

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**COMPACTAÇÃO E LÂMINAS DE ÁGUA DO SOLO PARA A
COLHEITA DE TAPETES DE GRAMA**

LIVIA SANCINETTI CARRIBEIRO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU – SP

Abril – 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**COMPACTAÇÃO E LÂMINAS DE ÁGUA DO SOLO PARA A
COLHEITA DE TAPETES DE GRAMA**

LIVIA SANCINETTI CARRIBEIRO

Orientadora: Maria Helena Moraes

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU – SP

Abril – 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO- BOTUCATU (SP)

C291c Carribeiro, Livia Sancinetti, 1981-
Compactação e lâminas de água do solo para a colheita de tapetes de grama / Livia Sancinetti Carribeiro. - Botucatu : [s.n.], 2014
xi, 108 f. : ils. color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2014
Orientador: Maria Helena Moraes
Inclui bibliografia

1. Gramados - Colheita. 2. Gramínea - Cultivo. 3. Solos - Compactação. 4. Solos - Preparo. 5. Solos - Umidade. I. Moraes, Maria Helena. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu. V. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "COMPACTAÇÃO E LÂMINAS DE ÁGUA DO SOLO PARA A
COLHEITA DE TAPETES DE GRAMA"

ALUNA: LIVIA SANCINETTI CARRIBEIRO

ORIENTADOR: PROFA. DRA. MARIA HELENA MORAES

Aprovado pela Comissão Examinadora



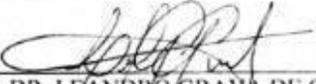
PROFA. DRA. MARIA HELENA MORAES



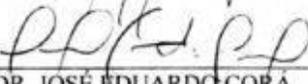
PROF. DR. ROBERTO LYRA VILAS BOAS



PROF. DR. LEANDRO CAIETA SALOMÃO



PROF. DR. LEANDRO GRAVA DE GODOY



PROF. DR. JOSÉ EDUARDO CORÁ

Data da Realização: 25 de abril de 2014.

“Nas grandes batalhas da vida o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer”

Mahatma Gandhi

“Aos meus queridos pais Neusa e Ricardo que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até o final de mais esta caminhada”.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte inesgotável de amor, paz e sabedoria, pela saúde, disposição e persistência durante esta jornada.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão do auxílio financeiro para condução do respectivo projeto de pesquisa.

À empresa “Gramas Xavier”, em especial a Agnaldo, Reinaldo e Reginaldo Xavier pela oportunidade, apoio e incentivo dados para a execução do projeto de pesquisa de doutorado.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, pela oportunidade da realização do curso, especialmente ao Departamento de Engenharia Rural e Departamento Solos e Recursos Ambientais.

Aos Professores e orientadores Maria Helena Moraes e Roberto Lyra Villas Bôas pela confiança, incentivo, amizade e ensinamentos.

Aos queridos e inesquecíveis amigos que muito me ajudaram e contribuíram com a minha pesquisa: Camila Abrahão, Itaynara Batista, Raimundo Nonato, Rigléia Brauer, Lais Lorena, Givaldo Neto, Rodrigo, Camila Tomaz, Ana Paula Schimidt, Letícia Foratto, Thomas Fiore, Mario Henrique Dal Pogetto (Fid Rola), Luiz Vitor Sanches, Jean, Laerte e Laércio Piveta, Evandro (Beludo), Caio Alexandre, Ewerton, Willian, Renata Marques, Clescy, Thais e Marcella Menegale .

Aos funcionários dos Departamento de Solos e Recursos Ambientais: Sonia, Sylvia, José Carlos, Adriana, Noel. Em especial ao funcionário Jair por todo apoio dado no decorrer do projeto de pesquisa.

Aos funcionários de Departamento de Engenharia Rural: Gilberto e Amauri e servidores: Silvio (Marcenaria) e Amauri (Transporte).

Aos funcionários da empresa “Gramas Xavier”, José Faustino, Marco, Ricardo, Vicente e Tico.

Ao meu namorado e amigo Reinaldo Xavier por todo companheirismo, apoio, compreensão e carinho, nunca medindo esforços para eu chegasse ao fim desta caminhada.

Ao meu enteado Luiz Gustavo Xavier que por muitas vezes contribuiu com as avaliações de campo.

Enfim, a todos que de alguma maneira, direta ou indireta, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	X
RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 <i>Zoysia japonica</i> (grama Esmeralda)	7
2.2 Produção de tapetes de grama	9
2.3 Compactação do solo para a colheita de tapetes de grama	13
2.4 Umidade do solo para a colheita de tapetes de grama	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Localização e caracterização da área experimental	20
3.2 Parâmetros meteorológicos da região	21
3.3 Caracterização da espécie utilizada	22
3.4 Caracterização da área experimental	23
3.4.1 Caracterizações físicas do solo	23
3.4.1.1 Caracterização granulométrica do solo	24
3.4.1.2 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade	24
3.4.1.3 Densidade do solo	27
3.4.1.4 Teor de água do solo no momento da colheita – Método gravimétrico	28
3.4.1.5 Curva de máxima compactação do solo	29
3.4.1.6 Obtenção da curva característica de retenção de água no solo	31
3.4.1.7 Resistência do solo a penetração - Método do penetrômetro eletrônico	33
3.5 Determinação dos tratamentos e delineamento experimental	34
3.6 Lâminas de irrigação aplicadas na área experimental no dia anterior a colheita	36
3.7 Intensidades de compactação aplicadas no dia da colheita dos tapetes de grama	39
3.8 Colheita dos tapetes de grama	40

3.9 Acompanhamento da rebrota da grama até a formação de novos tapetes.	40
4.0 Caracterização física do solo após a colheita dos tapetes de grama	43
4.0.1 Teor de água do solo no momento da colheita com auxílio de sensor de umidade	43
4.0.2 Determinação da porosidade total, macroporosidade e microporosidade	44
4.0.3 Determinação dos valores de densidade do solo.....	45
4.0.4 Obtenção da curva característica de retenção de água no solo	45
4.0.5 Determinação da resistência mecânica do solo à penetração	45
4.0.5.1 Método do penetrômetro eletrônico de bancada	46
4.0.5.2 Método do penetrômetro eletrônico de campo	47
4.1 Parâmetros avaliados na grama	48
4.1.1 Resistência mecânica à tração e massa dos tapetes.....	48
4.1.2 Taxa de cobertura verde do solo	50
4.2 Estudo estatístico	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1 Teor de água do solo no momento da colheita.....	52
5.2 Porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp), microporosidade (mp)	54
5.2.1 Porosidade total do solo (Pt).....	54
5.2.2 Macroporosidade do solo (Mp).....	59
5.2.3 Microporosidade do solo (mp).....	62
5.3 Densidade do solo (Ds).....	65
5.4 Curva característica de retenção água no solo	68
5.5 Resistência mecânica do solo a penetração em campo (RPc).....	72
5.6 Resistência mecânica do solo a penetração em laboratório (RPl).....	79
5.7 Parâmetros avaliados na grama	82
5.7.1 Resistencia mecânica de tapetes e massa de tapetes colhidos	82
5.7.2 Taxa de cobertura verde do solo	85
6. CONCLUSÕES	91
7. REFERÊNCIAS.....	92

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Localização do Sítio Paraíso, pertencente à empresa Gramas Xavier e da área experimental (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP, Data: 31/05/2013).....	20
Figura 2.	Precipitação pluvial e temperaturas máxima, mínima e média do ar no município de Tatuí-SP, no período compreendido entre maio de 2012 a maio de 2013.....	22
Figura 3.	Precipitação pluvial no município de Tatuí-SP no período compreendido entre 30 de abril e 30 de maio de 2012.....	22
Figura 4.	Gramma Esmeralda (<i>Zoysia japonica Steud.</i>)(a); rebrota da grama Esmeralda a partir de rizomas que permaneceram na área de produção após a colheita dos tapetes (b).....	23
Figura 5.	Determinação da porosidade do solo: drenagem das amostras previamente saturadas em mesa de tensão (- 6 kPa).....	25
Figura 6.	Ensaio de Proctor normal: peneiramento da amostra de solo (a); umedecimento da amostra (b); preenchimento do molde de ferro com o solo a ser compactado (c); processo de compactação do solo com auxílio de soquete (d); pesagem da amostra posteriormente ao processo de compactação (e); destorroamento da amostra e retirada de alicota para determinação do teor de água do solo (f).....	30
Figura 7.	Curva de máxima compactação do solo da área experimental.....	31
Figura 8.	Câmaras de placa cerâmica: Câmara de -10 e -33KPa de pressão de drenagem (a); Câmara de -100Kpa de pressão de drenagem (b); Câmara de -300Kpa de pressão de drenagem (c); Câmara de -1500 Kpa de pressão de drenagem (d).	33
Figura 9.	Curva característica de retenção de água no solo da área de produção de grama (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP, data: 04/07/2011).....	33
Figura 10.	Valores médios de resistência à penetração do solo referente à caracterização da área de produção de grama “Sítio Paraíso”, pertencente à empresa Gramas Xavier	34
Figura 11.	Croqui da área experimental.....	36

Figura 12.	Área experimental localizada na propriedade Sítio Paraíso da empresa Gramas Xavier (Local: Tatuí-SP, data: 10/05/2012).....	36
Figura 13.	Croqui do sistema de irrigação instalado a partir da linha de irrigação do produtor.....	37
Figura 14.	Montagem do sistema de irrigação utilizado no experimento a partir da linha de irrigação do produtor: Derivação do sistema de irrigação a partir da linha de irrigação do produtor (a); funcionamento do sistema de irrigação (b)	38
Figura 15.	Operação de compactação do solo nas subparcelas experimentais. (a) Rolo compactador utilizado; (b) monitoramento do operador de máquina para realização do processo de compactação das subparcelas experimentais (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP, Data: 10/05/2012)....	39
Figura 16.	Colheita dos tapetes de grama. (a) Equipamento utilizado na colheita dos tapetes de grama; (b) detalhes da colheita dos tapetes.....	40
Figura 17.	Práticas culturais realizadas após a colheita dos tapetes: Sistema de irrigação utilizado na área experimental após a colheita dos tapetes de grama (a); equipamento “Estrelinha” utilizado na área experimental para descompactar a camada superficial do solo (b); roçada da grama após a colheita dos tapetes (c).....	42
Figura 18.	Leituras dos teores de água do solo nas subparcelas posteriormente a colheita dos tapetes de grama: obtenção da leitura de teor de umidade do solo (a); sensor de umidade ML2X e leitor umidade HH2 (Delta-T) (b), sensor Theta Probe ML2X. (c).....	44
Figura 19.	Determinação dos valores de resistência à penetração do solo em laboratório: drenagem das amostras em mesa de tensão (a); detalhes do equipamento penetrômetro eletrônico TexturePro CT (b); realização da análise mediante a penetração da agulha dotada de ponteira cônica no solo (c).....	47
Figura 20.	Penetrômetros de campo utilizados para as avaliações de resistência do solo à penetração: Penetrolog 1020 (a) e Solo Track 5300 (b).....	48
Figura 21.	Área experimental após a colheita dos tapetes de grama: (a) maio de 2012 e (b) maio de 2013 (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP).....	48
Figura 22.	Ensaio de resistência mecânica de tapetes de grama referente a primeira colheita de tapetes de grama (Local: Departamento de Solos e Recursos Ambientais – FCA/Unesp – Botucatu-SP, Data: 12/05/2012).....	49

Figura 23	Ensaio de resistência mecânica de tapetes de grama referente à segunda colheita (Local: Departamento de Solos e Recursos Ambientais – FCA/Unesp – Botucatu-SP, Data: 16/05/2013).....	50
Figura 24.	Efeito das lâminas de irrigação para os valores de porosidade total do solo no mês de maio/12 (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP)...	57
Figura 25.	Resultado da interação LI x IC (efeitos das IC sobre as LI e das LI sobre as IC) para os valores de porosidade total do solo nos meses de avaliação na camada de 0,025 a 0,05 m.....	58
Figura 26.	Efeito das IC para os valores de macroporosidade de solo no mês de novembro/12 na camada de 0 a 0,025m.....	61
Figura 27.	Efeito das intensidades de compactação para os valores de microporosidade do solo no mês de agosto/12 na camada de 0,025 a 0,05 m. (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP).....	64
Figura 28.	Curvas características de retenção de água no solo dos tratamentos experimentais nos meses de avaliação da grama Esmeralda.....	70
Figura 29.	Resultados da interação dos tratamentos experimentais (LI x IC) para os valores de resistência à penetração do solo no mês de maio/12 na camada de 0,10 a 0,15 m.....	74
Figura 30.	Efeito das Intensidades de compactação para os valores de resistência a penetração nas camadas 0,0 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m no mês de maio/13.....	76
Figura 31.	Efeito interação das LI x IC para os valores de resistência do solo em campo na profundidade de 0,0 a 0,30 m no decorrer dos meses de avaliação do desenvolvimento da grama Esmeralda.....	78
Figura 32.	Efeitos da interação IC x LI para a Taxa de cobertura verde do solo no mês de maio/12.....	87
Figura 33.	Efeitos da interação IC x LI e LI x IC para a Taxa de cobertura verde do solo no mês de agosto/12.....	88

LISTA DE TABELAS

		Página
Tabela 1.	Composição granulométrica do solo da área experimental (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP, Data: 04/07/2011).....	24
Tabela 2.	Valores de porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp) referentes caracterização da área experimental (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP, Data: 04/07/2011).....	27
Tabela 3.	Valores médios de densidade do solo (Ds) nas camadas de 0-0,025 m e 0,025-0,05 m referentes a caracterização da área experimental (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP, Data: 04/07/2011).....	28
Tabela 4.	Teor de água do solo no momento da colheita dos tapetes de grama (caracterização da área experimental) (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP, Data: 04/07/2011).....	29
Tabela 5.	Tratamentos experimentais.....	35
Tabela 6.	Resumo da análise de variância e teores de água médios do solo no momento da colheita dos tapetes de grama Esmeralda (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP – Data: 10/05/2012).	53
Tabela 7.	Resumo da análise de variância referente aos valores de porosidade total do solo (Pt) nas camadas 0-0,025 e 0,025 a 0,05 m (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP – Data: 05/12 a 05/13).....	55
Tabela 8.	Resumo da análise de variância referente aos valores de macroporosidade do solo (Mp) nas camadas 0-0,025 e 0,025 a 0,05 m (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP – Data: 05/12 a 05/13).	60
Tabela 9.	Resumo da análise de variância referente aos valores de microporosidade do solo (mp) nas camadas 0-0,025 e 0,025 a 0,05 m (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP – Data: 05/12 a 05/13).....	63
Tabela 10.	Resumo da análise de variância referente à densidade do solo (Ds) nas camadas de 0 a 0,025 e 0,025 a 0,05 m (Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP – Data: 05/12 a 05/13).....	65
Tabela 11.	Resumo da análise de variância referente à resistencia a penetração do solo (RPC) na camada de 0 a 0,30 m (Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP – Data: 05/12 a 05/13).....	73
Tabela 12.	Teores médios de água no solo na camada de 0 a 0,05 m de profundidade....	75

Tabela 13.	Resumo da análise de variância referente à resistência do solo à penetração das amostras analisadas em laboratório.....	79
Tabela 14.	Valores médios de resistência do solo à penetração em laboratório (RPI) obtidos mediante processamento das amostras de solo, provenientes da camada de 0 a 0,05 m de profundidade, da área experimental de produção de grama Esmeralda localizada no Sítio Paraíso da empresa Gramas Xavier	81
Tabela 15.	Teores médios de água do solo das amostras coletadas posteriormente à saturação e drenagem em mesa de tensão a 6 kPa.....	81
Tabela 16.	Resumo da análise de variância e média dos resultados referentes a Resistência mecânica de tapetes de grama Esmeralda colhidos em mai/12 e mai/13.....	83
Tabela 17.	Resumo da análise de variância e média dos resultados referentes ao peso de tapetes de grama Esmeralda colhidos em mai/12 e mai13.....	84
Tabela 18.	Resumo da análise de variância referente a taxa de cobertura verde do solo proporcionada pela grama Esmeralda em função das lâminas de irrigação e intensidades de compactação.....	86

RESUMO

O conhecimento da compactação do solo e de sua relação com o sistema de colheita de tapetes é importante para o manejo adequado das condições físicas do solo e para melhorar a produção de grama. A intensidade de compactação desejada para o corte dos tapetes deverá interferir o mínimo possível no crescimento da grama após a colheita e a fim de reduzir o tempo de formação do mesmo. Para isso é necessário o manejo adequado da água e do solo no momento da colheita. Objetivou-se com este trabalho determinar a lâmina de irrigação e a intensidade de compactação, no momento da colheita dos tapetes, que possibilitem a colheita de tapetes íntegros, bem como proporcionem a mínima compactação do solo logo abaixo do tapete removido, de forma que o desenvolvimento do gramado subsequente ocorra de forma rápida e adequada. O experimento foi conduzido no período de 9 de maio de 2012 a 15 de maio de 2013 em uma área de produção comercial de grama, pertencente a empresa Gramas Xavier, localizada no município de Tatuí – SP. O solo da área experimental foi previamente caracterizado, sendo classificado como de textura argilosa. A espécie escolhida foi a *Zoysia japonica* Steud., conhecida como grama Esmeralda. O delineamento experimental utilizado foi o de parcelas subdivididas, sendo o primeiro fator lâminas de água aplicadas no dia anterior a compactação (7,5; 10; 12,5; 15 mm), e o segundo fator a intensidade de compactação, mediante variação de carga com a utilização de rolo compactador no momento da colheita dos tapetes (4, 8 e 12

passadas de rolo compactador) , com quatro repetições. As características analisadas foram o teor de água do solo no momento da colheita, a porosidade total, macroporosidade e microporosidade, a curva de máxima compactação, a curva de retenção de água no solo, a densidade do solo, a resistência do solo à penetração, a resistência mecânica dos tapetes coletados e a taxa de cobertura verde do solo (que refletirá o tempo necessário para de formação do tapete). Os resultados provenientes das análises realizadas foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas por meio de análise de regressão, no nível de 5% de probabilidade com o auxílio do programa Sisvar. Pela análise dos resultados conclui-se que tanto a menor intensidade de compactação (trafegar 4 vezes com rolo compactador de 8.350 kg) proporciona os maiores valores de macroporosidade na camada do solo abaixo do tapete colhido. A maior lâmina de irrigação (15 mm) e a maior intensidade de compactação (trafegar 12 vezes com rolo compactador de 8.350 kg) proporcionam maior porosidade total ($0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) na camada de 0,025 a 0,05 m. Um ano após o corte dos tapetes de grama a resistência à penetração do solo aumenta com o aumento da intensidade de compactação. Com o desenvolvimento das raízes e rizomas há aumento da capacidade de retenção de água pelo solo a baixas tensões.

Palavras-chave: *Zoysia japonica*, propriedades físicas do solo, cobertura verde, resistência de tapetes

INFLUENCE OF SOIL COMPACTION AND WATER LEVELS ON THE HARVEST OF TURFGRASS SODS Botucatu, 2014, 108 p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: LIVIA SANCINETTI CARRIBEIRO

Adviser: MARIA HELENA MORAES

SUMMARY

Understanding of the concepts of soil compaction and its relationship to the harvest system of turfgrass sods are important tools to help to establish the appropriate management of soil physical conditions of Zoysiagrass sod production as well as improving its production process. Moreover, following the requirements for soil compaction levels at the moment of the turfgrass sods harvest is the best way to guarantee the quality of turfgrass for the following harvest cycles. In addition to that, it is essential to manage the appropriate levels of water and soil compaction at the moment of harvest. In this sense, the aim of this study was to evaluate the effects of irrigation and soil compaction levels according to the application of different loading levels applied to the soil (using a compactor roller at the moment of the sods harvest), enabling the removal of intact turfgrass sods as well as providing the minimum soil compaction level right below the sod layer removed, so that the subsequent development of turfgrass occurs quickly and appropriately. The experiment was conducted at “Sítio Paraíso” turfgrass commercial farm located in Tatuí – SP, owned by Gramas Xavier Company. It was considered the mechanical system harvest. The evaluation of the results occurred between May 9th, 2012 and May 15th, 2013. The soil in the area was previously characterized as a clay texture soil. It was utilized the turfgrass species *Zoysia japonica* Steud., commonly known as Esmeralda grass. Plots were arranged in a split-plot experimental design with four replications, with 48 experimental units in total. There were considered two factors of variation: water and compaction intensity. The factor water level (variations between 7.5 , 10 , 12.5 , and 15mm) was established in the day before the establishment of the soil compaction; the factor

compaction intensity was applied by varying the loading level in the soil and using a roller compactor at the time of the sods harvest (4, 8, 12 roller compaction walk through). The parameters analyzed were water content at the moment of sods harvest, total porosity, macroporosity and microporosity, maximum soil compaction curve, soil water retention curve, soil density, soil water infiltration rate, soil resistance to penetration, sods mechanical resistance and green coverage rate of the soil (it influences the time of sods growth). The values were tested using the statistical program “Sisvar”, based on the analysis of variance, and its means were statistically compared using “regression analysis” at 5% of probability. According to the results, it is possible to conclude that using the low compaction intensity (walk through the sods 4 times using a 8.350 kg compactor roller) helps to increase the macroporosity values on the soil layer right below the turfgrass sod. The water level of 15mm combined with the high intensity of compaction (walk through the sods 12 times using a 8.350 kg compactor roller) help to increase soil total porosity ($0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) in the 0,025 to 0,05m layers. Moreover, after one year of turfgrass sods harvest, it was observed that the soil resistance to penetration was positively influenced with the increase in compaction intensity. The development of roots and rhizomes contribute to increase the soil water retention capacity at low levels.

Keywords: *Zoysia japonica*, soil physical properties, green coverage, sods resistance.

1.INTRODUÇÃO

Os gramados têm no Brasil e em todo o mundo assumido lugar de destaque, tanto por seu valor estético e diversas funcionalidades, como componente das paisagens nos mais distintos cenários e sistemas ecológicos.

O principal objetivo da produção comercial de tapetes de grama é proporcionar, após a colheita dos tapetes do ciclo anterior, o desenvolvimento/ crescimento rápido dos rizomas, estolões, raízes e parte aérea da grama que crescerá posteriormente a fim de realizar a colheita de tapetes, do próximo ciclo, com qualidade satisfatória à comercialização.

Como prática adotada por parte dos produtores, em áreas de produção comercial de grama são realizadas antes da colheita dos tapetes, a irrigação e a compactação do solo. Tais operações visam proporcionar maior resistência ao manuseio dos tapetes de grama que serão colhidos.

No dia anterior a colheita dos tapetes, o gramado é irrigado usando uma lâmina de 10 mm para, no dia seguinte, realizar-se o processo de compactação para a colheita. Entretanto, tanto a umidade em que se encontra o solo, no momento da colheita, como a profundidade atingida por essa umidade é desconhecida por parte dos produtores. Como consequência desse desconhecimento há, durante o processo de colheita dos tapetes,

uma sequência de compactações e colheita de tapetes até que se consiga retirar um tapete íntegro. Esse empirismo não permite saber o quanto em profundidade o solo foi compactado.

O processo de compactação do solo é segunda etapa do manejo necessário para a coleta de tapetes. O rolo compactador é passado sobre o gramado um pouco antes da colheita (no mínimo de 4 vezes), com a finalidade de possibilitar a colheita inferior e agregar, com maior facilidade, o solo e as raízes da grama, o que proporcionará maior resistência aos tapetes. Entretanto, tal procedimento é realizado sem muito critério, por parte dos produtores, devido ao desconhecimento quanto ao teor de água do solo no momento da colheita. Como consequência há, durante o processo de colheita dos tapetes, maior ou menor gasto com passadas do rolo compactador.

O conhecimento da compactação do solo e de sua relação com o sistema de colheita de tapetes é importante para o manejo adequado das condições físicas do solo e para melhorar a produção de grama uma vez que o espessamento dessa camada compactada, em decorrência do uso indiscriminado dos equipamentos para colheita dos tapetes, acaba provocando intensa compactação do solo das áreas de produção de grama e como consequência há diminuição na infiltração de água no solo, aumento do escoamento superficial, aumento da densidade, diminuição da porosidade total, aumento da resistência a penetração de raízes e conseqüentemente menor crescimento radicular e a absorção de nutrientes.

Portanto, é de grande importância ter o conhecimento acerca da lâmina de irrigação a ser aplicada no solo no dia anterior a compactação que permita a colheita de tapetes íntegros bem como proporcione a mínima compactação do solo logo abaixo do tapete removido, para que o tapete de grama que venha a se formar posteriormente necessite menor tempo possível para o desenvolvimento com condições de solo mais adequadas.

Objetivou-se determinar a lâmina de irrigação e a intensidade de compactação, que possibilitem a retirada de tapetes de grama íntegros, bem como proporcione a mínima compactação da camada de solo, logo abaixo do tapete removido, de forma que o desenvolvimento do gramado subsequente ocorra de forma mais rápida e adequada, e avaliar as propriedades físicas do solo onde a grama se desenvolveu posteriormente a colheita.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Zoysia japonica* (grama Esmeralda)

A grama existe por toda parte desde o início dos tempos, já os gramados originaram-se na Inglaterra em meados do século XVII (DOWNER, 2013). O uso da grama, como parte integrante das paisagens, é datado do início dos Jardins Persas, inspirados nos desenhos dos tapetes persas e criados muitos séculos antes do nascimento de Cristo (TURGEON, 2008). Desde então, a grama vem sendo utilizada nos mais diversos ambientes esportivos, paisagísticos, recreativos, áreas de preservação entre outros.

Estudos sobre a origem, evolução e distribuição das gramíneas do gênero *Poaceae*, realizados por Hartley em 1961, sugerem que se trata de um gênero muito antigo, que evoluiu e espalhou-se ao longo dos tempos por locais onde existiam poucas barreiras à distribuição topográfica e climática, sendo encontradas com maior frequência ao longo do Hemisfério Norte. Provas apontam para a existência de um grande centro de diferenciação das espécies na região montanhosa que se estende do norte do Paquistão, Índia, Birmânia do Sul na Rússia e Mongólia. Entretanto, de acordo com Bor (1960), o gênero *Poaceae* também ocorreu no Himalaia, onde encontram-se cerca de 25% das espécies conhecidas. Supõe-se, portanto, que o centro de origem do

ancestral primitivo das gramíneas de estação quente possa ter sido a região norte da África (RAVEN; AXELROD, 1974; CLAYTON, 1981).

A dispersão das espécies de grama a partir de seus centros de origem, para as demais regiões, de acordo com Beard (2013) ocorreu por processos de migração e dispersão das espécies, principalmente por ação do homem, vento, pássaros, animais e detritos flutuantes, entretanto, a sobrevivência dessas espécies a um novo ambiente dependeu da adaptabilidade das mesmas aos fatores ambientais (temperatura, água, irradiação e concentração de dióxido carbono), edáficos (textura do solo, pH, nutrientes e sais) e bióticos (animais, atividades humanas, pragas e competição intra-espécies).

O gênero *Zoysia* spp., pertence a família Poaceae (Gramíneas), é constituído por dez espécies, das quais somente três são consideradas importantes como gramados cultivados: *Zoysia japonica* Steud., *Zoysia matrella* (L.) Merr. e *Zoysia tenuifolia* Willd. ex Thiele (PESSARAKLI, 2007). São espécies nativas de países localizados próximo ao Pacífico, tendo seu centro de origem em regiões perto do sudeste da Ásia (norte da China e Japão) e Indonésia (ENGELKE; ANDERSON, 2003).

É uma grama rizomatosa e estolinífera, de clima quente, com maior diversidade do gênero *Zoysia* ocorre entre as latitudes 20° Norte e 20° Sul. Adapta-se bem a ampla gama de condições de solo, porém, desenvolve-se melhor em solos bem drenados, de textura média, com baixa acidez e fertilidade moderada. É uma planta bastante tolerante a seca, calor e estresse ao frio (TURGEON, 2008). Apresenta uma tolerância relativa ao sal, sendo esta associada à exclusão dos íons salinos via glândulas de sal presentes nas folhas (MARCUM et al., 1998).

Dentre as espécies do gênero *Zoysia* e demais espécies cultivadas no Brasil, a de maior importância comercial é a *Zoysia japonica* Steud., conhecida popularmente como grama Esmeralda. Foi introduzida nos Estados Unidos no ano de 1895, a partir de mudas trazidas do Japão (MADISON, 1971). No Brasil, foi multiplicada pela primeira vez no ano de 1978, por Minoru Ito, a partir de algumas ramas doadas por um pesquisador pertencente ao Departamento de Horticultura da Universidade da Califórnia que estava testando variedades de gramas de origem Asiática e que considerava a cultivar bastante

promissora para as condições do Brasil. De acordo com Minoru Ito, por se tratar de uma grama muito bonita por suas características como folhas finas, macias e com uma coloração verde esmeralda, acabou agradando muito aos consumidores, sendo então lançada no mercado com o nome comercial registrado de grama Esmeralda (informação verbal¹).

A grama Esmeralda é atualmente a líder em áreas de produção no Brasil, sendo o estado de São Paulo o de maior relevância em áreas de produção, seguido dos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás e o Nordeste do país. Quanto à extensão em hectares das áreas de produção de grama Esmeralda, é um dado ainda pouco preciso, porém, de acordo com Zanon e Pires (2010) dos aproximados 17 mil hectares cultivados com as mais distintas espécies de grama no Brasil, 74% são ocupados com grama Esmeralda, sendo o Estado de São Paulo responsável por 43% da produção nacional de grama Esmeralda, o que equivale a aproximadamente 7 mil hectares de área cultivada com a espécie *Zoysia*.

2.2 Produção de tapetes de grama

A popularidade e crescimento da indústria do gramado podem ser atribuídos a vários fatores dentre eles estão relacionados o meio-ambiente, paisagístico e as melhorias na tecnologia de produção e o desejo de uma utilização rentável para de terras (CAIN et al. 2003).

De acordo com o Turf Resource Center, gramado é uma cobertura de grama no seu estágio de maturidade fisiológica, produzida sob operação de manejo agrícola intensivo, sendo removida intacta, com uma quantidade mínima do solo e transplantada para outro local a fim de dar origem a um novo gramado.

Ao cultivar grama, a principal preocupação do produtor é produzir um gramado que apresente um bom enraizamento, desenvolva uma boa quantidade de rizomas e/ou estolões uma vez que o desenvolvimento de tais estruturas de propagação é o fator mais importante na força e capacidade de enraizamento de gramados (CHARBONNEAU, 2003). O bom desenvolvimento da grama (rizomas, estolões e raízes), que dará origem ao gramado e

1. Informação fornecida por Minoru Ito, fundador da empresa Itograss e responsável pela introdução da espécie *Zoysia japonica* (Grama Esmeralda) no Brasil
2. Informação fornecida pelo produtor rural.
3. Informação de conhecimento pessoal do pesquisador sobre o cultivo de grama Esmeralda no Brasil

permitirá a colheita dos tapetes ao final de seu ciclo só será possível mediante o manejo adequado da cultura. Dentre os fatores que permitirão o bom desenvolvimento da grama podem ser citados o tipo e manejo do solo, a adubação, irrigação e a roçada.

De acordo com McCarty (2006) solos argilosos são menos apropriados para o cultivo de gramados. Tal fato se deve a sua menor capacidade de infiltração de água, ao tráfego e gerenciamento de colheita. Os solos argilosos por apresentarem baixa capacidade de infiltração de água, ficam úmidos por períodos prolongados e, portanto, dias de colheita podem ser perdidos. Além disso, devido a estes solos apresentarem maior capacidade de retenção de água e densidades elevadas tornam-se pesados no momento do transporte. Por outro lado solos de textura média, com teores de argila superiores 15% são os mais favoráveis para o cultivo comercial de gramados, uma vez que devido à boa capacidade de drenagem, facilitam operações de tráfego e a colheita tornando-as mais precoces após a aplicação de água (MC CARTY, 2006). Entretanto, de acordo com Troeh e Thompson (2007), embora solos de textura arenosa sejam, normalmente, permeáveis ao ar, água e raízes, apresentam limitações em relação à baixa capacidade de retenção de água e estocagem de nutrientes, tornando necessária a reposição de tais elementos com maior frequência.

Solos com maior capacidade de drenagem, como os de textura arenosa, são os mais recomendados para o cultivo comercial de gramados. No Brasil predomina o cultivo de gramas em áreas com solo de textura argilosa, onde os teores de argila são superiores a 30%. Tal fato é atribuído, principalmente, as condições de qualidade final do tapete e comercialização. Tapetes produzidos em solos de textura argilosa conservam por um período maior de tempo a umidade devido ao fato de as argilas apresentarem grande superfície de área para ser coberta pela água (TROEH e THOMPSON, 2007). Essa característica permite, portanto, que tanto as raízes, como rizomas aderidos ao solo dos tapetes colhidos mantenham-se úmidos por mais tempo, garantindo a melhor aparência dos tapetes até seu destino final.

A água é um componente essencial para o crescimento das plantas e representa de 80 a 90 % do peso fresco da grama (BEARD 1973). Dentre as diversas espécies cultivadas a grama Esmeralda é considerada a espécie C3 mais resistente seca e altamente

1. Informação fornecida por Minoru Ito, fundador da empresa Itograss e responsável pela introdução da espécie *Zoysia japonica* (Grama Esmeralda) no Brasil
2. Informação fornecida pelo produtor rural.
3. Informação de conhecimento pessoal do pesquisador sobre o cultivo de grama Esmeralda no Brasil

resistente a seca se comparada as gramas C4 (WHITE et al. 2001). Entretanto, a manutenção do fornecimento de água a espécie no decorrer de seu ciclo é de extrema importância para garantir sua sobrevivência. Em áreas de produção de grama no Brasil o método mais utilizado é o sistema de irrigação por aspersão, com destaque a aspersão convencional, o autopropelido e pivô central.

Quanto à irrigação, é um manejo de grande importância na produção de gramas que atua como suplemento as precipitações. A lâmina de água a aplicar deve ser baseada na textura do solo, evapotranspiração, na taxa de crescimento do gramado, fase do desenvolvimento da grama, época do ano entre outros fatores. Em excesso poderá acarretar em problemas como a falta de oxigênio para o enraizamento, e proporcionar dificuldades no momento da colheita (CHARBONNEAU, 2003).

Carribeiro (2010), ao estudar os efeitos dos potenciais de água no solo e da compactação sobre o desenvolvimento da grama Esmeralda, observou que potenciais de água compreendidos entre 40 e 45 kPa proporcionaram melhores resultados para taxa de cobertura verde do solo (TCV) e acúmulo de matéria seca na parte aérea da grama Esmeralda. Silva (2004) afirma ainda que aplicações de lâminas de 80% são suficientes para garantir uma boa produção de matéria seca na grama Esmeralda. Portanto, o manejo adequado da irrigação de gramas requer o entendimento de como a umidade do solo afeta o seu crescimento sendo, o objetivo de um bom programa de irrigação usar de forma eficaz água disponível, de modo que a irrigação seja baseada na capacidade de retenção de água do solo (TRENHOLM e UNRUH, 2008).

Além de sua importância no decorrer o ciclo da cultura da grama, a aplicação de uma lâmina de irrigação de 10 mm deve ser realizada no dia anterior a compactação do solo para a colheita dos tapetes. A aplicação dessa lâmina via sistema de irrigação, é de extrema relevância durante a operação de colheita dos tapetes, uma vez que o teor de umidade que ela proporciona no solo irá garantir durante o processo de compactação o adensamento adequado da camada superficial do solo que será coletada junto ao tapete colhido e lhe proporcionará maior resistência ao manuseio (informação verbal²).

1. Informação fornecida por Minoru Ito, fundador da empresa Itograss e responsável pela introdução da espécie *Zoysia japonica* (Grama Esmeralda) no Brasil
2. Informação fornecida pelo produtor rural.
3. Informação de conhecimento pessoal do pesquisador sobre o cultivo de grama Esmeralda no Brasil

Outra prática cultural de grande importante é o uso de roçadeira. Cortar a grama estimula o sistema radicular a se espalhar através dos rizomas possibilitando a formação de um tapete com raízes fortes e suficientes no momento da colheita. Gramados devem ser cortados a cada 4-5 dias para promover o crescimento lateral (rizomas e/ ou estolões) e, portanto, induzir o enraizamento (CHARBONNEAU, 2003).

Quanto às recomendações de fertilização, variam de acordo com diferentes solos e variedades de grama. A qualidade ótima de um gramado (cor, densidade e textura) requer um programa intensivo de adubação nitrogenada com elevadas doses de N e irrigação (EXNER et al., 1991; QUIROGA-GARZA et al., 2001). Entretanto, no Brasil, existem recomendações muito simplificadas para a implantação e manutenção de gramados, e que não podem ser extrapoladas para o sistema de produção de grama, entretanto, estudos realizados por Godoy (2005), Backes et al. (2008) e Lima (2009) têm demonstrado resultados favoráveis a produção de tapetes de boa qualidade permitindo antecipação da colheita.

A grama está pronta para a colheita aproximadamente 12 meses após a última colheita de tapetes (PIMENTA 2003), ou seja, quando os rizomas e as raízes se desenvolveram e formaram malha suficiente para permitir o manuseio dos tapetes sem proporcionar sua quebra.

Como manejo adotado por parte dos produtores, 30 dias antes da colheita é realizado o nivelamento do gramado com o auxílio do rolo compactador. Tal procedimento tem como finalidade reduzir possíveis irregularidades do terreno, permitir a colheita de tapetes homogêneos e garantir a existência de raízes e rizomas suficientes na camada de solo logo abaixo do tapete colhido.

A colheita dos tapetes ocorre posteriormente a compactação do solo, sendo realizada com auxílio de uma colhedora dotada de lâmina horizontal que corta o gramado do solo na espessura desejada, em combinação com duas lâminas laterais verticais que cortam o gramado com a largura desejada (30, 45 ou 60 cm) (ROELOF, 2001).

A espessura do tapete removido dependerá do tipo e da uniformidade dos solos e o desenvolvimento dos rizomas e raízes do gramado. Trata-se de uma

1. Informação fornecida por Minoru Ito, fundador da empresa Itograss e responsável pela introdução da espécie *Zoysia japonica* (Grama Esmeralda) no Brasil
2. Informação fornecida pelo produtor rural.
3. Informação de conhecimento pessoal do pesquisador sobre o cultivo de grama Esmeralda no Brasil

característica importante que está relacionada à resistência ao manuseio dos tapetes, estando atribuída a quantidade de solo levado com os tapetes durante a colheita podendo dar maior resistência aos mesmos. Tapetes cortados finos são fáceis de manusear, porém levam poucas raízes, rizomas e solo, o que pode retardar o enraizamento no local transplantado. Entretanto, retirar poucas raízes e rizomas da área de produção permite a rebrota mais rápida da grama. Por outro lado, tapetes retirados grossos, levam maior quantidade de raízes e rizomas, favorecendo o enraizamento do tapete. Porém, por serem mais pesados encarecem o transporte. Além disso ocorre, ocorre o retardamento da brotação dos rizomas que permaneceram na área após a colheita (informação verbal³). Segundo Charbonneal (2003), quando há necessidade de realizar-se a colheita antecipada da grama, deve-se retirar tapetes grossos a fim de melhorar as características do tapete.

2.3 Compactação do solo para a colheita de tapetes de grama

A compactação é um processo de compressão pelo qual a porosidade e a permeabilidade do solo são reduzidas por ação de uma força, que induz a mudanças na estrutura do solo e nas características do mesmo (SOANE; OUWERKERK, 1994). Trata-se, portanto, de uma importante forma de degradação física do solo proporcionada, principalmente, pelo tráfego de máquinas pesadas (BOUWMAN; ARTS, 2000).

A compactação acarreta no aumento da densidade, da resistência do solo à penetração e redução da macroporosidade ou porosidade de aeração (DIAS JR., 2000; RESENDE, 2009, PEDROTTI; MELLO JR. 2009). Essa combinação de fatores afeta o desenvolvimento da cultura (BRUSSAARD; VAN FAASSEN, 1994; SOANE; VAN OUWERKERK, 1994) uma vez que a modificação da estrutura do solo pode limitar a adsorção e a absorção de nutrientes, a infiltração e distribuição de água, resultando em problemas no estabelecimento e no crescimento de raízes (FLOWERS; LAL, 1998; LIBARDI; SILVA, 1998; IMHOFF, 2002). A compactação também pode gerar importantes

1. Informação fornecida por Minoru Ito, fundador da empresa Itograss e responsável pela introdução da espécie *Zoysia japonica* (Grama Esmeralda) no Brasil
2. Informação fornecida pelo produtor rural.
3. Informação de conhecimento pessoal do pesquisador sobre o cultivo de grama Esmeralda no Brasil

mudanças na diversidade e funcionalidade do ecossistema do solo, especificamente, na atividade biológica da fauna, ervas, musgos e árvores (AMPOORTER et al. 2012).

Dentre os diversos fatores envolvidos no processo de compactação do solo, a textura é aquela que exerce maior influência sobre a suscetibilidade do solo ao processo de compactação (RICHART et al., 2005). A diferença no tipo mineral de argila pode proporcionar diferentes arranjos das partículas em unidades estruturais e espaços porosos entre elas (MORAES, 2008).

De acordo com Beard (1973) solos de textura fina como os argilosos são mais propensos à compactação e conseqüentemente podem proporcionar efeitos adversos sobre o gramado. Outro fator é o teor de matéria orgânica em relação ao conteúdo de argila. De acordo com Braida (2010) a matéria orgânica atua como minimizadora dos efeitos proporcionados pela compactação, uma vez que oferece maior resistência do solo por estar relacionada a formação e estabilização de agregados do solo. Conseqüentemente, reduz a suscetibilidade do solo a compactação ao elevar o conteúdo de carbono orgânico do solo, reduzindo com isso a faixa de umidade na qual o mesmo exibe propriedades plásticas (ZANHG et al., 1997; MCBRIDE E BOBER, 1989). Adicionalmente, Butler e Slife (1967), Drechsler (1928) e Drechsler (1929) relatam que a fração matéria orgânica favorece o crescimento e desenvolvimento do gramado uma vez que melhora a estrutura, retenção e movimento da água no solo e aumenta disponibilidade de nutrientes.

Em campos de produção de grama o aporte de matéria orgânica do solo, que contribui com a minimização do processo de compactação, é proveniente principalmente, do crescimento das raízes, uma vez que grande parte do material vegetal da cultura é retirado da superfície do solo no processo de colheita da grama (informação verbal¹). O extenso e fibroso sistema radicular da grama contribui para o teor de matéria orgânica do solo pela decomposição contínua das raízes mais velhas (Beard, 1965). O crescimento das raízes, por sua vez, favorece a formação e continuidade de poros, conforme Abreu (2000), poros formados pela ação de raízes são mais estáveis, uma vez que a decomposição por microrganismos gera materiais que atuam como cimentantes das paredes dos poros, proporcionam maior durabilidade aos mesmos do que aqueles formados por implementos agrícolas.

4. 1. Informação de conhecimento pessoal do pesquisador sobre o cultivo de grama Esmeralda no Brasil

Na agricultura, a compactação do solo geralmente está relacionada a aspectos negativos da diminuição do volume e deformação do solo por causas antropogênicas (KOOLEN, 1994). Dentre essas causas, o tráfego de máquinas com atividades de preparo de solo e tráfego de campo são as mais importantes. Entretanto, a deformação proporcionada pelo tráfego de máquinas depende por sua vez da carga aplicada na superfície do solo – peso e carga da máquina, do número de pneus, dimensão e pressão dos pneus (ALAKUKKU et al. 2003), da sua intensidade, da umidade, do tipo de solo e das características mecânicas (HILLEL 1998).

Em áreas de produção de grama, especificamente, a compactação do solo ocorre em função da intensidade de número de passadas de rolo para colheita da grama, do peso e tamanho do rolo utilizado, da textura e teor de umidade do solo (BEARD, 1973). O efeito do número e frequência de passadas de rolo sobre as superfícies gramadas, independente da textura de solo, no processo de compactação, leva a redução da qualidade do gramado (HARTWIGER et al., 2001), portanto, de acordo com Duple (2010), para a maioria dos sistemas de produção de grama, recomenda-se valores de densidade compreendidos entre 1,4 e 1,6 g cm⁻³.

Segundo Madison (1971) “a compactação é o problema mais importante no gramado” e pode proporcionar um declínio geral no crescimento, vigor, qualidade e persistência. No entanto, em muitos casos, a compactação não é reconhecida como a causa da deterioração do gramado, por não reduzir, diretamente, a atividade da planta (TROUSE, 1971). Em vez disso, a compactação do solo atua afetando outros fatores que influenciam no crescimento, difusão do oxigênio no solo, temperatura do solo, resistência à penetração e umidade do solo (SÁ; SANTOS JUNIOR, 2005). Assim, a compactação tem sido chamada de estresse escondido.

Em campos de produção, o mais significativo impacto nas propriedades físicas do solo sob gramados ocorre, principalmente, na operação de colheita. Esta atividade altera a estrutura e as propriedades físico-hídricas do solo, principalmente, na camada superficial do mesmo, dificultando o crescimento e a distribuição de raízes, estolões e rizomas e interferindo no desenvolvimento do gramado que se formará posteriormente. De acordo com Santos et al. (2010) nessas áreas a compactação do solo

ocorre, principalmente, na camada superficial (0-15 cm). Entretanto, Carrow (1992) afirma que esta compactação ocorre somente na camada superior do solo (0 a 3 cm) e é corrigível com a utilização dos equipamentos de cultivo que podem penetrar nessa camada superficial.

Diferentemente de outras atividades agrícolas, na produção comercial de grama, a compactação do solo é um dos manejos necessários para a coleta de tapetes. O rolo compactador atua como indicador, permitindo que a lâmina de corte trabalhe com profundidade de corte uniforme (COCKERHAM, 1988) sendo passado sobre o gramado com a finalidade de possibilitar a colheita inferior e agregar, com maior facilidade, o solo às raízes, rizomas e estolões da grama, o que proporcionará maior resistência aos tapetes. Entretanto, tal procedimento é realizado sem muito critério por parte dos produtores, sendo a resistência do tapete coletado o fator determinante para o número de vezes que o rolo compactador passará sobre a grama que será colhida. Logo, áreas que produzem tapetes quebradiços receberão maior número de passadas do rolo compactador (informação verbal¹).

O conhecimento da compactação do solo e de sua relação com o sistema de colheita de tapetes são fontes importantes para o manejo adequado das condições físicas do solo, para melhorar a produção e a qualidade da grama. O grau desejado de compactação para coleta dos tapetes deverá interferir, o menos possível, na formação do gramado posterior a fim de reduzir o tempo de formação do mesmo. Para isso, é necessário o manejo adequado da umidade e da compactação no momento da colheita (informação verbal²).

2.4 Umidade do solo para a colheita de tapetes de grama

A maior intensidade de uso da terra, expondo o solo a intenso tráfego de máquinas em condições inadequadas de umidade, contribui para alterar a qualidade estrutural do solo e aumentar a compactação em muitas áreas (MORAES et al., 2002; COLLARES et al., 2006). A capacidade de suporte de carga dos solos se deve aos diferentes estados de agregação, à textura, ao teor de água, à matéria orgânica e às tensões recebidas em sua superfície (HORN; LEBERT, 1994). Determinados solos tem maior capacidade de suportar carga, são mais facilmente manejados após períodos de chuvas e não têm limitações ao crescimento vegetal (REINERT, 1990). Entretanto, pesquisas realizadas têm demonstrado alterações nas propriedades físicas do solo, em virtude do tráfego contínuo de máquinas

pesadas quando o teor de água do solo é muito elevado. Visando evitar tais problemas é de suma importância a realização das operações agrícolas de maneira que o solo esteja em condições de friabilidade (RESENDE,1997), apresentando baixa resistência ao preparo e alta a moderada capacidade de suporte de carga e resistência à compressão (Larson et al., 1994). Dessa forma, é de grande relevância o conhecimento acerca da umidade ótima para compactação de um solo, por se tratar de importante propriedade que permite guiar o manejo ao caracterizar o conteúdo de água no qual o solo pode atingir a máxima densidade quando submetido a forças externas de compactação (MILDE et al., 2008).

O conteúdo de água no momento em que o solo está sendo compactado tem uma grande influência na redução e redistribuição do espaço poroso. Solos secos são mais resistentes a mudanças na distribuição do tamanho dos poros e essa resistência é reduzida com o aumento do conteúdo de água (EAVIS, 1972). Se o teor de umidade aumenta, a resistência à compactação diminui, devido à maior lubrificação das partículas, até que se atinjam os limites plásticos inferiores e o conteúdo de água ótimo, no qual o pico de compactação ocorre. Acima do conteúdo de água na capacidade de campo, próximo do ponto de saturação de cada tipo de solo, o aumento da umidade resulta em redução da densidade, podendo causar a perda da estruturação original do solo (SILVA, 1984; LOPES, et al., 2011).

Desta forma, uma estrutura de solo ideal é aquela que permite um espaço poroso suficiente e contínuo para o movimento de água e gases e uma resistência do solo à penetração não impeditiva ao crescimento de raízes e da parte aérea da planta (KOPI; DOUGLAS, 1991). Entretanto, tal característica dificilmente é verificada na camada superficial, em áreas de produção de tapetes de grama devido ao tipo de manejo adotado por parte dos produtores.

Em áreas de produção de grama, no momento da colheita, inicialmente realiza-se a irrigação e, posteriormente, passa-se um rolo compactador com o objetivo de proporcionar maior adesão do solo às raízes e rizomas. No entanto, essa compactação não se restringe somente a camada de solo que será coletada juntamente com os tapetes, abrangendo camadas mais profundas do perfil do solo (informação verbal). Dessa forma, é necessário que a lâmina de irrigação aplicada para o corte de tapetes restrinja-se a camada superficial do solo, mantendo logo abaixo desta uma camada seca, de maneira que possa suportar o peso da máquina de colheita e preservar as características físicas do solo (COCKERHAM, 2007).

Como consequência do espessamento da camada de solo proporcionado pela falta de conhecimento acerca da umidade em que o mesmo é submetido à compactação para a colheita, ocorre a diminuição na infiltração de água no solo, aumento do escoamento superficial, redução da eficiência de irrigação, restrição ao crescimento das raízes e à absorção de nutrientes (SANTOS et al.,2010). Com isso há prolongamento no tempo de formação de novos tapetes de grama e atraso na produção anual (informação verbal). Essa compactação excessiva pode prejudicar a grama que crescerá, posteriormente, uma vez que o aumento da densidade do solo resultante da compactação para realização da colheita tem efeitos indiretos nos gramados no que diz respeito à restrição ao movimento de ar e água e maior resistência física ao desenvolvimento de raízes (GOLOMBEK 2006).

Limites de resistência à penetração impostos ao desenvolvimento de culturas não podem ser aplicáveis a gramados, visto que mesmo a presença de camadas compactadas não impedem a formação de tapetes, e de acordo com Backes (2008), valores acima de 2 MPa são bastante comuns e encontrados para as distintas profundidades do solo onde a grama se desenvolve posteriormente a colheita. Entretanto, Tormena et al. (1998) e Imhoff et al., (2000) afirmam que valores críticos de resistência à penetração podem variar de 1,5 a 4,0 MPa, sendo, em geral, 2 MPa considerados como impeditivos ao crescimento das raízes.

Quando a compactação somente se limita a espessura do solo retirado, logo abaixo da colheita ocorrem condições apropriadas para o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, para o desenvolvimento da parte aérea. O ideal é manter o solo em condições adequadas ao bom desenvolvimento da grama de maneira que os valores de porosidade total, estejam compreendidos entre $0,55-0,35 \text{ dm}^3.\text{dm}^{-3}$, resultando em um intervalo de densidade de $1,19-1,72 \text{ kg dm}^{-3}$ (USGA, 1993). Brandy e Weil (1999) consideram intervalos de densidade entre $1,3$ a $1,6 \text{ kg dm}^{-3}$ adequados, entretanto, sugerem que valores superiores a $1,7 \text{ kg dm}^{-3}$ podem ser bastante restritivos ao crescimento vegetal.

Portanto, o controle da umidade do solo é de extrema importância em áreas de produção de grama uma vez que no momento da colheita permitirá a conservação das propriedades físicas do solo caso esta restrinja-se as camadas mais superficiais.

Além de auxiliar no corte, facilitando a colheita mecanizada da grama, a irrigação vai permitir a continuidade do crescimento da grama que virá posteriormente, e manterá a grama crescendo durante o transporte e plantio no novo local (RITZ, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi instalado e conduzido no período de 9 de maio de 2012 a 15 de maio de 2013, na área de produção de grama denominada Sítio Paraíso, pertencente à Empresa Gramas Xavier, localizada no quilômetro 115,5 da rodovia Antônio Romano Schincariol (SP-127), nas coordenadas geográficas 23°20'20" S e 47°53'08" W, e altitude média de 633m, no município de Tatuí, SP (Figura 1).



Figura 1. Localização do Sítio Paraíso, pertencente à empresa Gramas Xavier e da área experimental (Local: Tatuí –SP, Data: 31/05/2012).

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o município apresenta tipo climático predominante Cwa, com temperatura média anual de 21,6°C e precipitação média de 1.230 mm (CEPAGRI, 2012).

O solo onde foi instalado o experimento é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd) A moderado de textura argilosa, com relevo suavemente ondulado, de acordo com o mapa pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA et al., 1999).

A área escolhida para condução do experimento vem sendo utilizada na produção comercial de grama colhida mecanicamente em tapetes há, aproximadamente, oito anos, sendo no ano de 2012, realizada a sétima colheita da grama na propriedade sem que tivesse ocorrido à renovação da área de cultivo.

3.2 Parâmetros meteorológicos da região

Os dados de precipitação pluvial (mm) e temperatura máxima, mínima e média mensal do ar (graus Celsius), no município de Tatuí, no período de maio de 2012 a maio de 2013, bem como os dados de precipitação no mês de maio de 2012 foram obtidos do monitoramento climatológico do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) pertencente ao Instituto Agrônomo de Campinas (CIIAGRO On line, 2013) e encontram-se nas Figuras 2 e 3.

A precipitação pluvial do período de realização do experimento mostrou-se dentro do padrão esperado, com inverno de baixa pluviosidade e verão chuvoso. Entretanto, as temperaturas médias logo após a colheita foram relativamente baixas nos distintos períodos, não sendo muito adequadas ao desenvolvimento da grama Esmeralda, que de acordo com Beard (1973) melhor se desenvolve em temperaturas compreendidas entre 26° e 35°C.

Embora, por meio da figura 3 seja verificada incidência de chuva no município de Tatuí-SP (precipitação de 0,6 mm) na semana que antecedeu a colheita dos tapetes, não constatou-se por meio do pluviômetro instalado na propriedade a ocorrência de precipitação no Sítio Paraíso de produção de grama Esmeralda.

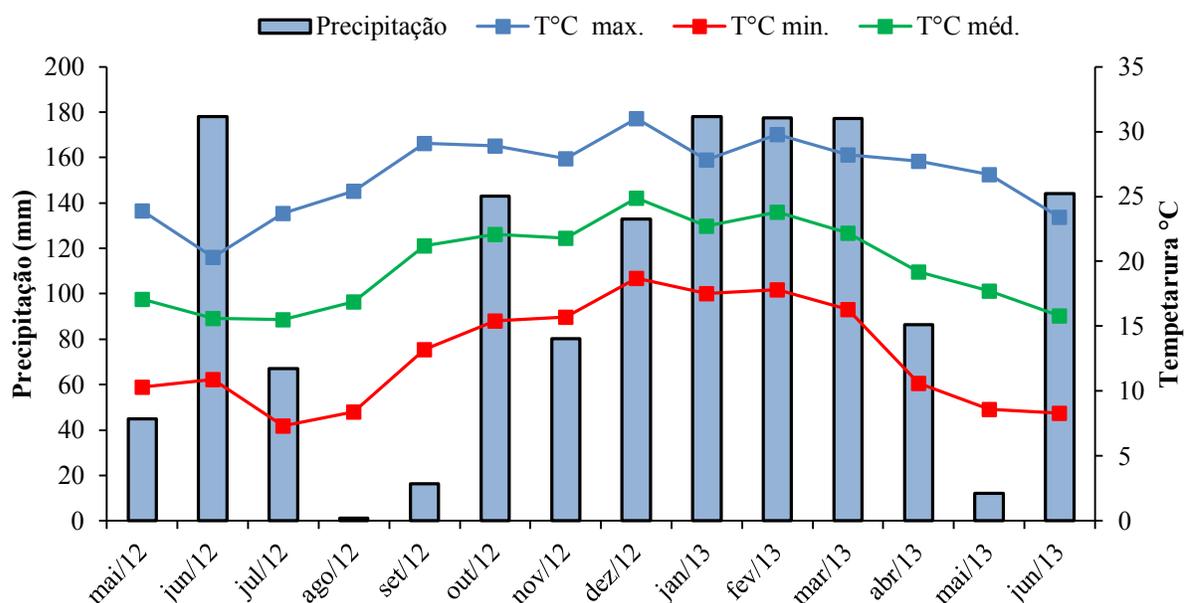


Figura 2. Precipitação pluvial e temperaturas máxima, mínima e média do ar no município de Tatuí - SP, no período compreendido entre maio de 2012 e maio de 2013.

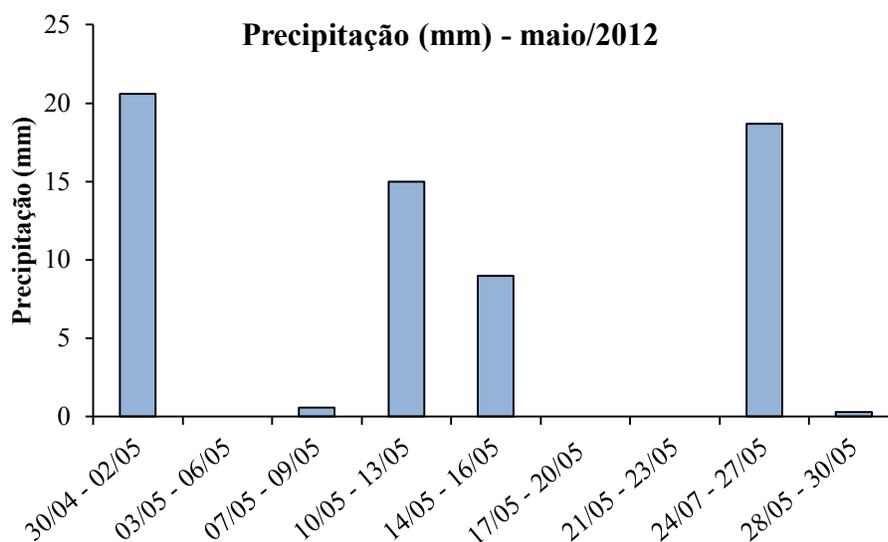


Figura 3. Precipitação pluvial no município de Tatuí-SP no período compreendido entre 30 de abril e 30 de maio de 2012.

3.3 Caracterização da espécie utilizada

A espécie utilizada foi a *Zoysia japonica* Steud. conhecida como grama Esmeralda. É uma espécie rizomatosa e estolonífera, podendo, portanto, ser colhida em

área total, visto que após a colheita ficam rizomas subsuperficiais capazes de brotar e cobrir novamente o solo (Figura 4). Optou-se pela *Zoysia japonica* Steud. por sua importância comercial como grama ornamental, sendo a espécie líder em vendas no Brasil e em áreas de cultivo dentre as demais espécies cultivadas.



Figura 4. Grama Esmeralda (*Zoysia japonica* Steud.) (a); rebrota da grama Esmeralda a partir de rizomas que permaneceram na área de produção após a colheita dos tapetes (b).

3.4 Caracterização da área experimental

A caracterização da área experimental foi realizada mediante testes preliminares em laboratório, utilizando-se amostras de solo provenientes de uma área próxima aquela onde foi realizado o experimento. Essa caracterização visou a obtenção de informações referentes a valores de densidade e umidade do solo da área de produção onde realizarse-ia a colheita dos tapetes de grama. A coleta das amostras utilizadas na determinação das características físicas do solo foi realizada na colheita anterior a realização do experimento (04/07/2011).

3.4.1 Caracterizações físicas do solo

As caracterizações do solo da área experimental foram realizadas no Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp, Campus de Botucatu, com amostras provenientes da

camada de 0 a 0,05 m. Optou-se por trabalhar com a respectiva camada do solo pelo fato de ser aquela onde durante o desenvolvimento da grama, ocorre a maior formação de raízes, rizomas e estolões, além de ser a camada do solo removida durante a colheita dos tapetes de grama.

3.4.1.1 Caracterização granulométrica do solo

A caracterização granulométrica do solo foi realizada de acordo com a metodologia da Embrapa (1997) pelo método da pipeta, com amostras deformadas, coletadas de cinco pontos distintos da área de produção, próximos a área onde seria conduzido o experimento. As amostras foram coletadas da camada de 0 a 0,05 m, homogenizadas, dando origem a uma amostra composta única. Da amostra composta foram obtidas cinco subamostras e determinados os valores das frações areia, silte e argila do solo da área experimental. Os resultados referentes à análise realizada estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Composição granulométrica do solo da área experimental (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP, Data: 04/07/2011).

Camada do solo	Areia	Argila	Silte	Classe textural
m	g kg ⁻¹			
0-0,05	156	454	390	Argiloso

3.4.1.2 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade

A caracterização da porosidade, anteriormente a aplicação dos tratamentos, foi realizada mediante a coleta de amostras de solo na camada de 0 a 0,025 e 0,025 a 0,05 m, com o auxílio de anéis volumétricos de 2,5 cm de altura por 5,0 cm de diâmetro e volume de 49,09 cm³.

Para a determinação desta característica foram coletadas cinco amostras da camada de 0-0,025 m e outras cinco da camada de 0,025-0,05 m de profundidade. Posteriormente a coleta, as amostras foram enroladas em papel alumínio, armazenadas em caixa de isopor e levadas para análise. Em laboratório foi realizado o nivelamento das amostras de maneira que o volume ocupado por solo coincidissem com a altura da borda do anel

e protegidas na base inferior com tecido de forma que permitisse sua saturação em água. Depois de preparadas foram acondicionadas em bandejas com água até dois terços da altura do anel e colocadas para saturação até que todos os poros do solo estivessem ocupados com água e se observasse a formação de um espelho d'água na superfície (EMBRAPA, 1997).

Depois de saturados, os anéis foram pesados e submetidos à drenagem em mesa de tensão a - 6 kPa por 24 horas a fim de obter os valores de microporosidade do solo. Decorrido o tempo de drenagem, as amostras foram pesadas e, posteriormente, colocadas em estufa a 105°C até que atingissem peso constante (Figura 5).

Com os valores de peso saturado e peso seco das amostras determinou-se a porosidade total, e mediante aqueles obtidos na mesa de tensão foram calculados os valores de macroporosidade, por diferença entre a porosidade total e a microporosidade (EMBRAPA, 1997).



Figura 5. Determinação da porosidade do solo: drenagem das amostras previamente saturadas em mesa de tensão (- 6 kPa).

As equações que expressam os resultados de porosidade total, microporosidade e macroporosidade constam das Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$P_t = \left(\frac{(P_{sat} - P_{au}) - (P_s - P_{as})}{V_a} \right)$$

(1)

Sendo:

P_t = porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$).

P_{sat} = massa da amostra saturada (g).

P_{au} = massa do anel úmido (g).

P_s = massa da amostra seca (g).

P_{as} = massa do anel seco (g).

V_a = volume do anel (m^3).

$$mp = \left(\frac{(P_{sat} - P_{au}) - (P_{0,006} - P_{au})}{V_a} \right) \quad (2)$$

Sendo:

mp = microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$).

$P_{0,006}$ = massa da amostra drenada a - 6 kPa (g).

$$MP = P_t - mp \quad (3)$$

Sendo:

MP = macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$).

Os valores de porosidade total, macroporosidade, microporosidade referentes à caracterização da área experimental são apresentados na Tabela 2 e são inferiores ao considerados como ideais por Reichardt e Timm (2004) e Libardi (2005) que propõem como índices de porosidade total adequados para solos de textura argilosa valores compreendidos entre 0,52 a 0,61 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ (52 a 61% de porosidade total), demonstrando, portanto, que a macro e microporosidade do solo também tiveram seus valores alterados mediante aos processos de compactação que o solo vem sofrendo nos vários anos de produção.

Tabela 2. Valores de porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp) referentes caracterização da área experimental (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP, Data: 04/07/2011).

Camada do solo (m)					
0 – 0,025 m			0,025 – 0,050 m		
Pt	Mp	mp	Pt	Mp	mp
----- m ³ m ⁻³ -----			----- m ³ m ⁻³ -----		
0,46	0,05	0,41	0,41	0,05	0,36

3.4.1.3 Densidade do solo

Os valores de densidade do solo, referentes à caracterização da área experimental, foram obtidos a partir das amostras utilizadas na determinação dos valores de porosidade do solo.

Esta propriedade do solo foi determinada pelo método descrito em Embrapa (1997), sendo as amostras indeformadas, após o processo de secagem em estufa a uma temperatura de 105° C, pesadas, determinando-se posteriormente, os valores de densidade do solo conforme a Equação 4. Os dados referentes a esta característica estão apresentados na Tabela 3.

$$Ds = \left(\frac{m_{s+a} - m_a}{V_a} \right) \quad (4)$$

Sendo:

Ds = densidade do solo (kg dm⁻³).

m_{s+a} = massa da amostra de solo + anel volumétrico (g).

m_a = massa do anel (g).

V_a = volume do anel (cm³).

Tabela 3. Valores médios de densidade do solo (Ds) nas camadas de 0-0,025 m e 0,025-0,05 m referentes a caracterização da área experimental (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP, Data: 04/07/2011).

Camada do solo	Densidade do solo (Ds)
----- m -----	----- kg dm ⁻³ -----
0 - 0,025	1,43
0,025 - 0,05	1,37

Os valores de densidade obtidos para as camadas do solo (0,0-0,025 e 0,025-0,05 m), embora relativamente altos apresentaram-se dentro da faixa de valores de densidade para solos de textura argilosa (0,90 a 1,6 kg.dm⁻³) descritos por Reichardt e Timm (2004).

3.4.1.4 Teor de água do solo no momento da colheita – Método gravimétrico

A determinação do teor de água do solo no momento da colheita dos tapetes, normalmente empregado pelos produtores, foi obtido pelo método gravimétrico proposto por Bernardo et al. (2006).

As amostragens para determinação dessa característica foram realizadas em uma região da propriedade onde estava ocorrendo à colheita dos tapetes de grama para comercialização, sendo adotada para prática da colheita a aplicação de uma lâmina de irrigação de 10 mm no dia que antecede a operação.

As amostras foram coletadas da camada de 0 - 0,05 m, armazenadas em recipientes de alumínio dotados de tampa, imediatamente pesadas, com o auxílio de uma balança portátil e vedadas. Posteriormente, foram levadas ao laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/Unesp - Campus Botucatu onde foram secas em estufa por 24 horas a uma temperatura de 105°C, até que atingissem massa constante. Decorrido o período de secagem e resfriamento, as mesmas foram novamente pesadas, possibilitando obter o teor de água do solo coletado, por meio da Equação 5.

$$\theta\% = \frac{(Pu - Ps)}{Ps} \times 100 \quad (5)$$

Sendo:

$\theta\%$ = umidade (%)

Pu = massa da amostra úmida (g)

Ps = massa da amostra seca (g)

Essa coleta visou caracterizar o teor de água normalmente utilizado pelos produtores no momento da colheita dos tapetes, teor este que representou um dos tratamentos do presente trabalho. Os resultados referentes à determinação do teor de água empregado pelo produtor de grama estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Teor de água do solo no momento da colheita dos tapetes de grama (caracterização da área experimental)(Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP, Data: 04/07/2011).

Camada do solo	Teor de água do solo (θ)
----- cm -----	----- % -----
0,0-5,0	31,15

3.4.1.5 Curva de máxima compactação do solo

A curva de máxima compactação foi determinada por meio do ensaio de Proctor Normal (NOGUEIRA, 1995) (Figura 6), que permite obter a correlação entre o teor de água e a densidade do solo, após aplicação de determinada energia. Os resultados obtidos com esta determinação permitiram identificar se o teor de água normalmente utilizado pelo produtor (31,15 %) apresenta relação com a umidade ótima de compactação do ensaio.

O ensaio foi realizado com amostras deformadas de solo proveniente da camada de 0 - 0,05 m, sendo estas coletadas de cinco pontos distintos da área experimental. O teste iniciou-se com o peneiramento da amostra em peneira de 4,76 mm. Posteriormente ao peneiramento, uma alíquota de 5 kg de solo foi pesada e em seguida umedecida em bandeja com uma pequena quantidade de água. Parte da amostra úmida foi acondicionada em um molde de ferro e submetida à compactação mediante aplicação de golpes de um soquete com

massa de 2,5 kg de uma altura de 30,5 cm. Após o processo de compactação no molde a amostra foi nivelada e submetida à pesagem (cilindro + solo úmido compactado) em balança digital. Posteriormente à pesagem, a massa de solo úmida foi retirada do molde com o auxílio de um macaco hidráulico e uma fração do material foi coletada, acondicionada em recipiente de alumínio, novamente pesada e colocada em estufa a 105°C por 24 horas para secagem, até que atingisse peso constante.



Figura 6. Ensaio de Proctor normal: peneiramento da amostra de solo (a); umedecimento da amostra (b); preenchimento do molde de ferro com o solo a ser compactado (c); processo de compactação do solo com auxílio de soquete (d); pesagem da amostra posteriormente ao processo de compactação (e); destorroamento da amostra e retirada de aliquota para determinação do teor de água do solo (f).

Decorrido o tempo de secagem, a amostra foi novamente pesada para determinação da sua umidade. A amostra restante foi destorroadada, a ela novamente adicionada uma quantidade de água, da ordem de 2% da massa original de água do solo, repetindo-se o processo pelo menos por mais quatro vezes. Com os dados obtidos elaborou-se a curva de compactação, que consiste na representação da densidade do solo em função do teor de água (Figura 7).

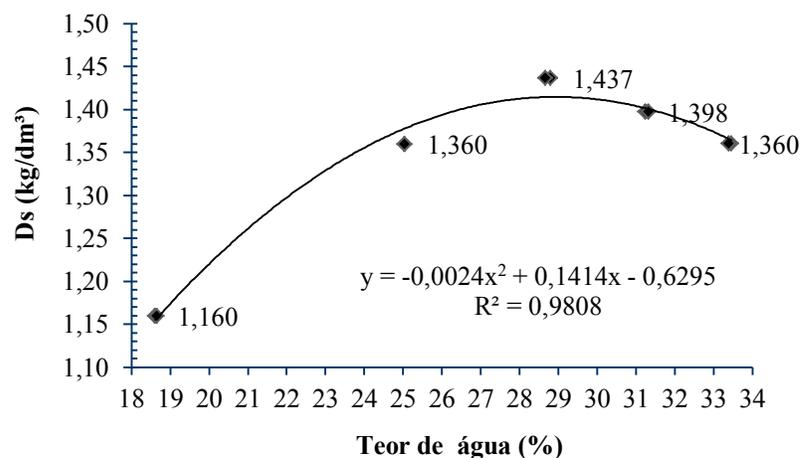


Figura 7. Curva de máxima compactação do solo da área experimental.

Com a derivação da equação da curva de máxima compactação determinaram-se os valores de teor de água e densidade ótima para a máxima compactação do solo, sendo 29,45 % o teor de água máximo do solo encontrado e 1,45 kg dm⁻³ a máxima densidade obtida para o respectivo teor de água.

Considerando-se a curva de máxima compactação observa-se que o produtor rural está realizando a colheita dos tapetes com umidade superior (31,15 %) aquela considerada como ideal (29,45 %) para obtenção da máxima densidade do solo (1,45 kg dm⁻³).

3.4.1.6 Obtenção da curva característica de retenção de água no solo

A caracterização da curva de retenção de água no solo, realizada anteriormente a aplicação dos tratamentos, foi realizada com amostras indeformadas de solo provenientes da camada de 0 - 0,025 m, coletadas com auxílio de anéis volumétricos de 49,09 cm³ de volume.

Para a caracterização foram coletados dez anéis volumétricos. Após a coleta, as amostras de solo foram saturadas até que todos seus poros estivessem ocupados por água, sendo o ponto de saturação determinado pela formação de um espelho d'água sobre a superfície dos anéis.

Depois de saturadas as amostras foram pesadas e colocadas primeiramente em mesa de tensão (- 6 kPa) e posteriormente nas Câmaras de Richard e submetidas às tensões de - 10; - 33; - 100; - 300 e - 1500 kPa até que atingissem drenagem máxima da água contida em seus poros correspondente a tensão aplicada, sendo o tempo de drenagem das amostras em cada ponto de tensão variável. Ao cessar a drenagem as amostras foram pesadas e, novamente, submetidas a uma nova drenagem na tensão subsequente, sendo tal processo realizado todas as vezes que se finalizasse o gotejamento da Câmaras de Richards (CAMARGO et al., 1986) (Figura 8).

Os resultados de teor de água das amostras obtidos com as pesagens foram, posteriormente, ajustados pelo modelo proposto por Van Guenuchten (1980) (Equação 6) por meio do software SWRC, desenvolvido por Dourado Neto et al. (1990) (Figura 9).

$$\theta_{\varphi} = \theta_r + \frac{\theta_s + \theta_r}{[1 + (\alpha (\varphi^n))^m]} \quad (6)$$

Sendo:

θ_{ψ} = umidade referente ao potencial matricial ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

θ_r = umidade residual

θ_s = umidade na saturação

α e n = parâmetros de ajuste

$$m = 1 - \frac{1}{n}$$

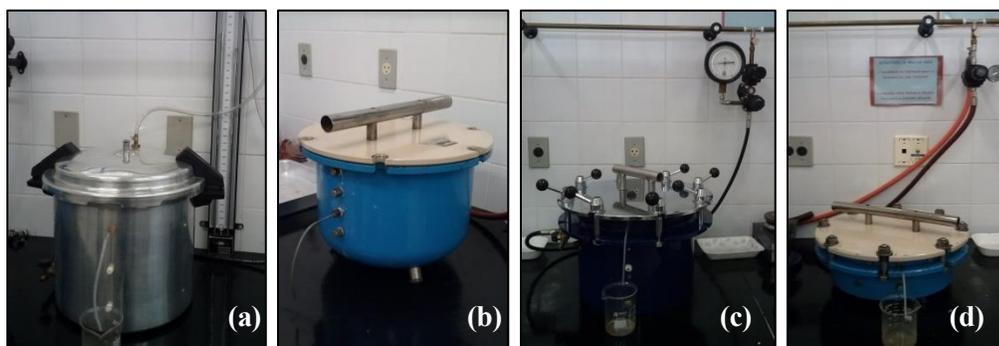


Figura 8. Câmaras de Richards: Câmara de -10 e -33KPa de pressão de drenagem (a); Câmara de -100KPa de pressão de drenagem (b); Câmara de -300KPa de pressão de drenagem (c); Câmara de -1500 KPa de pressão de drenagem (d).

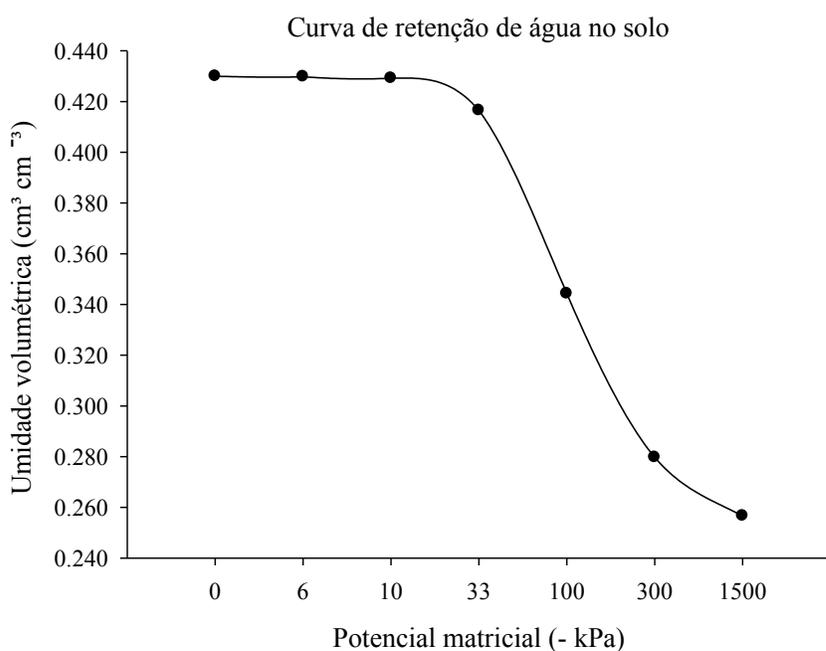


Figura 9. Curva característica de retenção de água no solo da área de produção de grama (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP, data: 04/07/2011).

3.4.1.7 Resistência do solo a penetração - Método do penetrômetro eletrônico

As leituras de resistência do solo foram obtidas com o auxílio do medidor eletrônico de compactação, modelo Penetrolog 1020, da marca Falker, dotado de

ponteira cônica metálica de 12,83 mm de diâmetro e sistema informatizado de coleta e armazenamento de dados em condições de campo.

Para a caracterização da área experimental foram tomadas 15 medidas, sendo estas realizadas, aleatoriamente, pela área de produção. As medidas foram obtidas a cada 0,01 m de penetração do cone metálico no solo até que o mesmo atingisse a profundidade de 0,40 m. Ao final de cada determinação realizou-se o armazenamento do resultado no equipamento.

Os dados armazenados no Penetroleg 1020 foram posteriormente a determinação da característica transferidos do equipamento para um computador por meio do software “Falker – Compactação do Solo”. A partir dos dados de leitura a cada 0,01 m gerados obteve-se um valor médio de resistência das repetições realizadas em campo até a profundidade de 0,4 m, conforme apresentado na Figura 10.

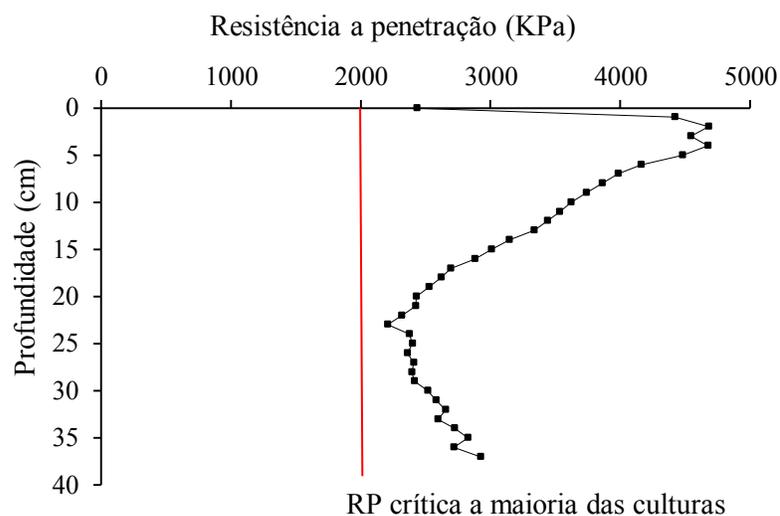


Figura 10. Valores médios de resistência à penetração do solo referente à caracterização da área de produção de grama “Sitio Paraíso”, pertencente à empresa Gramas Xavier.

3.5 Determinação dos tratamentos e delineamento experimental

Os valores obtidos nas determinações das características físicas do solo: densidade do solo, teor de água no solo para coleta de tapetes e ensaio de Proctor normal, e os dados fornecidos pelo produtor com relação à lâmina de água aplicada no dia anterior a

colheita (10 mm) e número de passadas de rolo compactador de 8.350 kg no dia da colheita dos tapetes (4 passadas de rolo), foram considerados para a determinação dos tratamentos experimentais, sendo as lâminas estabelecidas: 7,5; 10; 12,50 e 15 mm e o número de passadas de rolo: 4, 8 e 12 vezes.

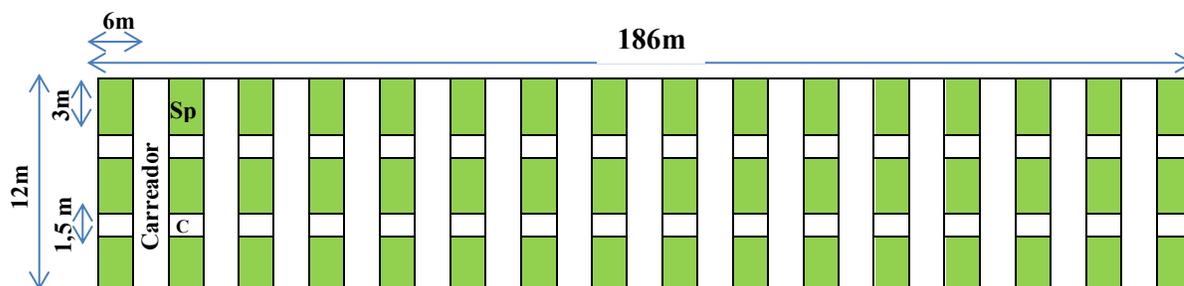
Determinadas as lâminas de água a serem aplicadas no dia anterior a colheita dos tapetes e o número de passadas de rolo, foram estabelecidos os tratamentos experimentais (Tabela 5), sendo as letras “LI” e “IC” utilizadas como referência para a lâmina de água e intensidades de compactação, mediante o número de passadas de rolo, respectivamente.

Tabela 5. Tratamentos experimentais.

Tratamentos experimentais	
T1: LI1IC1 – 7,5mm x 4 rolos	T7: LI3IC1 – 12,5mm x 4 rolos
T2: LI1IC2 - 7,5mm x 8 rolos	T8: LI3IC2 – 12,5mm x 8 rolos
T3: LI1IC3 - 7,5mm x 12 rolos	T9: LI3IC3 – 12,5mm x 12 rolos
T4: LI2IC1 – 10mm x 4 rolos	T10: LI4IC1 – 15mm x 4 rolos
T5: LI2IC2 – 10mm x 8 rolos	T11: LI4IC2 – 15mm x 8 rolos
T6: LI2IC3 – 10mm x 12 rolos	T12: LI4IC3 – 15mm x 12 rolos

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado organizado em parcelas subdivididas, em esquema fatorial 4 x 3, sendo as parcelas constituídas pelas lâminas de irrigação (7,5; 10; 12,5 e 15 mm) aplicadas no dia anterior a compactação, e as subparcelas pelas intensidades de compactação (4, 8 e 12 passadas de rolo), mediante variação de carga com a utilização de rolo compactador no momento da colheita dos tapetes, com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais.

A área experimental com 2.232 m², foi constituída por parcelas de 6 m x 12 m (72 m²) e subparcelas com 6 m x 3 m (18 m²), espaçadas por carregadores de 1,5 m de largura, que foram estabelecidos visando ajustar a largura da parcela ao tamanho dos tubos de irrigação utilizado para a aplicação das lâminas de água. Entre as parcelas experimentais existiam carregadores de 6 m x 12 m, definidos no delineamento experimental visando permitir a manobra do rolo compactador entre as mesmas no dia da colheita dos tapetes (Figura 11 e 12).



Legenda: Sp- subparcela; C- carreador

Figura 11. Croqui da área experimental



Figura 12. Área experimental localizada na propriedade Sítio Paraíso da empresa Gramas Xavier (Local: Tatuí-SP, data: 10/05/2012).

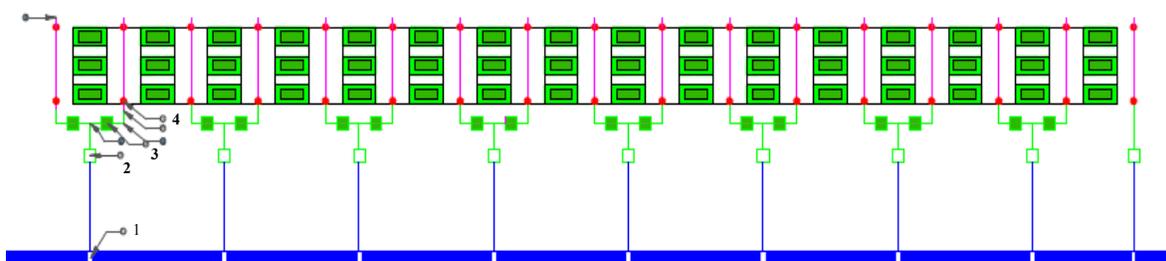
3.6 Lâminas de irrigação aplicadas na área experimental no dia anterior a colheita

As lâminas de irrigação foram aplicadas no dia anterior a colheita dos tapetes de grama (09/05/2012) por meio de um sistema de irrigação por aspersão convencional móvel montado na área experimental e derivado da linha de irrigação do produtor. As linhas principais, responsáveis pela distribuição da água até as linhas de irrigação, foram conectadas a saída dos aspersores da linha do produtor, permitindo assim a aplicação das lâminas de irrigação estabelecidas (Figura 13 e 14).

O sistema de irrigação foi composto por tubos de irrigação EP 2” rosqueáveis de 6 metros de comprimento da marca Tigre, classe PN 80 (pressão de serviço de 80 m.c.a.) e aspersores do modelo 427 1/2" M da Naandanjain espaçados de 12 x 12 m, que trabalharam em condição de giro parcial de 15°, vazão de 1,18 m³.h⁻¹ e diâmetro molhado de 26m, a uma pressão de serviço de 40 mca.

A disposição do sistema de irrigação em campo foi constituída por 3 conjuntos de 4 aspersores que funcionavam simultaneamente. Decorrido o tempo de irrigação necessário para aplicação da lâmina determinada, o conjunto era então transferido para as demais parcelas até que toda área experimental fosse molhada.

Salienta-se que o sistema de irrigação utilizado neste experimento foi derivado do sistema de irrigação já em uso pelo produtor, sendo necessário a instalação de reguladores de pressão de 40 mca para garantir o bom funcionamento dos aspersores. Além disso, o sistema de irrigação utilizado na propriedade foi projetado para irrigar grande área simultaneamente, assim, para evitar problemas provenientes de sobre carga de pressão ao sistema de irrigação, foi necessário que os aspersores utilizados no começo da linha de irrigação utilizada pelo produtor, fossem mantidos em funcionamento durante as irrigações do experimento.



Legenda: 1- saída do aspersor da linha de irrigação do produtor; 2- regulador de pressão; 3-registros; 4 – aspersores.

Figura 13. Croqui do sistema de irrigação instalado a partir da linha de irrigação do produtor.

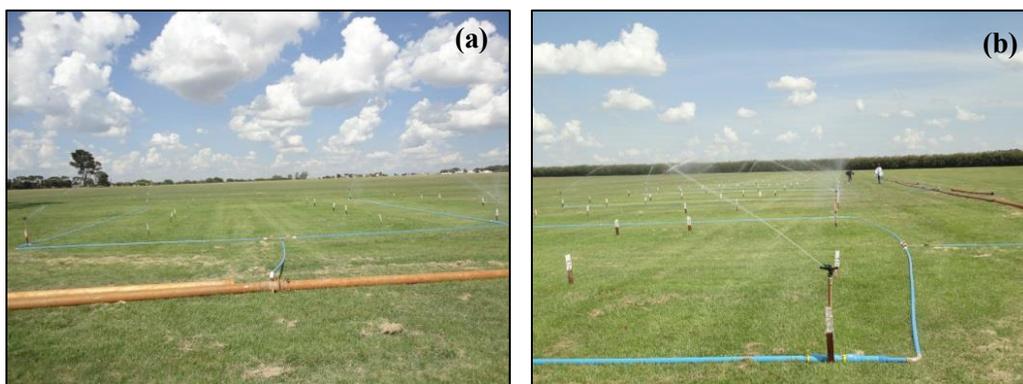


Figura 14. Montagem do sistema de irrigação utilizado no experimento a partir da linha de irrigação do produtor: Derivação do sistema de irrigação a partir da linha de irrigação do produtor (a); funcionamento do sistema de irrigação (b)

O tempo de irrigação de cada tratamento (Equação 7, 8) proposto foi definido com base na lâmina de irrigação desejada, na vazão do aspersor e no espaçamento entre os aspersores, sendo os tempos de 14, 19, 23 e 27 minutos necessários para a aplicação das lâminas de 7,5; 10; 12 e 15 mm de água, respectivamente.

$$IA = \frac{Vazão}{Esp_{asp.}} \quad (7)$$

Onde:

IA – Intensidade de aplicação ($mm\ h^{-1}$)

Esp_{asp} – Espaçamento entre os aspersores

$$TI = \left(\frac{LI}{IA} \right) \times 60 \quad (8)$$

Onde:

TI – Tempo de irrigação

LI – lâmina de irrigação

IA – Intensidade de aplicação

3.7 Intensidades de compactação aplicadas no dia da colheita dos tapetes de grama

As intensidades de compactação foram obtidas mediante a utilização do rolo compactador de 8.350 kg de massa e dimensões: 2,40 m de comprimento por 1,20m de diâmetro e volume de 2,714 m³ acoplado a um trator Ford modelo 6610 de 4000 kg de massa. Área de contato do rolo com o solo é de 0,432 m² (0,18 x 2,40 m), o que representa uma carga estática de 19.328 kg m⁻² sobre a superfície do solo.

A compactação do solo nas subparcelas experimentais foi realizada no dia 10 de maio de 2012 e aplicada mediante a passada do rolo compactador sobre as mesmas com o auxílio de um trator em segunda marcha reduzida a uma aceleração de 1800 rpm, sendo o operador da máquina orientado e conduzido pela marcação nas estacas e por uma pessoa que passava por dentro das subparcelas durante operação (Figura 15).

O rolo compactador foi passado, primeiramente, por quatro vezes no decorrer do comprimento de toda área experimental sendo, posteriormente, o operador da máquina conduzido a passar por mais quatro vezes pelas subparcelas que receberiam oito cargas de rolo, e por mais oito vezes naquelas que receberiam doze vezes a carga de rolo.

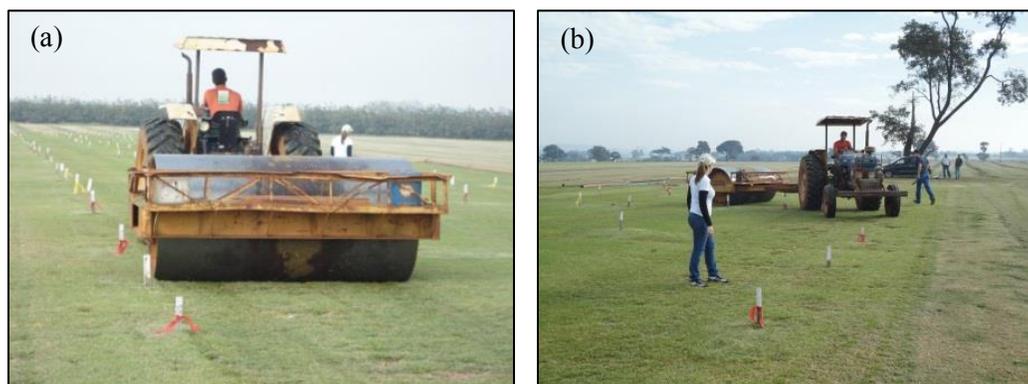


Figura 15. Operação de compactação do solo nas subparcelas experimentais. (a) Rolo compactador utilizado; (b) monitoramento do operador de máquina para realização do processo de compactação das subparcelas experimentais (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP, Data: 10/05/2012).

3.8 Colheita dos tapetes de grama

Os tapetes de grama com dimensões de 0,40 m de largura por 0,625 m de comprimento foram cortados 10 meses após a última colheita. A operação de colheita dos mesmos foi realizada com o auxílio de uma cortadeira mecânica adaptada a um trator posteriormente a aplicação das intensidades de compactação com o rolo compactador. Dos tapetes colhidos da área, somente aqueles localizados na região central da parcela foram utilizados para a análise de resistência mecânica de tapetes. Estes ao subirem pela esteira da cortadeira foram recolhidos e distribuídos sobre a superfície do solo para posterior armazenamento dois a dois em sacos plásticos de 60 litros de capacidade volumétrica identificados com o tratamento experimental.

De todos os tapetes colhidos na região central da parcela, seis deles foram armazenados e levados para a análise que se procedeu no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas na Unesp/ Campus de Botucatu no dia posterior a colheita dos mesmos. Os demais tapetes colhidos foram empaquetados e comercializados pela empresa (Figura 16).

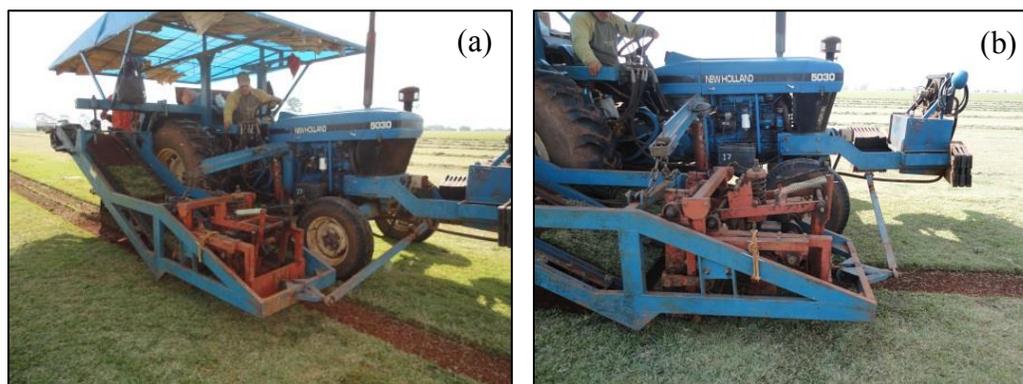


Figura 16. Colheita dos tapetes de grama: (a) Equipamento utilizado na colheita dos tapetes de grama; (b) detalhes da colheita dos tapetes.

3.9 Acompanhamento da rebrota da grama até a formação de novos tapetes.

O acompanhamento da rebrota da grama até a formação de novos tapetes ocorreu: após a colheita dos tapetes, aos 90, 180 e 360 dias, não sendo realizado aos

270 dias como previsto, pela necessidade de aberturas na grama para a coleta das amostras de solo, podendo provocar danos no gramado, impedindo a nova colheita aos 360 dias para a análise de resistência de tapetes.

Posteriormente a colheita a cultura foi conduzida conforme o manejo adotado por parte do produtor (adubação, controle de plantas daninhas e pragas, roçada, descompactação da camada superficial do solo, irrigação).

As adubações foram efetuadas com uma adubadeira de distribuição a lanço da marca Vicon, modelo TDS 1150, tracionada por um trator. A operação de adubação foi realizada por meio do deslocamento do trator + implemento pelas extremidades da área experimental. Tal operação visou proporcionar uma distribuição uniforme e semelhante do adubo nas subparcelas localizadas na região central da área experimental, de maneira que as mesmas recebessem uma quantidade semelhante de adubo daquelas localizadas nas extremidades, uma vez que a largura efetiva de trabalho da adubadora é de 12 metros.

A primeira adubação foi realizada aos 25 dias após a colheita dos tapetes mediante a aplicação de 200 kg ha^{-1} do fertilizante granulado 08-28-16, 92 kg ha^{-1} do fertilizante 00-46-00 kg ha^{-1} , sendo todo fósforo aplicado neste período. As demais adubações ocorreram a cada dois meses, com a aplicação da dose de 330 kg ha^{-1} do fertilizante 20-00-10. O total de fertilizantes aplicados na área experimental durante o ciclo da cultura foi de 346 kg ha^{-1} de N, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 197 kg ha^{-1} de K_2O .

Após a colheita dos tapetes o controle de plantas daninhas na área experimental foi feito de forma manual, com o auxílio de enxada. A irrigação foi efetuada via sistema de aspersão, com canhão autopropelido, mediante a aplicação de uma lâmina de irrigação de 10 mm, sendo o sistema acionado de uma a duas vezes por mês, dependendo da incidência de precipitação na região e do nível de água do tanque de captação (Figura 17 a). A última irrigação (14/05/2013), mediante a aplicação de uma lâmina de irrigação de 10 mm, ocorreu no dia que antecedeu a última colheita dos tapetes e visou manter o solo com umidade adequada, de maneira que permitisse a colheita dos tapetes de grama de forma íntegra. Entretanto, a operação de colheita foi realizada sem que o solo sofresse processo de compactação, pois visou avaliar se o desenvolvimento dos rizomas e estolões proporcionariam resistência suficiente aos tapetes colhidos, de maneira que não fosse necessária a operação de compactação para a colheita dos tapetes do ciclo seguinte.

A operação de descompactação do solo aconteceu aos 90 dias após a colheita dos tapetes de grama sendo realizada com o auxílio do implemento “Estrelinha” que consiste de um chassi de grade intermediária de arrasto com seções paralelas, onde são adaptados discos planos de 16 polegadas, recortados em formato de estrela de oito pontas e com espaçamento entre discos de 15 cm (SANTOS et al., 2010). O processo de escarificação do solo com a “Estrelinha” foi realizado mediante o acoplamento e arraste do implemento por uma vez por um trator no decorrer da largura das parcelas (Figura 17 b). Posteriormente a escarificação foi realizada a quebra dos torrões provenientes da operação com o auxílio de um conjunto de pneus amarrados em forma de triângulo.

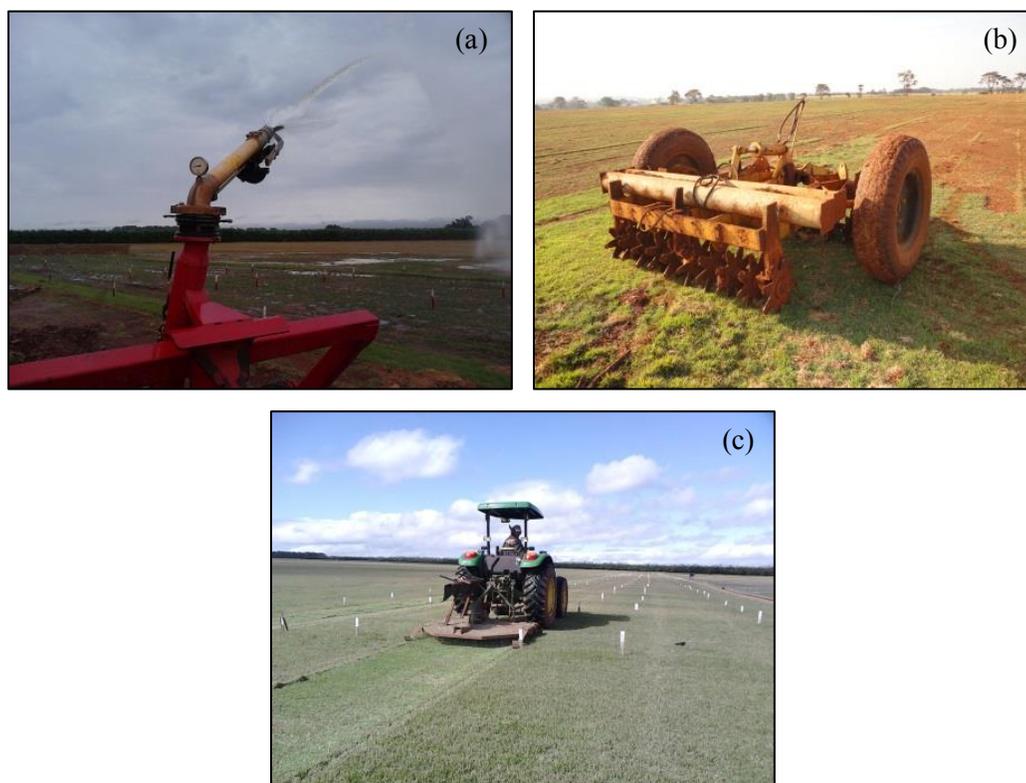


Figura 17. Práticas culturais realizadas após a colheita dos tapetes: Sistema de irrigação utilizado na área experimental após a colheita dos tapetes de grama (a); equipamento “Estrelinha” utilizado na área experimental para descompactar a camada superficial do solo (b); roçada da grama após a colheita dos tapetes (c).

O controle da altura da lâmina foliar da grama (2-3 cm) foi feito com o auxílio de roçadeira acoplada a um trator. A primeira colheita da grama ocorreu após a

colheita dos tapetes (janeiro de 2013), quando a grama apresentou massa de folhas suficiente para a realização da operação. As demais operações de corte visando manter a altura da grama ideal foram realizadas a cada 30 dias até a última colheita dos tapetes (Figura 17 c). As aparas provenientes da colheita foram amontoadas com um rastelo e retiradas da área com uma carreta.

4.0 Caracterização física do solo após a colheita dos tapetes de grama

Para a determinação das características físicas do solo da área experimental, após a colheita dos tapetes, adotou-se a mesma metodologia da caracterização da área de produção, exceto para a determinação do teor de água do solo. As análises das amostras coletadas e provenientes da camada de 0 – 0,05 m de profundidade foram realizadas no Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas na Unesp/ Campus de Botucatu.

Optou-se por estudar a camada de 0-0,05 m pelo fato de ser aquela onde ocorre o efetivamente o desenvolvimento das estruturas da grama Esmeralda.

4.0.1 Teor de água do solo no momento da colheita com auxílio de sensor de umidade

A determinação do teor de água do solo, posteriormente a colheita dos tapetes de grama, foi realizada com auxílio de sensor de umidade ML2X, conectado ao leitor de umidade modelo HH2 da empresa Delta-T (Figura 18).

O sensor ML2X é constituído por quatro hastes de aço inoxidável de 0,05 m de comprimento, sendo três hastes organizadas na forma de triângulo e a 4ª haste posicionada na região central do sensor (Figura 18c) posicionadas de forma equidistante.

As leituras de umidade foram obtidas mediante a penetração das hastes metálicas do sensor no solo pelo acionamento do leitor HH2 por meio da tecla Read. Com o acionamento do comando (Read) é proporcionada uma corrente dielétrica nas hastes e em poucos segundos obtém-se o teor de água do solo.

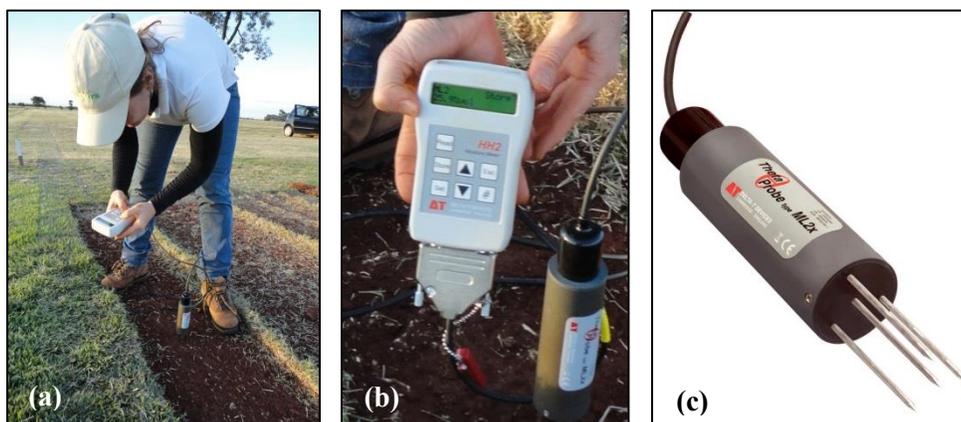


Figura 18. Leitura dos teores de água do solo nas subparcelas posteriormente a colheita dos tapetes de grama: obtenção da leitura de teor de umidade do solo (a); sensor de umidade ML2X e leitor umidade HH2 (Delta-T) (b), sensor Theta Probe ML2X.

Por meio do sensor de umidade do solo foi possível medir a porcentagem de água solo, na profundidade de 0-0,05m, de maneira rápida em campo sem necessidade de coleta de amostra.

Para a determinação dessa característica foram tomadas três medidas de umidade por subparcela experimental de cada tratamento, logo após a colheita dos tapetes e as demais leituras de teor de água do solo concomitantemente às avaliações de resistência à penetração do solo.

4.0.2 Determinação da porosidade total, macroporosidade e microporosidade

A caracterização da porosidade após a colheita foi realizada visando avaliar a influência desta propriedade na rebrota dos tapetes de grama.

Para a determinação dessa característica nos distintos períodos em que realizaram-se as amostragens, foram coletadas seis amostras indeformadas de solo de três parcelas experimentais com o auxílio de anéis volumétricos de 49,09 cm³, sendo três amostras provenientes da camada de 0,0 a 0,025 m e outras três da camada de 0,025 a 0,05 m, totalizando 216 amostras de solo.

As amostras coletadas para determinação dos valores de porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo, assim como na caracterização da área de

produção foram preparadas seguindo os mesmos critérios iniciais, e posteriormente, utilizadas na determinação da caracterização da porosidade conforme a metodologia da Embrapa (1997).

4.0.3 Determinação dos valores de densidade do solo

Os valores de densidade do solo, assim como na caracterização, foram obtidos pelo método do anel volumétrico descrito em Embrapa (1997), característica esta determinada mediante a secagem das amostras de solo em estufa de circulação e renovação de ar a 105° C por 24 horas até massa constante.

Depois de secas, as amostras foram pesadas e determinados os valores de densidade do solo para os respectivos tratamentos empregados e camadas de solo.

4.0.4 Obtenção da curva característica de retenção de água no solo

As curvas de retenção da água no solo foram determinadas aos 90 e 360 dias após a colheita dos tapetes de grama visando avaliar a influência desta propriedade durante a rebrota da grama. Para determinação dessa característica foram utilizadas amostras provenientes da camada de 0,0 a 0,025 m de profundidade, coletadas para determinação dos valores de porosidade e densidade do solo. A análise foi realizada seguindo os mesmos critérios adotados na caracterização da área de produção como descrito no Item 3.4.1.6

4.0.5 Determinação da resistência mecânica do solo à penetração

Os valores de resistência do solo à penetração foram obtidos imediatamente após a colheita, aos 90, 180 e 360 dias após a aplicação dos tratamentos, sendo esta característica física do solo determinada por meio de duas metodologias distintas: método do penetrômetro eletrônico de bancada - TexturePro CT; método do penetrômetro eletrônico de campo - Penetrolog 1020 e SoloTrack 5300.

4.0.5.1 Método do penetrômetro eletrônico de bancada

A determinação dos valores de resistência do solo à penetração em laboratório foram realizados com o penetrômetro eletrônico TexturePro CT, da marca Brookfield, composto por uma célula de carga com capacidade nominal de 10 kg acoplada na extremidade de um braço mecânico dotado de movimento vertical e suporte com rosca para acoplamento de uma ponteira cônica com semi-ângulo de 30° e área de base de 0,1256 cm², utilizada para penetrar nas amostras com velocidade de deslocamento vertical de 0,2 mm.s⁻¹.

Para determinação dessa característica foram coletados três anéis volumétricos de 98,18 cm³, com dimensões de 0,05 m de diâmetro e 0,05 m de altura, de três parcelas experimentais de cada tratamento, totalizando 108 amostras por período de avaliação.

Depois de preparadas, as amostras foram saturadas em bandeja com uma solução de água e álcool, na proporção de dois para um respectivamente, de forma que a mesma atingisse dois terços da altura dos anéis. A técnica da saturação das amostras com solução foi adotada mediante a dificuldade que se encontrou ao colocar as amostras para saturarem, uma vez que por se tratar de um solo extremamente compactado, observou-se que o preenchimento de seus poros com água foi dificultado pela predominância de microporos.

Decorrido o tempo de saturação, as amostras foram pesadas e colocadas em mesa de tensão a uma pressão de drenagem de -6 kPa por 24 horas. Posteriormente a drenagem, as amostras foram pesadas e analisadas no Laboratório de Micromorfologia do Solo, pertencente ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Unesp/ Campus de Botucatu para análise.

As medidas de resistência à penetração foram obtidas a cada segundo de penetração da ponteira, sendo os dados numéricos e gráficos referentes à análise descarregados e armazenados no programa TexturePro CT V 1.4 Build 17 (Figura 19).

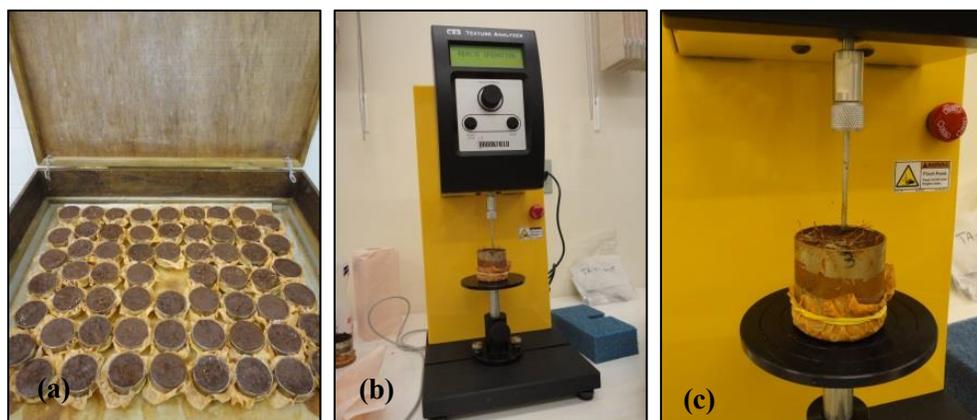


Figura 19. Determinação dos valores de resistência à penetração do solo em laboratório: drenagem das amostras em mesa de tensão (a); detalhes do equipamento penetrômetro eletrônico TexturePro CT (b); realização da análise mediante a penetração da agulha dotada de ponteira cônica no solo (c).

4.0.5.2 Método do penetrômetro eletrônico de campo

As leituras de resistência do solo obtidas em campo, logo após a colheita dos tapetes e aos 90 dias, foram realizadas com o auxílio do medidor eletrônico de compactação, modelo Penetrolog 1020, da marca Falker e as obtidas aos 180 e 360 dias, com o penetrômetro eletrônico Solo Track 5300 da mesma empresa (Figura 20).

O Penetrômetro Solo Track 5300, por ser automatizado e fazer a penetração do cone metálico no solo com força e velocidade constantes, permitiu a determinação mais precisa dos valores de resistência à penetração, em campo.

As medições de resistência resultaram de três medidas amostrais por parcela, até a profundidade de 30 cm.

Juntamente com a avaliação de resistência à penetração foram coletados dados de umidade nas parcelas com o auxílio do sensor de umidade portátil a fim de avaliar o efeito da umidade do solo nos valores de resistência a penetração.

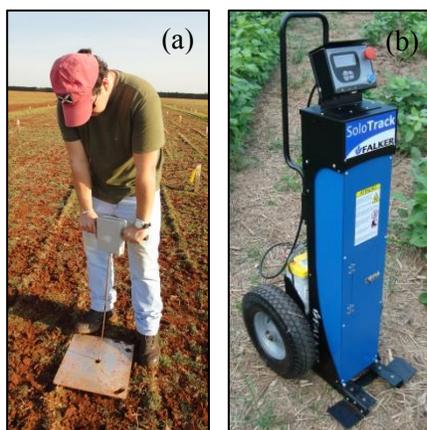


Figura 20. Penetrômetros de campo utilizados para as avaliações de resistência do solo à penetração: Penetrolog 1020 (a) e Solo Track 5300 (b).

Depois de coletados, os dados foram descarregados no software “Compactação do solo – Falker” e processados de maneira que se obtivesse um valor médio de resistência a cada 0,05 m de profundidade avaliados.

4.1 Parâmetros avaliados na grama

4.1.1 Resistência mecânica à tração e massa dos tapetes

Os ensaios de resistência mecânica de tapetes foram realizados posteriormente a primeira colheita da grama, no dia 11 de maio de 2012 e ao final do novo ciclo de produção no dia 15 de maio de 2013 (Figura 21).

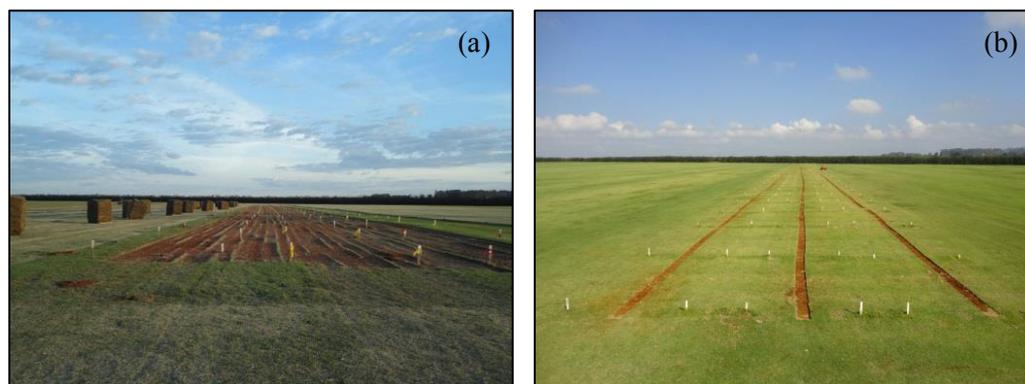


Figura 21. Área experimental após a colheita dos tapetes de grama: (a) maio de 2012 e (b) maio de 2013 (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP).

A avaliação dos tapetes provenientes da primeira colheita foi feita tomando-se 6 tapetes por parcela experimental, sendo estes coletados da região central das mesmas e avaliados conforme a metodologia de Santos (2008), a partir da fixação do tapete em um conjunto fixador deslizante, composto de chapas rígidas de apoio e encaixe da extremidade superior do tapete, com pressionamento regulável, e deslocamento vertical feito por meio de uma manivela, auxiliada por um conjunto de 4 rolamentos nas extremidades e um dinamômetro de carga.

A análise foi iniciada com a fixação do tapete na extremidade superior do equipamento com o dinamômetro de carga zerado. Depois da fixação do tapete, na extremidade superior, fez-se então a leitura e anotação do peso do tapete, sendo em seguida realizada a fixação da extremidade inferior do tapete no conjunto semi-fixo, zerando-se novamente o dinamômetro. Posteriormente, fez-se o acionamento do sistema tracionado por manivela até que o tapete se rompesse e registrou-se a força marcada no dinamômetro (Figura 22).

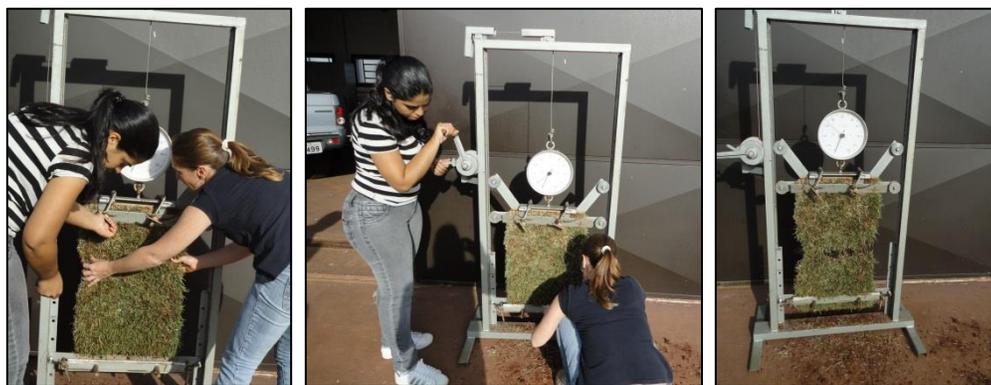


Figura 22. Ensaio de resistência mecânica de tapetes de grama referente à primeira colheita de tapetes de grama (Local: Departamento de Solos e Recursos Ambientais – FCA/Unesp – Botucatu-SP, Data: 12/05/2012).

Os resultados do peso e resistência provenientes da avaliação foram anotados em planilha e processados.

As avaliações referentes a segunda colheita dos tapetes foram realizadas mediante a coleta de 3 tapetes provenientes da região central das parcelas. A operação de colheita dos tapetes foi realizado sem que a área sofresse o processo de compactação, uma vez que o última colheita de tapetes do experimento visou avaliar o efeito

dos tratamentos aplicados em maio de 2012 sobre a formação da malha de raízes, rizomas e estolões da grama, pelo fato de ser o fator que mais interfere na resistência dos tapetes. Além disso buscou verificar a viabilidade de se realizar a colheita de tapetes de períodos em períodos sem a necessidade da operação de compactação.

Os tapetes colhidos foram embalados em sacos plásticos identificados e transportados para avaliação. Entretanto, nesta avaliação procedeu-se de forma diferente da primeira, uma vez que o equipamento de resistência foi utilizado na posição horizontal para reduzir o efeito da gravidade e do peso dos próprios tapetes sobre o processo de rompimento dos mesmos (Figura 23).

Os tapetes avaliados foram pesados em balança digital e fixados no equipamento para a análise de resistência. Os dados referentes aos valores de peso e resistência mecânica ao rompimento foram anotados e, posteriormente, processados.



Figura 23. Ensaio de resistência mecânica de tapetes de grama referente à segunda colheita (Local: Departamento de Solos e Recursos Ambientais – FCA/Unesp – Botucatu-SP, Data: 16/05/2013).

4.1.2 Taxa de cobertura verde do solo

A taxa de cobertura do solo pela grama foi obtida nos mesmos períodos em que ocorreram as avaliações das características físicas do solo, visando acompanhar a rebrota da grama após aplicação dos tratamentos e a colheita dos tapetes mediante análise de imagem digital. As imagens foram registradas com o auxílio de uma câmera digital, da marca Sony Cyber-shot, modelo DSC-W350 de resolução 14,1 megapixel que foi fixada na extremidade de uma haste metálica. As imagens foram registradas com uma

resolução de 5 megapixel e para a realização dessa avaliação a câmera foi posicionada de forma paralela ao solo a 2 m em relação à superfície da grama. Posteriormente ao registro, as imagens foram descarregadas e armazenadas em computador e analisadas de acordo com a metodologia adotada por Godoy, (2005) com o uso do programa Corel Photo-Paint 12 (Corel Corporation 2003), que permite contar o número de pontos (pixels) de uma determinada cor ou determinados níveis de matiz, de saturação e de brilho existente na imagem pelo comando “máscara de cor”. Após a seleção da cor desejada (verde) no comando “máscara de cor” foi então obtido o número de pixels verdes pelo comando “histograma” e determinada a porcentagem do solo coberto pela grama por meio da Equação 9.

$$TCV = \frac{n^{\circ} \text{ de pontos (pixels) verdes}}{n^{\circ} \text{ total de pontos da imagem}}$$

(9)

Onde:

TCV = Taxa de cobertura verde do solo

4.2 Estudo estatístico

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas estatisticamente por meio de análise de regressão, no nível de 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Teor de água do solo no momento da colheita

Na Tabela 6 consta o resumo da análise de variância referente ao teor de água do solo no momento da colheita dos tapetes de grama, em função das distintas lâminas de irrigação aplicadas no dia anterior a colheita e às intensidades de compactação no dia em que procedeu-se a colheita.

Conforme constatado por meio da análise de regressão, não verificou-se efeito significativo dos tratamentos experimentais LI e IC para o conteúdo volumétrico de água do solo no momento em que procedeu-se a colheita dos tapetes de grama.

Por meio dos valores médios apresentados na tabela 6 nota-se que os conteúdos volumétricos de água do solo não diferiram significativamente em função dos distintos tratamentos empregados, sendo bastante semelhantes ao obtido por meio do ensaio de Proctor (29,45 %), ao teor de água da caracterização da área experimental (31,15 %) e ao teor de água no solo na capacidade de campo de solos com característica argilosa

Tabela 6. Resumo da análise de variância e teores de água do solo médios no momento da colheita dos tapetes de grama Esmeralda (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP – Data: 10/05/2012).

Resumo da análise de variância do teor de água do solo no momento da colheita dos tapetes (%)				
Causa de variação	----- Significância -----			
LI	0,4042 ns			
IC	0,7167 ns			
CV _{LI} (%)	6,66			
CV _{IC} (%)	9,68			
Média dos resultados				
----- (%) -----				
Lâminas de Irrigação LI (mm)	Intensidades de compactação - IC (nº passadas rolo)			Média (LI)
	4	8	12	
7,5	32	31	29	31
10	30	29	31	30
12,5	29	29	30	29
15	31	30	30	30
Média (IC)	31	30	30	
LI x IC	0,7852 ns			

ns, *, ** - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F

LI – lâmina de irrigação

IC – intensidade de compactação

Estudo realizado por Reicosky et al. (1981) expressa resultados semelhantes, sendo ainda relatado pelos autores que solos argilosos, submetidos a distintas intensidades de compactação, apresentaram conteúdo volumétrico de água bastante próximos. Comportamento semelhante também foi notado por Streck et al. (2004), para a camada de 0 - 0,05 m, ao estudar modificações em propriedades físicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico provocadas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido, duas e quatro vezes, de um trator em plantio direto e por Beutler et al. (2005), ao avaliarem o efeito da compactação do solo na estabilidade de agregados e no conteúdo gravimétrico de água.

Os resultados sugerem que o fato da irrigação ter sido realizada no dia anterior a compactação pode ter promovido a drenagem da água aplicada para as camadas inferiores, abaixo de 0,05 m, o que promoveu uma uniformidade dos teores retidos na camada de 0-0,05 m entre os tratamentos. Entretanto, não é possível afirmar que os conteúdos volumétricos de água do solo, mediante as distintas lâminas de irrigação aplicadas, não

diferiram ou foram superiores nas camadas abaixo de 0,05 m nem que tenham atingido distintas profundidades. Como é verificado no trabalho de Santos (2012), os teores de água da camada abaixo de 0,10 m sempre foram superiores aos encontrados na camada superior, fato este possivelmente atribuído a drenagem da água. Outra suposição com relação ao resultado encontrado é a de que possíveis diferenças de teor de água poderiam estar nos tapetes colhidos não no solo.

Quanto aos teores de água do solo estes diferiram dos obtidos por Santos (2012) em áreas de produção de grama na mesma região e com solo de mesma classificação, sendo os valores médios encontrados superiores aos relatados pelo autor ($0,27 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), porém os resultados mostram que em ambos os casos, a colheita dos tapetes de grama vem sendo realizado quando o solo apresentava-se próximo a capacidade de campo. Teores de água semelhantes foram notados por Oliveira et al. (2005) ($0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), ao estudarem métodos para estimar a umidade representativa da capacidade de campo e condutividade hidráulica de um Latossolo em laboratório e campo, e Bouwman e Arts (2000), ($0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), ao avaliarem o efeito de cargas (0; 4,5; 8,5; 14,5 t) em três propriedades físicas de solo de pastagem com característica argilosa entre os anos de 1988 a 1991. Justificando as afirmações feitas, Beutler et al. (2005) comentam que sistemas de cultivo onde ocorre uma pequena compactação do solo apresentam maior conteúdo volumétrico de água retida se comparados ao sistema de preparo convencional com maior porosidade.

5.2 Porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp), microporosidade (mp)

5.2.1 Porosidade total do solo (Pt)

A análise de variância referente à porosidade total (Pt) das amostras coletadas nas profundidades de 0 a 0,025 e 0,025 a 0,05 m, é apresentada na Tabela 7. Nota-se que, independentemente da camada de solo estudada, somente foi observado efeito significativo dos tratamentos no mês de maio/2012, sendo verificado o efeito da LI na camada 0,0 a 0,025 m e interação LI x IC na camada de 0,025 a 0,05m.

Tabela 7. Resumo da análise de variância referente aos valores de porosidade total do solo (Pt) nas camadas 0-0,025 e 0,025 a 0,05 m (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP – Data: 05/12 a 05/13).

Resumo da análise de variância da porosidade total do solo (m³ m⁻³)				
----- Significância -----				
Causa de variação	Camada 0,0 a 0,025 m			
	Maio/12	Agosto/12	Novembro/12	Maio/13
LI	0,0471*	0,5966 ns	0,4479 ns	0,7987 ns
IC	0,7948 ns	0,8688 ns	0,9604 ns	0,0879 ns
LI x IC	0,6270 ns	0,8396 ns	0,3265 ns	0,2976 ns
CV _{LI} (%)	3,83	4,40	6,55	6,22
CV _{IC} (%)	9,31	4,87	7,07	3,89
Média	0,44	0,46	0,43	0,50
Camada 0,025 a 0,05 m				
	Maio/12	Agosto/12	Novembro/12	Maio/13
LI	0,1324 ns	0,5748 ns	0,6974 ns	0,4345 ns
IC	0,0946 ns	0,1126 ns	0,8947 ns	0,1631 ns
LI x IC	0,0298*	0,1857 ns	0,1125 ns	0,6767 ns
CV _{LI} (%)	6,95	4,85	10,12	3,35
CV _{IC} (%)	6,62	4,04	8,00	2,31
Média	0,43	0,46	0,40	0,43

ns, *, ** - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F

LI – lâmina de irrigação

IC – Intensidade de compactação

Os resultados observados no mês em que ocorreu a colheita dos tapetes de grama comprovam que as distintas intensidades de compactação aplicadas sobre a superfície do solo não exerceram influência sobre a porosidade total do solo, fato este que pode ser atribuído à existência de uma camada já muito compactada em decorrência dos vários anos de cultivo na área em que ocorreu o estudo ou devido à presença da massa constituída por folhas, rizomas e estolões da grama Esmeralda que pode ter amenizado o efeito da carga aplicada com o rolo compactador no solo. Conforme comenta Fenner (1999), que avaliou as relações entre tráfego, solo e desenvolvimento florestal no corte de madeira, o que pode ter interferido no efeito das passadas de rolo é que, as maiores deformações no solo ocorreram logo após a primeira passagem da máquina, sendo os efeitos das passagens subsequentes reduzidos. Seixas e Souza (2007) também afirmam que as primeiras passadas das máquinas de

colheita florestal são responsáveis pelo maior incremento da compactação do solo, sendo, em torno de 80% da compactação, resultantes das cinco primeiras passadas de um Forwarder. Entretanto, a presença de material vegetal na superfície do solo também pode criar condições para que parte da energia de compactação produzida pelo trânsito de máquinas e animais seja dissipada antes do contato com o solo (ROSIM et al. 2012). De acordo com Soane (1990), a matéria orgânica não decomposta acumulada na superfície do solo tem como efeito o aumento da área de contato das rodas e a redução da compactação das camadas superficiais do solo. Trabalhando em dois Latossolos argilosos, Silva et al. (2007) verificaram que o tráfego sobre os resíduos florestais atenuou a compactação nos solos estudados, comparativamente ao solo limpo descoberto. Resultados de Braida et al. (2006), em solo arenoso e argiloso, indicaram que a palha na superfície do solo, durante a realização do ensaio Proctor, dissipa até 30% da energia de compactação utilizada.

O efeito da causa de variação LI verificado na camada 0-0,025 m para o mês de mai/12 (Figura 24) mostra que a lâmina de irrigação de 15 mm resultou em maior Pt do solo que as lâminas de 10 e 12,5 mm. Os resultados sugerem que as menores lâminas de irrigação proporcionaram maior atrito entre as partículas do solo dificultando o processo de compactação. A maior lâmina reduziu o atrito permitindo a aproximação das partículas e, portanto, interferiu na porosidade total do solo. Como consequência, verifica-se o aumento da porosidade total do solo em detrimento do aumento da microporosidade não da macro. A resistência do solo às pressões externas é maior à medida que o conteúdo de água do solo diminuiu (SILVA e CABEDA, 2006). O solo com baixo conteúdo de água torna-se mais resistente em razão da dureza de sua matriz, que exibe alta resistência à fricção às deformações impostas por pressões externas aplicadas a ele (HILLEL, 1980). Quando a umidade do solo aumenta, filmes de água reduzem a fricção entre as partículas do solo, agindo como lubrificante e favorecendo o rearranjo. Corroborando com tal afirmação Imhoff (2002) afirma que a máxima carga à qual o solo é submetido diminui com o incremento do teor de água do solo, uma vez que o aumento da espessura do filme de água que envolve as partículas reduz a coesão e o atrito entre elas.

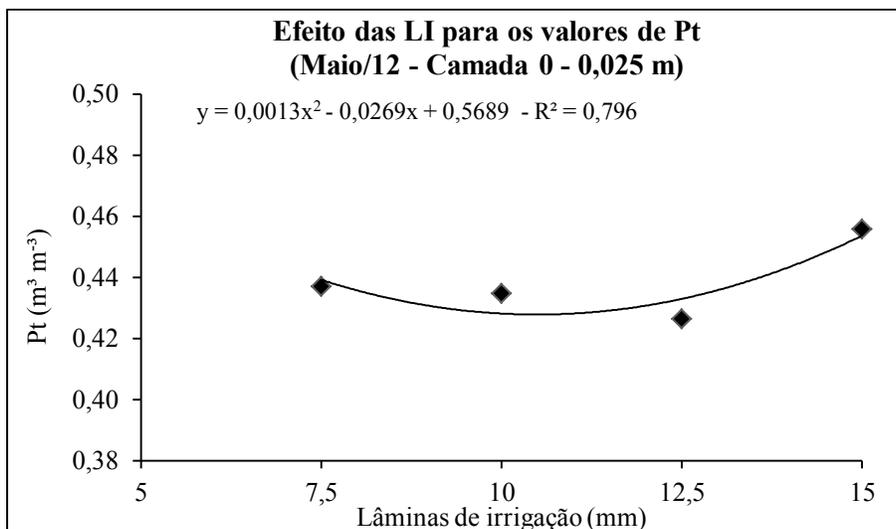


Figura 24. Efeito das lâminas de irrigação para os valores de porosidade total do solo no mês de maio/12 (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP).

Entre os meses de agosto/12 e maio/13 não foi constatado efeito significativo das LI e IC na camada 0,0 a 0,025 m, entretanto, foi possível verificar por meio dos valores médios presentes na Tabela 7 que a porosidade total do solo aumentou, fato este que pode estar associado ao crescimento dos rizomas e raízes da grama no decorrer do período experimental. O crescimento das raízes pode proporcionar rompimento da camada compactada e contribuir para a melhoria do estado de agregação do solo (CAMARGO e ALLEONI, 1997). Um sistema radicular abundante, além de ser capaz de romper camadas compactadas é capaz de produzir bioporos, através dos quais as raízes podem se desenvolver (ROSOLEM e SILVA, 2002). Além disso, podem melhorar o movimento da água e a difusão dos gases no perfil do solo (BARLEY, 1954).

Na Figura 25 estão ilustradas as interações entre a LI x IC e IC x LI verificadas para a camada de 0,025-0,050 m no mês de maio/12. Os resultados evidenciam que o aumento da intensidade de compactação aumentou a Pt do solo para as lâminas de 12,5 e 15 mm aplicadas, não sendo notado efeito significativo para as lâminas de 7,5 e 10 mm (Figura 25 a). Nota-se, também para a IC 12 passadas de rolo compactador, que os menores e maiores valores de Pt foram observados para as lâminas de 7,5 e 10 mm e 12,5 e 15 mm de água, indicando novamente que a lâmina de água possa ter amenizado o efeito da compactação como já discutido anteriormente (Figura 25 b).

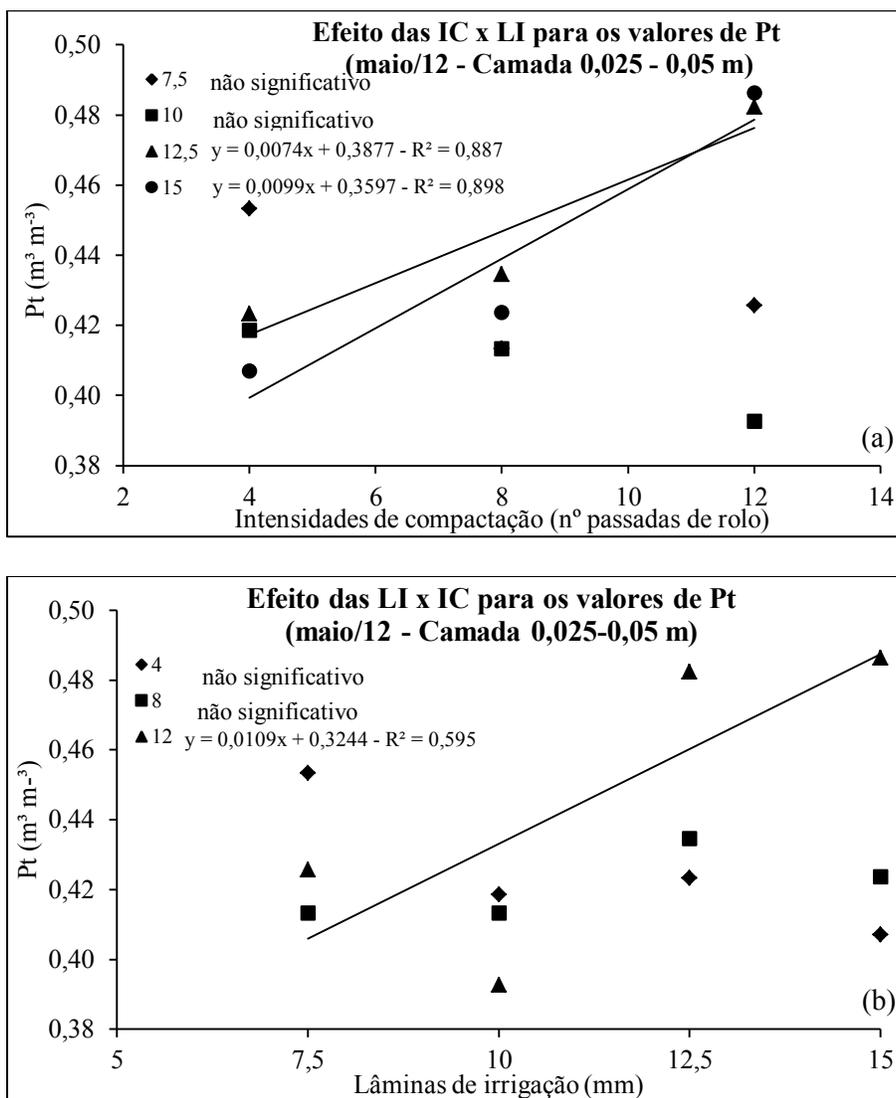


Figura 25. Resultado da interação LI x IC (efeito das IC sobre as LI e das LI sobre as IC) para os valores de porosidade total do solo nos meses de avaliação para a camada de 0,025 a 0,05 m.

A porosidade total do solo (Pt), na camada de 0,025 a 0,050 m, não foi alterada com o decorrer dos meses de avaliação da grama, como verificado pelos dados médios apresentados da Tabela 7. Isso evidencia, novamente, que a camada que recebe maior influência do crescimento de rizomas e raízes da grama é aquela logo abaixo do tapete colhido.

Embora seja afirmado por Hillel (1998) que a compactação diminui a porosidade total, o tamanho e a continuidade de poros, os valores médios de P_t obtidos, revelaram-se superiores aos relatados por Bibby e Turtle (1959), 0,35-0,40 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ para áreas de gramados sujeitas a intenso tráfego. No entanto, Kiehl (1979); Brady e Weil (2007) afirmam que volumes totais de poros acima de 0,50 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ são considerados ideais e indicam boa estruturação e condições satisfatórias para o crescimento de plantas, como também relatado por Spera et al., (2009) e Andrade et al., (2011) ao estudarem as propriedades físicas do solo em sistema plantio direto (0,55 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ e 0,53 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) que, semelhantemente para a cultura da grama, no manejo de solo para o cultivo subsequente somente realiza-se o revolvimento da linha de plantio, o que se assemelha a utilização do escarificador (estrelinha) na cultura da grama, logo após a colheita dos tapetes.

5.2.2 Macroporosidade do solo (Mp)

Na Tabela 8, que contém os resultados de macroporosidade do solo para as camadas e os meses de avaliação estudados, pode-se observar que o volume de macroporos do solo somente sofreu influência das IC na camada 0,0 a 0,025 m no mês de novembro, não sendo constatado efeito significativo dos tratamentos tanto nos demais meses de avaliação como para a camada de 0,025 a 0,05 m.

Entre os meses de avaliação da grama, pode-se verificar que a macroporosidade da camada de 0 a 0,025 m, foi aumentada, sendo este comportamento decorrente do crescimento de rizomas e raízes na camada superficial do solo, proporcionando melhorias para essa propriedade física. Tormena et al., (1998), ao estudarem as alterações na porosidade de aeração em plantio direto, observaram que, embora o tráfego de máquinas tenha proporcionado a redução dos valores de macroporosidade para próximo de zero, com o decorrer do tempo, mesmo sem mobilizar o solo, houve aumento da porosidade total e de aeração, fato este atribuído à ação do sistema radicular da cultura implantada nesta área.

Tabela 8. Resumo da análise de variância referente aos valores de macroporosidade do solo (Mp) nas camadas 0-0,025 e 0,025 a 0,05 m (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP – Data: 05/12 a 05/13).

Causa de variação	Macroporosidade ($m^3 m^{-3}$)			
	----- Significância -----			
	Camada 0,0 a 0,025 m			
	Maio/12	Agosto/12	Novembro/12	Maio/13
LI	0,2369 ns	0,3620 ns	0,5108 ns	0,9864 ns
IC	0,3011 ns	0,7341 ns	0,0267 *	0,4093 ns
LI x IC	0,2298 ns	0,4557 ns	0,0517 ns	0,4015 ns
CV _{LI} (%)	23,35	21,54	39,82	34,65
CV _{IC} (%)	24,51	31,76	28,89	21,18
Média	0,04	0,02	0,05	0,08
	Camada 0,025 a 0,05 m			
	Maio/12	Agosto/12	Novembro/12	Maio/13
LI	0,9456 ns	0,7211 ns	0,5280 ns	0,7868 ns
IC	0,1053 ns	0,7343 ns	0,9722 ns	0,2618 ns
LI x IC	0,3175 ns	0,5561 ns	0,5027 ns	0,5483 ns
CV _{LI} (%)	18,72	57,63	70,50	30,23
CV _{IC} (%)	31,44	45,46	72,76	27,12
Média	0,05	0,04	0,03	0,04

ns, *, ** - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F

LI – lâmina de irrigação

IC – Intensidade de compactação

O efeito das distintas intensidades de compactação (4, 8, 12 passadas de rolo), que está ilustrado na Figura 26, indica que a menor intensidade de compactação (4 passadas de rolo compactador) proporcionou o maior valor de macroporosidade no solo ($0,061 m^3 m^{-3}$), ou seja, o menor número de passadas de rolo compactador sobre a superfície do solo, proporciona a menor deformação na sua estrutura.

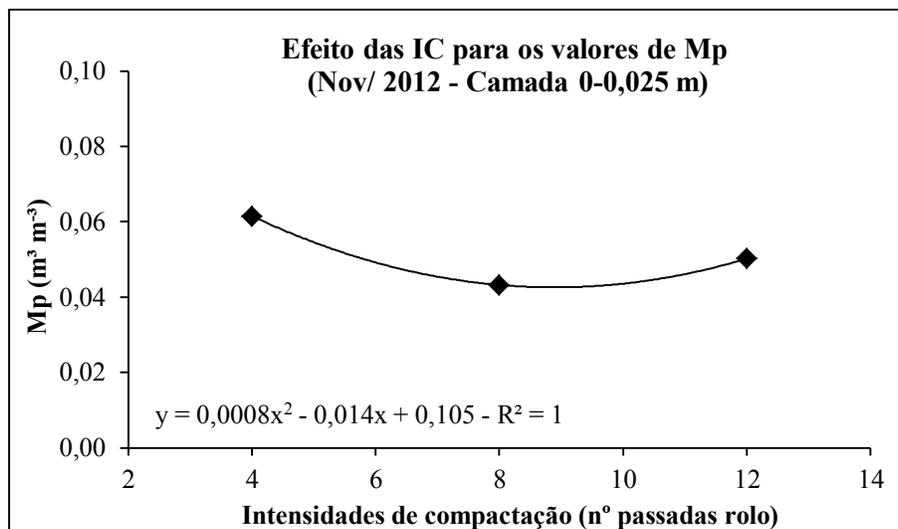


Figura 26. Efeito das IC para os valores de macroporosidade de solo no mês de novembro/12 na camada de 0 a 0,025m.

Streck et al. (2004), avaliando modificações nas propriedades físicas do solo proporcionadas pela compactação causada pelo tráfego induzido de trator em área de plantio direto, mediante variação de umidade do solo e intensidade de tráfego, também constataram que solos submetidos ao efeito de passadas de máquinas em anos anteriores ao do estudo apresentaram melhores índices de macroporosidade do que aqueles submetidos a intensa trafegabilidade durante o estudo. De acordo com os mesmos autores, o grau de compactação do solo, promovido pelo tráfego intenso de máquinas promove a redução da porosidade total e macroporosidade, sem aumento na microporosidade. Esse aumento do estado de compactação promove reduções significativas, principalmente, no volume de macroporos (HILLEL, 1982).

A macroporosidade do solo pouco foi alterada com o decorrer do ciclo de desenvolvimento da grama na camada 0,025-0,050 m, como verificado na Tabela 8, comprovando que a camada do solo mais mobilizada em áreas de produção de grama é, justamente, aquela logo abaixo do tapete que está se formando, sendo beneficiada também pelos efeitos do equipamento de descompactação “estrelinha”, passado na área e que pode ter permitido a criação de novos poros no solo, uma vez que sua profundidade de operação é de 0,03 m. Respalhando a afirmação, Tormena et al. (2002) afirmam que a utilização de implementos agrícolas que proporcionam o fracionamento dos agregados do solo, permite a

criação de poros nos sistemas de cultivo preparo convencional e preparo mínimo. Portanto, a pouca mobilização do solo promovida pelo implemento na área experimental de cultivo e o crescimento das estruturas da grama podem ter sido favoráveis a formação de novos poros no solo.

Independentemente da camada de solo e da época de avaliação estudadas, o volume de macroporos mostrou-se bastante baixo, inferior ao limite de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ estabelecido por Grable e Siemer (1968) como crítico para a porosidade de aeração para o ótimo desenvolvimento das plantas. Bibby e Turtle (1959) consideram valores de macroporosidade ideal para o bom crescimento da cultura da grama $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de macroporos. Já Thomasson (1978) afirma que valores de porosidade de aeração abaixo de $0,10 - 0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ são restritivos ao crescimento e produtividade da maioria das culturas, apesar da dependência da espécie de planta e da atividade biológica do solo. Entretanto, Torres e Saraiva (1999), comentam que em solos de textura argilosa é comum encontrar reduzida macroporosidade, ou seja, abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pela menor superfície específica das partículas.

Como constatado, valores de macroporosidade considerados ideias para outras culturas não se aplicam ao cultivo da grama, uma vez que mesmo condições inadequadas ocorre o desenvolvimento de raízes.

5.2.3 Microporosidade do solo (mp)

Os tratamentos experimentais não exerceram influência significativamente sobre a microporosidade do solo na camada de 0,0 a 0,025 m (Tabela 9).

Possivelmente, os vários anos de cultivo da grama Esmeralda em um solo de textura argilosa, frequentemente submetido ao processo de umedecimento e compactação com auxílio de rolo, visando permitir a colheita dos tapetes, pode ter proporcionado o aumento da microporosidade do solo. A microporosidade do solo é fortemente influenciada pela textura e teor de carbono orgânico e muito pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo originada do tráfego de máquinas, implementos, etc (SILVA e KAY, 1997). Stone et al. (2002) ainda relatam que a compactação do solo reduz o volume de macroporos enquanto os microporos permanecem praticamente inalterados.

Diferenças significativas nos valores de microporosidade do solo foram constatadas para a camada 0,025 a 0,050 m nos meses de agosto/12 (efeito das IC) conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9. Resumo da análise de variância referente aos valores de microporosidade do solo (mp) nas camadas 0-0,025 e 0,025 a 0,05 m (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP – Data: 05/12 a 05/13).

Causa de variação	Resumo da análise de variância referente a microporosidade (m³ m⁻³)			
	----- Significância -----			
	Camada 0,0 a 0,025 m			
	Maio/12	Agosto/12	Novembro/12	Maio/13
LI	0,0971 ns	0,4123 ns	0,6060 ns	0,5090 ns
IC	0,4523 ns	0,9292 ns	0,2350 ns	0,3620 ns
LI x IC	0,6421 ns	0,7291 ns	0,2509 ns	0,2442 ns
CV _{LI} (%)	5,38	4,43	6,51	4,76
CV _{IC} (%)	10,09	4,18	7,00	3,47
Média	0,40	0,44	0,38	0,43
	Camada 0,025 a 0,05 m			
	Maio/12	Agosto/12	Novembro/12	Maio/13
LI	0,4035 ns	0,6188 ns	0,8798 ns	0,0501 ns
IC	0,6595 ns	0,0275*	0,7827 ns	0,5533 ns
LI x IC	0,5056 ns	0,3327 ns	0,1202 ns	0,1559 ns
CV _{LI} (%)	9,56	7,86	6,82	2,15
CV _{IC} (%)	10,66	3,36	7,21	2,59
Média	0,38	0,42	0,37	0,39

ns, *, ** - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F

LI – lâmina de irrigação;

IC – Intensidade de compactação

Como ilustrado na Figura 27, os resultados referentes ao mês de agosto/12 mostram que os maiores valores de microporosidade do solo correspondem as maiores intensidades de compactação aplicadas (8 e 12 passadas de rolo compactador). Os resultados são semelhantemente aos observados por Roque et al. (2011), que verificaram que regiões da área de produção de cana de açúcar, por onde passavam as rodas dos tratores (áreas submetidas a maior intensidade de compactação), apresentaram maior microporosidade do que aquelas localizadas nas linhas de plantio e região entre-rodado. Martins et al. (1998), ao

estudarem trilhas trafegadas e não trafegadas por máquinas em áreas de exploração florestal constataram efeito negativo sobre a microporosidade do solo em áreas sujeitas a intenso tráfego, sendo ainda afirmado pelos autores que os maiores efeitos sobre as propriedades físicas do solo concentram-se na superfície, como também apontado por Medina (1985); Hendrison (1989); Chauvel et al. (1991). Collares et al., (2008) avaliando o efeito da compactação de um latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade do feijão e trigo notaram que houve, de maneira geral, tendência de aumento na microporosidade e redução na macroporosidade no tratamento plantio direto com compactação adicional do solo em relação ao tratamento plantio direto e escarificação.

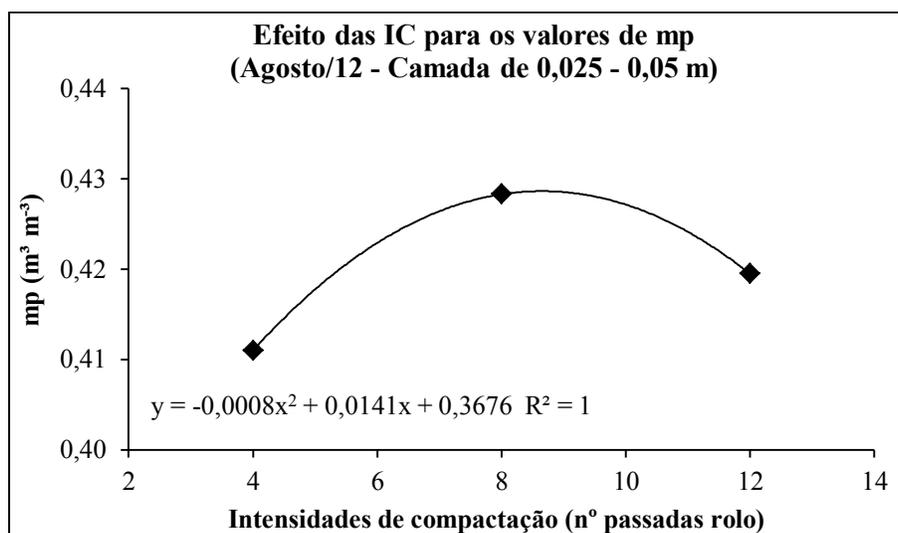


Figura 27. Efeito das intensidades de compactação para os valores de microporosidade do solo no mês de agosto/12 na camada de 0,025 a 0,05 m. (Local: Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP).

A microporosidade do solo foi bastante elevada nas camadas de 0 a 0,025 e 0,025 a 0,05 m do solo e nas épocas de avaliação, como pode-se verificar na Tabela 9, porém, inferiores aos relatados por Panachuki et al. (2006), ($0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) para sistemas de pastagem contínua e por Roque et al. (2011), ao avaliarem o efeito de tráfego de um latossolo vermelho distrófico ($0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Entretanto, mostraram-se superiores aos relatados por Tormena et al. (2002), que estudaram os atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico em função dos sistemas de manejo plantio direto ($0,296 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e convencional ($0,285 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).

3). Esse resultado mostra que em áreas onde não ocorre o revolvimento do solo, como as de produção de grama, os valores de microporosidade podem ser bastante aumentados se comparados aos de outros sistemas de manejo.

5.3 Densidade do solo (Ds)

As variáveis lâminas de irrigação (LI) e intensidades de compactação (IC) não exerceram influência significativa sobre a densidade do solo nas camadas de 0 a 0,025 e 0,025 a 0,05 m e nas épocas de avaliação, conforme Tabela 10.

Tabela 10. Resumo da análise de variância referente à densidade do solo (Ds) nas camadas de 0 a 0,025 e 0,025 a 0,05 m (Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP – Data: 05/12 a 05/13).

Resumo da análise de variância referente à densidade do solo ($m^3 m^{-3}$)				
----- Significância -----				
Causa de variação	Camada 0,0 a 0,025 m			
	Maio/12	Agosto/12	Novembro/12	Maio/13
LI	0,8267 ns	0,2704 ns	0,7109 ns	0,8270 ns
IC	0,9610 ns	0,6801 ns	0,1272 ns	0,7829 ns
LI x IC	0,8490 ns	0,9322 ns	0,1181 ns	0,6329 ns
CV _{LI} (%)	4,04	5,32	5,46	6,63
CV _{IC} (%)	6,30	7,32	4,99	5,40
Média	1,38	1,36	1,29	1,29
Camada 0,025 a 0,05 m				
	Maio/12	Agosto/12	Novembro/12	Maio/13
LI	0,8161 ns	0,3226 ns	0,7031 ns	0,5500 ns
IC	0,4078 ns	0,8039 ns	0,2924 ns	0,0776 ns
LI x IC	0,7576 ns	0,2345 ns	0,3792 ns	0,5675 ns
CV _{LI} (%)	5,65	3,49	3,70	4,60
CV _{IC} (%)	4,84	4,20	3,34	2,99
Média	1,35	1,33	1,32	1,26

ns, *, ** - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F

LI – lâmina de irrigação

IC – Intensidade de compactação

Comportamento semelhante foi verificado por Collares et al., (2008) ao avaliar o efeito da compactação proporcionada sistema de cultivo plantio direto continuado por seis anos, plantio direto com compactação adicional e escarificação efetuada após seis anos sob plantio direto em um latossolo. Os autores também constataram que a densidade foi maior na camada superficial do solo e que o efeito da escarificação visando proporcionar redução da densidade desapareceu com o tempo, indicando um processo de reconsolidação e rearranjo da estrutura do solo.

Nota-se, também, que independentemente da época de avaliação, os valores de densidade obtidos sempre foram inferiores ao encontrado para a umidade ótima visando à máxima compactação do solo ($1,45 \text{ kg dm}^{-3}$), resultado pode ser atribuído à carga exercida sobre a superfície do solo, ao material orgânico constituído pelas folhas da grama, rizomas e estolões que pode ter minimizado os efeitos do peso do rolo na compactação do solo, e que os dois fatores atuando, concomitantemente, proporcionaram maior resistência do solo a compactação e minimizaram o efeito dos tratamentos impostos sobre a superfície do solo.

Justificando as considerações feitas com relação à intensidade de compactação, Hakansson (1990) afirma que fatores promotores da compactação, provenientes da utilização de máquinas agrícolas, podem estar relacionados com o pneu utilizado, a pressão de inflação dos pneus, a alta carga por eixo e a aplicação de cargas dinâmicas por rodados e implementos agrícolas no solo, sendo estes fatores promotores de tensões na interface solo/pneu e solo/implemento em superfície e profundidade, respectivamente. Com base na afirmação, Silva et al., (2008), constataram em estudo sobre alterações do solo influenciadas pelo tráfego e carga (0, 4, 8 e 12 passadas) de um “forwarder” nas entrelinhas de uma floresta de eucalipto, que houve aumento de até 15,3 % na densidade do solo, em relação ao tratamento sem tráfego devido à compactação ocasionada pelas rodas do “forwarder”. Jorajuria e Draghi (2000) relataram que 90 % do incremento máximo medido para a densidade do solo na camada superficial (0–30 cm) foi produzido já na primeira passada de um trator leve.

Para o fator cobertura do solo Silva et al. (2007) também verificaram que a presença de resíduos florestais (galhos + cascas) minimizam a compactação causada pelo tráfego e que os solos tornam-se mais suscetíveis à compactação sem a presença desse material vegetal. Seixas et al. (1995) detectaram reduções significativas ao redor de 40% do

incremento na densidade de um solo, quando o tráfego de um Forwarder ocorreu sobre uma camada de resíduos da corte de madeira. Adicionalmente, Wohlenberg et al. (2004) afirmam que as plantas de cobertura atuam na estruturação do solo, formando e estabilizando agregados de maior tamanho, o que segundo Oades (1993) ocorre graças ao aporte de resíduos orgânicos e exsudatos radiculares e à ação mecânica das raízes. De acordo como Beard (1973), altas proporções de brotos de grama, raízes e palha podem atuar como minimizadores ao absorver e dissipar as forças de compactação. Portanto, qualquer fator que proporcione maior acúmulo de matéria seca nas plantas de grama pode ajudar e atenuar o processo de compactação assim como a maior densidade de parte aérea e maior altura de corte da grama (CARROW; PETROVIC, 1992).

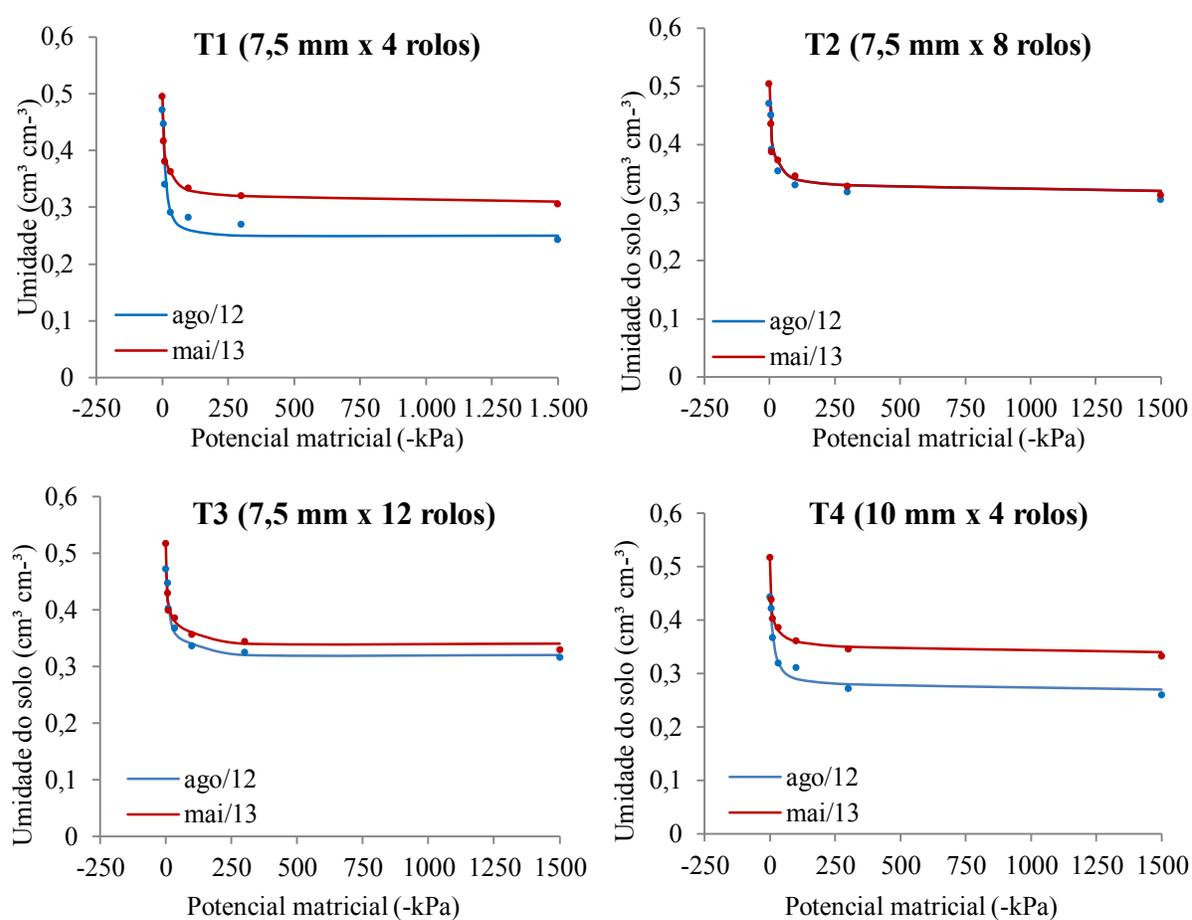
A Ds do solo diminuiu 6,5% (1,38 para 1,29 kg dm⁻³) na camada 0,0 a 0,025 m e 6,6% (1,35 para 1,26 kg dm⁻³) na camada 0,025 a 0,050 m no decorrer dos meses em que houve o crescimento da grama (Tabela 10). Comportamento semelhante foi verificado por Santos (2012) ao estudar o efeito de equipamentos de descompactação do solo em áreas de produção de grama. Entretanto, os valores médios de Ds apontados pelo autor após a colheita (1,45 kg dm⁻³) e ao final do ciclo da cultura (1,33 kg dm⁻³), foram superiores aos observados neste estudo e aos sugeridos por Reichert et al. (2003), que consideram densidades críticas para solos de textura argilosa valores compreendidos entre 1,25 e 1,30 kg dm⁻³.

O decréscimo nos valores de densidade sugere que o crescimento dos rizomas e raízes da grama, bem como a operação de preparo do solo com o auxílio da estrelinha, podem ter promovido à redução da compactação do solo proporcionada pelo rolo compactador durante a colheita dos tapetes de grama. Concordando com a afirmação, Agrawal et al. (1986), avaliando uma tecnologia de compactação em subsuperfície para reduzir as perdas de água abaixo da zona das raízes em solos de textura grossa e aumentar a retenção de água com o uso de rolo pesado para a obtenção da máxima umidade do solo, comprovaram que a operação semeadura do solo na superfície, ao quebrar a camada compactada para o recultivo, proporcionou a redução dos valores de densidade desta camada. Adicionalmente, O'Neil e Carrow (1983) afirmam que em solos compactados a maior porcentagem de raízes e rizomas ocorre na camada superficial do solo (0 a 5 cm) e, portanto, as raízes das plantas ao apresentarem capacidade de descompactar o solo, podem proporcionar rompimento mais

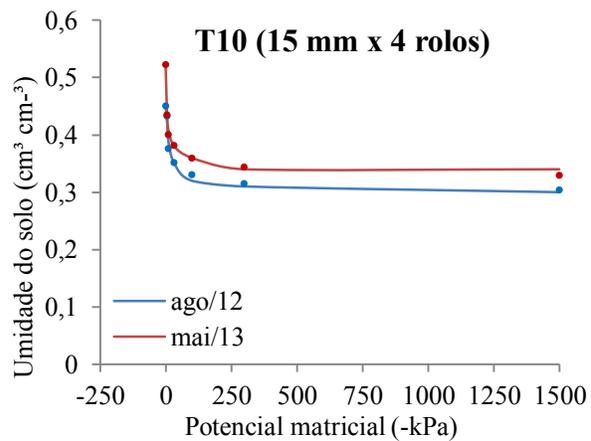
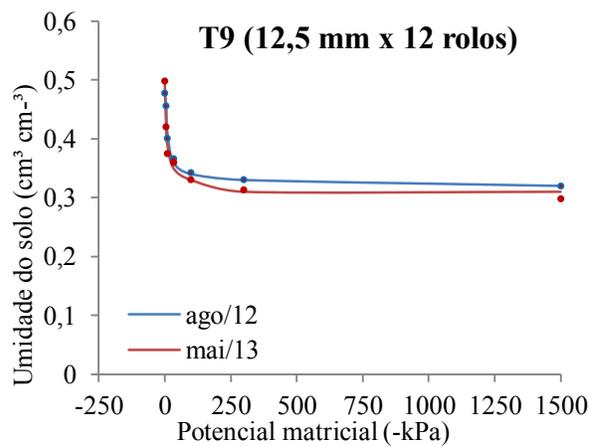
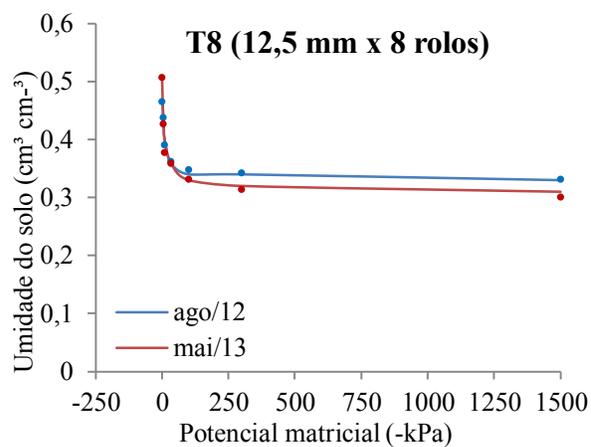
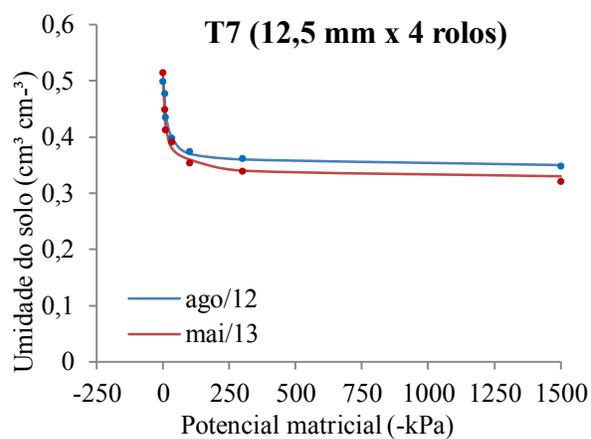
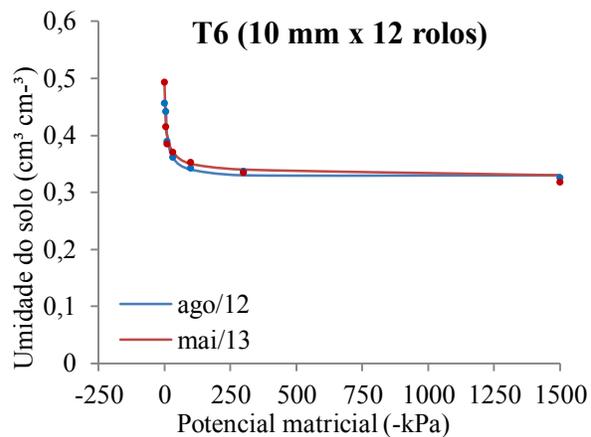
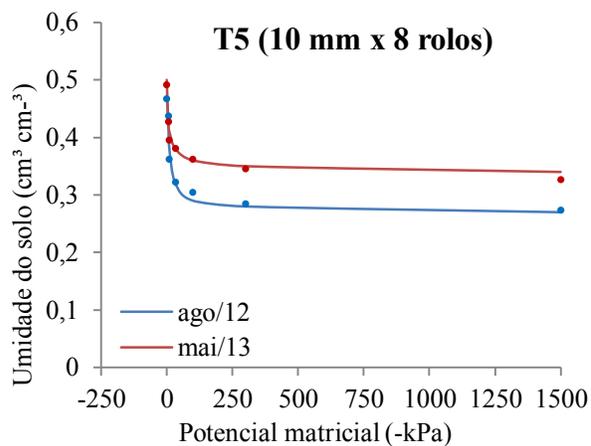
uniforme da camada compactada, além de contribuírem para a melhoria do estado de agregação do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

5.4 Curva característica de retenção água no solo

As curvas de retenção de água que expressam os resultados referentes ao conteúdo de água do solo mediante as pressões de drenagem nos meses de agosto/12 e maio/13 constam da Figura 28.



Continua ...



Continua ...

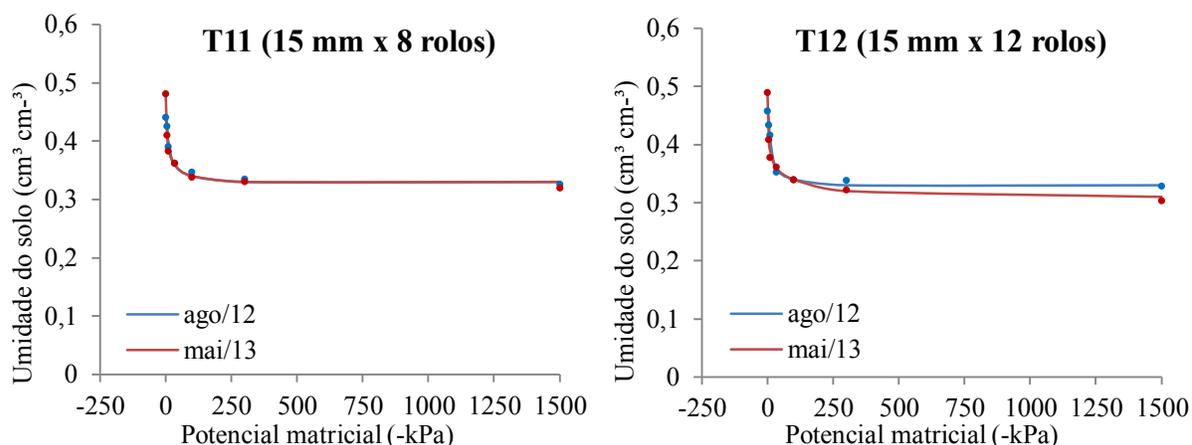


Figura 28. Curvas características de retenção de água no solo dos tratamentos experimentais nos meses de avaliação da grama Esmeralda.

Verifica-se que a retenção de água do solo aumentou nos pontos de baixa tensão com o decorrer dos meses de avaliação, para a maioria dos tratamentos experimentais aplicados, confirmando, novamente, que o crescimento das raízes e rizomas da grama são benéficos a porosidade do solo e, conseqüentemente, a retenção de água no solo proporcionando maior armazenamento de água para as plantas. Conforme Los (1995), algumas espécies são capazes de produzir grande quantidade de raízes, como as gramíneas que produzem sistema radicular abundante que, ao entrar em processo de decomposição, deixa canais que proporcionarão o aumento do movimento de água e gases do solo (JIMENEZ et al. 2008) além disso, podem proporcionar um rompimento uniforme das camadas compactadas (CAMARGO e ALLEONI, 1997). Nicoloso et al (2008), avaliando o efeito do nabo forrageiro e da escarificação mecânica em áreas de cultivo de soja, observaram que o efeito descompactador do solo proporcionado pelas raízes ocorreu de forma gradativa e mostrou-se mais prolongado do que aquele promovido pelo escarificador.

Os tratamentos experimentais T1(7,5 mm x 4 rolos), T2 (7,5 mm x 8 rolos), T3 (7,5 mm x 12 rolos), T4 (10 mm x 4 rolos), T5 (10 mm x 8 rolos), T6 (10 mm x 12 rolos) e T10 (15 mm x 4 rolos), mostraram-se favoráveis ao aumento da retenção de água com o decorrer dos meses de avaliação, uma vez que a maior retenção de água no solo em todos os pontos de drenagem indica a presença de maior volume de poros totais no solo (REICHARDT e TIMM, 2004). Dias Junior e Estanislau (1999), ao estudarem o grau de compactação e a retenção de água de latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo, verificaram que

solos menos compactados apresentaram maior retenção de água em baixos potenciais. Gao et al. (2012), verificando o efeito de distintas forças de compressão sobre três solos com distintos teores de argila também constataram que teor de água gravimétrico para o solo mais comprimido é menor do que o teor de água para os tratamentos de baixa compressão em baixa tensão.

Os demais tratamentos não foram favoráveis o aumento da retenção de água do solo entre os meses de avaliação possivelmente por terem proporcionado uma maior compactação no solo. À medida que o grau de compactação do solo aumenta, a água retida a baixas sucções e a água disponível diminuem, fato que representa um grave problema em áreas compactadas ao limitar a água disponível as plantas, comprometendo o desenvolvimento das culturas e, conseqüentemente, proporcionando redução na produtividade (DIAS JUNIOR e ESTANISLAU, 1999).

Comparando-se o comportamento das distintas curvas de retenção de água obtidas mediante a aplicação dos tratamentos experimentais para os meses de avaliação (Figura 28) verifica-se, no mês de agosto/12, que as menores retenções de água, nas altas tensões de drenagem, foram proporcionadas pelos tratamentos T1 (7,5 mm x 4 rolos), T4 (10 mm x 4 rolos), T5 (10 mm x 8 rolos), respectivamente, e a maior retenção de água ($0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) pelo tratamento T7 (12,5 mm x 4 rolos). Como verificado para outros parâmetros físicos estudados, novamente a lâmina de 10 mm mostrou-se desfavorável à preservação da estrutura física do solo ao proporcionar baixa retenção de água no mesmo. Isso indica que dentre os distintos tratamentos estudados foi o que proporcionou a maior compactação do solo, contrariamente ao observado para o tratamento T7 que resultou em maior retenção de água no solo no mês de agosto para todos os pontos de drenagem.

De maneira geral houve aumento da retenção de água no solo com o decorrer do crescimento da grama, sendo os teores, em maio/13, superiores aqueles obtidos em agosto/12. De acordo com Ohu et al. (1985) e Silva et al. (1986) existe ainda tendência ao deslocamento para baixo das curvas de retenção em virtude do grau de compactação do solo, pois solos menos compactados apresentam curvas mais deslocadas para cima. Esse deslocamento está associado à capacidade do solo de reter mais água para cada nível de sucção, entretanto, há redução da água disponível às plantas (JAMISON e KROTH, 1953).

5.5 Resistência mecânica do solo a penetração em campo (RPc)

A resistência mecânica do solo a penetração em campo (RPc) indicou, para a maioria das camadas avaliadas e meses de avaliação, que os tratamentos experimentais pouco exerceram influência significativa sobre esta propriedade física do solo. Interação significativa LI x IC foi notada para a camada de 0,10 a 0,15 m no mês de maio/12 e efeito isolado da IC, na camada de 0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m no mês de maio/13 (Tabela 11).

Embora a análise de variância tenha demonstrado efeito significativo da interação LI x IC no mês de maio/12, verifica-se pelo desdobramento, que este somente ocorreu para a camada 0,10 a 0,15 m, onde foi observado o efeito das distintas lâminas de irrigação sobre a intensidade de compactação, 4 passadas de rolo (Figura 29 a). De acordo com alguns pesquisadores, o peso da máquina é o fator principal que determina a profundidade onde a compactação do solo será maior, independentemente da pressão aplicada na sua superfície (JORAJURIA et al., 1997; JORAJURIA e DRAGHI, 2000) pois, segundo Voorheer et al. (1986), máquinas agrícolas com carga por superior a 4,5 Mg podem proporcionar aumento da resistência a penetração do solo a profundidades superiores a 0,30 m.

Comportamento quadrático da curva que expressa o resultado é observado em função do resultado obtido, sendo as lâminas de irrigação de 7,5 e 15 mm aquelas proporcionaram maiores índices de RPc, 3497 e 3647 KPa respectivamente. Os dados de teor de água no solo apresentados na Tabela 12 mostram que, possivelmente, a maior RPc proporcionada pela menor lâmina (7,5 mm) pode ser atribuída ao menor conteúdo volumétrico de água do solo no momento em que se procedeu a leitura de resistência do solo. Talvez, a menor lâmina e o número de passadas de rolo podem ter promovido um menor adensamento do solo e proporcionado melhor drenagem da água retida nos poros, por isso o menor teor de água e o maior valor de resistência atribuídos ao tratamento. De acordo com Collares et al. (2008) essa diminuição do teor de água do solo proporciona o aumento da resistência do solo à penetração, fazendo com que as raízes em expansão experimentem um impedimento mecânico cada vez maior.

Tabela 11. Resumo da análise de variância referente à resistência a penetração do solo (RPc) na camada de 0 a 0,30 m (Sítio Paraíso de produção de grama, Tatuí-SP – Data: 05/12 a 05/13).

Resumo da análise de variância referente à resistência à penetração do solo em campo (kPa)								
Causa de variação	0 a 0,05 m				0,05 a 0,10 m			
	Mai/12	Ago/12	Nov/12	Mai/13	Mai/12	Ago/12	Nov/12	Mai/13
LI	0,0987 ns	0,8010 ns	0,1739 ns	0,1995 ns	0,4964 ns	0,2571 ns	0,6329 ns	0,0942 ns
IC	0,2949 ns	0,6334 ns	0,1465 ns	0,0053 **	0,1058 ns	0,3290 ns	0,2184 ns	0,0021 **
LI x IC	0,9199 ns	0,9928 ns	0,1657 ns	0,9970 ns	0,0887 ns	0,9383 ns	0,5632 ns	0,1771 ns
CV _{LI} (%)	11,32	63,32	20,34	18,78	9,56	26,89	15,14	13,30
CV _{IC} (%)	22,30	121,37	23,10	22,43	10,01	63,57	13,38	20,15
Média	4303	1570	1684	1647	3988	3935	3142	4333
0,10 a 0,15 m				0,15 a 0,20 m				
LI	0,7700ns	0,2683ns	0,9716ns	0,9853 ns	0,3384 ns	0,2890 ns	0,7131 ns	0,9804 ns
IC	0,5757ns	0,3075ns	0,3068ns	0,0848 ns	0,3042 ns	0,9770 ns	0,1411 ns	0,4157 ns
LI x IC	0,0228*	0,4867ns	0,9399ns	0,9787 ns	0,1714 ns	0,4555 ns	0,8807 ns	0,9978 ns
CV _{LI} (%)	7,98	36,82	13,25	24,98	9,62	45,75	10,75	29,96
CV _{IC} (%)	10,76	35,39	10,66	34,18	9,57	40,33	8,40	42,49
Média	3258	5554	2631	4673	2715	5781	2312	5024
0,20 a 0,25 m				0,25 a 0,30 m				
LI	0,1888 ns	0,2803 ns	0,8573 ns	0,6626 ns	0,2825 ns	0,1129 ns	0,9117 ns	0,5653 ns
IC	0,7177 ns	0,5979 ns	0,5456 ns	0,5480 ns	0,6744 ns	0,2424 ns	0,7334 ns	0,4518 ns
LI x IC	0,9420 ns	0,1538 ns	0,8409 ns	0,9851 ns	0,9999 ns	0,0814 ns	0,9814 ns	0,9371 ns
CV _{LI} (%)	12,08	35,06	10,04	28,82	13,04	26,01	11,84	30,07
CV _{IC} (%)	12,63	38,43	11,02	37,35	17,09	29,70	18,03	29,31
Média	2537	5056	2301	5455	2638	4843	2523	5506

ns, *, ** - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F

LI – lâmina de irrigação

IC – Intensidade de compactação

O resultado obtido para a maior lâmina de irrigação aplicada pode ser decorrente da maior compactação proporcionada pela mesma. MacDonagh et al. (1995), estudando a compactação em relação ao arraste de madeira com tratores agrícolas, obtiveram incrementos nos valores de densidade do solo e de resistência à penetração em pontos de maior teor de água. Seixas e Oliveira Júnior (2001), avaliando o efeito do tráfego de distintas máquinas de corte e carregamento de madeira em áreas secas e úmidas, constataram maiores valores de resistência nas áreas mais trafegadas e de maior umidade, o que pode justificar os elevados valores de resistência obtidos em função da maior lâmina de irrigação aplicada.

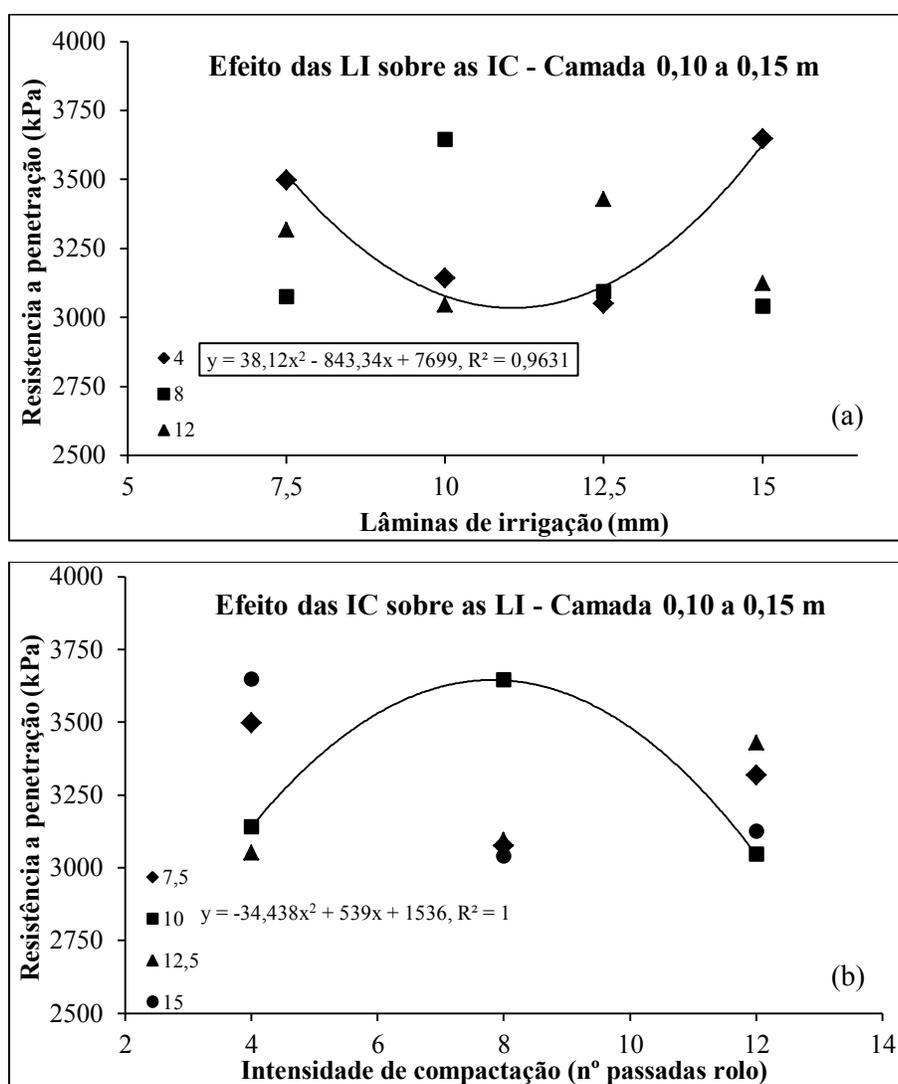


Figura 29. Resultados da interação dos tratamentos experimentais (LI x IC) para os valores de resistência à penetração do solo no mês de maio/12 na camada de 0,10 a 0,15 m.

Para o efeito da IC sobre a LI (Figura 29 b), nota-se que o maior índice de RPc foi proporcionado pela intensidade de compactação 8 passadas de rolo compactador em função da lâmina de irrigação de 10 mm, como também verificado para outras características físicas do solo já discutidas anteriormente. O resultado encontrado indica que a lâmina de 10 mm, também adotada pelo produtor no momento da colheita dos tapetes, pode ser considerada bastante desfavorável a propriedade física do solo RPc.

Tabela 12. Teores médios de água no solo na camada de 0 a 0,05 m.

Meses de avaliação	Teor médio de água no solo na camada de 0 a 0,05 m (%)											
	Tratamentos experimentais											
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
mai/12	28	33	29	29	29	30	29	29	30	31	30	31
ago/12	32	33	29	29	29	30	29	29	30	31	30	31
nov/12	29	30	28	28	29	28	30	28	29	29	29	30
mai/13	30	27	26	32	31	21	31	28	28	30	29	32

T1 (7,5 mm x 4 rolos); T2 (7,5 mm x 8 rolos); T3 (7,5 mm x 12 rolos); T4 (10 mm x 4 rolos); T5 (10 mm x 8 rolos); T6 (10 mm x 12 rolos); T7 (12,5 mm x 4 rolos); T8 (12,5 mm x 8 rolos); T9 (12,5 mm x 12 rolos); T10 (15 mm x 4 rolos); T11 (15 mm x 8 rolos); T12 (15 mm x 12 rolos).

Efeito isolado da intensidade de compactação foi notado no mês de maio/13 nas camadas de 0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m. Como ilustrado na Figura 30 (a, b), nas duas camadas estudadas, as maiores RPc foram atribuídas a maior intensidade de compactação exercida sobre a superfície do solo, 12 passadas de rolo compactador. Estudos efetuados por Collares et al. (2008), em áreas de plantio direto submetidas a processos de escarificação e compactação adicional, revelaram que no tratamento com compactação adicional a resistência a penetração do solo tendeu a ser maior até 0,1 m de profundidade. Streck et al. (2004) afirmam que a resistência do solo à penetração foi sensível ao tráfego de máquinas aplicado e que o maior número de tráfegos proporcionados por um trator resultou em valores de resistência à penetração até a profundidade de 0,28 m.

Nota-se que os valores de resistência na camada de 0,05 a 0,10 m foram superiores aos encontrados para a camada de 0 a 0,05 m no mês de maio/13. O menor valor de resistência verificado para a camada de 0 a 0,05 m pode ser atribuído a maior formação de raízes, rizomas e acúmulo de matéria orgânica nessa camada (SANTOS, 2012).

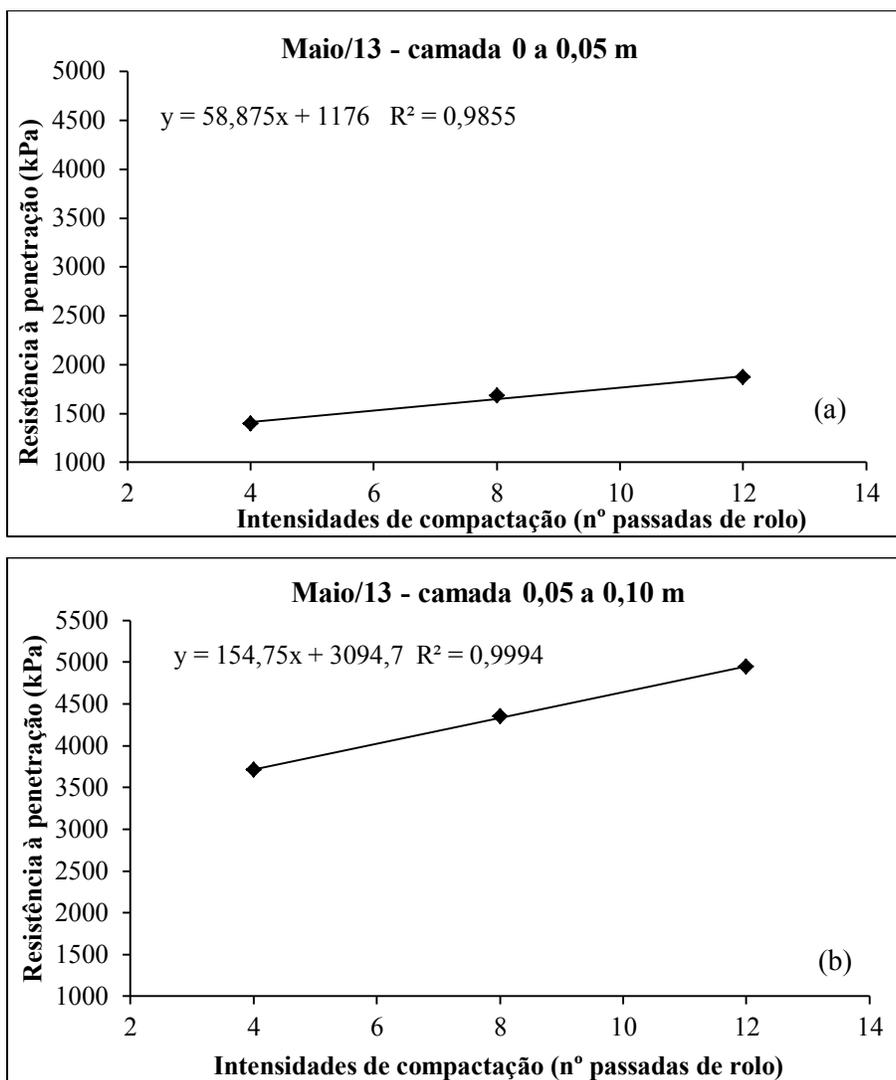


Figura 30. Efeito das Intensidades de compactação para os valores de resistência a penetração nas camadas 0,0 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m no mês de maio/13.

A Figura 31, que ilustra os resultados dos meses de avaliação, permite constatar que, independentemente do tratamento experimental imposto, os índices de RPC foram bastante elevados. No mês de maio/12, observou-se que os maiores valores de resistência ocorreram na camada logo abaixo do tapete colhido, onde foram verificados valores compreendidos entre 4000 e 5000 KPa.

A partir do terceiro mês após a colheita (agosto/12), independentemente do tratamento, verificou-se decréscimo dos valores de RPC na camada 0 a

0,05m, fato este que pode estar relacionado a utilização do equipamento de descompactação superficial do solo “estrelinha” bem como pelo desenvolvimento da grama mediante formação dos rizomas e raízes. Os resultados encontrados corroboram com os de Backes (2008) e Santos (2012), que relatam ter obtido para a camada de 0 a 5 cm, 3.955 KPa e valores compreendidos entre 2000 e 4000 kPa de RP, respectivamente. Entretanto, de acordo com Reinert et al. (2008), Canarache (1990) e Silva et al. (2002), índices de RP ligeiramente acima de 2.000 kPa, já são considerados críticos ao crescimento radicular para a maioria das culturas. Torres e Saraiva (1999) descrevem que valores em torno de 2500 kPa são considerados baixos, ao passo que valores em torno de 3500 a 6500 kPa, aparentemente, são considerados como capazes de causar problemas de impedimento mecânico para o desenvolvimento radicular das plantas.

Dentre as camadas do solo avaliadas a que apresentou diminuição nos valores de resistência com o decorrer dos meses de crescimento da grama foi aquela localizada logo abaixo do tapete colhido, entre 0 a 0,05 m e a camada menos mobilizada a de 0,05 a 0,10 m como também verificado por Backes (2008) e Santos (2012). Entretanto, os valores médios de RPc obtidos (entre 3000 e 6000 KPa) mostraram-se bastante inferiores aos dos autores citados, 10.155 kPa e 8.879 kPa, respectivamente. Santos et al. (2011) também constataram, para a camada de 0,05-0,10 m, 6.500 kPa de RPc, em função de variações no número de passadas do rolo compactador no momento da colheita dos tapetes de grama.

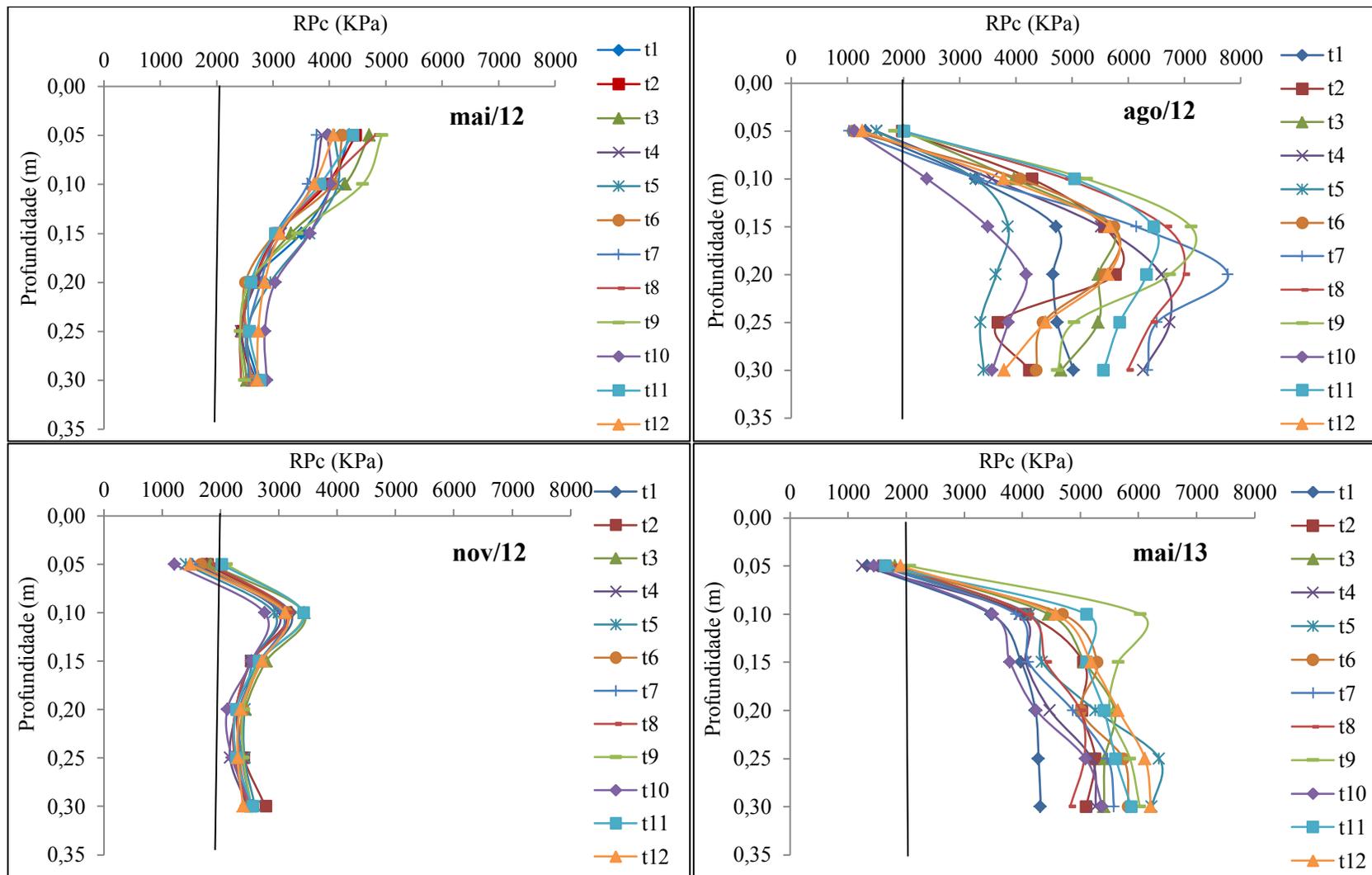


Figura 31. Efeito interação da LI x IC para os valores de resistência do solo em campo na camada de 0,0 a 0,30 m no decorrer dos meses de avaliação do desenvolvimento da grama Esmeralda.

5.6 Resistência mecânica do solo a penetração em laboratório (RPI)

Os valores médios de RPI obtidos mediante o processamento das amostras indeformadas provenientes da camada de 0 a 0,05 m, com o auxílio do penetrômetro eletrônico de bancada, mostraram que somente houve efeito significativo das IC no mês de maio/12, entretanto, o desdobramento da análise de regressão não mostra o resultado esperado (Tabela 13). O resultado encontrado indica que, possivelmente, o processo de umedecimento e compactação, realizados sem muito critério por parte do produtor ao longo dos distintos ciclos da cultura (8 anos), podem ser os principais responsáveis pelos elevados valores de RPI obtidos nas avaliações realizadas em campo que indicam que o solo encontra-se compactado a profundidades superiores a 0,05 m. Possivelmente, se este ensaio tivesse se realizado em uma área recém-formada ou reformada os resultados observados seriam diferentes ou mais significativos mediante os tratamentos impostos na camada superficial do solo.

Tabela 13. Resumo da análise de variância referente à resistência do solo à penetração das amostras analisadas em laboratório.

Resumo da análise de variância referente à resistência à penetração laboratório - RPI (kPa)				
----- Significância -----				
Camada 0,0 a 0,05 m				
Causa de variação	Maio/12	Agosto/12	Novembro/12	Maio/13
LI	0,5791 ns	0,5749 ns	0,6330 ns	0,1196 ns
IC	0,0476 *	0,6430 ns	0,4451 ns	0,1583 ns
LI x IC	0,4554 ns	0,4734 ns	0,2226 ns	0,1609 ns
CV _{LI} (%)	17,19	24,48	15,31	14,98
CV _{IC} (%)	26,60	14,20	19,97	25,08
Média	5763	6205	4919	4650

ns, *, ** - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F

LI – lâmina de irrigação

IC – Intensidade de compactação

Os valores médios da análise de variância (Tabela 13), assim como aqueles apresentados na Tabela 14, indicam que, com exceção aos tratamentos T3 (7,5 mm x 12 rolos), T4 (10 mm x 4 rolos) e T9 (12,5 mm x 12 rolos), a propriedade física do solo RPI

foi influenciada pelos demais tratamentos, os quais proporcionaram redução da resistência do solo com o decorrer do ciclo da cultura. Como constatado para outras propriedades físicas do solo, a maior IC (12 passadas de rolo) mostrou-se desfavorável a RPI, um vez que o impacto sobre a superfície do solo aumenta gradualmente em relação ao número de passadas de uma máquina sobre a superfície do solo (AMPOORTER et al., 2012).

Os tratamentos T1 (7,5 mm x 4 rolos) e T7 (12,5 mm x 4 rolos) foram benéficos a RPI, pois com o decorrer dos meses de avaliação proporcionaram redução de 42% nos valores de resistência. Como apontado anteriormente, os resultados sugerem que para a LI de 7,5 mm o atrito entre as partículas do solo dificultou o processo de compactação e para a LI de 12,5 mm o teor de água aplicado, retido na porosidade do solo, também interferiu no processo de compactação. Quanto a menor intensidade de compactação, sempre será favorável as propriedades físicas do solo pela menor quantidade de carga aplicada em sua superfície. Hillel (1980), comenta que o solo com baixo conteúdo de água torna-se mais resistente em razão da dureza de sua matriz, que exhibe alta resistência à fricção às deformações impostas por pressões externas aplicadas ao solo, quando o teor de água aumenta, a água começa a atuar como lubrificante entre as partículas, permitindo o deslocamento das mesmas. Este processo continua até que a água sature praticamente todos os poros do solo. A partir desse momento, a cada incremento no conteúdo de água não corresponderá um incremento na densidade, visto que a água não pode ser comprimida (SMITH; JOHNSTON; LORENTS, 1997; SILVA; REINERT; REICHERT, 2000a).

Constata-se, novamente, que o crescimento da grama foi benéfico para as propriedades físicas do solo, porém, os valores de RPI obtidos mostraram-se bastante elevados (superiores a 2000 kPa) na camada superficial do solo (0 a 0,05 m) em todas as épocas de avaliação. Silva et al. (2000) também verificaram valores de resistência mecânica à penetração considerados como críticos ao desenvolvimento das plantas (superiores a 2,0MPa) em sistema de plantio direto. Porém, distintos níveis críticos de resistência são adotados pelos autores como Ehlers et al. (1983), Nesmith (1987), Merotto Junior; Mundstock (1999) e Canarache (1990), que indicaram valores de 1000, 2000, 3500 e 5000 kPa, respectivamente, como sendo o limite crítico de resistência à penetração de raízes para diferentes solos.

Tabela 14. Valores médios de resistência do solo à penetração em laboratório (RPI) obtidos mediante processamento das amostras de solo, provenientes da camada de 0 a 0,05 m, da área experimental de produção de grama Esmeralda localizada no Sítio Paraíso da empresa Gramas Xavier.

Meses de avaliação	Valores de resistência à penetração do solo médios obtidos em laboratório											
	Tratamentos experimentais											
	7,5 mm			10 mm			12,5 mm			15 mm		
	4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8	12
Maio/12	6080	6357	4673	4900	6920	6106	5823	6863	3490	5363	6673	5903
Agosto/12	5476	5686	5970	6183	6883	6333	6133	6303	7510	6290	6060	5626
Novembro/12	5583	4400	5123	4086	5186	4956	4013	5453	5940	4810	5026	4456
Maio/13	3526	4523	6613	5353	4833	4983	3396	4290	4826	4306	5120	4026
% RPI *	<42%	<29%	> 42%	> 9%	<30%	<18%	<42%	<37%	> 38%	<20%	<23%	<32%

* (>) porcentagem de incremento nos valores de RPI; (<) porcentagem de decréscimo nos valores de RPI

T1 (7,5 mm x 4 rolos); T2 (7,5 mm x 8 rolos); T3 (7,5 mm x 12 rolos); T4 (10 mm x 4 rolos); T5 (10 mm x 8 rolos); T6 (10 mm x 12 rolos); T7 (12,5 mm x 4 rolos); T8 (12,5 mm x 8 rolos); T9 (12,5 mm x 12 rolos); T10 (15 mm x 4 rolos); T11 (15 mm x 8 rolos); T12 (15 mm x 12 rolos).

Tabela 15. Teores médios de água do solo das amostras coletadas posteriormente à saturação e drenagem em mesa de tensão a 6 kPa.

Meses de avaliação	Teor médio de água no solo na camada de 0 a 0,05 m (%)											
	Tratamentos experimentais											
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
mai/12	31	30	31	32	30	30	30	30	32	30	30	31
ago/12	28	29	28	29	28	29	28	27	28	29	29	29
nov/12	32	33	31	32	31	32	34	32	30	31	31	32
mai/13	33	35	31	33	35	34	35	35	33	35	34	35

T1 (7,5 mm x 4 rolos); T2 (7,5 mm x 8 rolos); T3 (7,5 mm x 12 rolos); T4 (10 mm x 4 rolos); T5 (10 mm x 8 rolos); T6 (10 mm x 12 rolos); T7 (12,5 mm x 4 rolos); T8 (12,5 mm x 8 rolos); T9 (12,5 mm x 12 rolos); T10 (15 mm x 4 rolos); T11 (15 mm x 8 rolos); T12 (15 mm x 12 rolos).

Os resultados da Tabela 14 mostram o comportamento dos valores de RPI com o decorrer dos meses de avaliação da grama Esmeralda. Independentemente da intensidade de compactação estudada, a lâmina de irrigação de 15 mm não mostrou-se benéfica ao decréscimo nos valores de RPI, uma vez que proporcionou reduções da ordem de 20%, 23% e 32%, respectivamente, em função das intensidades de compactação, 4, 8 e 12 passadas de rolo, assim como também apontado nas avaliações realizadas em campo.

Nas Tabelas 14 e 15 constam os valores de RPI e os teores de água médios das amostras analisadas. Observa-se que a RPI diminuiu com o incremento do teor de água para todos os tratamentos. Resultados semelhantes também foram encontrados por Cunha et al. (2002), que estudaram a resistência mecânica à penetração de um solo de textura argilosa, sob diferentes densidades e teores de água. Lopes et al. (2011), ao avaliarem o efeito da umidade na compactação do solo submetido ao tráfego de máquinas de colheita florestal, constataram que a resistência do solo à penetração apresentou comportamento decrescente com o aumento da umidade e que, em todas as condições estudadas, o tráfego das máquinas de corte da madeira causou alterações na resistência à penetração. Calonego (2007) Silva et al., (1994); Tormena et al., (1998); Imhoff (2002); Müller (2002); Araújo et al., (2004) ainda afirmam que a RP variou, positivamente, com a densidade do solo e, negativamente, com o teor de água do solo, comportamento que conforme Sojka et al., (2001), está relacionado com o aumento na coesão e fricção entre as partículas.

5.7 Parâmetros avaliados na grama

5.7.1 Resistência mecânica de tapetes e massa de tapetes colhidos

Na Tabela 16 constam os valores de resistência mecânica dos tapetes de grama colhidos nos meses de maio/12 e maio/13. Nota-se que no mês de maio/12 a resistência dos tapetes não foi influenciada pelos tratamentos experimentais, e em maio/13 o efeito dos tratamentos no decorrer dos meses de desenvolvimento da grama Esmeralda bem como a operação de colheita sem a compactação do solo mostraram-se insuficientes para proporcionar efeito sobre a resistência mecânica dos tapetes colhidos. Entretanto, nota-se que os valores médios de resistência dos tapetes no mês de mai/13 foram superiores aos do mês de mai/12, indicando que, possivelmente, o controle do número de passadas do rolo e da lâmina

de irrigação aplicada sobre a grama anteriormente a colheita, podem ter melhorado as condições físicas do solo e, por consequência, favorecido o desenvolvimento de rizomas, estolões e raízes, que de acordo com Christians (1998), são considerados os fatores de maior importância na produção de grama, por proporcionarem maior estrutura e resistência ao tapete que será manuseado após a colheita. Porém, a maior resistência dos tapetes colhidos também pode ser atribuída à operação de colheita sem compactação do solo, que por sua vez pode ter tornado necessário a colheita de tapetes mais espessos tornando-os mais resistentes.

Tabela 16. Resumo da análise de variância e média dos resultados referentes a Resistência mecânica de tapetes de grama Esmeralda colhidos em mai/12 e mai/13.

Resumo da análise de variância referente à resistência mecânica de tapetes (kgf)				
Causa de variação	----- Significância -----			
	Mai/12		Mai/13	
LI	0,5023 ns		0,8500 ns	
IC	0,3066 ns		0,8308 ns	
LI x IC	0,5451 ns		0,5775 ns	
CV _{LI} (%)	34,51		32,89	
CV _{IC} (%)	23,36		30,56	
Média	25,41		37,07	
Média dos resultados				
Lâminas de irrigação (mm)	Mai/12			
	Intensidades de compactação (nº passadas de rolo)			
	4	8	12	Méd. (LI)
7,5	27,12	32,41	27,10	28,88
10	20,82	27,55	23,39	23,92
12,5	23,48	27,38	22,20	24,35
15	25,49	21,84	26,05	24,46
Med.(IC)	24,23	27,29	24,68	
Mai/13				
				Méd. (LI)
7,5	33,29	30,66	39,52	34,49
10	38,92	43,25	32,10	38,09
12,5	34,83	36,40	44,33	38,52
15	35,71	39,79	36,08	37,19
Med.(IC)	35,68	37,52	38,01	

ns, *, ** - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F
LI – lâminas de irrigação; IC – Intensidades de compactação

Os valores de resistência mecânica de tapetes observados em ambos os períodos em que ocorreram as avaliações foram superiores aos de Santos (2012), que encontrou para o tratamento, uma passada de estrelinha, cujo tipo de preparo também foi adotado para a área experimental em questão, valor de resistência 20,9 kgf, inferiores aos de Lima (2009), que constatou máxima resistência (36 kgf) em função da dose de 265 kg ha⁻¹ de N, porém, semelhantes aos de Backes (2008) que avaliou o efeito da aplicação de lodo de esgoto e adubos químicos em função de dois tipos de manejo do solo em áreas de produção de grama, e encontrou 22,5 kgf de resistência para a aplicação de adubos químicos + utilização de estrelinha.

Efeitos significativos dos tratamentos experimentais LI x IC não foram constatados para o parâmetro peso de tapetes nas duas épocas de avaliação (Tabela 17).

Quanto ao peso dos tapetes no mês de mai/12 (Tabela 17), foi inferior ao encontrado por Backes (2008) que observou, para o tratamento adubo químico + utilização de estrelinha, peso médio de 6 kg, porém foi semelhante ao verificado no mês de mai/13. Comportamento semelhante também foi notado com relação ao peso dos tapetes por Lima (2009), que obteve massa média de 7,8 kg para tapetes de 0,9 cm de espessura.

Tabela 17. Resumo da análise de variância e média dos resultados referentes ao peso de tapetes de grama Esmeralda colhidos em mai/12 e mai/13.

Causa de variação	Resumo da análise de variância referente ao peso de tapetes (kg)	
	----- Significância -----	
	Maio/12	Maio/13
LI	0,4864 ns	0,5168 ns
IC	0,6769 ns	0,7383 ns
LI x IC	0,3560 ns	0,6488 ns
CV _{LI} (%)	13,97	10,04
CV _{IC} (%)	11,04	14,99
Média	4,63	6,26

Continua ...

Média dos resultados				
Lâminas de irrigação (mm)	Mai/ 12			
	Intensidades de compactação (nº passadas rolo)			
	4	8	12	Méd. (LI)
7,5	4,15	4,66	4,46	4,42
10	4,52	4,52	4,61	4,55
12,5	4,93	4,25	5,02	4,73
15	4,71	4,83	4,90	4,81
Med.(IC)	4,58	4,59	4,72	
Mai/13				Méd. (LI)
7,5	6,08	6,42	6,58	6,42
10	6,34	6,18	5,82	6,18
12,5	6,33	6,07	5,46	6,07
15	6,29	6,38	6,67	6,38
Med.(IC)	6,25	6,40	6,14	

ns, *, ** - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F
LI – lâminas de irrigação; IC – Intensidades de compactação

Nota-se que o peso dos tapetes foi superior na segunda colheita em relação a primeira, sendo o valor médio para o parâmetro avaliado 6,26 kg. Tal fato pode ser atribuído tanto ao melhor desenvolvimento de rizomas, estolões e raízes da grama como ao fato de não ter sido feito o procedimento de compactação do solo para a realização da segunda colheita dos tapetes de grama o que pode ter contribuído para a colheita de tapetes mais grossos e, portanto, mais pesados e resistentes.

5.7.2 Taxa de cobertura verde do solo

Na Tabela 18 constam os resultados referentes à taxa de cobertura verde do solo pela grama (TCV) em função das lâminas de irrigação (LI) e intensidades de compactação (IC). Nota-se que nos meses de maio/12 e agosto/12 a TCV foi influenciada, significativamente, pela interação das LI x IC e no mês de novembro/12 pelas LI.

Tabela 18. Resumo da análise de variância da taxa de cobertura verde do solo proporcionada pela grama Esmeralda em função das lâminas de irrigação e intensidades de compactação.

Análise de variância da taxa de cobertura verde do solo (%) - TCV				
Causa de variação	----- Significância -----			
	Maio/12	Agosto/12	Novembro/12	Maio/13
LI	0,2823 ns	0,0008**	0,0020**	0,6195 ns
IC	0,3430 ns	0,4215 ns	0,6751 ns	0,8081 ns
LI x IC	0,0448 *	0,0000**	0,5650 ns	0,8811 ns
CV _{LI} (%)	47,88	17,80	16,55	6,55
CV _{IC} (%)	54,17	23,02	27,25	7,74
Média	1,97	9,51	34,95	89,69

ns, *, ** - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F
LI – lâminas de irrigação; IC – Intensidades de compactação

Embora a análise de variância destaque o efeito significativo da interação entre LI x IC nota-se, pelo desdobramento da regressão, somente o efeito das IC para a lâmina de irrigação de 10 mm. O comportamento da curva que expressa o resultado do efeito das IC aplicadas no solo em função da LI de 10 mm (lâmina de irrigação também adotada pelo produtor), mostram que a menor IC (4 passadas de rolo compactador), também adotada pelo produtor para a realização da colheita dos tapetes, foi a mais benéfica a TCV após a colheita dos tapetes da grama Esmeralda (Figura 32).

Ainda que não tenha-se observado o efeito significativo das IC para as demais LI aplicadas (7,5; 12,5 e 15 mm), verifica-se que a TCV proporcionada pelas IC, 8 e 12 passadas de rolo compactador, foram superiores a da LI de 10 mm. O resultado encontrado evidencia que mediante a aplicação da menor intensidade de compactação (4 passadas de rolo compactador) a LI de 10 mm é a mais indicada, porém havendo a necessidade de adotar-se um maior número de passadas de rolo compactador para realização da colheita de tapetes de grama, a LI adotada pelo produtor pode tornar-se prejudicial ao desenvolvimento inicial da grama Esmeralda.

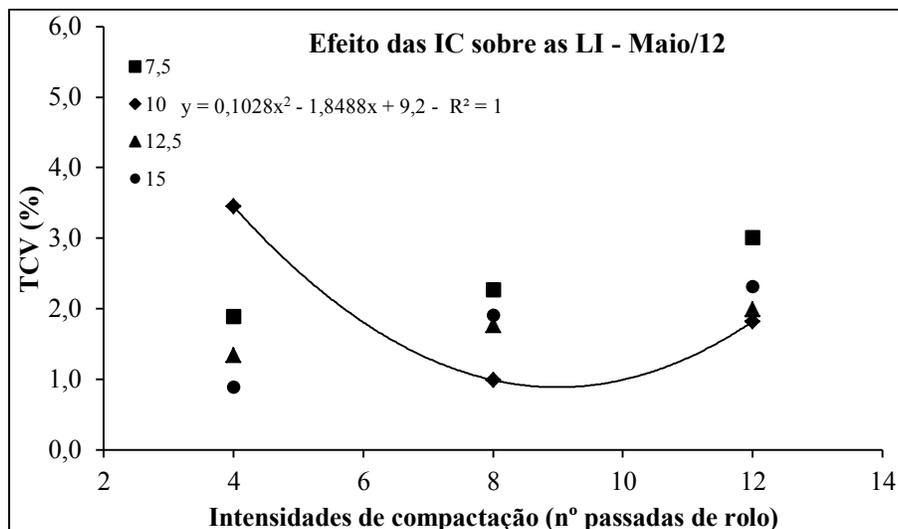


Figura 32. Efeitos da interação IC x LI para a Taxa de cobertura verde do solo no mês de maio/12

A Figura 33 representa os efeitos das IC sobre as LI e das LI sobre as IC aos 90 dias (Agosto/12) após a colheita dos tapetes de grama Esmeralda. Comportamento linear dos resultados em função das LI de 7,5 e 12,5 m foi observado para maior número de passadas de rolo compactador, sendo as maiores IC proporcionadoras das maiores TCV do solo. Os resultados sugerem que as maiores IC, ao proporcionarem a redução do espaço poroso do solo, podem ter aumentado a retenção de água no mesmo e favorecido a TCV da grama. Comportamento semelhante foi observado por Carribeiro (2010) ao relatar que incrementos na densidade do solo proporcionados pelo efeito da compactação foram favoráveis à manutenção da TCV.

Verifica-se para o mês de agosto/12 que a IC intermediária proporcionou uma porcentagem de cobertura verde (12,83%) superior às demais IC aplicadas sobre o solo (8,7 e 8,95%) para a LI de 10 mm, diferindo do comportamento observado no mês de maio/12.

Para o efeito das LI sobre as IC, nota-se que a maior LI (15 mm), proporcionou maior TCV do solo para as IC (4 e 12 passadas de rolo compactador), diferindo do observado para a IC, 8 passadas de rolo compactador, cuja melhor TCV atribuí-se as menores LI (7,5 mm e 10 mm).

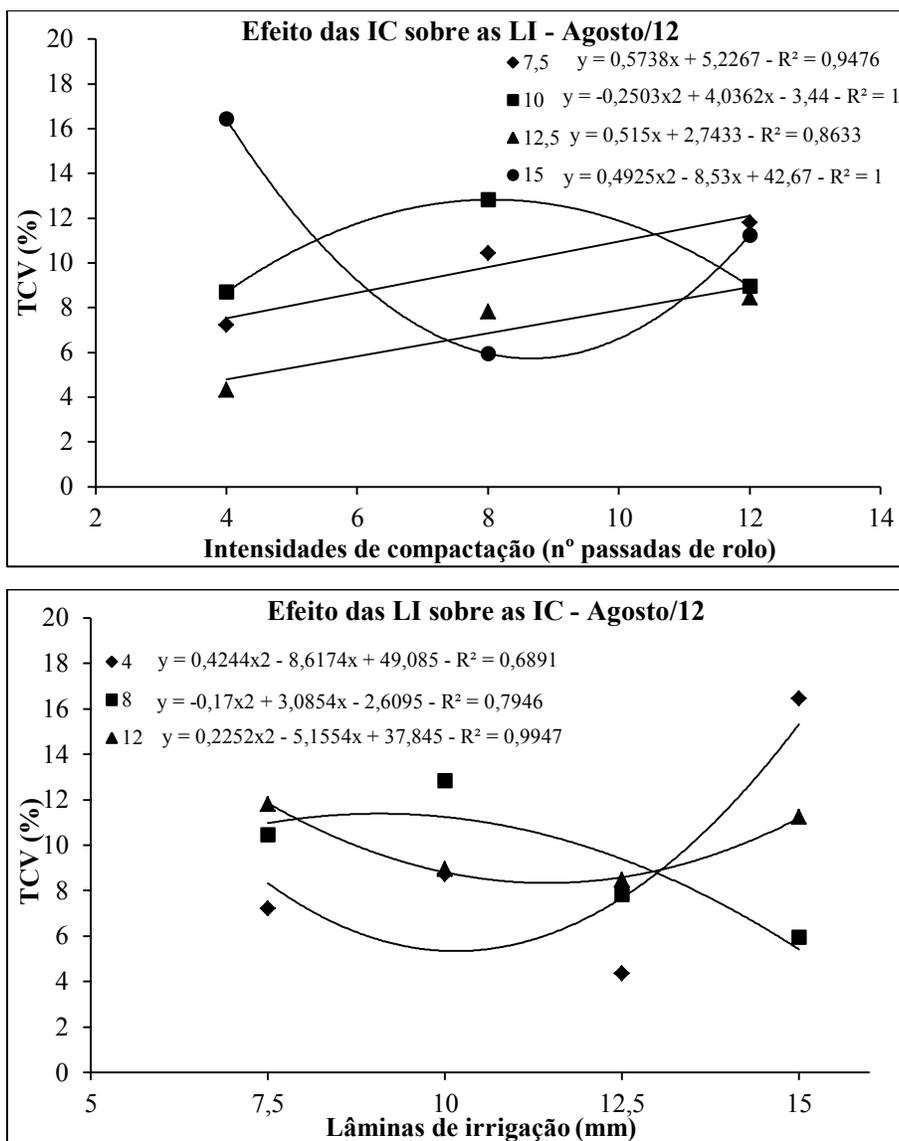


Figura 33. Efeitos da interação IC x LI e LI x IC para a Taxa de cobertura verde do solo no mês de agosto/12.

Aos 90 dias após a colheita dos tapetes de grama Esmeralda nota-se que a maior porcentagem de cobertura verde do solo foi proporcionada pela maior LI (15 mm) e menor IC (4 passadas de rolo compactador), 16,43%, sugerindo que a maior lâmina pode ter minimizado o efeito da compactação pela resistência a compressão proporcionada pela água retida nos poros do solo. De acordo com Richart et al., (2005) a água no solo atua como lubrificante entre as partículas, permitindo o deslocamento das mesmas e esse processo ocorre

até que a água sature praticamente todos os poros do solo. A partir desse momento, cada incremento no conteúdo de água não corresponderá em incremento na densidade visto que a água não pode ser comprimida (SILVA; REINERT; REICHERT, 2000a).

A TCV média do mês de agosto/12 (Tabela 18) revelou-se bastante reduzida (10,06%). Considerando-se que aos 90 dias após a colheita dos tapetes Godoy (2005) obteve para a aplicação de doses de N, 66,5% de TCV, Lima (2010) para a aplicação de doses de ajifer 38,76% e Santos (2011) 26,4% em função dos diferentes preparos do solo. Entretanto, a TCV do solo obtida pode ter sido inferior a dos demais autores devido o fato da colheita dos tapetes de grama ter ocorrido durante o período do inverno, época em que o desenvolvimento da grama é reduzido em decorrência das baixas temperaturas, porém, não deve-se descartar a possibilidade de que o atraso no desenvolvimento da grama também pode estar atribuído ao efeito do estresse provocado na grama em decorrência dos tratamentos de compactação, bem como a colheita de tapetes mais grossos, que levam a redução no volume de estruturas de propagação da grama (rizomas) na área de produção.

Embora a análise de variância tenha mostrado o efeito significativo das LI para a TCV em novembro/12, por meio do desdobramento da regressão não foi possível constatar tal efeito sobre o parâmetro avaliado.

Os dados médios de TCV do solo mostram o efeito dos tratamentos experimentais no decorrer do crescimento da grama Esmeralda (Tabela 18). Considerando-se esses valores nota-se que o tempo de formação de tapetes foi superior a 12 meses, como relatado por Pimenta (2003) para condições de cultivo no Brasil, e também por Santos (2012), uma vez que aos 360 dias após a colheita a maior porcentagem de TCV obtida foi de 93%, em função do tratamento LI 15 mm x IC 12 passadas de rolo. Diferindo do relatado, Godoy (2005) constatou aos 192 dias após a colheita que 96% do solo estavam recobertos por folhas da grama em função de doses superiores a 300 kg ha⁻¹ de N. Backes (2010) observou o fechamento quase completo dos tapetes (96,5%) aos 330 dias e Lima (2011) notou aos 124 dias após a colheita que a dose de 303 kg ha⁻¹ de N permitiu a máxima cobertura do solo pela grama (98 %). Embora a TCV da grama Esmeralda tenha atingido somente 90 % aos 360 dias (maio/13), não foi o fator que restringiu a operação de colheita dos tapetes de grama. Justificando o observado, Godoy (2005), afirma que não é necessária uma TCV de 100% para que o tapete de grama seja colhido, sendo aceitos tapetes com folhas secas, já que, ainda não

existe uma classificação dos mesmos quanto à qualidade, embora, tapetes totalmente verdes possam ser mais facilmente comercializados.

6. CONCLUSÕES

Tanto a menor lâmina de irrigação (7,5 mm) como a menor intensidade de compactação (trafegar 4 vezes com rolo compactador de 8.350 kg) permitem a coleta de tapetes íntegros de grama Esmeralda.

A menor intensidade de compactação (trafegar 4 vezes com rolo compactador de 8.350 kg) proporciona os maiores valores de macroporosidade na camada do solo abaixo do tapete colhido.

A maior lâmina de irrigação (15 mm) e a maior intensidade de compactação (trafegar 12 vezes com rolo compactador de 8.350 kg) proporcionam maior porosidade total ($0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) na camada de 0,025 a 0,05 m.

Um ano após o corte dos tapetes de grama a resistência à penetração do solo aumenta com o aumento da intensidade de compactação.

Com o desenvolvimento das raízes e rizomas há aumento da capacidade de retenção de água pelo solo a baixas tensões.

7. REFERÊNCIAS

ABREU, S.L. **Propriedades hídricas e mecânicas afetadas por sistemas de manejo e variabilidade espacial de um Argissolo.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 65p. 2000.

AGRAWAL, R. P.; JHORAR, B. S.; DHANKAR, J. S.; RAJ, M. Compaction of Sandy Soils for Irrigation Management. **Irrigation Science**, New York, v.8, p.227-232. 1986.

ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W.C.T.; TIJINK, F.G.J.; van der LINDEN, J.P.; PIRES, S.; SOMMER, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review. Part 1. Machine/soil interactions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.73, p.145-160, 2003.

AMPOORTER, E., SCHRIJVER, A., VAN NEVEL, L., HERMY, M., VERHEYEN, K. Impact of mechanized harvesting on compaction of Sandy and clayey forest soils: results of a meta-analysis. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v.69, p.533–542, 2012

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; INOUE, T. T.; COSTA, A.C. S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, p.495-504, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 7182: Solo. Ensaio de compactação - ABNT. 1986. NBR 3. Rio de Janeiro, 11p, 1986.

BACKES et. al. Resultados de pesquisas sobre produção de grama> resistência e espessura de corte de tapetes In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 5., 2010, Botucatu. Tópicos atuais em gramados II: **Anais...** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, p. 82-91, 2010.

BACKES, C. **Aplicação e efeito do lodo de esgoto em sistemas de produção de tapetes de grama esmeralda**. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 152 f, 2008.

BARLEY, K.P. Effect of root growth and decay on the permeability of a synthetic sandy loam. **Soil Science**, Baltimore, v.78, n.2, p.205-10, 1954.

BEARD, J. B. Factors in the adaptation of turfgrasses to shade. **Agronomy Jornal**, Madson, v. 57, p.457-459, 1965.

BEARD, J. B. Turfgrass Science and culture. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J. Beard, J. B. **Turfgrass Science and culture**. Prentice Hall, Englewood Cliff s, N. J. 1973.

BEARD, J. B. **Turfgrass: science and culture**. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ. 1973.

BEARD, J.B. Origins of North American Turfgrasses American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 5585 Guilford Road, Madison, WI 53711, USA. Agronomy Monograph 56. **Turfgrass: Biology, Use, and Management**. John C. Stier, Brian P. Horgan, and Stacy A. Bonos, editors. 2013.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 625 p., 2006.

BEUTLER et al. Compactação do solo na estabilidade de agregados e no conteúdo ravimétrico de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 193-198, 2005.

BIBBY, F. F. TURTTLE, D.M. Notes on phytophagos and predatory mites of Arizona.

Journal of Economic Entomology. v.52(2), p. 186-190, 1959.

BOR, N. L. Grasses of Burma, Ceylon, India, and Pakistan. Pergamon Press:Oxford and London. p. 767, 1960.

BOUWMANA, L. A.; W.B.M. ARTS. Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.14, p. 213–222, 2000.

BRADY, N.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. 14.ed. New Jersey, Prentice Hall, 980p., 2007.

BRAIDA et al. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.2, p.131–139, 2010.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.605-614, 2006.

BRANDY, N. C.; WEIL, R. R. **Natureza e propriedade dos solos**. 7º edição, Rio de Janeiro, 898 p., 1999.

BRUSSAARD, L., VAN FAASSEN, H.G. Effects of compaction on soil biota and soil biological processes. In: SOANE, B.D., VAN OUWERKERK, C. (Eds.), *Soil Compaction in Crop Production*. **Elsevier**, Amsterdam, p. 215–235, 1994.

BUTLER, J. D.; SLIFE, F.W. **Lawn weeds: Identification and control**. Illinois Cooperative Extension Service Circular 873. p.1-28, 1967.

CAIN, J. J.; ADRIAN, P. M. DUFFY; E. GUERTAL. **Turfgrass-sod production in alabama: economics and marketing**, 2003. Alabama agricultural experiment station. In: <http://www.ag.auburn.edu/aaes>. Acesso em: 12 jan de 2011.

CALONEGO, J. C. **Uso de plantas de cobertura na recuperação de solo compactado**. 125f. Tese (Doutorado) Universidade Estadual paulista, Faculdade de Ciências Agronomicas, Botucatu.. 2007.

CAMARGO, O. A. et al. **Método de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônômico; Fundação IAC, (Boletim técnico, 106), p. 94, 1986.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 132 p., 1997.

CANARACHE, A. Penetr – a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.16, p.51-70, 1990.

CARROW.R.N; PETROVIC,A.M. **Effects of traffic on turfgrass** ASA-CSSA-SSSA, 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA. Turfgrass Agronomy Monograph n. 32, 1992.

CARRIBEIRO, L.S. **Potencial de água no solo e níveis de compactação para o cultivo de grama esmeralda**. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e drenagem)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de Paulista, Botucatu, 2010.

CEPAGRI . http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_606.html

CHARBONNEAU, P. **Sod Production**, 2003. Disponível em: http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/info_sodprod.htm. Acesso em: 15 de novembro de 2013.

CHARBONNEAU, P. Soil loss during sod production. Available at www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/info_sodprod.htm#loss (verified 19 Jan. 2010). Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Ottawa. 2003.

CHAUVEL, A. GRIMALDI, M. TESSIER, D. Changes in soil space distribution following deforestation and revegetation> Na example from the Central Amazon Brasin, Brasil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.38, p. 259-271, 1991.

CHRISTIANS, N. E. **Fundamental of turfgrass management**, Chelsea: Arbor Press, 301 p. 1998.

CIIAGRO ON LINE. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. Disponível em:

<<http://ciiagro.iac.sp.gov.br>>. Acesso em: 20 de agosto de 2013.

CLAYTON, W.D. Evolution and distribution of grasses. **Annals of the Missouri Botanical**. v.68, p.5–14, 1981

COCKERHAM, S. T. Turfgrass sod production, ANR Publications, University of California, Oakland, CA. 84 p., 1988.

COCKERHAM, S. T; BURGER, D. W. Irrigation of Turfgrass Sod, Container and Nursery Stock Copyright c American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA. **Irrigation of Agricultural Crops**, 2nd ed., Agronomy Monograph no 30. 2007.

COCKERHAM, S.T. **Turfgrass Culture for sod production**. Handbook of turfgrass Management and physiology. University of Arizona. Tucson, Arizona, USA. p. 139-167. 2007.

COLLARES, G. L et al. Compactação de um latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o Crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v.32, p 933-942, 2008.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. e KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijão num Argissollo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.4, n.11, p. 1663-1674, Nov. 2006.

CUNHA, J. P. A. R; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.10, n.1-4, Jan./Dez., 2002.

DIAS JR. M.S. Compactação do solo. In: SBCS. Tópicos em Ciência do solo, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.55-94, 2000.

DIAS JUNIOR, M.S.; ESTANISLAU, W.T. Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v.23, p.45-51, 1999.

DOURADO NETO, D.; VAN LIER, Q.J.; BOTREL, T.A.; LIBARDI, P.L. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo de van Genuchten. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.1, p.92-102, 1990.

DOWNER, J. **History of Grass**. Disponível em http://www.ehow.com/about_4673485_history-of-grass.html. Acesso em: 15 agos. 2013.

DRESCHSLER, C. Occurrence of zonate eyespot fungus *Helminthosporium giganteum* on some additional grasses. **Journal of Agricultural Research** . v.39, p. 129-135, 1929.

DRESCHSLER, C. Zonate eyespot of grasses caused by *Helminthosporium giganteum*. **Journal of Agricultural Research**. v. 37, p. 473-492, 1928.

DUBLE, R. **Turfgrass rootzones**. Disponível em: <http://turfdiag.com/turfgrassrootzones.htm>. Acesso em: 12 dez. 2010.
EAVIS, B.W. Soil physical conditions affecting seedling root growth: 1- mechanical impedance, aeration, and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. **Plant and soil**, The Hague, v.36, p.613-622, 1972.

EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F.; BÖHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.3, n.2, p.261-275, 1983.

Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 212 p., 1997.

ENGELKE, M.C., S. ANDERSON. **Zoysiagrasses (*Zoysia spp.*)**. In: M.D. Casler and R.R. Duncan, editors, *Turfgrass biology, genetics, and breeding*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ. p. 271–285. 2003.

EXNER, M.E, BURBACH, M.E., WATTS, D.G., SHERMAN, R.C., SPALDING, R.F. Deep nitrate movement in the unsaturated zone of a simulated urban lawns. **Journal of Environmental Quality**, v.20, p.658-662, 1991.

FENNER, P.T. **Relações entre tráfego, solo e desenvolvimento florestal na colheita da madeira**. 135p. Tese (Tese de Livre Docência) – Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, SP. 1999.

FLOWERS, M.D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollicochraqualf in northwest Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.48, p.21-35, 1998.

GAO, W. C.W.; REN, T.; WHALLEY, W.R. The effects of compaction and soil drying on penetrometer resistance. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam . v.125, p.14–22, 2012.

GODOY, L. J. G. **Adubação nitrogenada para produção de tapetes de grama Santo Agostinho e Esmeralda**. 2005. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de Paulista, Botucatu, 2005.

GOLOMBEK, C.H. Estresse em gramados e fatores fisiológicos correlatos. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 3, Botucatu. **Anais...** Universidade Estadual Paulista, CD-ROM. 2006.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.32, p.18-186, 1968.

HAKANSSON, I. Soil compaction control: objectives, possibilities and prospects. **Soil Technology**, Amsterdam, v.3, p.231-239, 1990.

HAKANSSON, I., W.B. VOORHEES, AND H. RILEY. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam v.11, p.239-282, 1988.

HARTLEY, W. Studies on the origin, evolution, and distribution of the Gramineae. IV. The genus *Poa* L. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 9, p.152-161, 1961.

HARTWIGER, C.E., C.H. PEACOCK, J.M. DIPAOLA, AND D.K. CASSEL. Impact of lightweight rolling on putting green performance. **Crop Science, Madison** v.41, p.1179–1184, 2001.

HENDRISON, J. damage controlled logging in tropical rain forest in Suriname. Wageningen: **Agricultural University**, 204p. 1989.

HILLEL **Fundamentals of soil physics**. Amherst, University of Massachusetts. Academic Press, 771p., 1998.

HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, Cap.2, p.319-344. 1980.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. San Diego: Academic Press, 1982. 264p.

HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: SOANE, B.D.; van OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam : Elsevier, p.45-69, 1994.

IMHOFF, S del C. **Indicadores de qualidade estrutura e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. Piracicaba, Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 94 p., 2002.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.

JAMISON, V.C. & KROTH, E.M. Available moisture storage in relation to textural composition and organic matter content of several Missouri soils. **Soil Sci. Soc. Proc.**, v.22, p.189-192, 1953.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2, p.116–121, 2008.

JORAJURIA, D. e DRAGHI, L. Sobrecompactación del suelo agrícola. Parte I: Influencia diferencial del peso y del número de pasadas. **R. Bras. Eng. Agric. Amb.**, v.4, p.445-452, 2000.

KIEHL, E.J. Manual de edafologia. São Paulo, Agronômica Ceres, 262p., 1979.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v.26, p.857-867, 2002.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v.18, p.45-54, 1998.

KOOLEN, A.J. Mechanics of soil compaction. In: SOANE, B.D.; OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production**, Amsterdam, p.45-69, 1994.

KOPI, A.J.; DOUGLAS, J.T. A rapid inexpensive and quantitative procedure for assessing soil structure with respect to cropping. **Soil Use and Management**, Oxford, v.7, p.52-56, 1991.

LARSON, W.E.; EYNARD, A.; HADAS, A. & LIPIEC, J. Control and avoidance of soil compaction. In: SOANE, B.D.; VAN OUWERKERK, C., eds. **Soil compaction in crop production: developments in agricultura engineering**. Amsterdan, Elsevier, p. 597 625p. 1994.

LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 335p. 2005.

LOPES, E.S., SAMPIETRO, J. A., LOMBARDI, K. C., DIAS, A. N. Avaliação da umidade na compactação do solo submetido ao tráfego de máquinas de colheita florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.3, Edição Especial, p.659-667, 2011.

LOS, C. J. Princípios básicos para iniciar o plantio direto. In: Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto, 1, 1995, Castro. **Anais...** Castro: ABC, p.291-301. 1995.

MACDONAGH, P.M. et al. A compactação do solo em relação a oportunidade de arraste de madeira com tratores agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24, 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. p. 1-20, 1995.

MADISON, I.H. **Principle of turfgrass culture**. Van Nostrand Reinhold Co., New York. 1971.

MARCUM, K.B., S.J. ANDERSON, AND M.C. ENGELKE. Salt gland ion secretion: A salinity tolerance mechanism among five zoysiagrass species. **Crop Science**, Madison, v.38, p.806–810, 1998.

MARTINS, S. S.; COUTO, L. ;TORMENA, C.A; MACHADO, C. C. Impacto da exploração madeireira em florestas nativas sobre alguns atributos físicos do solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n.1, p.61-67, 1998.

MC CARTY, L. B. **Sod Production in Florida**. UF - University of Florida, IFAS Extension, Gainesville FL, 2006. Disponível em: <http://edis.ifas.ufl.edu>. Acesso em: 10 jan. 2011.

- McBRIDE, R.A.; BOBER, M.L. Are-examination of alternative test procedures for soil consistency limit determination: I. A compression-based procedure. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, p.178-183, 1989.
- MEDINA, F. R. Influencia de dois métodos de preparo de área na compactação de um latossolo amarelo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v.9, p. 67-71, 1985.
- MEROTTO JR, A., MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.197-202, 1999.
- MILDE, G.A. et al Diâmetro médio ponderado de partículas para estimativa de propriedades físico-hídricas do solo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.57, p.21-27, jul/dez 2008.
- MORAES, M. H.; CORÁ, J.E; ALMEIDA, A. B. Compactação em gramados: como avaliar e propostas para minimizar o problema. Tópicos atuais em gramados. **Anais...** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2008. p. 46-55. 2008.
- MORAES, M.H.; MULLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S. **Qualidade física do solo – Métodos do Estudo – Sistemas de Preparo e Manejo do Solo**. Jaboticabal-SP. Funep. 225p, 2002.
- MÜLLER, M.M.L. **Influência do monocultivo na cana-de-açúcar e nas propriedades físicas e químicas de um Nitossolo Vermelho e um Neossolo Quartzarênico**. Botucatu, 120 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas. 2002.
- NESMITH, D.S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.183-186, 1987.
- NICOLOSO, R. S.; TELMO JORGE CARNEIRO AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; MASTRÂNGELLO ENÍVAR LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 32:1723-1734, 2008.
- NOGUEIRA, J.B. Mecânica dos solos: ensaios de laboratório. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1995. 248p.

OADES, J.M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, Wageningen, v.56, p.377-400, 1993.

OHU, J.O.; RAGHAVAN, G.S.V. & McKYES, E. **Peatmoss effect on the physical and hydraulic characteristic of compacted soils**. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers., v.28, p.420-424, 1985.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 64 p., 1999.

OLIVEIRA, P. M., SILVA, A. M. COELHO, G., SILVA, R. A. Analise comparativa da caracterização físico hídrica de um latossolo vermelho distrofico in situ e em laboratório. **Irriga**, Botucatu, v.10, n1, p 1-19, janeiro-abril, 2005.

O'NEIL, K.J., CARROW, R.N. Perennial ryegrass growth, water use and soil aeration status under soil compaction. **Agronomy Journal**, Madison, v. 75, p.177-180, 1983.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F.; URCHEI, M.A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistemas de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.28, n.1, p.129- 137, 2006b.

PEDROTTI, A.; MELLO JR. A.V. **Avanços em ciência do solo: A física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental**. São Cristovão: Editora UFS, Aracaju: Fapitec. 209p. 2009.

PESSARAKLI, M. **Handbook of Turfgrass Management and Physiology**. Management and physiology. University of Arizona. Tucson, Arizona, USA 688p. 2007.

PIMENTA, C. H. Produção de gramas. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 1., 2003, Botucatu. **Produção, implantação e manutenção: anais...** Botucatu: UNESP, FCA, Departamento de Recursos Naturais, 2003. 1 CD-ROM.

QUIROGA-GARZA, H.M., PICCHIONI, G.A., REMMENGA, M.D. Bermudagrass fertilized with slow-release nitrogen sources I. Nitrogen Uptake and potential leaching losses. **Journal of Environmental Quality**, v.30, p.440-448, 2001.

RAVEN, P.H.; AXELROD, D.I. Angiosperm biogeography and past continental movements. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, Saint Louis, v.61, p.539–673, 1974.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceito, processo e aplicações**. Barueri: Manole, 478 p., 2004.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v.27, p.29-48, 2003.

REICOSKY, D.C., VOORTHEES, W. B., RADKE, J. K. Unsaturated water flow through a simulated wheel track. **Soil Science Society America Journal** , Madison, v. 45, . 3-8. 1981.

REINERT, D. J., ALBUQUERQUE, J. A, REICHERT, J. M. ; CELSO AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, p.1805-1816, 2008.

REINERT, D.J. **Soil structural form and stability induced by tillage in a typic Hapludalf**. Michigan, Michigan State University, 128p. (Tese de Doutorado), 1990.

RESENDE, J.O. Compactação e adensamento do solo: metodologias para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. In: Congresso brasileiro de ciência de solo, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Palestras...** Rio de Janeiro, SBCS/EMBRAPA, 1997. CD-ROOM.

RESENDE, R.C. **Sistemas de Manejo e sucessão de culturas na qualidade do solo nos Tabuleiros Costeiros Sergipano**. Dissertação de Mestrado- Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas – NEREN-UFS. 123p. 2009.

RICHART, A.; FILHO, J. T; BRITO, O. R.; Llanillo, R. F.; Ferreira, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul./set. 2005.

RITZ, J. M. Green acres: turfgrass production Turfgrass Sod Reduces the Time and Effort Required to Establish Aesthetically Pleasing Lawns and Playing Fields . Disponível em: <http://www.questia.com/library/1G1-144151304/green-acres-turfgrass-production-turfgrass-sod-reduces> .Acesso em: 15 agos. 2013.

ROQUE et al.. Atributos físicos do solo e intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico sob controle de tráfego agrícola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.9, set, 2011.

ROSIM, D. C. (1); DE MARIA, I. C.; SILVA, R. L.; SILVA, A.P. Redução da compactação de Latossolo com o uso de palha em superfície. *Bragantia*, Campinas, v. 71, n. 4, p.502-508, 2012.

SÁ, M.A.C.; SANTOS JUNIOR, J.D.G. Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal. **Documento 136**, Embrapa. 26 p. Abril, 2005.

SANTOS A.M. **Equipamento para medição da resistência ao manuseio de tapetes de grama**. 2008. Disponível em: <http://www.infograma.com.br/artalessandro.htm>. acesso em 03 de abril de 2011.

SANTOS et al. Equipamentos para descompactação superficial do solo: estudo de casos. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 5., 2010, Botucatu. Tópicos atuais em gramados II. **Anais...** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2010. p. 159-165.

SANTOS, A. J. M **Características físicas do solo e produção de tapetes de grama esmeralda em função de manejos mecanizados**. 71 f. Tese (doutorado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012.

SEIXAS, F. et al. Effect of slash on forwarder soil compaction. In: **Cofe Annual Meeting**, 1995. Proceedings. Cashiers: COFE, p.77-86. 1995.

SEIXAS, F.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. D. Compactação do solo devido ao tráfego de máquinas de colheita de madeira. **Scientia forestalis**, Piracicaba, n. 60, p. 73-87, dez. 2001.

SEIXAS, F.; SOUZA, C. R. Avaliação e efeito da compactação do solo, devido à frequência de tráfego, na produção de madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.6, p.1047-1052, 2007.

SILVA, A. J. N; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.30, p.921-930, 2006.

SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M. S.;LEITE, F. P.Camada de resíduos florestais e pressão de consolidação de dois latossolos. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.42, n.1, p.89-93, jan. 2007.

SILVA, A.P. DE; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.91-95, 1986.

SILVA, A.P. **Influência da compactação nas propriedades físicas do solo e no sistema radicular de plântulas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.)**. Piracicaba, 1984. 92p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

SILVA, A.P. **Influência da compactação nas propriedades físicas do solo e no sistema radicular de plântulas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.)**. Piracicaba, 92p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 1984.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of American journal**, Madison v. 61, p.877-883, 1997.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 9, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, p.91-95, 1986.

SILVA, A.R.; DIAS JUNIOR, M. de S.; LEITE, F.P. Camada de resíduos florestais e pressão de preconsolidação de dois latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.89-93, 2007.

SILVA, A.R.; DIAS JUNIOR, M. de S.; LEITE, F.P. Camada de resíduos florestais e pressão de preconsolidação de dois latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.89-93, 2007.

SILVA, R.H. da; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.855-860, 2002.

SILVA, S. R. et al. Soil compaction and eucalyptus growth in response to forwarder traffic . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, p.921-932, 2008.

SILVA, S.R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M., MENDONÇA, E.S.; LEITE, F. P. Alterações do solo influenciadas pelo tráfego e carga de um “forwarder” nas entrelinhas de uma floresta de eucalipto. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:371-377, 2007.

SILVA, V. R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, p.239- 249, 2000a.

SILVA, V. R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p.399-406, 2004

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.239-249, 2000.

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

SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A.; LORENTS, S. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. I. The effect of soil type, water content and applied pressure on uni-axial compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.41, n.1/2, p.53-73, 1997.

SOANE, B.D. The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.16, n.1/2, p.179-201, 1990.

SOANE, B.D.; VAN OUWERKERK, C. Soil compaction problems in world agriculture. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam, 1994.

SOJKA, R.E.; BUSSCHER, W.J.; LEHRSCHE, G.A. In situ strength, bulk density, and water content relations of a Durinodic xeric haplocalcid soil. **Soil Science**, v.166, p.520-529, 2001.

SPERA et al. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.33, p.129-136, 2009.

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M. & MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro: I. Nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, p.213-218, 2002.

STRECK, C. A., REINERT, D.J., REICHERT, J. M., KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p. 755-760, mai-jun, 2004.

THOMASSON, A.J. Towards an objective classification of soil structure. **Journal of Soil Science**, v.29, p.38-46, 1978.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 573-581, 1998.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, p.795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22. p.301-309, 1998.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 58p. (Circular Técnica, 23).

TRENHOLM, L. E.; UNRUH, J. B. **Let your lawn tell you when to water**. Gainesville: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, 2008. ([Document ENH63](#)).

TROEH, F. R.; THOMPSON, L.M. **Solos e fertilidade do solo**. São Paulo. Organização Andrei Editora LTDA. 717p, 2007.

TROUSE, A.C., Jr.. Soil conditions as they affect plant establishment, root development and yield. A present knowledge and need for research. p. 225-240. *In* K.K. Barnes et al. (ed.) *Compaction of agricultural soils*. **Am. Soc. Agric. Eng.**, St. 10 seph, MO. 1971.

TURGEON, A. J. **Turfgrass Management**, 8th Edition. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 436 pages. 2008.

USGA GREEN SECTION STAFF. USGA recommendations for a method of putting green construction. **USGA Green Section**. Staff , v. 31, n. 2, p. 1-33, 1993.

VAN GENUCHTEN MT. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Riverside, v. 44, p. 892-898, 1980.

VOORHEES, W.B.; NELSON, W.W.; RANDALL, G.W. Extent and persistence of subsoil compaction caused by heavy axle loads. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, p.428-433, 1986.

WHITE, R.H., M.C. Engelke, S.J. Anderson, B.A. Ruemmele, K.B. Marcum, and G.R. Taylor, II.. Zoysiagrass water relations. **Crop Sci.** v.41, p.133-138, 2001.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo francoarenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v.28, p.891-900, 2004.

ZANON, M. E.; PIRES, E. C. Situação atual e perspectivas do mercado de grama no Brasil. *In*: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 5., 2010. Botucatu. Tópicos atuais em gramados II. **Anais...** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2010. p. 47-53.)

ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.1024-1030, 1997.