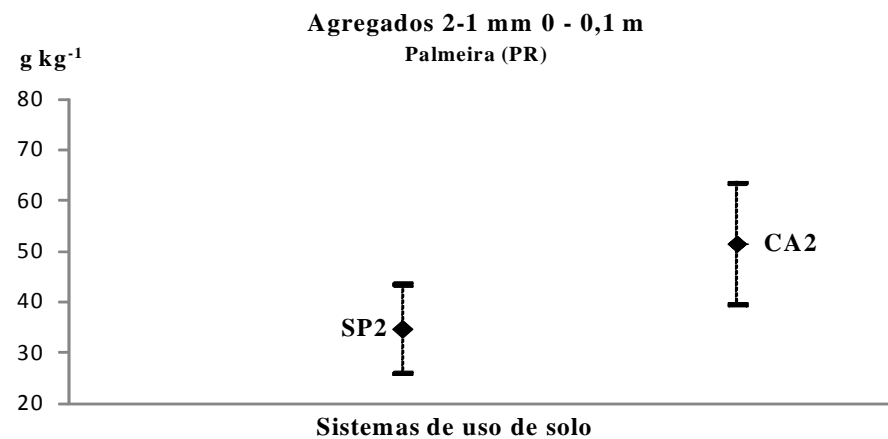
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 86



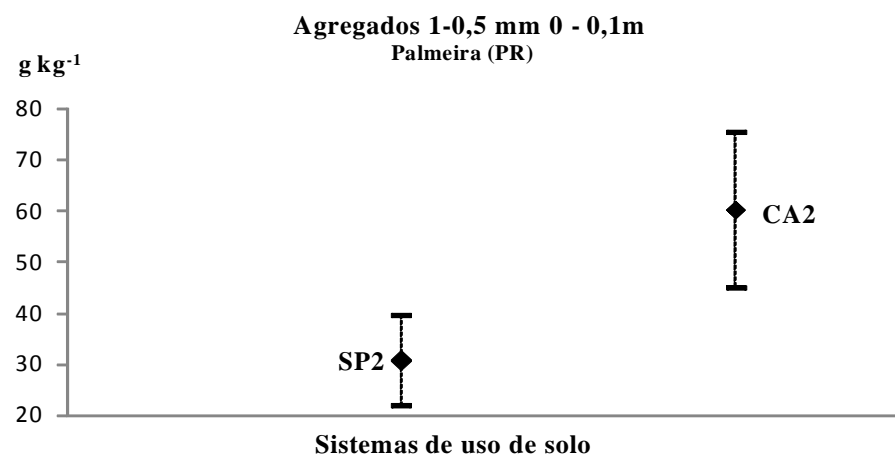
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 87



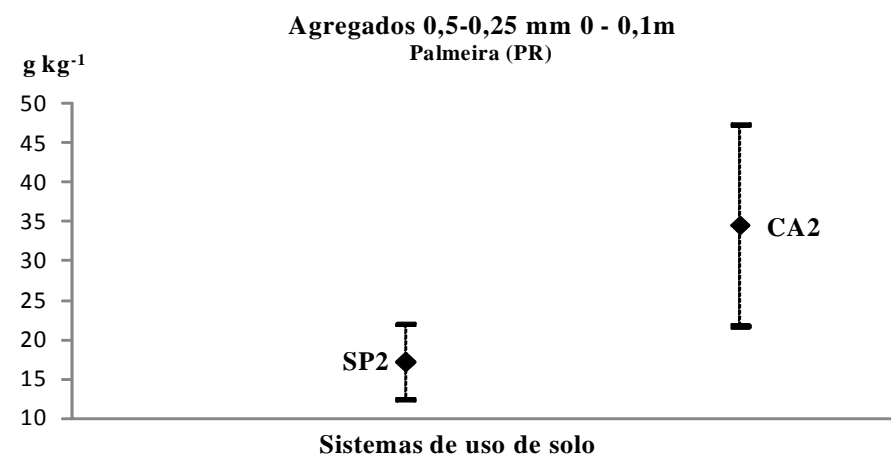
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 88



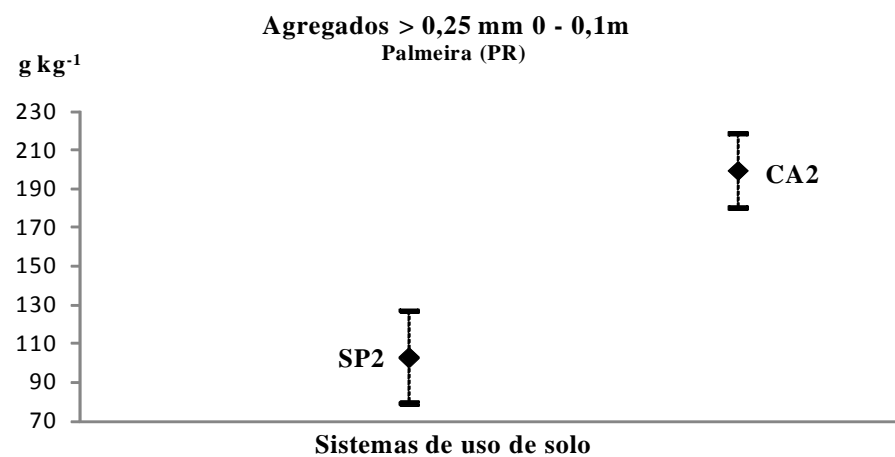
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 89



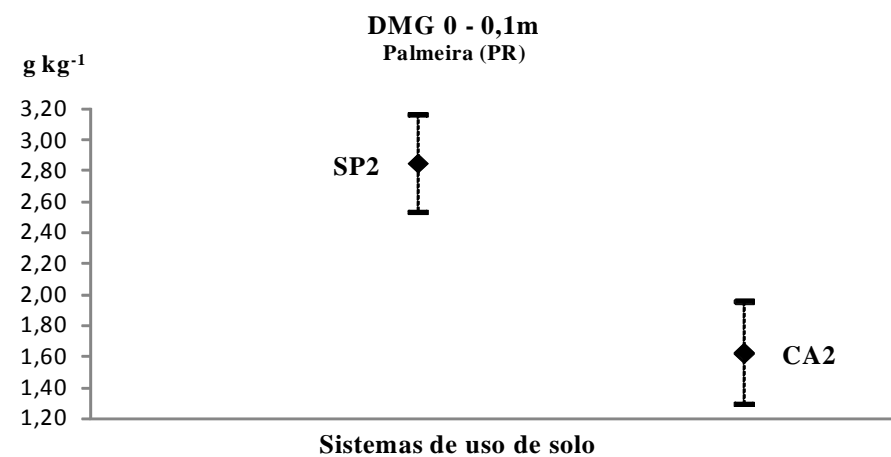
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 90



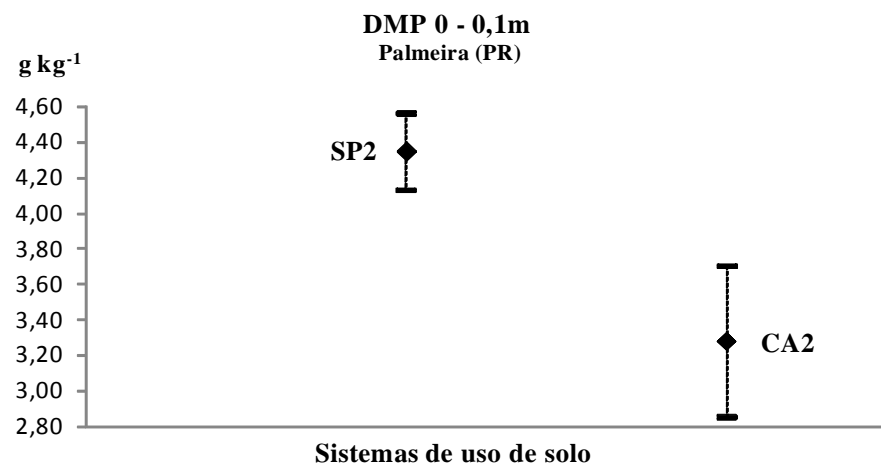
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 91

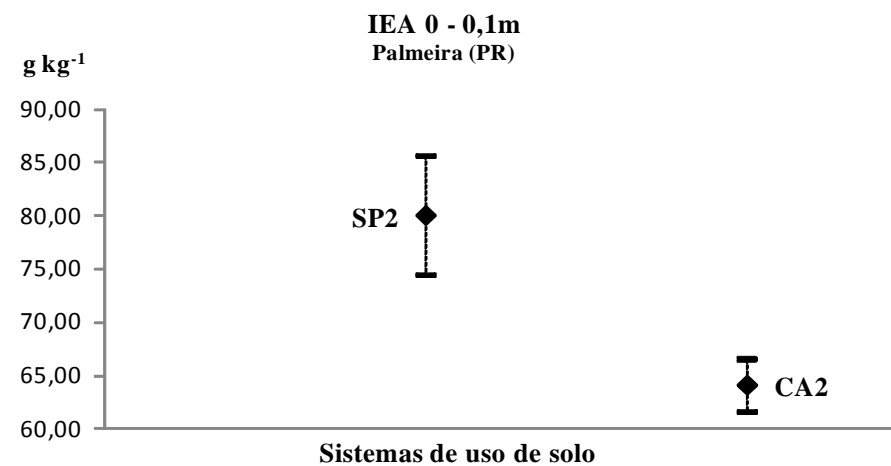


SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

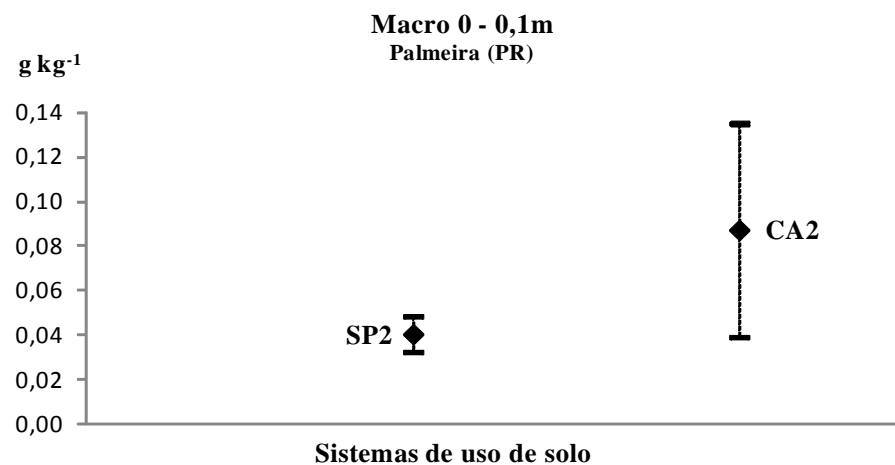
Gráfico 92



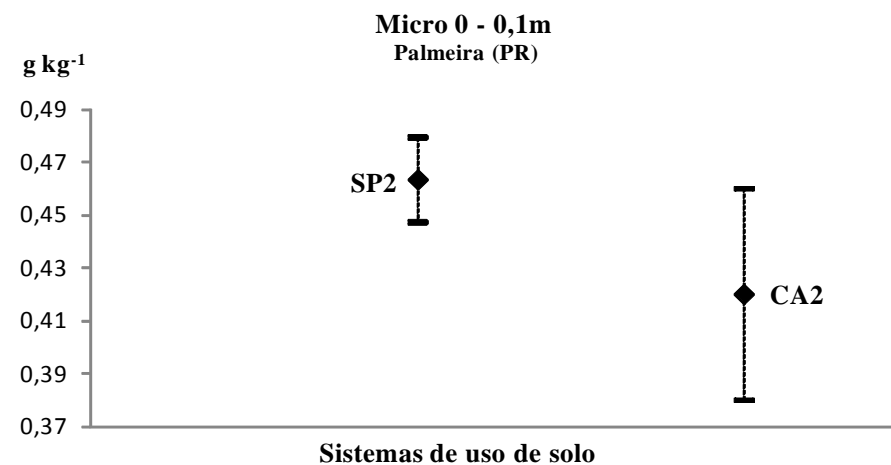
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 93



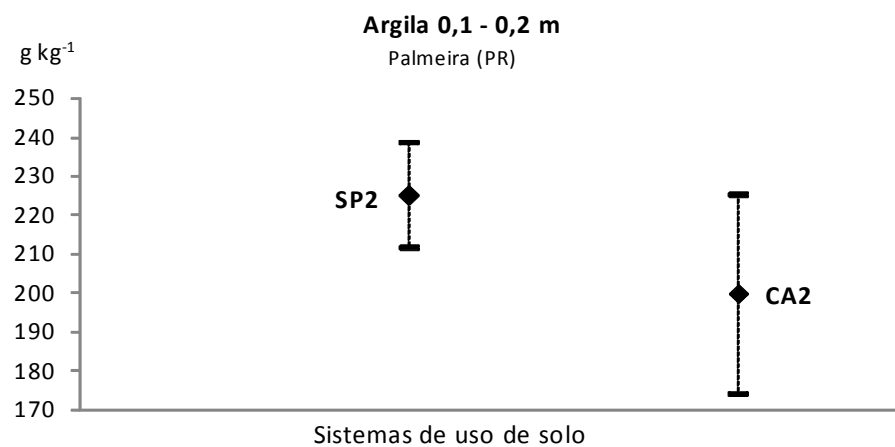
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 94



SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 95

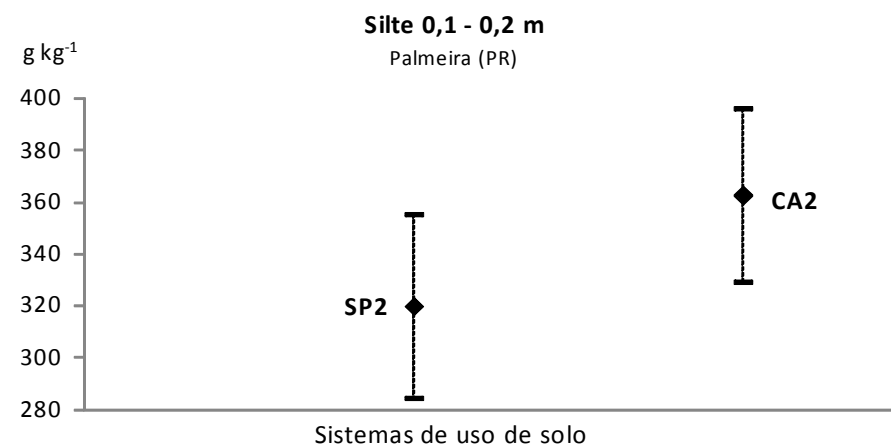


SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 96



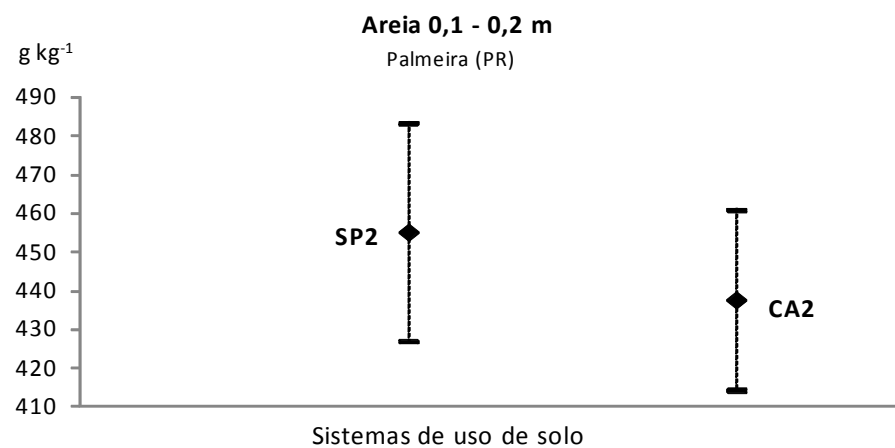
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 97



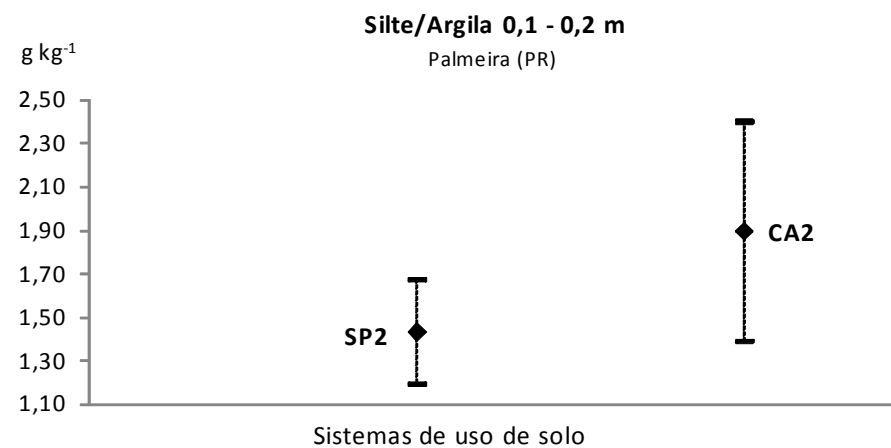
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 98



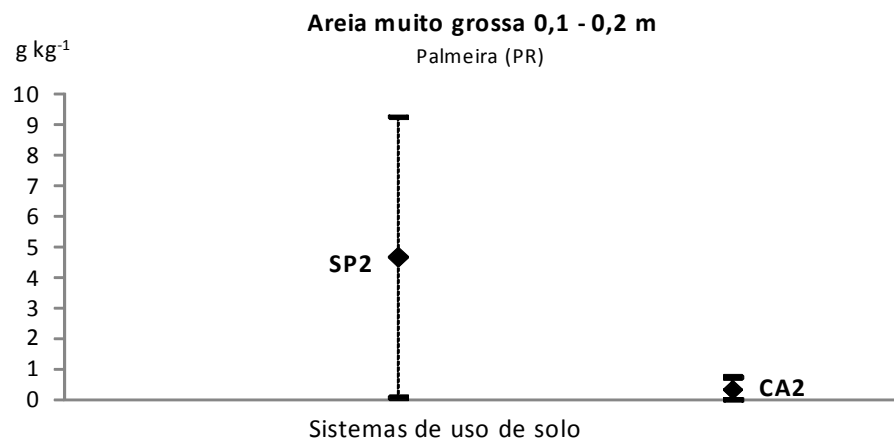
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 99



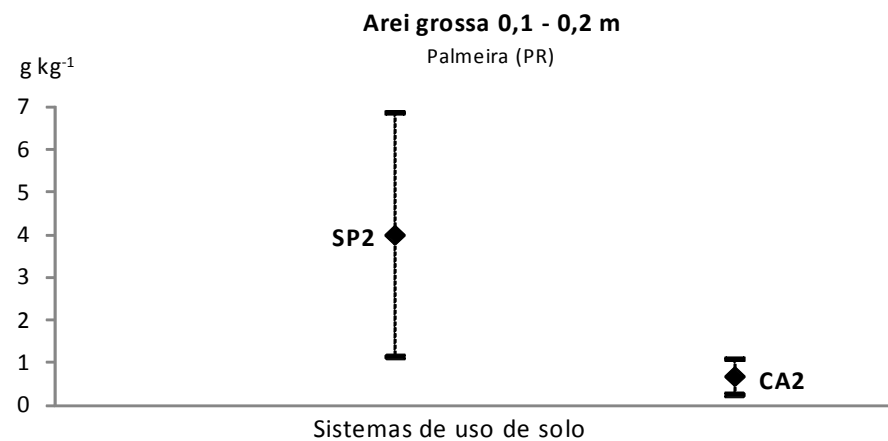
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 100



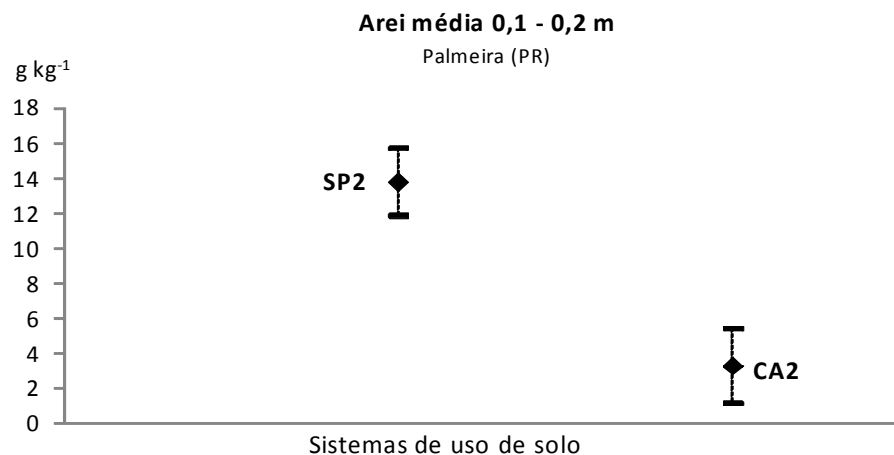
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 101



SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 102



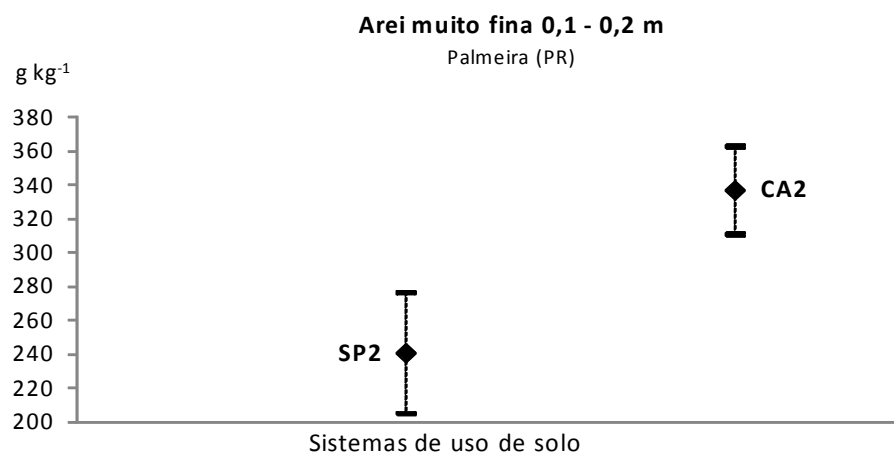
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 103

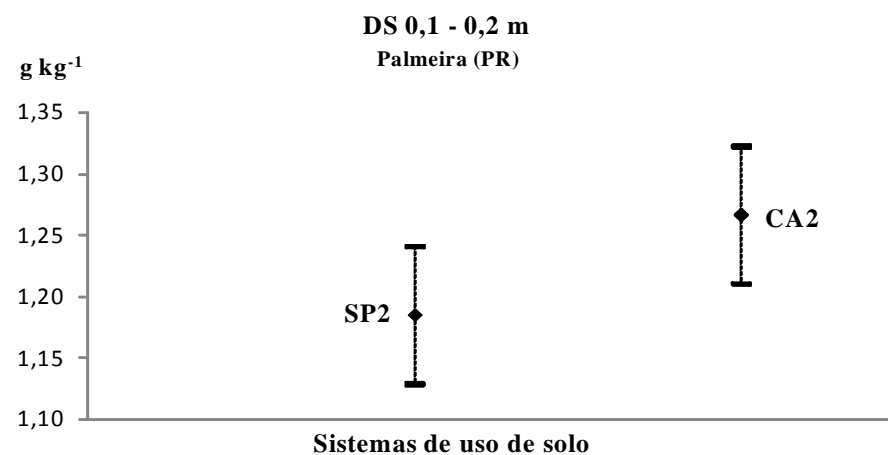


SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

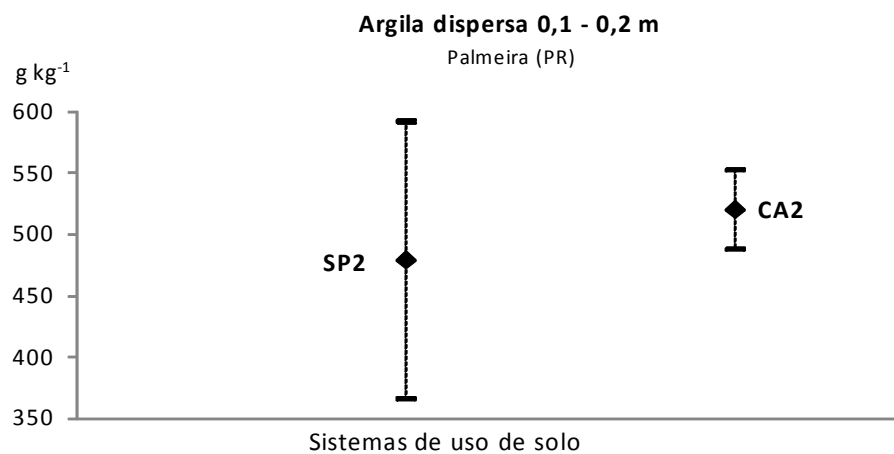
Gráfico 104



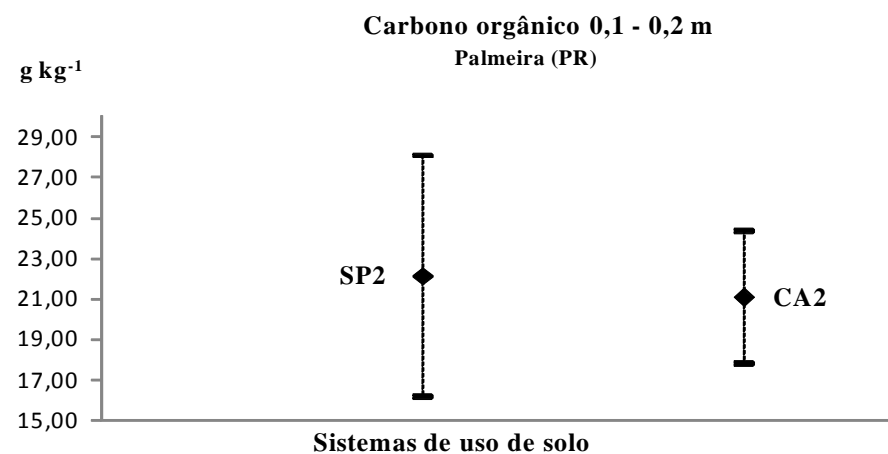
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 105



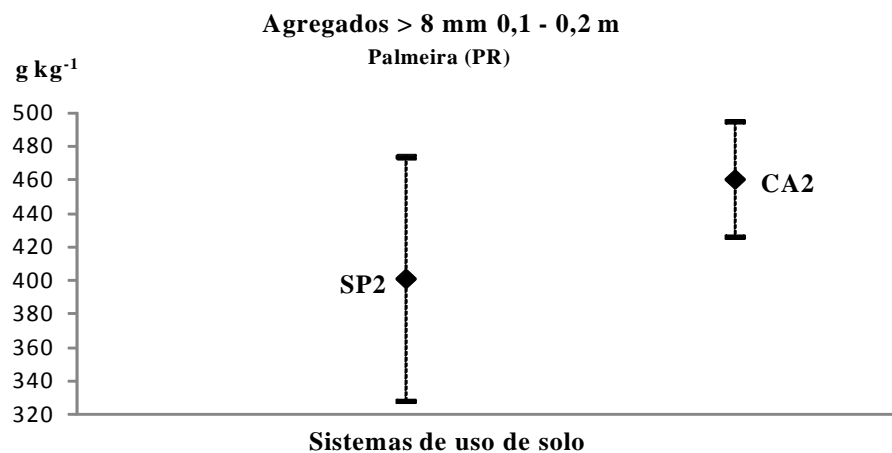
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 106



SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 107

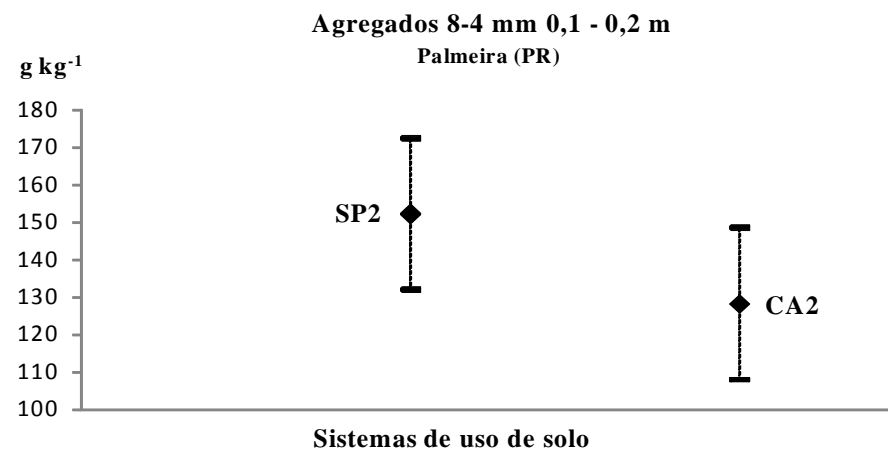


SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 108



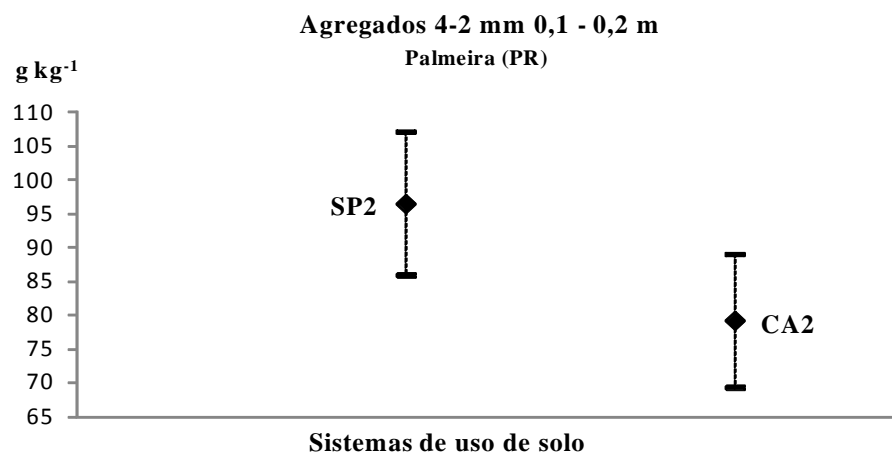
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 109



SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 110



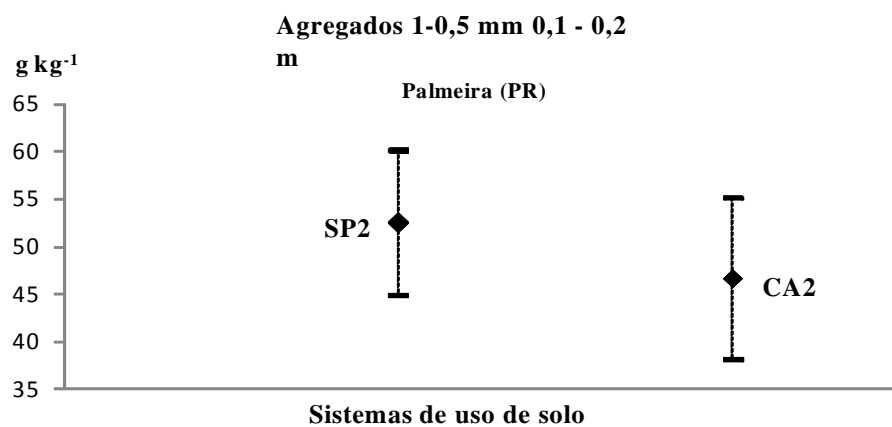
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 111



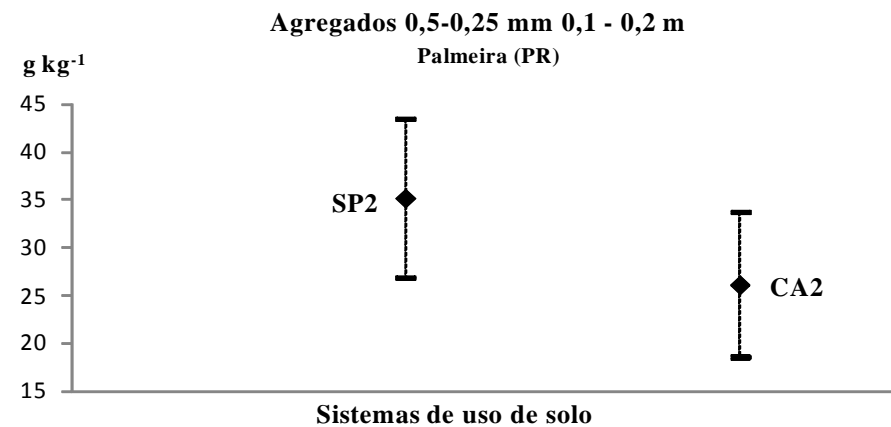
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 112



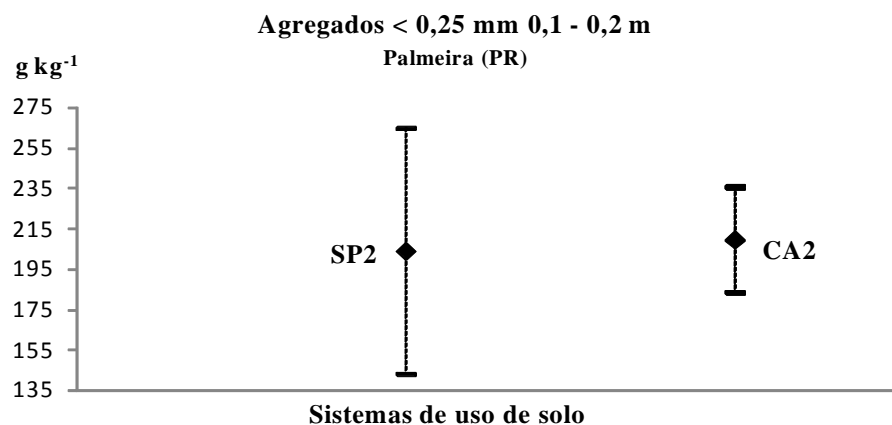
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 113



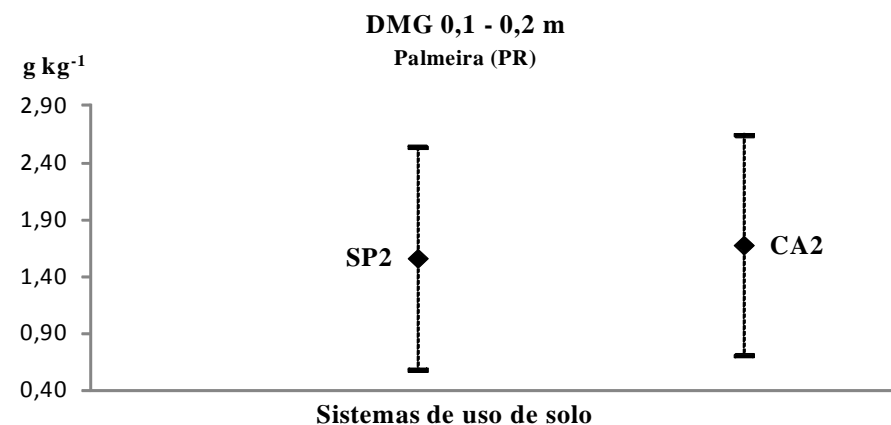
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 114



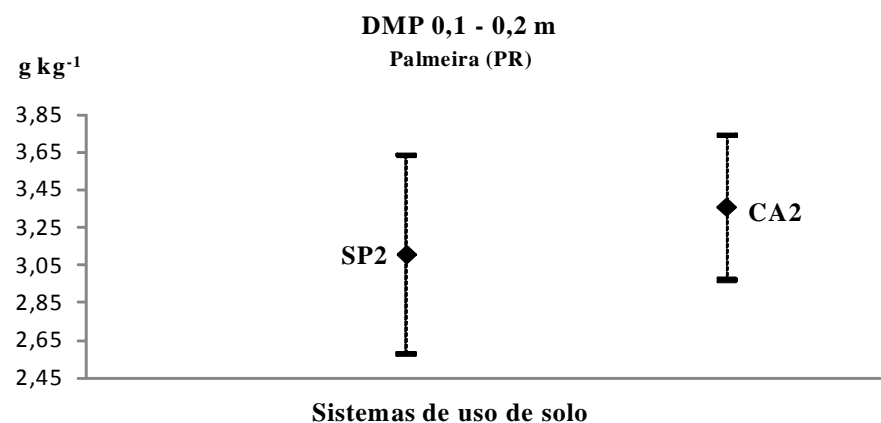
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 115



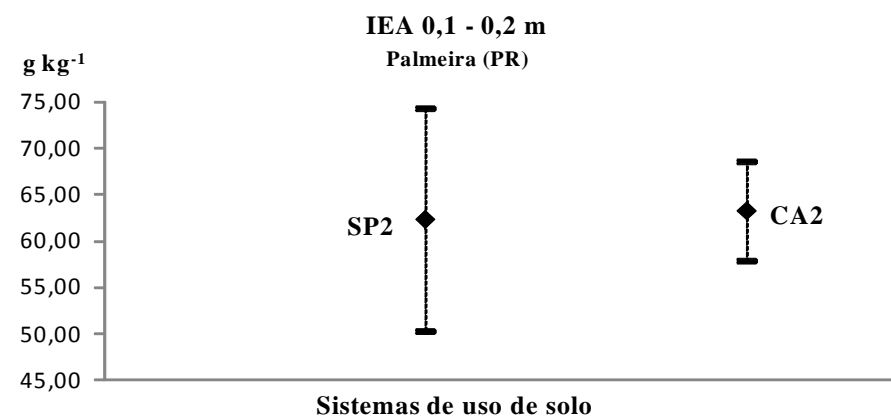
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 116



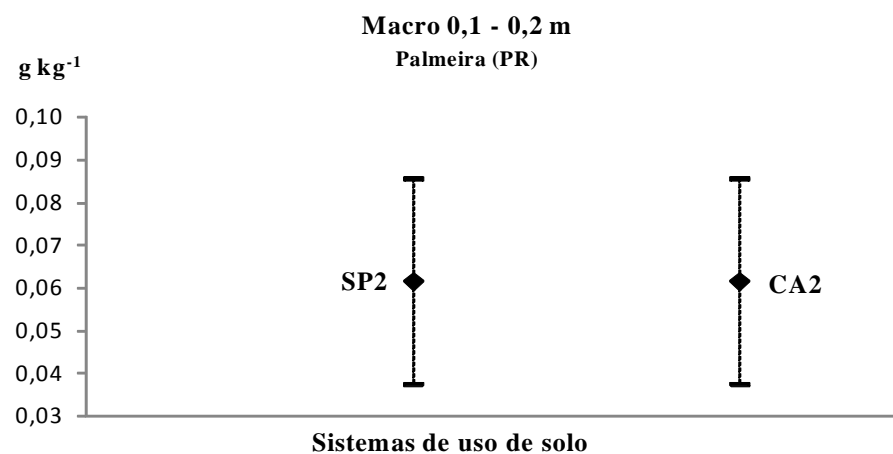
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 117



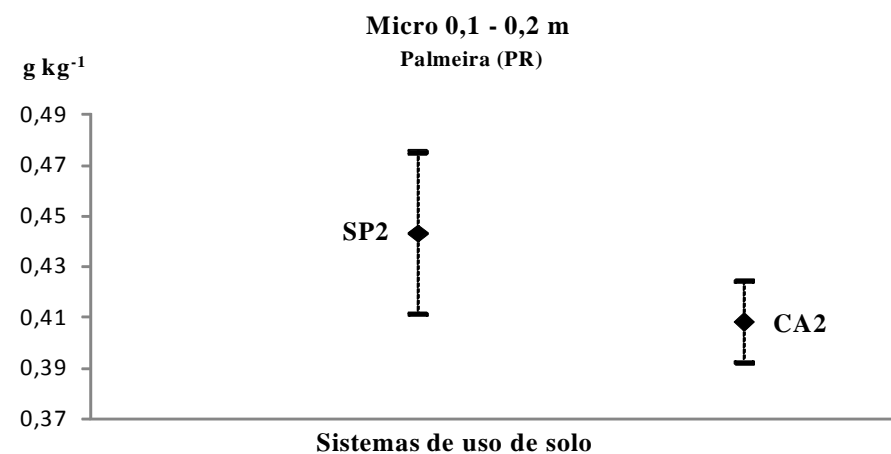
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 118



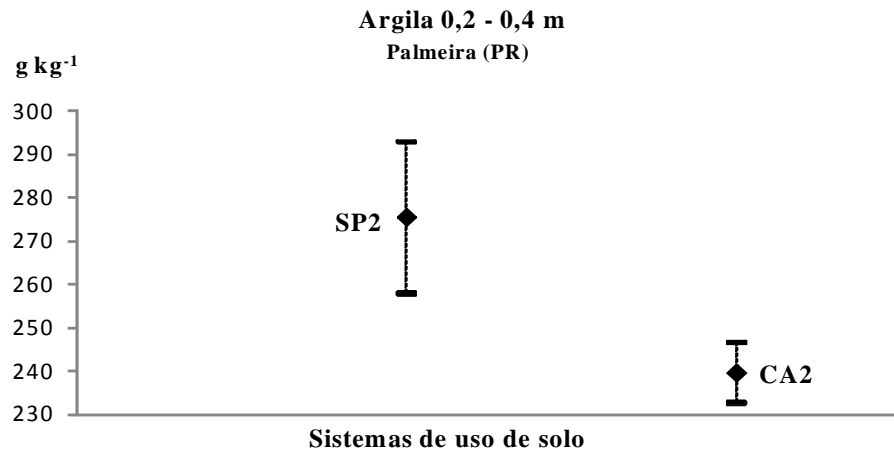
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 119



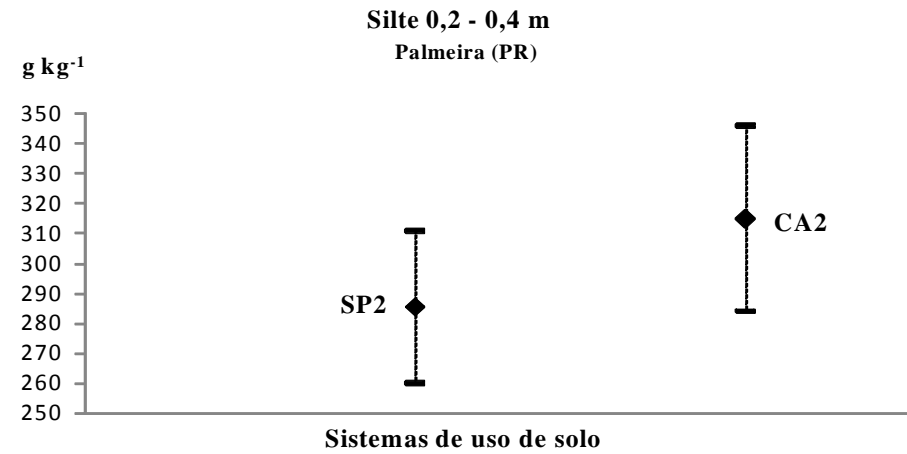
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 120



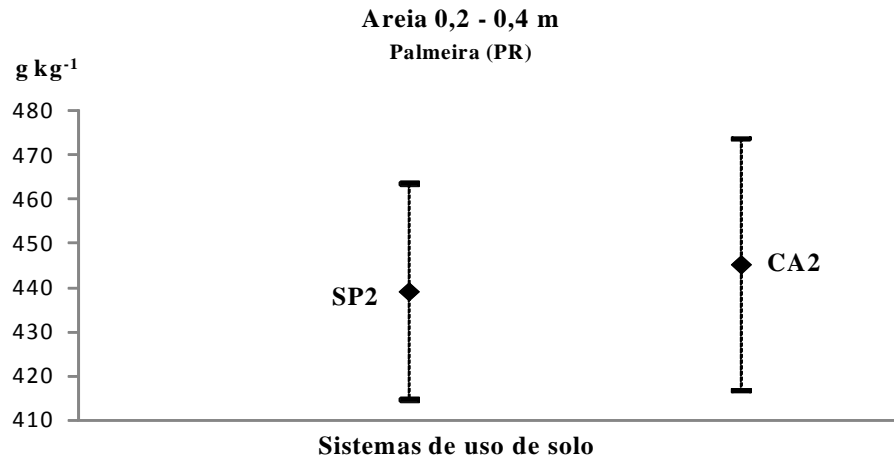
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 121



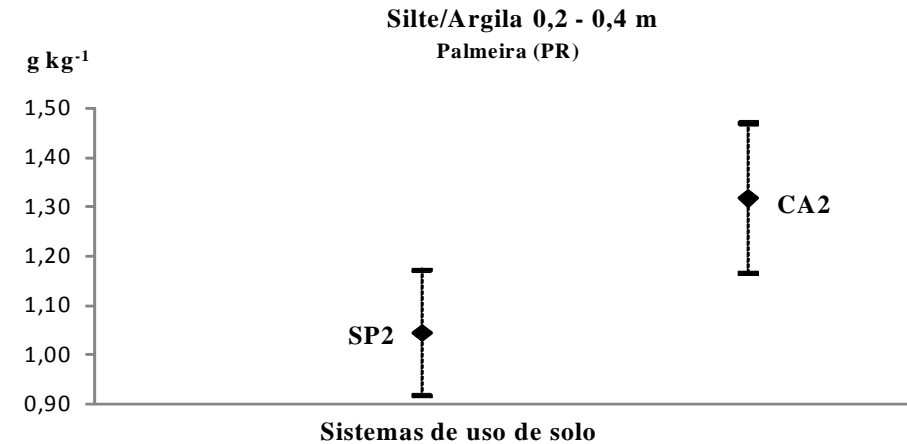
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 122



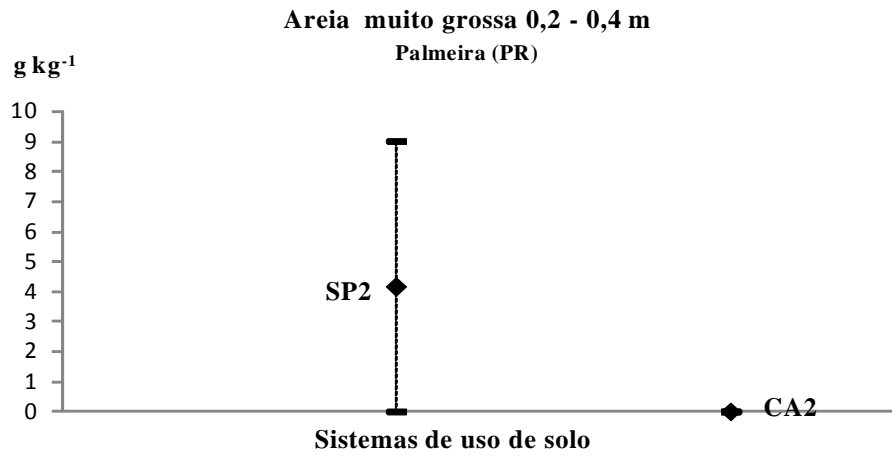
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 123



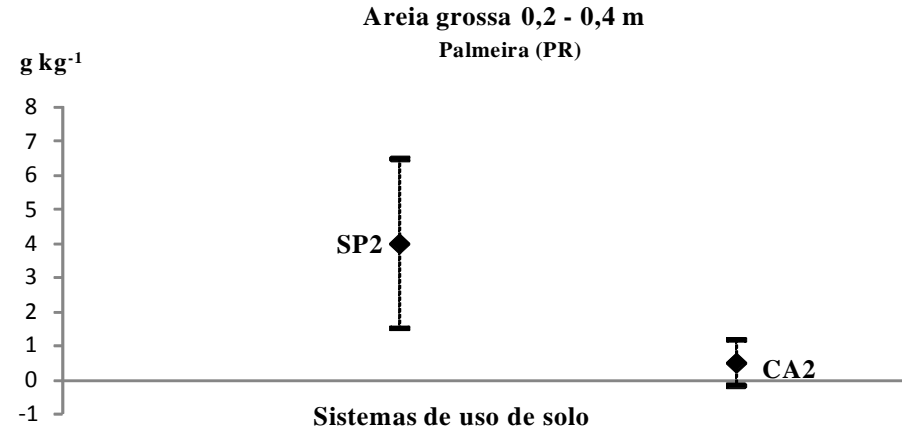
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 124



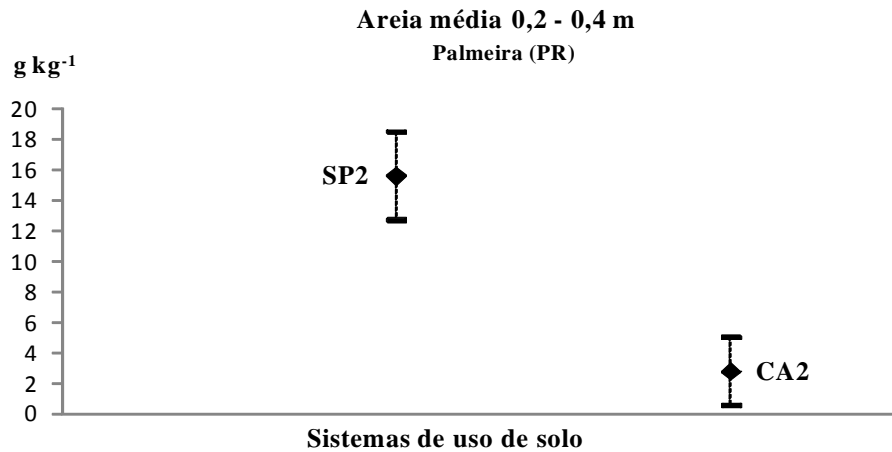
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 125



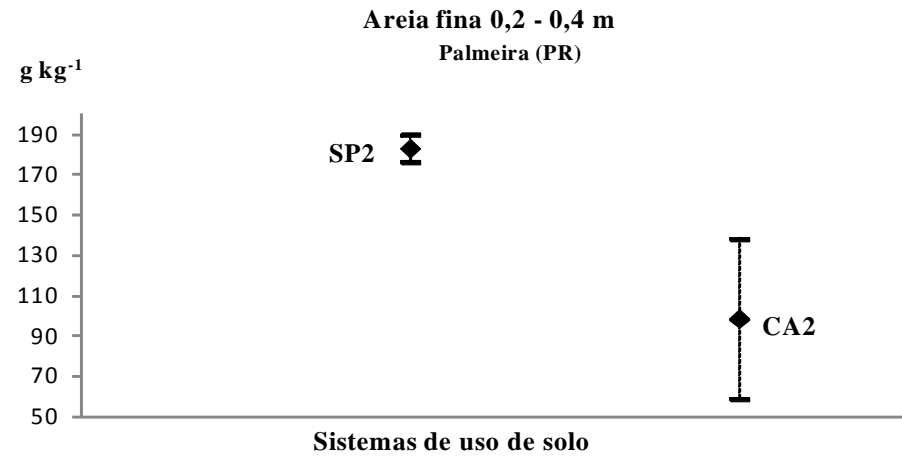
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 126



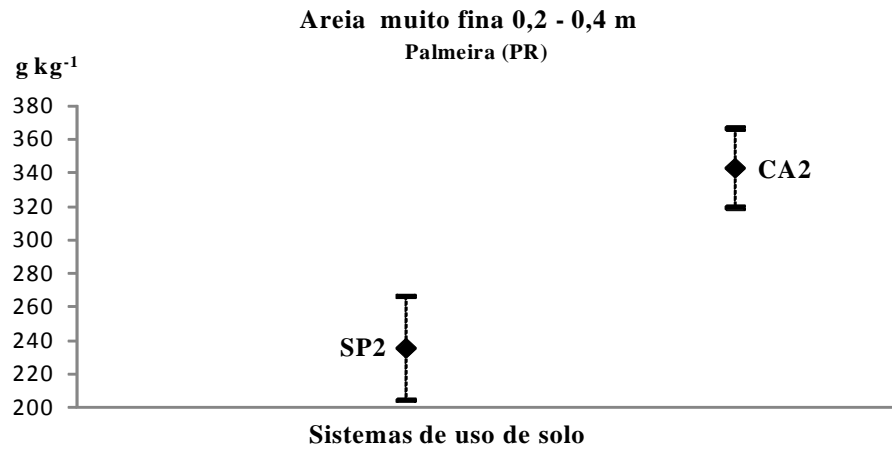
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

Gráfico 127

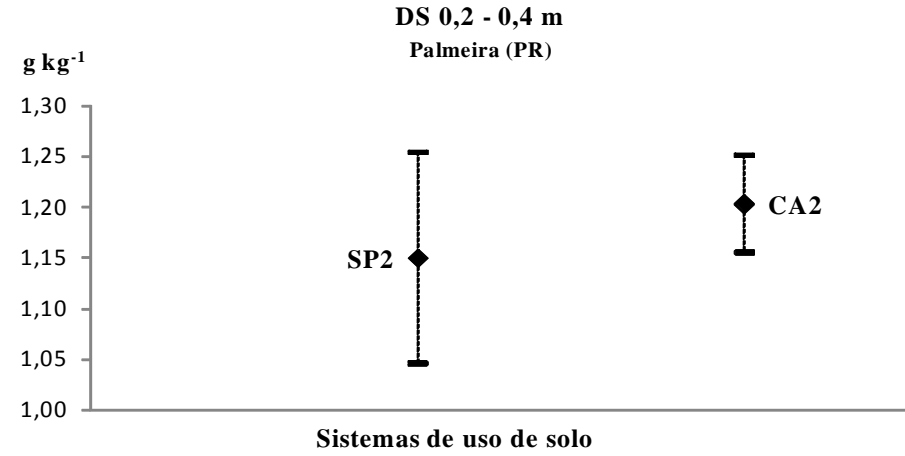


SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira

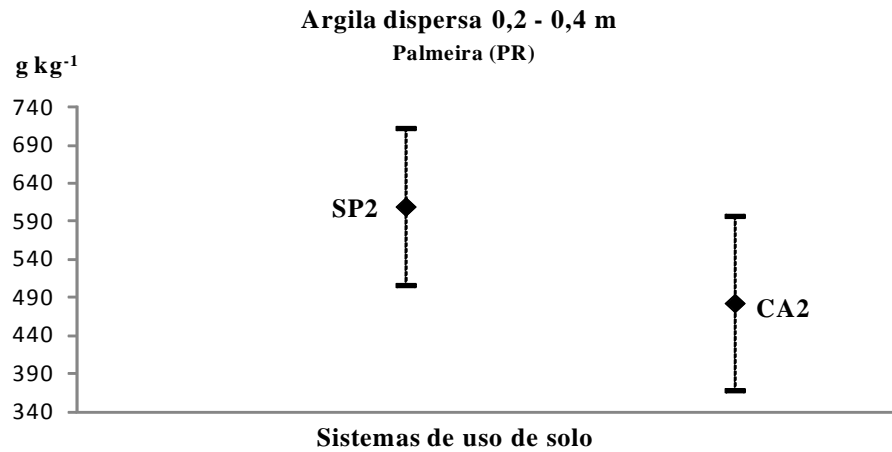
Gráfico 128



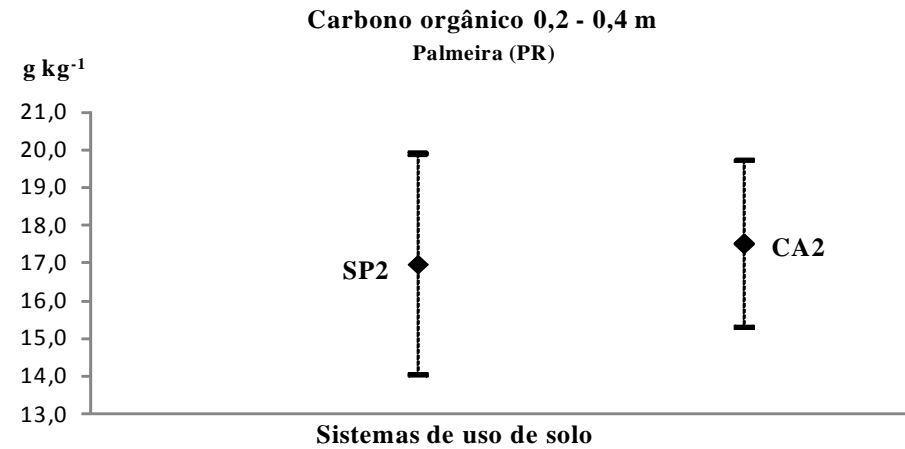
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 129



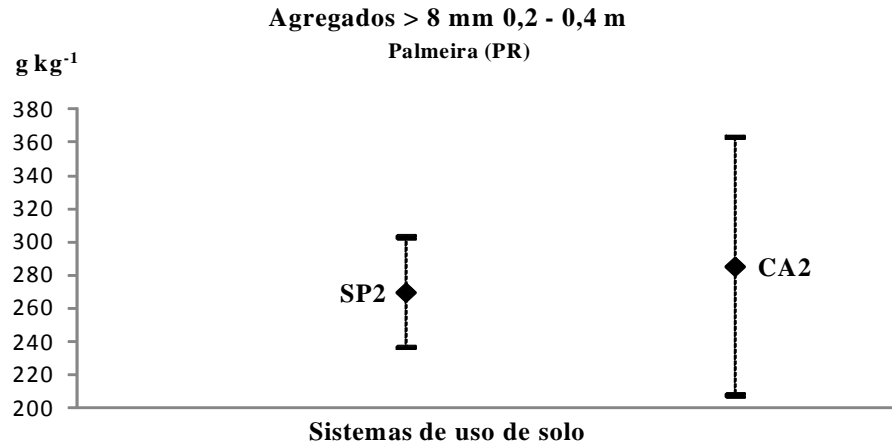
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 130



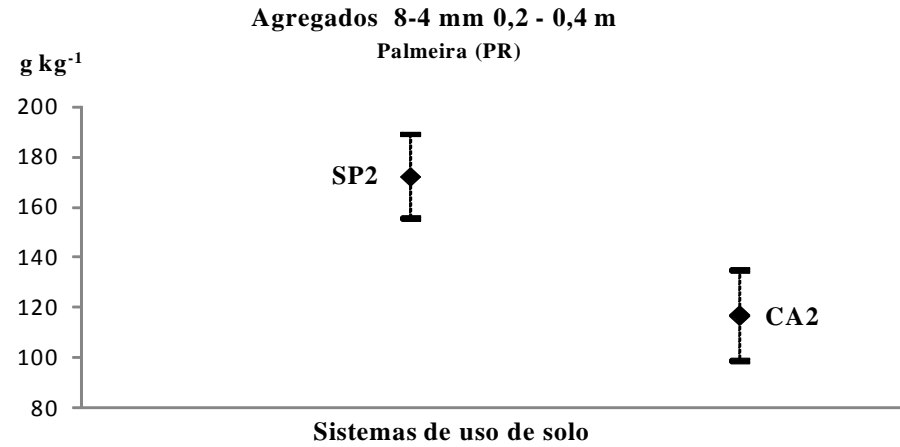
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 131



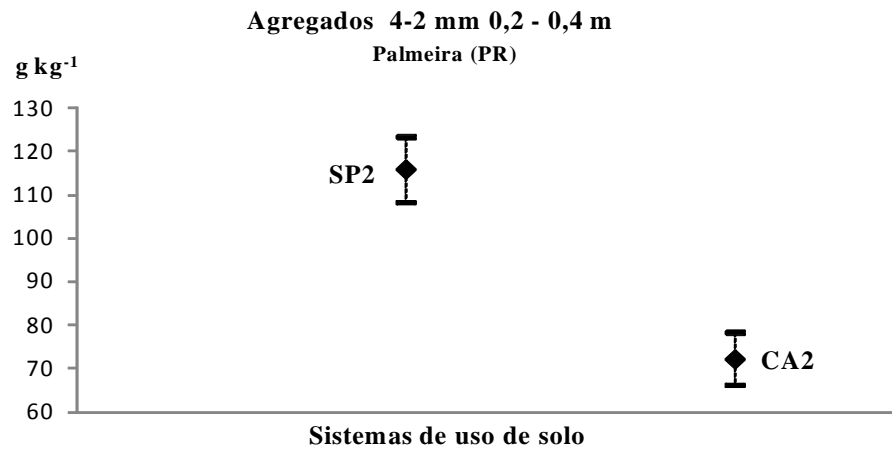
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 132



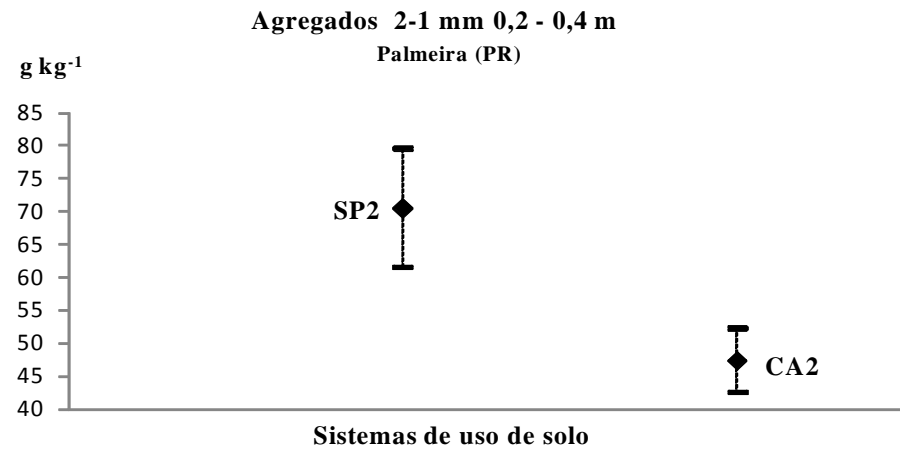
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 133



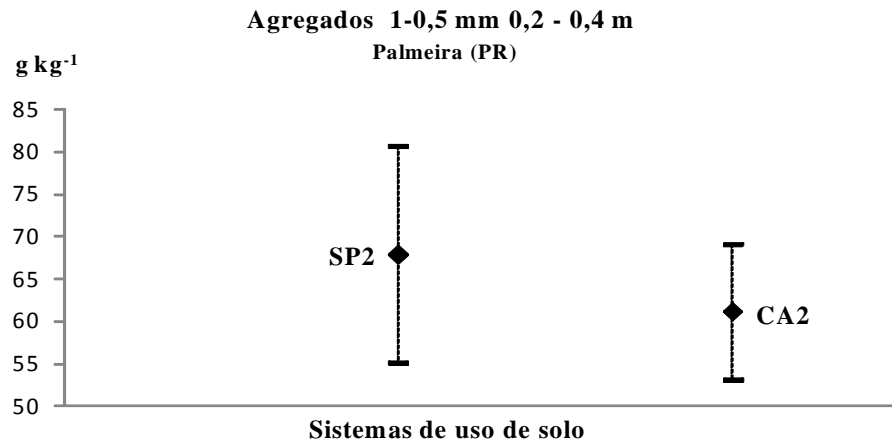
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 134



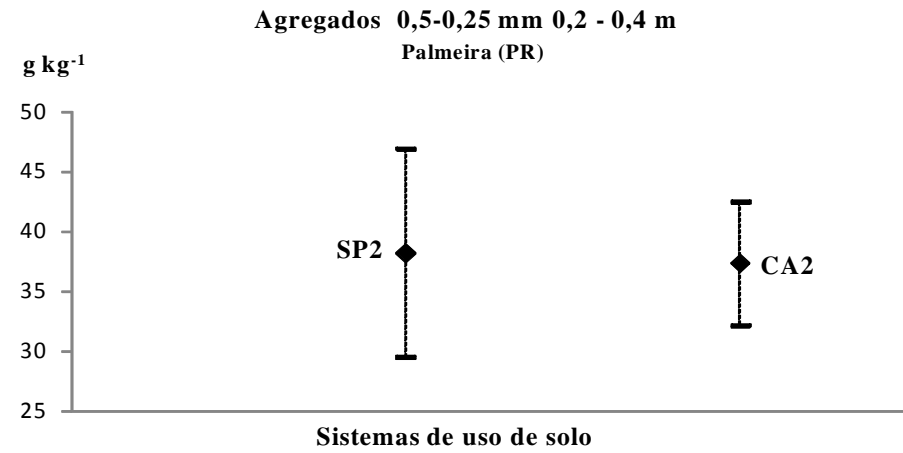
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 135



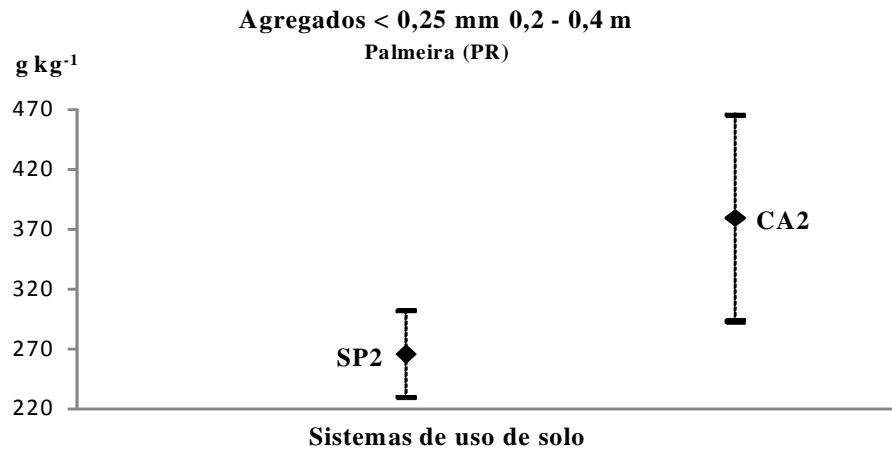
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 136



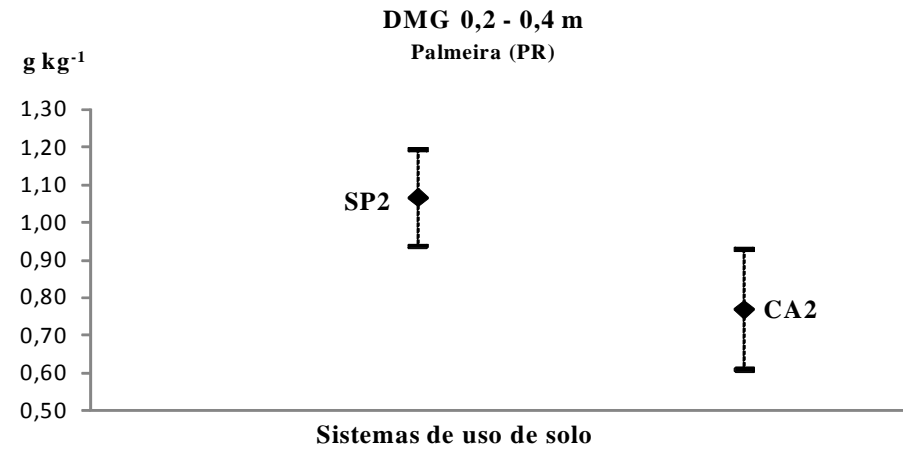
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 137



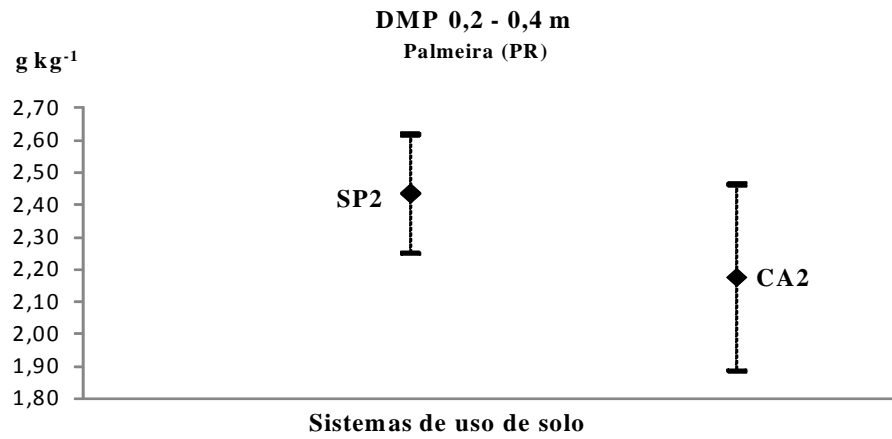
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 138



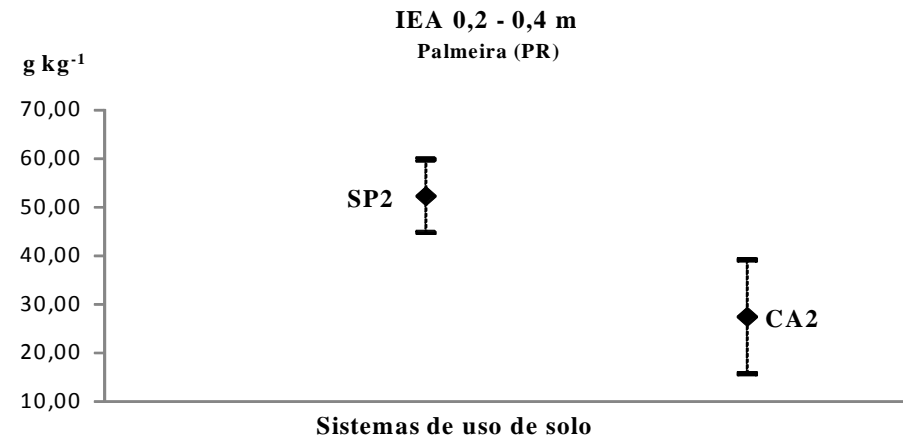
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 139



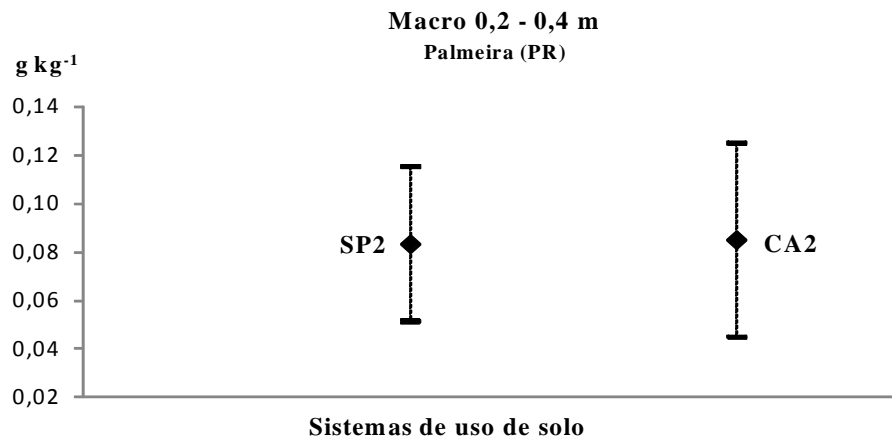
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 140



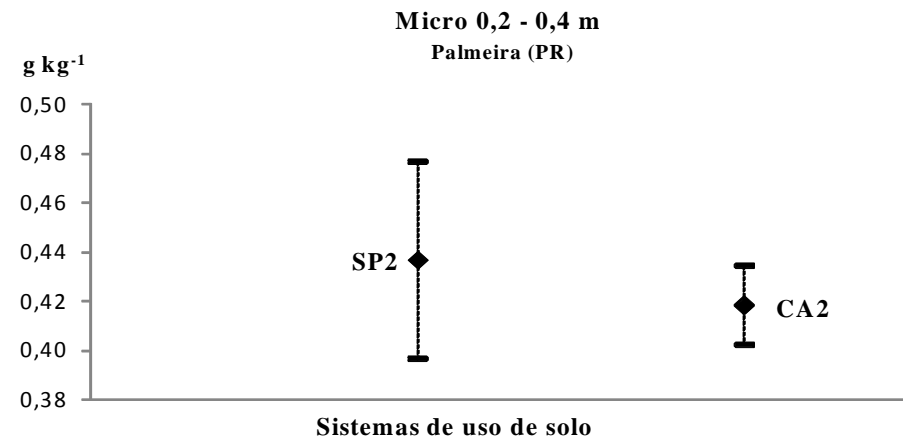
SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 141



SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 142



SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 143



SP2: Sivopastoril Palmeira; CA2: Cultivos Anuais Palmeira
Gráfico 144