EFEITO DE PRATICAS MECÂNICAS E CULTURAIS SOBRE CONDIÇÕES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO DO RIO GRANDE DO SUL (SOLO EREXIM)

Mário Guerra

Dissertação apresentada como um dos requisitos ao Grau de Mestre em Agronomia, área de Concentração Solos, Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre

Janeiro, 1982

1/ Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

Homologada por:

Professor Mário Sérgio Vaz Cabeda

Orientador

Professor João Mielniczuk

Coordenador do Curso de Pós-Graduação

Professor Ruben Markus

Diretor da Faculdade de Agronomia

AGRADECIMENTOS

Aos professores Mário Sérgio Vaz Cabeda e Iraci Scopel, pela dedicação, orientação e estímulo constantes no transcorrer do curso e na execução e elaboração deste trabalho.

Aos demais professores, pelos conhecimentos e experiências transmitidos.

Aos colaboradores e amigos da Cooperativa Tritícola Alto Jacuí de Espumoso, em especial ao colega Engº Agrº Celso Bambini e à família Angheben.

Aos colegas de curso que, de alguma forma, contribuiram para a realização deste trabalho e aos companheiros da Equipe de Solos do IPRNR da Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul pela amizade e incentivo.

À FAPERGS e à EMBRAPA pelo auxílio financeiro.

À Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação.

Aos meus pais e irmãos e à minha esposa pelo incentivo durante o período de realização do curso.

EFEITO DE PRATICAS MECÂNICAS E CULTURAIS SOBRE CONDIÇÕES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO DO RIO GRANDE DO SUL (SOLO EREXIM)

Autor: Mário Guerra
Orientador: Prof. Mario Sérgio Vaz Cabeda

RESUMO

O efeito de práticas mecânicas, como lavração, gradagem e subsolagem, e culturais, como espécies de plantas e manejo de resíduos, sobre as condições físicas de um Latossolo Roxo Distrófico (Solo Erexim) foi avaliado nos tratamentos sem e com subsolagem: preparo adequado e as forrageiras milheto *(Pennisetum americanum)* mais feijão-miúdo *(Vigna sinensis),* seguidas de aveia *(Avena* spp) mais ervilha ca *(Vicia sativa);* sem preparo e soja *(Glycine max)*-trigo *(Triticum aestivum) ;* preparo convencional e soja-trigo com queima dos resíduos de trigo. Determinaram-se a estabilidade de agregados em água, densidade do solo, espaço aéreo do solo a 0,06 bares de sucção matricial, resistência do solo ao penetrômetro e taxa de infiltração de água.

Dos tratamentos sem subsolagem, o preparo adequado e forrageiras apresentou maior agregação até a profundidade de 22,5 cm, maior taxa de infiltração de água aos 120 minutos do que no preparo convencional e soja-trigo e menor densidade e maior espaço aéreo na camada de 3 a 8 cm do que nõ sem preparo e soja-trigo. Na camada de 0 a 5 cm deste último a resistência do solo ao penetrômetro foi maior do que nos demais tratamentos. A subsolagem não aumentou a taxa de infiltração de água e seu efeito no afrouxamento do solo se restringiu à zona de solo sulcada.

1/ Dissertação de Mestrado em Agronomia (Solos) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (107p.) - Janeiro, 1982.

MECHANICAL AND CULTURAL PRACTICES AND THEIR EFFECT ON PHYSICAL CONDITIONS OF AN OXISOL OF RIO GRANDE DO SUL (MAPPING UNIT EREXIM)

Author: Mário Guerra
Adviser: Prof. Mário Sérgio Vaz Cabeda

SUMMARY

The effect of mechanical practices, as tillage, harrowing and subsoiling, and cultural practices, as plant species and residue management on some physical conditions of an Oxisol (Mapping Unit Erexim) was evaluated in the treatments, with and without subsoiling: adequate tillage and forages millet *(Pennisetum americanum)* plus green bean *(Vigna sinensis)*, followed by oats *(Avena* spp) plus vetch *(Vicia sativa)* ; no-tillage and succession soybean *(Glycine max)* and wheat *(Triticum aestivum)*; and convencional tillage and the same succession, with wheat residues burned. Soil aggregate stability in water, bulk density, aeration porosity at .06 b of matric potential, resistence to penetrometer and infiltration rate were evaluated.

Among the treatments without subsoiling, adequate tillage and forages showed the highest aggregation to the depth of 22.5 an, higher water infiltration rate at 120 minutes than conventional tillage and soybean-wheat, and lower bulk density and higher aeration porosity in the layer from 3 to 8 cm than no-tillage and soybean-wheat. In the layer from 0 to 5 cm of the last mentioned treatment, resistence to penetrometer was higher than the other treatments. Subsoiling did not increase water infiltration rates and its effect in the loosening of the soil was restricted to the furrowed zone.

1/ M.Sc. Dissertation in Agronomy (Soils) - School of Agriculture, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre (107p.) - January, 1982.

SUMÁRIO

	Página
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	3
2.1. Degradação física de solos agrícolas	3
2.1.1. Mobilização do solo e tráfego de maquinas e seus implementos	4
2.1.2. Exposição da superfície do solo	8
2.1.3. Redução do teor de matéria orgânica .	11
2.2. Recuperação e preservação de condições físicas de solos agrícolas	14
2.2.1. Uso de resíduos vegetais	15
2.2.2. Rotação de culturas	19
2.2.3. Subsolagem	22
2.2.4. Sistemas reduzidos de preparo	27
3. Material e Métodos	31
3.1. Descrição do experimento de campo	32
3.2. Tratamentos avaliados	35
3.3. Subsolagem	35
3.4. Determinações físicas	36
3.4.1. Estabilidade de agregados em água ...	36
3.4.2. Densidade do solo	37
3.4.3. Espaço aéreo a 0,06 bares de sucção matricial	37
3.4.4. Resistência do solo ao penetrômetro .	38
3.4.5. Taxa de infiltração de água	39
3.5. Análises químicas	40
3.6. Análise estatística dos dados	40
4. Resultados e Discussão	42
4.1. Estabilidade de agregados em água	42
4.2. Densidade do solo e espaço aéreo a 0,06 bares de sucção matricial	48
4.3. Resistência do solo ao penetrômetro	55
4.4. Taxa de infiltração de água	60
5. Conclusões e Recomendações	69

Página

6. Bibliografia Citada 72

7. Apêndices 78

RELAÇÃO DE TABELAS

Página

1. Taxa de infiltração de água (cm/h) em função dos tratamentos avaliados 62

RELAÇÃO DE FIGURAS

Página

1. Estabilidade de agregados em água, expressa em diâmetro médio ponderado, em função da profundidade do solo e dos tratamentos avaliados (sem subsolagem). Média e erro padrão referentes a 8 determinações por profundidade 44

2. Densidade do solo em função da profundidade e dos tratamentos avaliados. Média e erro padrão referentes a 4 determinações por profundidade 50

3. Espaço aéreo do solo a 0,06 bares de sucção matricial em função de profundidade do solo e dos tratamentos avaliados. Média e erro padrão referentes a 4 determinações por profundidade 54

4. Resistência do solo ao penetrômetro em função dos tratamentos avaliados. Média de 64 determinações por profundidade 57

5. Umidade do solo em função dos tratamentos avaliados, por ocasião da determinação da resistência ao penetrômetro. Média de 6 determinações por profundidade 57

6. Taxa de infiltração de água em função dos tratamento avaliados 63

7. Taxa estimada de infiltração de água nos tratamentos E e ES 64

8. Taxa estimada de infiltração de água nos tratamentos G e GS 65

9. Taxa estimada de infiltração de água nos tratamentos A_2 e A_2S 66

1. INTRODUÇÃO

Na exploração dos solos do Planalto do Rio Grande do Sul, predominantemente com as culturas de trigo e soja,é adotada tecnologia moderna no que se refere à utilização de mecanização, fertilizantes, calcário e defensivos. A cada ano, freqüentemente sob condições impróprias de umidade, o solo é intensamente preparado através de lavrações e gradagens no sistema convencional de cultivo, com a queima das restevas e elevado tráfego de máquinas sobre o terreno. Tais condições proporcionam a pulverização excessiva do solo, a exposição da sua superfície à ação erosiva das chuvas, impossibilitam a manutenção de adequado equilíbrio da matéria orgânica e conduzem à compactação e à degradação física do solo.

Pesquisas efetuadas nos últimos anos em solos cultivados da região revelam significativas alterações nas condições físicas, representadas pela presença de camadas compactadas subsuperficiais, aumento da densidade do solo e da resistência à penetração de raízes, redução da porosidade não capilar e da capacidade de infiltração de água, bem como altas taxas de erosão hídrica.

Esses fatos têm conseqüências econômicas e ecológicas,

na medida em que são transportadas para as depressões e para os rios toneladas de solo, matéria orgânica,calcário,fertilizantes e defensivos e é drasticamente reduzida a fertilidade do solo e comprometido o ambiente para o desenvolvimento das plantas, com reflexos negativos no rendimento das colheitas.

A interrupção desse processo, a recuperação de solos degradados e a manutenção de condições favoráveis no solo são atualmente colocadas como prioridades imediatas por pesquisadores, extensionistas e agricultores.

Iniciativas nesse sentido têm sido em parte limitadas pela escassa disponibilidade de informações de pesquisa sobre espécies culturais, práticas conservacionistas e sistemas de manejo agrícola alternativos e adaptados às condições de clima e solo da região.

O presente trabalho objetiva avaliar o efeito de práticas mecânicas, com intensidade diversa de mobilização do solo, e culturais, com diferentes espécies de plantas e formas de utilização dos resíduos, sobre condições físicas do solo que afetam o desenvolvimento das plantas e a erosão do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Degradação física de solos agrícolas

Em relação a áreas mantidas sob vegetação natural, os solos submetidos a preparo intensivo apresentam, em geral, condições físicas menos favoráveis ao desenvolvimento das plantas. O processo de alteração física destes solos é acelerado pela mecanização agrícola mal utilizada e pela adoção de monoculturas. Além disso, o lento estabelecimento de cobertura pela maioria das culturas em linha, somado à destruição ou incorporação das restevas, expõe os agregados à ação direta dos agentes climáticos, principalmente da chuva, favorecendo a rápida desintegração da estrutura e selamento de poros. Também as perdas de matéria orgânica não são equilibradas por suficientes aportes,o que conduz à sua contínua diminuição no solo.

A contribuição relativa dos fatores mecanização, mobilização do solo, exposição de sua superfície e redução do teor de matéria orgânica no processo de degradação física é difícil de ser isolada, já que eles atuam interligados. É certo, porém, que nas condições de solo e clima do Planalto do Rio Grande do Sul se constituem em causas do

depauperamento físico, da erosão e da redução da produtividade do solo.

2.1.1. Mobilização do solo e tráfego de máquinas e seus implementos

A mobilização do solo melhora apenas temporariamente as relações ar-água-solo que afetam a germinação e o estabelecimento das culturas (KOHNKE e BERTRAND, 1959) e pode atuar negativamente sobre as condições físicas do solo a longo prazo. O preparo intenso e continuado do solo por máquinas e implementos acelera a sua degradação física e favorece a erosão, por provocar compactação e promover a pulverização dos agregados, aumentando sua transportabilidade (NEAL, 1953; KOHNKE e BERTRAND, 1959). Após cinco anos de um experimento em solo de textura franca, AINA (1979) constatou que a estabilidade em água de agregados maiores que 2,36 mm diminuiu com o aumento da intensidade de preparo do solo na ordem sem preparo, lavração e lavração mais gradagens. SILVA (1980), em lavouras no Planalto do Rio Grande do Sul sob diferentes sistemas e tempos de cultivo, observou menor estabilidade de agregados em água e menor taxa de infiltração de água aos 120 minutos, à medida que aumentou a intensidade de mecanização e preparo nas áreas estudadas.

A compactação de solos agrícolas resulta de forças exercidas por máquinas e implementos, promovendo reorientação das partículas de solo (RANNEY et alii, 1955), podendo

atingir graus de intensidade em função da magnitude e natureza das forças de compactação, do nível de compactação previamente existente, do teor de umidade no solo, bem como da textura e teor de matéria orgânica do solo (FREE et alii, 1947). A maioria desses fatores pode ser controlada pela ação do homem, significando que a compactação e a degradação física do solo poderiam ser evitadas com um manejo racional do solo. Por exemplo, a observância das condições de umidade no solo no momento da realização de operações sobre o mesmo minimizaria os riscos de compactação. Segundo SOANE (1975), para uma dada força aplicada ao solo existe um conteúdo determinado de umidade no qual se verifica a máxima compactação, sendo esse efeito, de acordo com RANNEY et alli (1955), atribuído à atuação da água como um lubrificante que reduz a resistência à fricção entre as partículas do solo. Os solos de textura fina apresentam resistência à compactação alta, moderada, baixa e novamente alta, respectivamente a conteúdos de umidade correspondentes aos estados de consistência dura, friável, plástica e viscosa (ARCHER, 1975). Desse modo, o preparo e outras operações no solo sob estado de consistência tendendo para duro produziria menor compactação do que sob estado tendendo para plástico.

JAMISON et alii (1950), observando o efeito do tráfego de trator de rodas na compactação de um solo argiloso nos estados de umidade seco, úmido e molhado, encontraram que a compactação do solo, avaliada pela sua densidade, foi mais intensa e atingiu maior profundidade sob os estados de umidade

úmido e molhado. Como a compactação do solo também ocorreu em conteúdo de umidade considerado ótimo para a lavração, os autores concluíram que o preparo do solo deve ser efetuado com umidade tão baixa quanto praticável para a realização do trabalho.

Os danos decorrentes do tráfego de máquinas e implementos podem extender-se à totalidade da área da lavoura pois, durante uma safra, 100% da área pode estar sujeita às forças de compactação (WOORHEES, 1977). O rearranjo das partículas do solo em resposta às forças de compressão resulta no aumento da densidade do solo e na redução do diâmetro médio dos poros, com efeitos na redução da taxa de infiltração de água no solo e na produção de impedimento mecânico à penetração de raízes (WOORHEES, 1976). Segundo HILLEL (1970), o processo de infiltração de água no solo é dependente de fatores como o teor inicial de água no solo, presença de crosta, camadas compactadas subsuperficiais e distribuição do tamanho de poros. Em camadas compactadas, o aumento na relação poros capilares/poros não capilares limita o fluxo de água através do perfil. Nesse sentido, FARIAS et alii (1980), em Latossolo do Rio Grande do Sul (solo Erexim) sob cultivo intensivo por mais de vinte anos com soja e trigo, após verificarem que a taxa de infiltração de água aos 120 minutos de 53,1 mm/h na profundidade de 45 cm foi superior às taxas de 10,0 mm/h e 12,6 mm/h obtidas respectivamente na superfície e a 15 cm de profundidade, concluíram que a limitação ao fluxo de água se localizava na

camada de solo mais adensada (0 a 15 cm). Também em Latossolo do Rio Grande do Sul (solo Santo Ângelo), DALLA ROSA (1981) identificou, através dos dados de estabilidade de agregados em água e de observações visuais de raízes, uma camada compactada entre as profundidades de 16 a 21 cm, cuja existência foi confirmada por uma menor taxa de infiltração de água aos 120 minutos (8 mm/h) em relação à de 48 mm/h na superfície do solo e 192 mm/h na profundidade de 29 cm. Essa limitação à infiltração de água, além de reduzir a quantidade armazenada, pode provocar erosão severa por deslizamento sob precipitações intensas e de maior duração, principalmente em áreas declivosas.

O desenvolvimento radicular das plantas também é afetado em solos compactados. Conforme TACKETT e PEARSON (1964) a compactação do solo pode resultar em desfavoráveis condições ao crescimento de raízes devido ao aumento da resistência do solo e à redução da taxa de difusão de gases. Tal redução ocorre sob alta umidade no solo podendo retardar a penetração radicular em face de aeração deficiente ao nível das raízes.

O efeito da resistência do solo foi constatado por CINTRA (1980), em trabalho de casa de vegetação, ao encontrar pouca penetração de raízes de soja, trigo, tremoço, cevada e colza quando o solo apresentou valores de resistência ao penetrômetro superiores a 18 kg/cm^2 com a umidade do solo na capacidade de campo. Em experimento de campo, DALLA ROSA (1981) verificou desvio da raiz pivotante da

soja e engrossamento de raízes de tremoço e alfafa ao encontrarem a zona de solo compactada na profundidade de 16 a 21 cm. No entanto, o autor indica que, condições químicas como diferenças nos teores de nutrientes e toxidez de elementos nas camadas estudadas, atuariam conjuntamente com a compactação do solo na restrição à penetração de raízes a maiores profundidades. Tal hipótese foi formulada ao constatar que a menor concentração de raízes nas camadas de 16 a 21 e 29 a 34 cm em relação à camada de 3 a 8 cm ocorreu associada com teores mais baixos de fósforo, potássio, cálcio e magnésio e teores mais altos de alumínio e manganês.

2.1.2. Exposição da superfície do solo

A falta de proteção da superfície do solo é parcialmente responsável pelo processo de degradação física do solo, por permitir a ação mais direta dos agentes climáticos, como chuva, radiação e ventos. Os prejuízos advindos da exposição às chuvas, por exemplo, dependem também de outros fatores, como características do solo, relevo do terreno e manejo adotado. Em Latossolos do Rio Grande do Sul, o cultivo sucessivo de trigo e soja, a queima de resíduos, o preparo intensivo do solo com lavrações e gradagens e a coincidência de períodos de maior exposição do solo com chuvas de alto poder erosivo são fatores de degradação física e erosão.

O preparo do solo com gradagens deixa sua superfície

pouco rugosa, além de provocar uma maior destruição mecânica dos agregados (LARSON, 1964). Quando a superfície do solo se encontra desprotegida, a energia do impacto das gotas das chuvas atua diretamente sobre os agregados expostos,provocando a sua desagregação. Esta é acelerada pelo rápido umedecimento desses agregados, que esboroam ao perderem, sob pressão,o ar contido no seu interior (KEMPER, 1965). Tais condições predispõem o solo à formação de crosta superficial (EPSTEIN e GRANT, 1973; CHEN et alii, 1980). Segundo DULEY (1939) a crosta é aparentemente o resultado de um severo distúrbio estrutural, devido ao impacto das gotas de chuva e à ação do fluxo de água sobre a superfície do solo, formando um selo relativamente impermeável que confere à superfície uma aparência lisa. A morfologia da crosta formada em condições de chuva simulada foi avaliada através de microfotografias eletrônicas por McINTIRE (1958) que concluiu ter a crosta duas partes distintas: um fino selo superficial com a espessura de 0,1 mm formado pelo impacto da chuva e uma camada imediatamente abaixo com aproximadamente 2,0 mm de espessura e também baixa porosidade, formada como resultado da movimentação vertical de partículas dispersas. CHEN et alii (1980), documentando diferentes estágios de formação da crosta em solo franco-arenoso e sob chuva simulada também observaram uma fina película de 0,1 mm de espessura na superfície do solo, mas ao contrário de McINTIRE (1958), não verificaram acumulação de material fino abaixo dessa película, ou seja, a formação de uma segunda camada. Em solo

franco siltoso, EPSTEIN e GRANT (1973) também não constataram movimentação vertical de partículas e formação de uma segunda camada, o que foi atribuído à rapidez com que se deu a formação da crosta na superfície em conseqüência da compactação pelo impacto das gotas de chuva.

EPSTEIN e GRANT (1967), aplicando chuva simulada em dois solos franco siltosos e em um solo franco-argilo-siltoso, observaram que as perdas de solo e água atingiram um máximo durante os primeiros 10 minutos após o início da chuva. Após os 10 minutos, as perdas de solo decresceram abruptamente e atingiram um valor constante, enquanto que as perdas de água imediatamente se tornaram constantes, sugerindo que o processo de arraste do solo consistia na remoção de fina lâmina, acompanhada pela contínua formação de um novo selo.

Segundo EPSTEIN e GRANT (1973) a presença de crosta superficial reduz a infiltração de água sendo esse decréscimo acompanhado por um aumento no fluxo superficial e erosão acelerada. A redução da infiltração de água é determinada pela baixa permeabilidade da crosta que no trabalho de McINTIRE (1958), foi 2.000 vezes menor que a permeabilidade do solo não alterado situado imediatamente abaixo. Em solo descoberto, preparado convencionalmente e assim exposto à desagregação e à formação de encrostamento superficial, ELTZ et alii (1980) determinaram perdas de solo de 1150 ton/ha e de 17,8% de água em relação ao total precipitado, no período de cinco anos de um experimento em solo Laterítico Bruno-avermelhado Distrófico (solo São Jerônimo). Além de

reduzir a infiltração de água no solo e propiciar erosão, o encrostamento afeta negativamente a germinação de sementes e a emergência de plântulas em função da resistência mecânica (EPSTEIN e GRANT, 1973) ou da restrição à aeração em condições de alta umidade (DONBY e KOHNKE, 1956).

2.1.3. Redução do teor de matéria orgânica

A matéria orgânica, sob a forma de resíduos animais e vegetais, atua beneficamente sobre as condições físicas do solo qualquer que seja seu estado de decomposição. Moléculas como polissacarídios que são sintetizados pelos microorganismos durante a decomposição da matéria orgânica,possuem efeito estabilizador sobre os agregados de muitos solos (BAVER et alii, 1973). Por sua vez, a estabilização dos agregados de maior tamanho, proporciona maior porosidade não capilar, beneficiando assim a aeração e a taxa de infiltração de água no solo.

A matéria orgânica afeta também a consistência e a susceptibilidade do solo à compactação (FREE et alii, 1947; SOANE et alii, 1972). De acordo com BAVER et alii (1973), a alta capacidade de hidratação da matéria orgânica aumenta o conteúdo de água para que o solo atinja o limite plástico, ampliando assim a sua faixa de friabilidade. FREE et alii (1947), ao aplicarem uma mesma força de compressão sobre solos com diferentes teores de matéria orgânica e umidade, constataram que à medida que aumentou o teor de matéria

orgânica, a compactação do solo foi menor e ocorreu a teores de umidade mais altos. Em um dos solos utilizados (franco-siltoso), a densidade do solo atingiu 1,60 g/cm^3 com teor de umidade de 20,5% quando o teor de matéria orgânica foi 2,8%. Já quando o teor de matéria orgânica foi de 4,1%, a densidade do solo atingiu 1,47 g/cm^3 com teor de umidade de 26%. Disso se infere que a redução do teor de matéria orgânica do solo, além dos reflexos negativos sobre as condições físicas,químicas e biológicas do solo, aumenta os riscos de compactação.

Em geral, a exploração agrícola de solos antes mantidos sob vegetação natural conduz à gradual deterioração do teor de matéria orgânica que, com o tempo, tende a estabilização em um novo nível, em função da intensidade de uso, do tipo de manejo e das taxas de erosão. PÖTTKER (1977) comparou o teor de matéria orgânica de diversos solos do Rio Grande do Sul, sob diferentes tempos de cultivo, com o teor existente nos mesmos solos sem cultivo. Constatou que o teor de matéria orgânica decresceu rapidamente e atingiu 60 a 70% do teor inicial nos primeiros cinco anos de cultivo, a partir de quando os decréscimos foram mais lentos, tendendo para níveis estáveis.

O efeito do tipo de uso e manejo do solo sobre o teor de matéria orgânica foi avaliado por AINA (1979), que constatou teores de 4,1% em solo sob pousio, com vegetação arbustiva, por 15 anos, 2,7% em solo sem preparo, com resíduos de milho na superfície, e de 0,8% no solo cultivado com

lavração e resíduos de milho removidos. A percentagem de agregados estáveis em água (agregados maiores que 2,36mm) nos tratamentos foi de respectivamente 79%, 48% e 23% e o espaço aéreo a 0,06 bares de sucção matricial foi de 16,9, 10,9% e 8,2%. Já MACHADO e BRUM (1978) observaram que o teor de matéria orgânica de um Latossolo do Rio Grande do Sul (solo Santo Ângelo) diminuiu na ordem mata, campo nativo, sem preparo e preparo convencional, com valores de 4,4%, 3,4%, 3,4% e 1,5% respectivamente. A diminuição da porosidade total e macroporosidade esteve associada com os baixos teores de matéria orgânica no preparo convencional. Baixos teores de matéria orgânica em áreas cultivadas convencionalmente com soja e trigo também foram encontrados por CINTRA (1980), em Latossolos do Rio Grande do Sul. Em área sob mata observou percentagens de 5,8% e 3,8%, respectivamente na camada de 0 a 15 e 15 a 30 cm, enquanto que a percentagem média referente a três áreas sob preparo convencional com soja e trigo foi de 2,6% e 2,2%, respectivamente na camada de 0 a 15 cm e 15 a 30 cm.

Condições como preparo intensivo do solo, erosão, queima de resíduos e baixas adições em relação às retiradas contribuem decisivamente para a redução do teor de matéria orgânica do solo. As perdas de matéria orgânica por erosão são favorecidas pelas características de seletividade do processo erosivo no arraste de materiais menos densos. ELTZ (1977) registrou uma perda de uma tonelada por hectare de matéria orgânica em solo descoberto, num período igual ao do

ciclo da soja.

A reposição de matéria orgânica aos Latossolos do Planalto do Rio Grande do Sul tem sido prejudicada em grande parte devido a queima sistemática dos resíduos de trigo. A restrição ao desenvolvimento radicular em função da compactação do solo (CINTRA, 1980), também limita a produção de uma maior quantidade de matéria orgânica pelas culturas implantadas nos solos da região.

2.2. Recuperação e preservação de condições físicas de solos agrícolas

Nas condições naturais, os Latossolos do Rio Grande do Sul são bem estruturados e dispõem de adequada quantidade de poros não capilares para a infiltração de água e aeração do solo bem como para fácil drenagem após as chuvas. Em face de serem profundos, permitem o armazenamento de quantidade relativamente elevada de água, compensando assim deficiências quanto à sua capacidade de retenção de água. Essas condições, que conferem regime favorável de ar-água no solo e alta capacidade de infiltração de água, tornam-se desfavoráveis com a degradação da estrutura do solo. Desse modo, a recuperação física dos solos citados, o aumento da capacidade de infiltração de água e controle da erosão bem como a formação de um meio físico adequado para o desenvolvimento das plantas depende basicamente da recuperação de sua estrutura. Nesse sentido se salientam algumas práticas

promissoras, como a proteção da superfície do solo por resíduos, utilização de plantas consideradas recuperadoras em sistemas de rotação de culturas, subsolagem para o rompimento de camadas compactadas e redução do preparo do solo, cujos efeitos, nas condições específicas dos Latossolos do Rio Grande do Sul, precisam ser melhor investigados.

2.2.1. Uso de resíduos vegetais

O processo de deterioração física e erosão do solo é representado, em sua fase mais crítica, pela desintegração dos agregados da superfície do solo através da energia de impacto das gotas das chuvas. Assim, além de aspectos relacionados ao rompimento de camadas compactadas subsuperficiais e rotação de culturas, é essencial que toda e qualquer prática se compatibilize com a proteção da superfície do solo com um adequado aproveitamento dos resíduos das culturas, quando se objetiva minimizar o processo erosivo e recuperar solos degradados fisicamente.

Segundo LAL (1975), o uso sistemático de tipos de preparo que promovem a incorporação total dos resíduos no solo não é racional em regiões tropicais, onde os fatores limitantes mais sérios são a conservação do solo e da água e altas temperaturas no solo. As práticas de manejo de resíduos são agrupadas por VAN DOREN e ALLMARAS (1978) em resíduos na superfície do solo, resíduos incorporados nos 5 a 10 cm de profundidade, resíduos totalmente incorporados e

resíduos totalmente removidos. Ainda que se reconheça que a manutenção dos resíduos na superfície e a sua semi-incorporação superem a incorporação total no controle da erosão e recuperação e preservação de condições físicas do solo, dentro de um esquema flexível, envolvendo diversas culturas, cada alternativa poderá ser adotada com base na análise de condições como quantidade e tipo de resíduo, infestação de inços, controle de moléstias e pragas, clima e época em que é feito o manejo dos resíduos. A cobertura do solo por resíduos retarda a taxa de umedecimento dos agregados (CORSINI, 1979), protege os mesmos da desintegração por impacto da chuva, impede a formação de crosta e mantém o espaço poroso original e altas taxas de infiltração de água (ALDERFER e MERKLE, 1943; LAL, 1975). LAL (1975) observou a formação de uma crosta de 2 a 5 mm de espessura e com resistência ao penetrômetro de 2,5 kg/cm^2 quando os resíduos de milho foram incorporados em solo franco-arenoso. Já a manutenção desses resíduos na superfície proporcionou uma cobertura com restos culturais de 1 cm de espessura, preveniu a formação de crosta e estimulou a atividade biológica.

A eficiência da proteção da superfície do solo por resíduos na promoção da infiltração de água foi observada por TRIPLETT et alii (1968), em um experimento de três anos em solo franco-siltoso. Em tratamentos sem preparo do solo foram obtidas taxas de infiltração de água aos 60 minutos de 0,28 cm/h e 2,64 cm/h, respectivamente quando os resíduos de milho foram totalmente removidos e quando proporcionaram

a cobertura de 80% da superfície do solo. De acordo com HARRIS et alii (1966), os resíduos, além de protegerem o solo contra o impacto das gotas da chuva promovem a porosidade do solo e a infiltração de água e apresentam vantagens derivadas de sua conversão em agentes agregantes através da ação microbiana. A taxa de decomposição dos resíduos via microorganismos depende, entre outros fatores, do método de aplicação no solo, da relação C/N do material, da temperatura e da umidade (PARR e PAPENDICK, 1978). Quanto ao método de aplicação os autores afirmam que a máxima taxa de decomposição dos resíduos ocorre quando são uniformemente incorporados no solo. ALDERFER e MERKLE (1943) avaliando o efeito de incorporação total e da manutenção na superfície de diversos tipos de resíduos sobre a agregação de um solo franco-siltoso, nas camadas de 0 a 2,5 cm, 2,5 a 7,5 cm e 7,5 a 15 cm, constataram maior quantidade de grânulos maiores que 0,2 mm quando os resíduos permaneceram na superfície. Quando incorporados houve apenas pequeno aumento no tamanho de agregados na camada de 7,5 a 15 cm. Em experimento de 11 anos em solo franco-siltoso TANCHANDRPHONGS e DAVIDSON (1970) verificaram maior estabilidade de agregados em água no sistema de preparo em que os resíduos de trigo foram semi-incorporados em relação a quando foram totalmente incorporados.

A incorporação de resíduos com o objetivo de melhorar a agregação do solo apresenta menor eficiência em relação a outras alternativas, como por exemplo a utilização de

plantas com sistema radicular abundante, que abrangem maior volume de solo e promovem a agregação do solo por mecanismos específicos como o de aproximação de partículas através de pressões físicas ao nível das raízes. O aproveitamento mais racional e os maiores benefícios dos resíduos são obtidos quando mantidos na superfície do solo, especialmente onde o principal objetivo é a minimização da erosão. Por outro lado a disposição dos resíduos na superfície permite controlar a temperatura do solo e fornecer um microclima favorável às plantas, principalmente na fase de emergência e estabelecimento, o que pode afetar decisivamente os rendimentos. Assim, temperaturas no solo como 36°C, que segundo LAL (1975) prejudicam a emergência, vigor e rendimento das culturas de milho e soja, podem ser evitadas com adequado manejo de resíduos. Uma vez conhecidas as temperaturas desejáveis para cada cultura, estas podem ser proporcionadas com a utilização das restevas. A cobertura do solo por resíduos, proporcionando altas taxas de infiltração de água e controlando posteriores perdas por evaporação, permite um aumento na quantidade armazenada no solo e o seu mais eficiente uso pelas culturas. A eficiência na redução da evaporação é maior enquanto o teor de água no solo permanece relativamente alto (VAN DOREN e ALLMARAS, 1978). O efeito dos resíduos na superfície no aumento da quantidade de água armazenada no solo foi observado em Latossolos do Paraná por KEMPER e DERPSCH (1979), entre as profundidades de 20 a 80 cm, durante todo o ciclo de cultura do trigo. Semelhante

fato foi constatado por BLEWINGS et alii (1971) no ciclo da cultura do milho, com aumento mais pronunciado na camada de 0 a 8 cm do solo. Em ambos os trabalhos, o maior suprimento de água se refletiu em acréscimo do rendimento das culturas em relação ao obtido onde os resíduos não permaneceram na superfície do solo.

2.2.2. Rotação de culturas

A recuperação de solos fisicamente degradados pode ser alcançada através da ação de plantas dotadas de características ditas recuperadoras. As principais características que definem uma planta como recuperadora se referem à capacidade de produção de grande volume de raízes, alta capacidade competitiva, rusticidade, fechamento rápido da superfície e agressividade para penetração, mesmo em zonas de solo com alta resistência, como camadas compactadas.

Ao contrário dos resíduos, cuja ação é pouco abrangente, as raízes atingem maior volume de solo, promovendo a sua agregação através de pressões exercidas sobre as partículas, unindo-as, e da hidratação-desidratação sucessiva que ocorre no solo, junto às raízes, como conseqüência de absorção e fluxo de água. O mecanismo mais efetivo, no entanto, está ligado à produção de matéria orgânica e à liberação de secreções pelas raízes e sua conversão microbiológica originando hifas, micélios e moléculas como polissacarídios e poliuronídios que atuam na formação de agregados estáveis

em água. As características desejáveis em uma planta recuperadora, em geral, não são encontradas em uma única espécie. Segundo HARRIS et alii (1966), as características de maior quantidade de raízes e teor de carbono das gramíneas são completadas pelo maior teor de nitrogênio das leguminosas. Isto sugere que a associação gramínea-leguminosa seja eficiente em sistemas de rotação de culturas para promover ou manter níveis adequados de agregação. Em solos com camadas compactadas, os efeitos integrados das características fasciculada das gramíneas e pivotante das leguminosas viria permeabilizar e estabilizar estruturalmente tais camadas. De acordo com NEAL (1953), a inclusão de gramíneas e leguminosas em um sistema de rotação de culturas permite a manutenção de adequado balanço da matéria orgânica no solo, condições físicas em níveis favoráveis e altos rendimentos às culturas anuais componentes do sistema. Em sistema de rotação de culturas que incluíram milho, aveia e pastagem de gramínea (*Bromus inermis*) - leguminosa (*Medicago sativa*), MANNERING et alii (1964) constataram maior agregação, maior infiltração de água e maior teor de matéria orgânica nas rotações mantidas por mais tempo com pastagem. Também verificaram que, dentre as características físicas medidas, a agregação foi a que melhor se correlacionou com a infiltração de água ($r = 0,71$) e com as perdas de solo por erosão. GISH e BROWNING (1948), após 14 anos de um experimento em solo franco-siltoso, registraram maior estabilidade de agregados em água no solo sob grama azul (*Poa pratensis*) continuamente

do que no mantido sob rotação milho-pastagem, sendo a menor estabilidade de agregados verificada no solo cultivado continuamente com milho. Já UHLAND (1949) relata que o cultivo do solo com plantas de crescimento fechado e sistema de raízes profundo e bem desenvolvido como a alfafa, propiciou maior volume de poros drenados sob tensão equivalente a uma coluna de água de 60 cm de altura, em relação ao cultivado com algodão.

As melhoras na agregação do solo pela ação integrada de plantas e microorganismos podem ser de curta duração. Segundo HARRIS et alii (1966), as moléculas como polissacarídios, também são metabolizadas pelos microorganismos na ausência de fontes de energia mais prontamente disponíveis. Em vista disso, NEAL (1953) sustenta que um programa de rotação de culturas que objetive manter a agregação em níveis altos deve prever a adição de matéria orgânica a intervalos regulares, através da inclusão de plantas apropriadas no sistema. Dessa forma, o processo normal de decomposição do material orgânico que contribui para manter boas condições físicas no solo é procedido sem riscos de exaustão das substâncias agregantes.

Um relativamente rápido declínio da agregação formada pela manutenção do solo com plantas com características recuperadoras foi constatado por VAN BAVEL e SCHALLER (1950) na avaliação de tratamentos que variaram desde milho continuadamente por 18 anos até alfafa ou grama azul (*Poa pratensis*) por 11 anos, seguidos de milho por 7 anos. A

estabilidade de agregados em água decresceu rapidamente nos dois primeiros anos de milho sucedendo a alfafa ou a grama azul. Em experimento sobre solo franco-siltoso, MANNERING et alii (1968) constataram que já no terceiro ano de milho sob preparo convencional, sucedendo a dois anos de pastagem de uma associação gramínea-leguminosa (*Bromus inermes* e *Medicago sativa*), a taxa de infiltração de água e as perdas por erosão não diferiram em relação às verificadas no solo sob milho continuamente. No primeiro ano de milho sob preparo convencional em sucessão a um, dois e três anos de pastagem, a taxa de infiltração de água foi maior e as perdas de solo menores onde a pastagem foi mantida por dois a três anos em relação a um ano, revelando que os benefícios sobre as condições físicas do solo crescem com o tempo de permanência da pastagem no solo.

2.2.3. Subsolagem

Práticas mecânicas podem ser definidas como qualquer movimento do solo pela ação de implemento de preparo durante o processo de produção de uma cultura. A intensidade de uso do solo e as pressões exercidas pelas máquinas de tração e implementos sob diferentes conteúdos de umidade no solo no momento da realização das práticas são fatores que determinam decisivamente efeitos benéficos ou prejudiciais sobre as condições físicas do solo.

Segundo HARRIS et alii (1966), a mobilização do

solo em condições adequadas de umidade, favorece a agregação do solo. No entanto, nas condições de solo, clima e maquinaria existentes no Planalto do Rio Grande do Sul,é mais provável que o preparo do solo cause danos à estrutura,pois na maioria das vezes em que é feito a umidade no solo é desfavorável e os implementos usados podem não ser os mais adequados. Em solos compactados, práticas mecânicas como a subsolagem, lavra profunda e escarificação, quando utilizadas adequadamente, podem ser eficientes no aumento da infiltração de água e na promoção da penetração de raízes no solo.

A subsolagem é um preparo profundo do solo, pelo qual o subsolo é mobilizado sem contudo ser invertido ou trazido até a superfície, e se caracteriza por agir abaixo da profundidade usual de atuação dos implementos de preparo primário e secundário do solo. O propósito básico dessa mobilização é o rompimento de camadas compactadas no perfil do solo para permitir melhores condições ao movimento vertical de água e ao desenvolvimento das plantas. Segundo RANNEY et alii (1955), tais camadas podem ser de origem natural, como "claypans" ou "hardpans", ou resultar de pressões desenvolvidas por máquinas e implementos. Embora a subsolagem seja uma prática difundida na agricultura, é muitas vezes utilizada de forma inadequada ou mesmo sem necessidade. Para SWAIN (1975), somente a comprovação da existência de horizontes limitantes à penetração de água e raízes, através de criteriosa avaliação do perfil, justifica a adoção da subsolagem e garante a obtenção de resultados. A falta de uma análise

das condições do perfil pode conduzir a uma desnecessária mobilização profunda do solo, que, além do dispêndio de energia, pode produzir danos à estrutura do solo. Os parâmetros mais apropriados para a investigação do perfil são a densidade do solo, a sua resistência à penetração, a observação visual do sistema radicular das plantas e a avaliação da estrutura. Em pesquisas recentes em Latossolos do Rio Grande do Sul, a determinação da taxa de infiltração de água em diversas profundidades do perfil tem-se mostrado um método eficiente para a investigação de camadas compactadas (FARIAS et alii, 1980; DALLA ROSA, 1981).

As condições de umidade do solo ao tempo da subsolagem determinam em grande grau os benefícios ou os efeitos prejudiciais da prática (SWAIN, 1975; TAYLOR e BELTRAME, 1980). A umidade excessiva do solo, somada ao considerável esforço de tração exigido para a realização da subsolagem, pode limitar o volume de solo rompido, favorecer um rápido colapso do solo mobilizado, com anulação de possíveis benefícios, ou mesmo aumentar a compactação do solo e extende-la a maiores profundidades. Em experimento de 4 anos em solo franco, ANDERSON et alii (1958) avaliaram o efeito da subsolagem efetuada na profundidade de 45 cm e espaçamento de 60 cm entre sulcadores, com a umidade do solo na capacidade de campo, nos tratamentos sem e com subsolagem,milho contínuo cóm cobertura de palha de trigo e rotação milho-trigo com trevo doce (*Melilotus albus*) nas entrelinhas do milho. Nos tratamentos a estabilidade de agregados em água

foi de respectivamente 47,9%, 55,9%, 69,3% e 59,0%. A densidade do solo,especialmente na rotação milho-trigo, foi sempre maior no tratamento com subsolagem em todas as profundidades medidas de 10, 20, 30, 45 e 55 cm. Na profundidade de subsolagem (45 cm) e abaixo desta (55 cm), os valores de densidade obtidos foram de, respectivamente, 1,52 g/cm^3 e 1,60 g/cm^3 na rotação milho-trigo sem subsolagem e de 1,62 g/cm^3 e 1,65 g/cm^3 na rotação milho-trigo com subsolagem, o que, segundo os autores, revelou considerável compactação do solo neste último tratamento. Essa compactação foi atribuída à subsolagem ter sido realizada sob alta umidade do solo, com trator e subsolador pesados. A densidade do solo teve alta correlação com os rendimentos de milho ($r = -0,824$), que foram sempre superiores nos tratamentos sem subsolagem nos 4 anos do experimento. Ao final do primeiro ano de um experimento em Latossolo do Rio Grande do Sul (solo Santo Angelo), DALLA ROSA (1981) constatou que o trabalho da subsolagem efetuada na profundidade de 35 a 45 cm e com espaçamento de 90 cm entre sulcadores restringiu-se a uma estreita faixa de solo, coincidente com o sulco aberto pela haste do subsolador, não sendo eficiente na eliminação da camada compactada. No entanto, nos tratamentos com subsolagem, em preparo convencional e sem preparo com soja e trigo, e preparo convencional e pastagem de milheto mais feijão miúdo, seguida de gradagem e pastagem de aveia mais ervilhaca,a taxa de infiltração de água aos 120 minutos foi, respectivamente, 1,8 vezes, 1,4 vezes e 4,2 vezes superior à

verificada nos mesmos tratamentos, porém, sem subsolagem, com a determinação da taxa realizada sobre a zona de solo sulcada. Uma maior concentração de raízes das culturas foi observada na zona de solo sulcada dos tratamentos com subsolagem.

A persistência dos efeitos da subsolagem com o tempo varia com a textura do solo, com o conteúdo de umidade, com a profundidade de subsolagem e especialmente com o tráfego de maquinaria sobre o solo após a sua realização (CASSEL, 1979). Desse modo, o sistema convencional de preparo com lavrações e gradagens e intenso tráfego de máquinas pesadas deve favorecer o rápido decréscimo de possíveis benefícios propiciados pela subsolagem, enquanto que sistemas reduzidos de preparo os manteriam por mais tempo. Segundo DONAHUE (1970), a obtenção de efeitos mais prolongados da subsolagem é obtida com a utilização de culturas com raízes profundas, como alfafa e forrageiras perenes.

Já o volume de solo rompido pela subsolagem depende do espaçamento entre os sulcadores, atingindo-se a máxima eficiência técnica quando os volumes de solo rompidos por cada sulcador se superpõem. Isso é obtido, segundo SWAIN (1975), quando a distância entre os sulcadores é igual à profundidade de subsolagem. Além do espaçamento correto, TAYLOR e BELTRAME (1980) afirmam que outras condições devem ser observadas para a obtenção da máxima eficiência da subsolagem. Essas se referem à profundidade de trabalho, que não deve ser superior à da profundidade de localização da

camada compactada, adequação do subsolador com o tamanho do trator e uso de asas junto aos dentes subsoladores.

2.2.4. Sistemas reduzidos de preparo

O sistema convencional de preparo com lavração e gradagens do solo tem objetivado criar um meio físico favorável para a germinação e o estabelecimento das culturas, controle de inços, incorporação de restevas e de plantas para adubação verde, bem como de calcário e fertilizantes. Porém esse sistema causa, por efeito especialmente das gradagens, uma pulverização excessiva do solo e produz tamanho de agregados (KOHNKE e BERTRAND, 1959) e condições de rugosidade na superfície do solo (LARSON, 1964) que são prejudiciais à conservação do solo e da água.

Nos últimos tempos a utilização de sistemas reduzidos de preparo surgiu como alternativa ao preparo convencional. Condições como prevenção da degradação física e erosão do solo, redução dos gastos energéticos, melhoria do balanço hídrico, economia de tempo e ampliação da faixa de umidade do solo para a realização de operações com máquinas e implementos, são motivações para a adoção de sistemas reduzidos de preparo. Os mais difundidos em nossas condições são os que prevêem o preparo do solo somente com grade e a semi-incorporação dos resíduos da cultura anterior, e o sem preparo que consiste na mínima perturbação do solo para a colocação das sementes e fertilizantes com a manutenção dos

resíduos da cultura anterior na superfície do solo.

A eficiência dos preparos reduzidos na diminuição da erosão advém da proteção da superfície do solo pelos resíduos, absorvendo o impacto das gotas de chuva, e do acúmulo de matéria orgânica, propiciando estabilidade aos agregados da superfície (BAEUMER e BAKERMANS, 1973). Em experimento de cinco anos em solo franco-siltoso, MANNERING et alii (1966) avaliaram o efeito de preparos reduzidos e do preparo convencional (uma lavração e duas gradagens) sobre características físicas e perdas de solo e água. Os preparos reduzidos não diferiram entre si, mas apresentaram uma taxa de infiltração de água 24% maior e perda de solo 34% menor do que no preparo convencional. Embora as diferenças nas características físicas tenham sido de pouca magnitude, foi observada uma tendência de maior agregação, porosidade e teor de matéria orgânica nos preparos reduzidos. Também, após cinco anos de avaliação de perdas por erosão na sucessão trigo-soja em solo Laterítico Bruno-avermelhado Distrófico (solo São Jerônimo), ELTZ et alii (1980) verificaram que, em relação ao preparo convencional (uma lavração e duas gradagens), o tratamento sem preparo reduziu em 45% as perdas de água e em 65% as perdas de solo, enquanto que o preparo mínimo (uma gradagem) reduziu em 53% as perdas de água e em 63% as perdas de solo.

Essa eficiência na redução da erosão recomenda a adoção de sistemas reduzidos de preparo. No entanto, os efeitos sobre as características físicas do solo que afetam

relações solo-água-ar-planta ainda não são bem conhecidas. FINNEY e KNIGHT (1973) avaliaram algumas características físicas do solo nos tratamentos lavração mais uma gradagem e sem preparo no ciclo de oito meses da cultura do trigo, em solo franco-siltoso. A densidade do solo foi maior e o espaço aéreo foi menor no tratamento sem preparo em todas as profundidades avaliadas, sendo que as maiores diferenças se localizaram nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm. No tratamento sem preparo foi também encontrada uma menor quantidade de poros com tamanho adequado para a livre penetração de raízes, sendo que isso se refletiu em menor extensão radicular do trigo em relação à obtida no tratamento com lavração. Também comparando solos lavrados com um solo mantido sem preparo durante seis anos, SOANE et alii (1975) observaram neste último uma maior densidade do solo e resistência do solo ao penetrômetro, sendo que as maiores diferenças estiveram na camada de 0 a 5 cm.

Em solos sem preparo, a presença de poros de menor tamanho e a proteção da superfície do solo controlando perdas de umidade por evaporação determinam um aumento no volume de água armazenada (BLEWINGS et alii, 1971; CANNEL e FINNEY, 1975). Essa maior eficiência no uso da água pode manter as culturas em períodos de déficit hídrico e se refletir no rendimento final das mesmas.

A avaliação das condições físicas criadas no solo por sistemas de preparo reduzido e a determinação do modo como as plantas reagem a essas condições em diferentes

tipos de solo são indispensáveis para possibilitar um maior conhecimento das suas potencialidades.

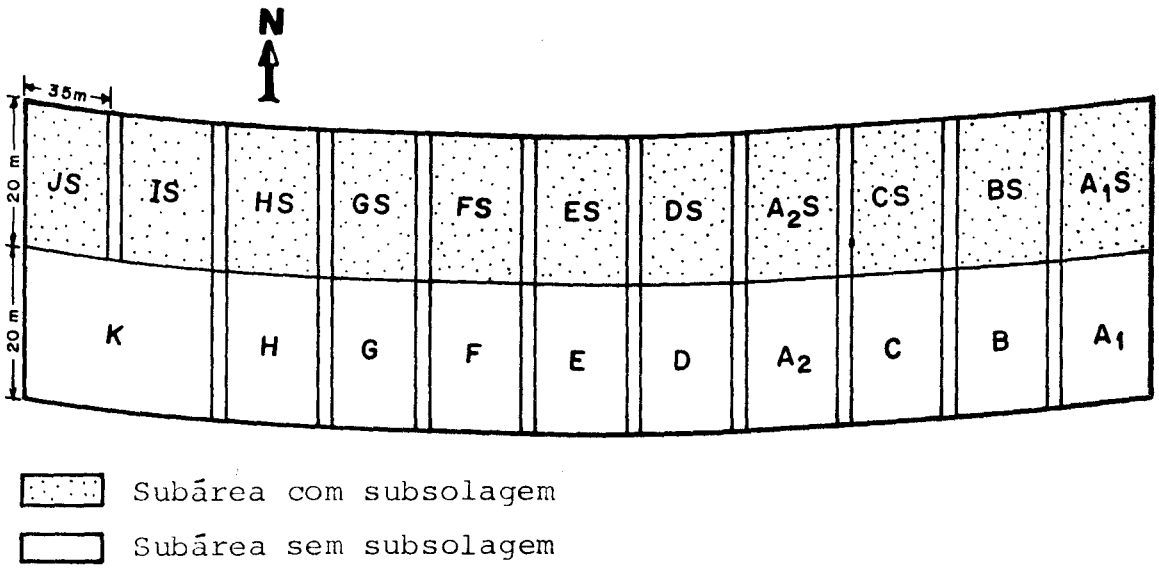
3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho teve como base um experimento de campo instalado na propriedade agrícola de Carlos Angheben, situada na localidade de Prata, município de Espumoso, Rio Grande do Sul. A implantação do experimento foi efetuada em novembro de 1979. Em novembro de 1980, em seis de um total de dezenove parcelas, cada uma com um tratamento distinto, foram procedidas determinações físicas de campo e coletadas amostras para determinações em laboratório. A área experimental apresenta uma declividade média de 5 a 6% e sua exploração vinha sendo conduzida por 14 anos no sistema convencional de cultivo com trigo e soja (uma lavração e duas gradagens niveladoras), com queima da palha de trigo. Em investigações expeditas feitas em minitrincheiras abertas na área, com a umidade do solo dentro da faixa de friabilidade, não foram constatadas camadas compactadas ou desvios de raízes em função de impedimento mecânico, indicando um grau de alteração física menos pronunciado, comparativamente a outras lavouras da região. O solo da área pertence à unidade de mapeamento Erexim e é classificado conforme o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo como Latossolo Roxo Distrófico Álico, textura argilosa

(BRASIL, 1973). A descrição do perfil modal da unidade encontra-se no Apêndice 1.

3.1. Descrição do experimento de campo

Para a implantação do experimento a área total, com aproximadamente dois hectares, foi dividida em duas subáreas localizadas entre terraços, cada qual com uma dimensão de cerca de 500 m de comprimento por 20 m de largura. Uma das subáreas foi subsolada entre 30 e 40 cm de profundidade e a outra não. Após, em cada subárea foram demarcadas parcelas com dimensões aproximadas de 35 m de comprimento e 20 m de largura, separadas uma da outra por faixas de 10 m, e procedidos o preparo do solo e semeadura das culturas, conforme o previsto em cada tratamento. Os tratamentos foram distribuídos na área experimental conforme o seguinte croqui:



O experimento, que será conduzido por um período de 9 anos, apresenta os seguintes tratamentos:

A_1 e A_1S, A_2 e A_2S: preparo convencional (uma lavração e duas gradagens niveladoras) no sistema de exploração soja (*Glycine max*) - trigo (*Triticum aestivum*), com incorporação dos resíduos de soja e queima dos resíduos de trigo;

B e BS: preparo adequado para a implantação da sucessão de culturas soja (*Glycine max*) - tremoço (*Lupinus albus*) - milho (*Zea mays*) - colza de inverno (*Brassica napus*) - soja - aveia preta (*Avena spp*) - milho - trigo (*Triticum aestivum*);

C e CS: preparo convencional para a implantação de consorciação das forrageiras desmódio (*Desmódium intortum*), siratro (*Macroptilium atropurpureum*) e setária (*Setaria anceps*), cultivar Kazungula, a serem mantidas por três anos, seguindo-se soja e trigo por três anos em preparo adequado, sem queima dos resíduos;

D e DS: lavra profunda (cerca de 30 cm de profundidade) com arado de discos a cada três anos e preparo com grade goble para soja e trigo, sem queima dos resíduos;

E e ES: preparo adequado para a implantação de forrageiras de verão, milheto (*Pennisetum americanum*) e feijão-miúdo (*Vigna sinensis*), e de inverno, aveia (*Avena spp*), e ervilhaca (*Vicia sativa*), seguindo-se soja e trigo por três anos com preparo adequado;

F e FS: preparo com grade niveladora e semeadura

de soja e trigo com semeadeira convencional, sem queima de resíduos;

G e GS: sem preparo, ou seja, semeadura direta de soja e trigo, e preparo convencional para a semeadura do trigo, se necessário, para a incorporação de calcário ou fertilizantes;

H e HS: preparo a 20 cm de profundidade com pé-de-pato a cada três anos e preparo com grade goble para soja e trigo, sem queima dos resíduos;

IS: subsolagem à profundidade de 40 a 50cm a cada três anos e preparo com grade goble para soja e trigo, sem queima de resíduos;

JS: subsolagem à profundidade de 30 a 40 cm e lavra profunda (30 cm de profundidade) para a implantação da cultura da alfafa (*Medicago sativa*);

K: preparo adequado para a implantação das culturas de milho e tremoço em sucessão.

Preparo adequado é o necessário para fornecer favoráveis condições à germinação e estabelecimento das culturas, com a mínima mobilização possível do solo, variando nos tratamentos em função da cultura anterior, quantidade de resíduos e infestação de inços. Nas parcelas dos tratamentos E e ES constou de uma gradagem goble, seguida de duas gradagens niveladoras por ocasião da semeadura do milheto mais feijão-miúdo, e de uma gradagem goble seguida de uma gradagem niveladora sobre a resteva dessas forrageiras por ocasião da semeadura da aveia mais ervilhaca.

3.2. Tratamentos avaliados

Especificamente para a realização deste trabalho foram selecionados para avaliação os tratamentos A_2, A_2S, E, ES, G e GS. Nos tratamentos E e ES o milheto e o feijão-miúdo sofreram três cortes durante o ciclo, sendo o material mantido sobre a superfície do solo. Durante o ciclo da aveia mais ervilhaca foi efetuado apenas um corte, quase no final do ciclo, sendo o material mantido sobre o solo até o preparo do mesmo para a implantação da soja. Os rendimentos de grão e palha de soja e trigo e de matéria seca das forrageiras encontram-se no Apêndice 27. Informações quanto a preparo do solo, adubação e semeadura, por ocasião da implantação das culturas em cada tratamento, são apresentadas no Apêndice 28.

3.3. Subsolagem

A subsolagem foi efetuada à profundidade de 30 a 40 cm, com um espaçamento de 90 cm entre os sulcadores. Utilizou-se um subsolador marca Mess, com engate em três pontos no trator, sendo de 90^{o} o ângulo entre os sulcadores e o chassi. A parte inferior do sulcador possui formato triangular ("pé-de-pato"), com 30 cm de comprimento e 15 cm de largura na parte mais larga e 7 cm na parte mais estreita. A umidade do solo na camada arável (0 - 30 cm) por ocasião da subsolagem foi de 27%, sendo que a umidade correspondente ao

limite inferior de plasticidade desse solo é de 29%.

3.4. Determinações físicas

Todas as determinações físicas a campo e a coleta de amostras para as análises em laboratório foram efetuadas após um ano de condução do experimento, seguindo-se à colheita do trigo da safra de 1980 e ao término do ciclo das forrageiras de inverno daquele ano. Com exceção da parcela referente ao tratamento A_2S, onde foi efetuada somente a determinação da taxa de infiltração de água, em cada uma das parcelas referentes aos tratamentos A_2, E, ES, G e GS foram abertas duas trincheiras para possibilitar a realização das determinações físicas e a coleta de amostras. Essas trincheiras, com dimensões aproximadas de 1,7 m de comprimento, 0,8 m de largura e 0,4 m de profundidade, foram abertas de modo a ficarem em posição transversal às linhas de cultivo e localizadas diagonalmente, uma no extremo superior e outra no extremo inferior de cada parcela.

3.4.1. Estabilidade de agregados em água

A estabilidade de agregados em água foi determinada pelo método descrito por KEMPER (1965), sendo expressa pelo diâmetro médio ponderado (VAN BAVEL, 1949). Visando possibilitar um maior detalhamento dessa determinação em profundidade reduziu-se o número de tratamentos avaliados, sendo

amostradas somente as parcelas dos tratamentos A_2, E e G. Em cada trincheira foram coletadas quatro amostras em cada uma das profundidades de 0 a 7,5 cm, 7,5 a 15 cm, 15 a 22,5 cm e 22,5 a 30 cm. Portanto os dados apresentados são médias de oito determinações por profundidade, por parcela.

3.4.2. Densidade do solo

A densidade do solo foi obtida pelo método do anel de volume conhecido (BLAKE, 1965). Em cada trincheira foram coletadas amostras nas profundidades de 3 a 8 cm, 13 a 18 cm e 23 a 28 cm, com duas determinações por profundidade. Nas parcelas que receberam subsolagem, as amostras foram obtidas na região sulcada e na região não sulcada pelo subsolador. Os dados apresentados são média de 4 determinações por profundidade, por parcela.

3.4.3. Espaço aéreo a 0,06 bares de sucção matricial

A determinação do espaço aéreo a 0,06 bares de sucção matricial foi feita segundo o método descrito por KIEHL (1979). Em cada trincheira foram coletadas amostras na porção média das camadas de 3 a 8, 13 a 18 e 23 a 28 cm de profundidade, ou seja, nas profundidades de 5, 15 e 25 cm respectivamente, com duas determinações por profundidade. Nas parcelas que receberam subsolagem as amostras foram obtidas na região sulcada e na região não sulcada pelo subsolador.

Os dados apresentados são média de 4 determinações por profundidade, por parcela.

3.4.4. Resistência do solo ao penetrômetro

Em cada trincheira foram realizadas medidas de resistência do solo à penetração de um penetrômetro estático CATL 719-40 (FORSYTHE, 1975). A partir da superfície do solo foi investigada uma face de cada trincheira, com 1,5m de comprimento e 0,3 m de profundidade, introduzindo-se o penetrômetro horizontalmente no solo e efetuando-se duas medidas em cada sítio, afastado um do outro 2,5 cm no sentido vertical e 10 cm no sentido horizontal (os sítios foram localizados na face de cada trincheira através de uma folha de polietileno previamente perfurada). A localização de cada sítio no sentido horizontal é dada pela distância referida a um ponto arbitrário situado mais à esquerda na trincheira. Em cada trincheira os dados representam a média de 32 determinações por profundidade. As amostras para a determinação da umidade do solo foram coletadas no momento das determinações de resistência do solo ao penetrômetro, a cada 5 cm de profundidade a partir da superfície, em três locais na trincheira. A umidade foi determinada pelo método de secagem em estufa a 105^{o}C e os dados representam a média de 3 determinações por profundidade, por parcela.

3.4.5. Taxa de infiltração de água

Através do método de inundação (BERTRAND, 1965), utilizando-se dois anéis concêntricos, foram realizadas três determinações da taxa de infiltração de água, distribuídas aleatoriamente em cada uma das parcelas referentes aos tratamentos descritos em 3.2. Portanto os dados apresentados se referem a três determinações por parcela, com exceção do tratamento GS, onde se referem a duas determinações, devido à determinação 1 não ter sido considerada, por ter sido interrompida aos 30 minutos. Os dados obtidos em cada determinação são apresentados nos Apêndices 22, 23 e 24. O tempo de realização das leituras em cada determinação variou de acordo com a taxa de infiltração, selecionando-se para apresentação as leituras realizadas nos tempos de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos. Aos valores médios experimentais de taxa de infiltração de água por parcela procedeu-se um ajuste por método gráfico utilizando-se papel dilogaritmo e adotando-se o modelo $i = at^{-b} + c$, onde c é a taxa constante de infiltração estimada dos valores médios experimentais obtidos a campo, e onde a e b são meros parâmetros de ajuste, não representando nenhuma característica física específica do solo. No momento da realização dos testes de infiltração de água foram coletadas amostras na profundidade de 0 a 10 cm, em 5 locais por parcela, para a determinação da umidade do solo (Apêndice 25).

3.5. Análises químicas

Em duas amostras de cada uma das profundidades de 0 a 7,5 cm, 7,5 a 15 cm, 15 a 22,5 cm e 22,5 a 30 cm dos tratamentos A_2, E e G determinou-se pH em água, necessidade de calagem, fósforo disponível, potássio disponível e teor de matéria orgânica de acordo com a metodologia adotada pela Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (MIELNICZUK et alii, 1969). Os dados são apresentados no Apêndice 26 e representam a média de 4 determinações por profundidade por parcela.

3.6. Análise estatística dos dados

O presente experimento faz parte de um programa em que mais três experimentos idênticos foram implantados em outros três locais, sobre o mesmo tipo de solo. Dado o relativamente grande tamanho das parcelas (aproximadamente 600 m^2) e o elevado número de tratamentos, e consideradas também limitações humanas e materiais, optou-se pela não aplicação de repetições dos tratamentos em cada local. As avaliações ao fim do primeiro ano foram feitas tomando-se os experimentos isoladamente, visando a seleção de alguns tratamentos mais promissores. Isso permitirá, numa segunda etapa, uma avaliação mais rigorosa dos tratamentos tanto em novos experimentos com repetições, como considerando cada local como repetição, aplicando-se testes estatísticos que

permitam conclusões mais seguras quanto ao efeito dos tratamentos.

No presente trabalho calculou-se apenas a média das observações juntamente com o erro padrão, servindo o intervalo dado pela média mais ou menos o erro padrão como critério na avaliação de diferenças.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estabilidade de agregados em água

Na comparação dos tratamentos A_2, E e G, nos quais foi realizada a determinação da estabilidade de agregados em água, se destaca o valor mais elevado dessa característica no tratamento E (Figura 1). As diferenças de diâmetro médio ponderado entre os tratamentos devem ser basicamente atribuídas a variações quanto a volume e capacidade de penetração do sistema radicular das culturas, queima ou aproveitamento e quantidade e tipo de resíduos. A quantidade mais elevada de resíduos fornecida pela seqüência de culturas de milheto mais feijão-miúdo e aveia mais ervilhaca, somada à ação abrangente dos seus sistemas radiculares, teria concorrido para a maior estabilidade de agregados, constatada no tratamento E. A promoção desse efeito por plantas que possibilitam quase total cobertura do solo e que apresentam sistema radicular abundante e vigoroso decorre da proteção do solo contra o impacto das gotas da chuva e do contínuo fornecimento de materiais orgânicos, cuja transformação em moléculas como polissacarídios e poliuronídios assegura o constante suprimento de agentes agregantes no solo. É possível

também que a estabilidade de agregados tenha sido estimulada quando do crescimento das raízes por efeito ou de pressões físicas e/ou de intensa atividade biológica no desdobramento de exsudatos ao nível da raiz.

O tratamento E apresentou valores de DMP mais elevados do que os tratamentos A_2 e G até a profundidade de 22,5 cm (Figura 1), evidenciando a promoção de melhorias na agregação do solo em profundidade. Como se observa no Apêndice 2 as diferenças de DMP entre os tratamentos E e A_2 decrescem com a profundidade com valores de 1,20, 0,97 e 0,49 mm, respectivamente nas profundidades de 0 a 7,5, 7,5 a 15,0 e 15 a 22,5 cm. A ocorrência das maiores diferenças na faixa de 0 a 15 cm evidencia que a formação de agregados maiores e mais estáveis é intensificada em condições de maior concentração de raízes e restos orgânicos e, como conseqüência, mais dinâmica atividade biológica. A menor estabilidade de agregados encontrada no tratamento A_2 pode também ter ocorrido como reflexo da maior intensidade de preparo do solo em relação ao tratamento E, ainda que o preparo mais intenso no A_2 em relação a G não se tenha traduzido em menor estabilidade de agregados.

O contínuo crescimento e decomposição de raízes é reconhecido por NEAL (1953) como o único meio praticável que se dispõe para introduzir matéria orgânica de boa qualidade abaixo da camada arável, na tentativa de melhorar as condições de estrutura do solo a maiores profundidades. A constatação de maior diâmetro médio ponderado até a

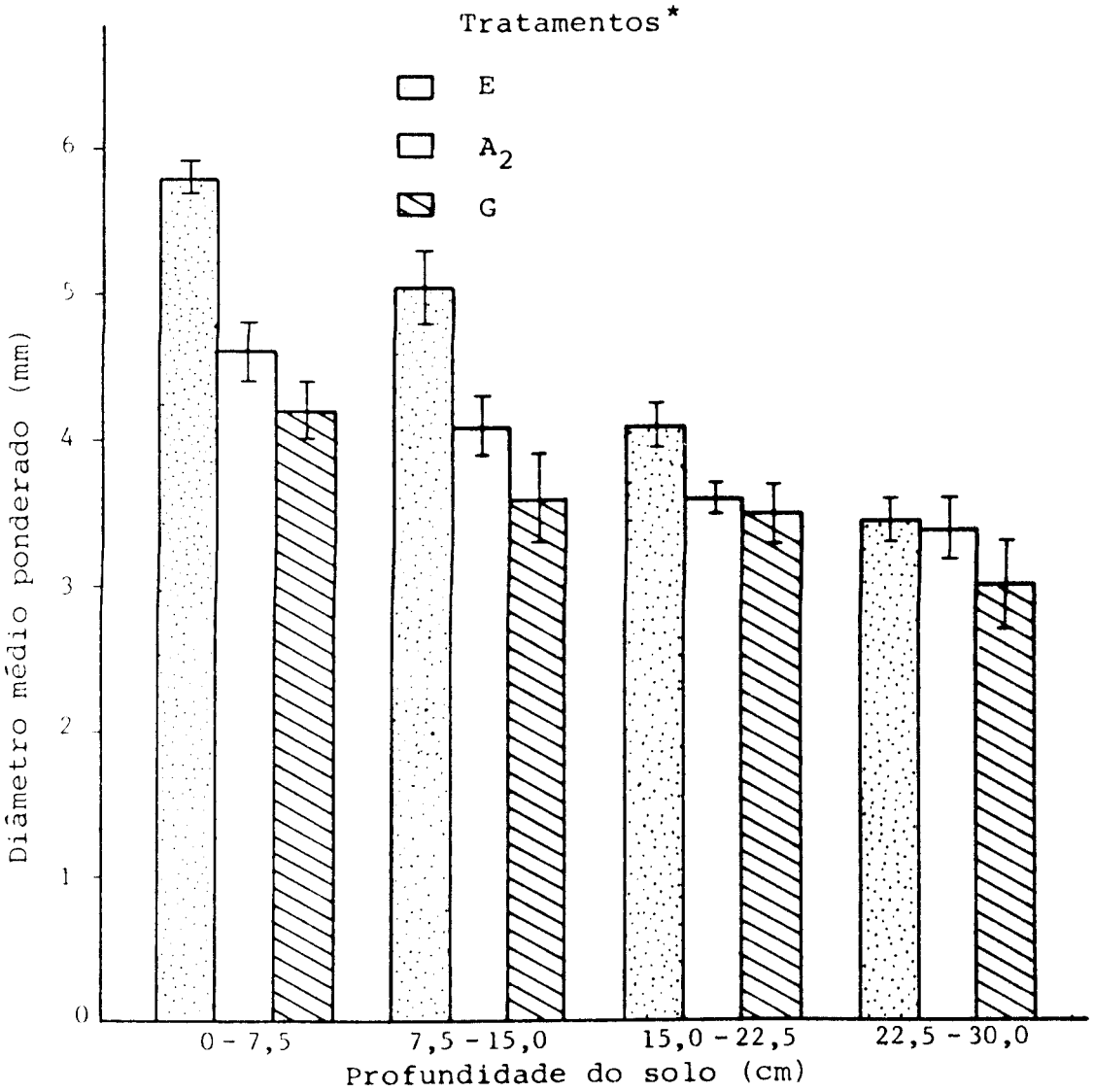


FIGURA 1. Estabilidade de agregados em água, expressa em diâmetro médio ponderado, em função da profundidade do solo e dos tratamentos avaliados (sem subsolagem). Média e erro padrão referentes a 8 determinações por profundidade.

* E - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca); A_2 - preparo convencional e sucessão soja-trigo com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja; G - sem preparo e sucessão soja-trigo.

profundidade de 22,5 cm no tratamento E (Figura 1) pode representar a ampliação do volume de solo com meio físico favorável ao desenvolvimento das culturas que se seguem e estimular boas relações solo-água-ar-planta. Resultados de pesquisa relatando a eficiência de forrageiras na formação de agregados estáveis em água e na promoção de condições físicas desejáveis no solo são encontrados na literatura. CARREKER et alii (1968) observaram que a maior proporção de agregados estáveis em água retida em peneiras de maior tamanho de malha num solo sob grama bermuda (*Cynodon dactylon*) mais trevo vermelho (*Trifolium incarnatum*) em relação ao cultivado contínua e convencionalmente com milho se refletiu em aumento na taxa de infiltração de água. Avaliando os tratamentos correspondentes ao A_2, E e G do presente experimento, em área sob diferente grau de alteração física, DALLA ROSA (1981) registrou valores de diâmetro médio ponderado (DMP) de respectivamente 2,68 mm, 5,67 mm e 3,41 mm, na camada de 3 a 8 cm. Nas profundidades de 0 a 7,5 cm e de 7,5 a 15 cm, D'AGOSTINI (1981) também verificou maior estabilidade de agregados em água no tratamento sob forrageiras em relação aos tratamentos sob soja e trigo em preparo convencional ou sem preparo, o que se traduziu especialmente em maior taxa de infiltração de água. A constatação de maior estabilidade de agregados e o correspondente reflexo na taxa de infiltração de água, após apenas um ano de manutenção do solo sob forrageiras, pareceria indicar que a recuperação física de solos degradados é rápida e facilmente obtida. No entanto,

embora inexistam pesquisas sobre a durabilidade dos efeitos benéficos propiciados pelas forrageiras para as condições dos Latossolos do Rio Grande do Sul, há indicações em trabalhos conduzidos em outros locais e solos que esses efeitos declinam rapidamente logo nos primeiros anos, a partir da lavração do solo e cultivo de culturas anuais. VAN BAVEL e SCHALLER (1950) constataram que a agregação, expressa em diâmetro médio ponderado, de um solo mantido com alfafa (*Medicago sativa*) ou grama azul (*Poa pratensis*) por um período de 11 anos apresentou grande decréscimo já nos dois primeiros anos de cultivo contínuo com milho, o que se traduziu em aumento das perdas de solo e água por erosão. A manutenção das favoráveis condições de agregação produzidas por plantas como as forrageiras implantadas no tratamento E parece depender do seu freqüente retorno ao solo dentro de um sistema de rotação de culturas.

Os menores valores de diâmetro médio ponderado nos tratamentos A_2 e G em relação ao tratamento E estariam traduzindo condições presentes naqueles, como menor volume e capacidade de penetração das raízes de soja e trigo, bem como a menor quantidade de resíduos devolvida ao solo. Já a ausência de diferenças no diâmetro médio ponderado entre os tratamentos A_2 e G (Figura 1), se considerado um longo prazo, não refletiria as condições presentes em cada tratamento, como grau de mobilização do solo, trânsito de máquinas e implementos e manejo de resíduos, que determinariam, teoricamente, maior agregação em G. No entanto, apenas um ano

de ação dos tratamentos provavelmente foi insuficiente para que as condições potenciais mais propícias à agregação do solo presentes no tratamento G se traduzissem em uma maior estabilidade de agregados.

Deve-se ainda considerar a possível influência de outros fatores sobre a determinação da estabilidade de agregados em água, como por exemplo diferenças de umidade no solo no momento da amostragem (GISH e BROWNING, 1948; KEMPER, 1965), que podem ter afetado os resultados obtidos. No entanto, não é possível comprovar a possível ocorrência de tais diferenças, dada a não existência de dados de umidade gravimétrica do solo por ocasião da coleta das amostras. Em outras condições de solo, GISH e BROWNING (1948) observaram que a percentagem de agregados maiores que 2 mm foi de 42,8% e de 25,5%, respectivamente para teores de 6,5% e 14,4% de umidade no solo por ocasião da amostragem.

Contrastando com a tendência verificada no presente trabalho, D'AGOSTINI (1981) constatou uma maior estabilidade de agregados em água no tratamento G em relação ao A_2. Isso pode decorrer de diferenças no grau de alteração física entre as duas áreas, sendo provável que a melhoria da agregação do solo em resposta à redução do preparo, como também a outras práticas, seja mais intensa quanto maior o grau inicial de alteração física do solo.

4.2. Densidade do solo e espaço aéreo a 0,06 bares de sucção matricial

Em um solo com dada textura, a sua densidade está sujeita a alterações em função de fatores como grau de preparo do solo, intensidade de tráfego de máquinas,espécie vegetal cultivada e quantidade de resíduos retornada ao solo. Tais alterações na densidade do solo afetam, por sua vez, a distribuição do tamanho de poros, o espaço aéreo a uma dada sucção matricial, a condutividade hidráulica, a taxa de infiltração de água e a penetração de raízes no solo. Em solos cultivados, essas características são afetadas negativamente em decorrência da compactação do solo, que em geral se verifica logo abaixo da camada de solo revolvida nas operações de preparo e que é identificada pelo aumento da densidade do solo.

Na comparação dos valores de densidade do solo entre as profundidades estudadas nos tratamentos E, G e A_2 (Figura 2; Apêndice 3), não são constatadas diferenças com suficiente magnitude para caracterizar a presença de camada compactada em qualquer dos tratamentos. Tal tendência é reforçada pelos dados de outras características que, embora indiretamente, são parâmetros eficientes para avaliar o grau de compactação do solo, como a resistência do solo ao penetrômetro e taxa de infiltração de água, discutidos adiante.

Também quando se comparam os valores de densidade do solo entre os mesmos tratamentos, em cada camada de

profundidade (Apêndice 3), não são notadas diferenças mais pronunciadas, sugerindo que, de modo geral, as variações existentes entre os mesmos quanto a manejo de resíduos, intensidade de preparo do solo e espécie cultural não afetaram de forma significativa a relação massa/volume do solo após um ano de condução do experimento. Conforme é constatado na Figura 2 e Apêndice 3, uma diferença mais evidente entre os tratamentos ocorre na camada de 3 a 8 cm onde a densidade do solo assume o valor de 1,20 g/cm^3 no tratamento E e de 1,39 g/cm^3 no G. A mais elevada quantidade de raízes e resíduos provenientes das forrageiras milheto mais feijão miúdo e aveia mais ervilhaca estaria determinando a mais baixa densidade no tratamento E, embora esse efeito não fique comprovado quando se comparam os valores de densidade entre este (1,20 g/cm^3) e o tratamento A_2 (1,26 g/cm^3), onde o único resíduo devolvido ao solo foi o da soja. Em experimento de maior duração, UHLAND (1949) também observou que o cultivo do solo com forrageiras e a manutenção dos restos culturais sobre o solo promoveu uma redução na densidade do solo na camada de 0 a 15 cm de 1,31 para 1,00 g/cm^3, em um solo franco-siltoso.

Considerando o curto período de condução do experimento, o mais alto valor obtido de densidade do solo no tratamento G não pode ser tomado como evidência definitiva de maior adensamento. No entanto, dados de outros experimentos e solos têm mostrado uma tendência semelhante, a qual foi atribuída à natural consolidação do solo quando não

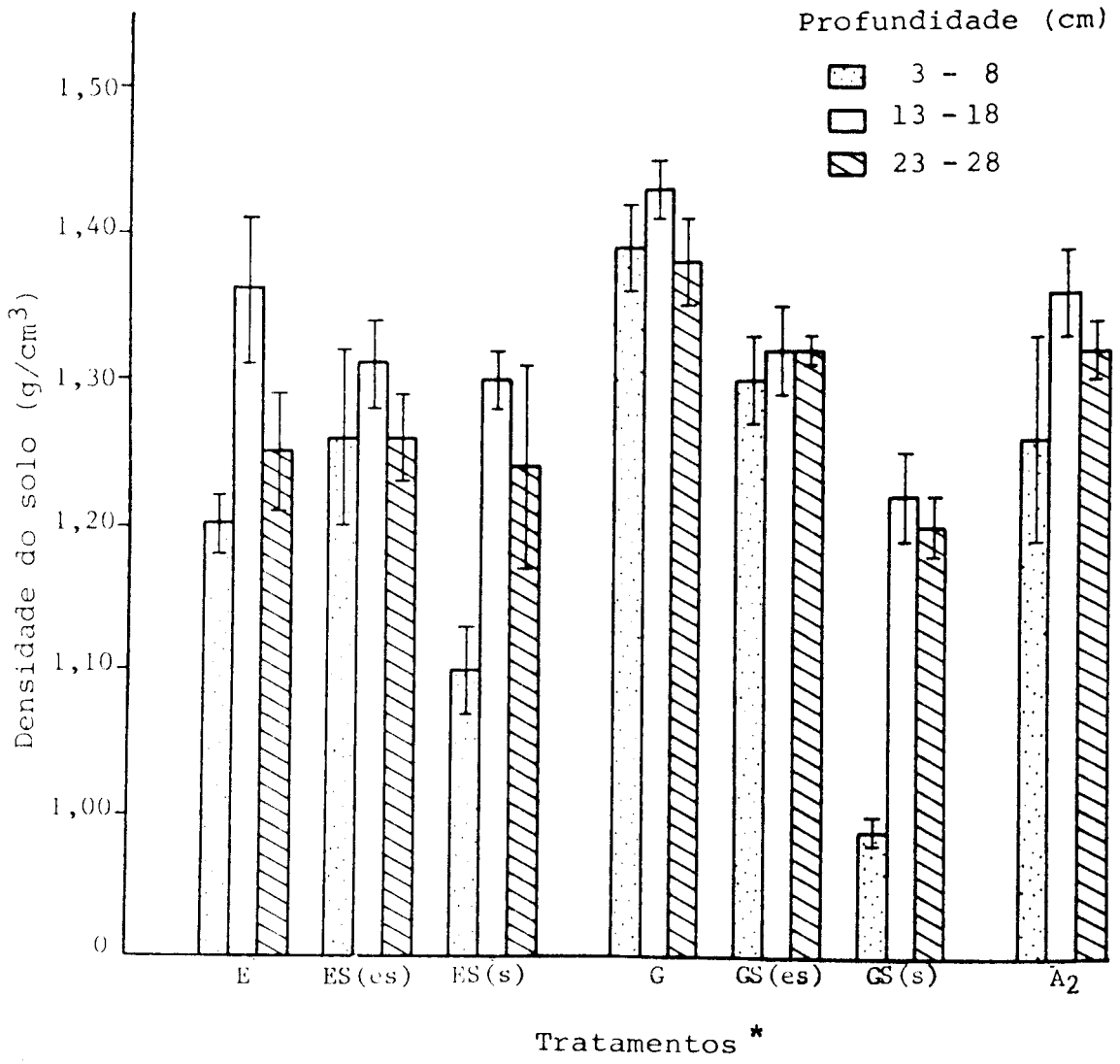


FIGURA 2. Densidade do solo em função da profundidade e dos tratamentos avaliados. Média e erro padrão referentes a 4 determinações por profundidade.

* E e ES (sem e com subsolagem) - preparo adequado e forrageiros de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca); G e GS (sem e com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo; A_2 (sem subsolagem) - preparo convencional e sucessão soja-trigo, com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja; (s) - sulcos de subsolagem; (es) - entressulcos de subsolagem.

mobilizado (CANNEL e FINNEY, 1973). Avaliando os tratamentos após um período correspondente à cultura do trigo em solo franco-arenoso, FINNEY e KNIGHT (1973) verificaram maior densidade e menor porosidade no solo sem preparo em relação ao lavrado, com as maiores diferenças na camada de 0 a 10 cm.

Nos tratamentos selecionados para avaliação da subsolagem, ES e GS, os dados de densidade do solo indicam diferenças quanto ao efeito da prática. Conforme é mostrado na Figura 2, salientam-se, no tratamento GS, os baixos valores de densidade na zona sulcada pelo subsolador (s) em relação aos verificados no tratamento G. Esse comportamento se dá em todas as profundidades, sendo mais evidente na camada de 3 a 8 cm, indicando a persistência do afrouxamento do solo desde a superfície. No entanto, os valores de densidade no espaço entressulcos (es) não diferem dos presentes no tratamento G, indicando a ação pouco abrangente da prática no sentido lateral. Já no tratamento ES, a densidade do solo na zona sulcada (s) não difere da existente no tratamento sem subsolagem (E), nas profundidades de 13 a 18 e 23 a 28 cm. Na profundidade de 3 a 8 cm a mais baixa densidade na zona sulcada deve ser conseqüência da presença de resíduos. Também não são constatadas diferenças de densidade quando se comparam os valores obtidos no espaço entressulcos (es) com os verificados no tratamento E. Os dados de densidade confirmam e reforçam avaliações visuais procedidas nas trincheiras abertas. No tratamento ES o volume de solo afrouxado se restringiu à largura do dente subsolador,

caracterizando o efeito relativamente localizado da subsolagem, também presente no tratamento GS, ainda que neste o trabalho do subsolador tenha se evidenciado mais claramente. As diferenças quanto à persistência dos efeitos da subsolagem entre os dois tratamentos podem ser creditadas a variações no grau de preparo e trânsito de máquinas posteriormente à realização da prática. A persistência de solo afrouxado na zona sulcada em GS deve ser atribuída à ausência de mobilização do solo posteriormente à subsolagem, enquanto que a realização de gradagens e maior número de passagens de máquinas em ES teriam provocado o desaparecimento de possíveis benefícios. Reconhecida e isolada a ação negativa do preparo e trânsito de máquinas, as avaliações feitas um ano após a realização da subsolagem indicam que os efeitos da prática foram pouco notáveis, mesmo imediatamente após a sua realização. Tal verificação é razoável, visto que a umidade no solo por ocasião da subsolagem era excessiva e o espaçamento entre os sulcadores relativamente grande (90 cm), além do que o tipo de sulcador utilizado possa ter sido pouco adequado. O espaçamento entre os sulcadores, o formato destes e as condições de umidade no solo são condições que determinam decisivamente o grau de eficiência no rompimento do solo (SWAIN, 1975; TAYLOR e BELTRAME, 1980). A baixa efetividade da subsolagem pode também ter ocorrido em razão da ausência de compactação. SWAIN (1975) relata que muitos casos em que não foi observada resposta à prática ocorreram em solos sem problemas de compactação.

Os valores de espaço aéreo a 0,06 bares de sucção matricial (Apêndice 4), são de modo geral coerentes com os de densidade do solo. Tal comportamento é esperado quando se sabe que a uma dada sucção matricial o espaço aéreo do solo é duplamente afetado por alterações da densidade. Assim, por exemplo, a uma sucção matricial qualquer, o espaço aéreo é diminuído por um aumento da densidade, tanto pela redução da porosidade como pelo aumento da umidade volumétrica. Conforme é mostrado na Figura 3 os valores de espaço aéreo na camada de 3 a 8 cm dos tratamentos E e ES são superiores aos verificados nas camadas de 13 a 18 e 23 a 28 cm. Tal fato concorda com os dados de densidade do solo, especialmente com os obtidos no tratamento E e na zona sulcada (s) do tratamento ES (Apêndice 3), e possivelmente reflete o efeito de raízes e resíduos das forrageiras no aumento da agregação do solo, com conseqüências na redução da densidade e aumento do espaço aéreo do solo. No tratamento G o espaço aéreo é baixo e semelhante em todas as profundidades, ressaltando-se o baixo valor na camada de 3 a 8 cm como provável decorrência da ausência de mobilização do solo, concordando com o que é relatado por RUSSEL et alii (1975). Ao mesmo tempo indica que possíveis benefícios sobre essa característica em função da presença de resíduos de soja e trigo na superfície do solo no período de um ano, não se extenderam até aquela profundidade.

Quanto ao efeito da subsolagem, os dados de espaço aéreo, a exemplo dos dados de densidade do solo, revelam a

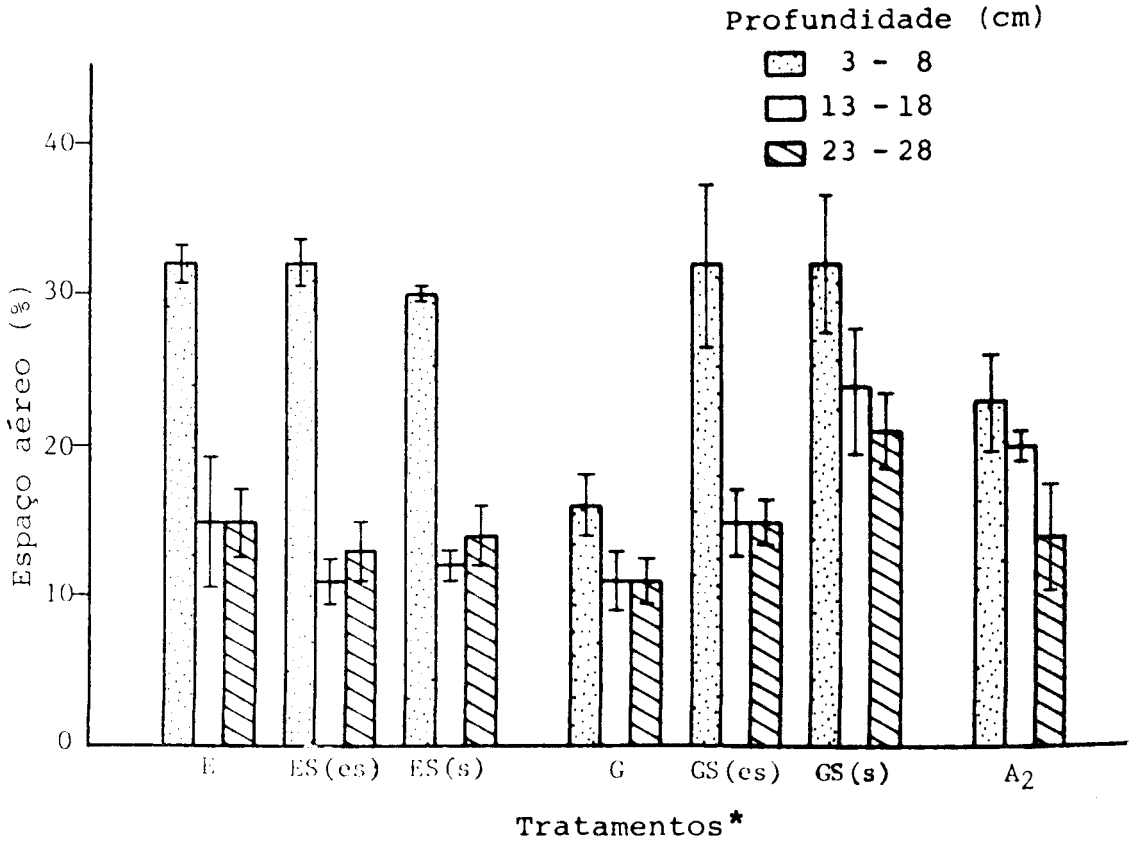


FIGURA 3. Espaço aéreo do solo a 0,06 bares de sucção matricial em função de profundidade do solo e dos tratamentos avaliados. Média e erro padrão referentes a 4 determinações por profundidade.

* E e ES (sem e com subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca); G e GS (sem e com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo; A_2 (sem susolagem) - preparo convencional e sucessão soja trigo com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja; (s) - sulcos de subsolagem; (es) entressulcos de subsolagem.

maior efetividade da prática no tratamento GS. Conforme é claramente notado na Figura 3, os valores de espaço aéreo na zona sulcada (s) do tratamento GS são superiores aos existentes no tratamento G em todas as profundidades, enquanto que diferenças não são notadas quando se faz a mesma comparação nos tratamentos E e ES.

4.3. Resistência do solo ao penetrômetro

A resistência oferecida pelo solo ao penetrômetro se correlaciona com a que é experimentada pelas raízes ao penetrar no solo e varia com o tipo de solo e com o tipo de manejo a que ele é submetido. Por ser influenciada pelos teores de umidade presentes no solo por ocasião da realização das determinações, a consideração desses teores é indispensável na análise de resultados. Embora não seja uma medida direta da compactação do solo, a resistência do solo ao penetrômetro é por esta afetada, o que a credencia como auxiliar na investigação de camadas compactadas, reforçando tendências fornecidas pela densidade do solo.

Os valores de resistência, obtidos nos tratamentos A_2, G e GS (Figura 4; Apêndice 5) apresentam pequena variação com a profundidade na faixa de 5 a 30 cm, indicando a inexistência de camadas compactadas no perfil analisado e reforçando as conclusões com base nos dados de densidade do solo. Já nos tratamentos E e ES observam-se valores mais elevados de resistência ao penetrômetro na camada de 10 a 15cm

em relação às demais profundidades (Figura 4). Ainda que esse comportamento possa estar sugerindo uma compactação dessa camada, tal hipótese é discutível tendo em vista que os dados de densidade do solo não a confirmam. A elevação observada deve ser basicamente creditada aos mais baixos teores de umidade presentes nessa camada de solo (Figura 5) como provável decorrência da grande concentração de raízes de aveia e ervilhaca, provocando altas taxas de consumo de água por transpiração.

Em experimentos também conduzidos em Latossolos do Planalto do Rio Grande do Sul, ainda que sob grau de alteração física diferente, D'AGOSTINI (1981) e DALLA ROSA (1981) avaliaram tratamentos iguais aos aqui utilizados e constataram valores mais altos de resistência ao penetrômetro próximos à profundidade de 15 cm, os quais foram associados com a presença de camadas compactadas. Os dados de DALLA ROSA (1981) vieram reforçar evidências de compactação reveladas pela degradação da estrutura e redução da taxa de infiltração de água na camada considerada.

As diferenças nos valores de resistência ao penetrômetro entre os tratamentos (Figura 4) devem ter sido preponderantemente determinadas pelas diferenças de umidade (Figura 5), embora a magnitude desse efeito não possa ser quantificada, dada a inexistência de uma curva de resposta. No entanto, é possível que resultem também de outros fatores que variaram entre os tratamentos, como grau e profundidade de preparo do solo, tráfego de máquinas, espécie

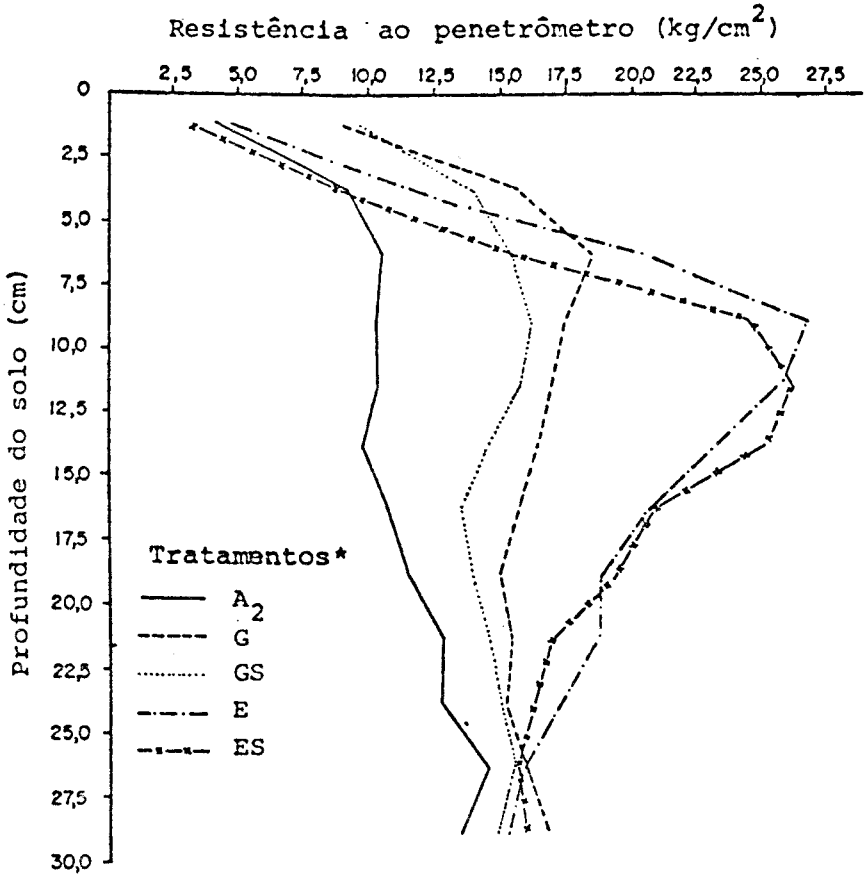


FIGURA 4. Resistência do solo ao penetrômetro em função dos tratamentos avaliados. Média de 64 determinações por profundidade.

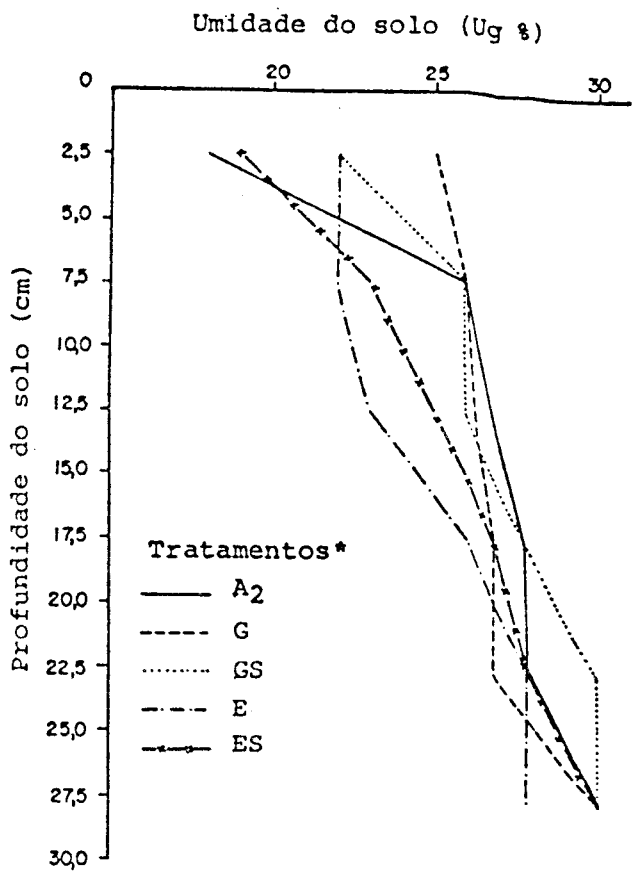


FIGURA 5. Umidade do solo em função dos tratamentos avaliados, por ocasião da determinação da resistência ao penetrômetro. Média de 6 determinações por profundidade.

* A_2 (sem subsolagem) - preparo convencional e sucessão soja-trigo com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja; G e GS (sem e com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo; E e ES (sem e com subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca).

vegetal e quantidade de resíduos retornada ao solo. Assim, por exemplo, o maior grau de preparo do solo no tratamento A_2 explicaria os mais baixos valores de resistência ao penetrômetro na camada de 0 a 17,5 cm em relação ao tratamento G (Apêndice 5). Tal possibilidade é viável quando se sabe que as operações de lavração atingiram a profundidade de aproximadamente 17,5 cm e se considera que a umidade do solo no momento das determinações não deve ter sido responsável por aquelas diferenças, desde que variou muito pouco entre os dois tratamentos.

A ausência de mobilização propiciando valores mais altos de resistência ao penetrômetro em relação aos tratamentos com maior grau de preparo parece ficar mais evidente na camada de 0 a 5 cm dos tratamentos G e GS, ainda que os teores de umidade nessa camada sejam mais elevados (Figura 5). Essa tendência tem sido constatada em outros trabalhos e explicada pela consolidação dos solos quando não mobilizados (CANNEL e FINNEY, 1973). Uma maior resistência do solo ao penetrômetro em solo sem preparo, em relação aos tratamentos em que foi mobilizado, foi encontrada por SOANE et alii (1975), sendo as maiores diferenças localizadas na camada de 0 a 5 cm.

Ainda que os teores de umidade no solo por ocasião das determinações sejam inferiores, os valores de resistência no tratamento A_2 em todas as profundidades também o são, quando comparados com os obtidos por DALLA ROSA (1981) em experimento semelhante. Isso estaria indicando a presença de

condições mais favoráveis à penetração de raízes no solo em que se encontra instalado o presente experimento. Apesar de visualmente não terem sido notadas evidências de impedimento mecânico, como entortamento de raízes, é possível conjecturar, com base nos valores de resistência e teores de umidade presentes principalmente nos tratamentos E, ES, G e GS, que limitações ao crescimento radicular possam ocorrer a teores mais baixos de umidade. Na camada de 10 a 15 cm dos tratamentos E e ES (Apêndice 5), a resistência ao penetrômetro, de aproximadamente 25 kg/cm^2 a 23% de umidade gravimétrica, é superior ao valor crítico encontrado por CINTRA (1980), de 18 kg/cm^2 com umidade do solo à capacidade de campo, acima do qual observou pequena penetração de raízes de tremoço, soja, trigo e colza em solo Erexim, em casa de vegetação.

As determinações de resistência do solo ao penetrômetro, procedidas nas trincheiras a cada 2,5 cm no sentido vertical e a cada 10 cm no sentido horizontal (Apêndices 6 a 15), objetivaram também a avaliação dos efeitos da subsolagem nos tratamentos ES e GS. Nos tratamentos, E, ES, G e GS, foi efetuado o cálculo do valor médio das determinações compreendidas nas faixas de profundidade de 5 a 17,5 e 17,5 a 30 cm. A partir desses dados que constam nos Apêndices 16 e 19, foram elaborados os gráficos apresentados nos Apêndices 17, 18, 20 e 21 de cuja análise é possível notar que, de um modo geral, a subsolagem não teve efeitos sensíveis no afrouxamento do solo nos tratamentos avaliados. Tal

tendência é mais evidente no tratamento ES, onde em nenhuma das trincheiras A e B são notadas zonas de baixa resistência que indiquem a presença de benefícios da prática. De todas as trincheiras avaliadas, o afrouxamento do solo aparece de forma mais clara apenas na trincheira A do tratamento GS (Apêndices 6 e 17), onde se nota uma zona com mais baixos valores de resistência ao penetrômetro entre os 60 e 90 cm a partir do lado esquerdo da trincheira. Esse comportamento não se repete, no entanto, na trincheira B deste tratamento, onde o volume de solo afrouxado ficou restrito à posição de 40 cm a partir do lado esquerdo da mesma, conforme mostra o Apêndice 16.

A exemplo dos dados de densidade do solo os dados de resistência do solo ao penetrômetro fornecem claras evidências do efeito localizado e da pequena efetividade da subsolagem. Condições como inadequação do tipo de sulcador, espaçamento excessivo, ausência de camada compactada e especialmente umidade inadequada no solo por ocasião da realização da prática, teriam contribuído em maior ou menor grau para o comportamento observado, conforme foi discutido no ítem 4.2.

4.4. Taxa de infiltração de água

Destacam-se as relativamente altas taxas de infiltração de água aos 120 minutos em todos os tratamentos (Tabela 1) quando comparadas com as obtidas em outros

trabalhos em Latossolos do Rio Grande do Sul. A menor taxa estimada de infiltração de água ao fim de 120 minutos, de 16,1 cm/h no tratamento A_2 (Figura 9), é bastante superior às encontradas por SILVA (1980), D'AGOSTINI (1981) e DALLA ROSA (1981), de respectivamente 0,8 cm/h, 2,5 cm/h e 4,8cm/h, em áreas também cultivadas convencionalmente com trigo e soja. Como a taxa de infiltração de água no solo é considerada um parâmetro adequado para avaliá-lo fisicamente, a presença de altas taxas em todos os tratamentos pode estar representando a existência de condições físicas favoráveis na área selecionada.

Nas Figuras 7, 8 e 9 são apresentadas as taxas estimadas de infiltração de água no solo nos tratamentos avaliados. Nos tratamentos E, G e A_2 as taxas estimadas aos 120 minutos são respectivamente 33,1 cm/h, 19,3 cm/h e 16,1 cm/h. Considerados os erros padrões dos valores médios experimentais (Tabela 1; Figura 6), a taxa observada no tratamento E é superior à do tratamento A_2, mas não difere da verificada no tratamento G em todos os tempos. A relativamente alta taxa de infiltração de água em E se dá em coerência com as favoráveis condições de agregação, densidade e espaço aéreo do solo, especialmente na camada de 3 a 8 cm nesse tratamento, e seria reflexo da existência de adequada quantidade de poros contínuos, estáveis e de maior tamanho. De acordo com HILLEL (1970) a capacidade de infiltração de água do solo depende, entre outros fatores, da estrutura especialmente na região superficial do solo. Avaliando tratamentos

TABELA 1. Taxa de infiltração de água (cm/h) em função dos tratamentos avaliados.

Tempo	Tratamentos*					
(min.)	E**	ES**	G**	GS***	A_2**	A_2S**
1	132,0 ± 6,0	90,0 ± 13,8	96,0 ± 19,3	123,0 ± 15,0	104,0 ± 13,1	114,0 ± 30,2
2	44,0 ± 13,1	43,0 ± 8,2	34,0 ± 19,7	30,0 ± 0,0	55,3 ± 8,8	42,0 ± 10,4
3	44,0 ± 10,6	36,0 ± 9,6	41,0 ± 22,3	30,0 ± 0,0	35,0 ± 2,6	48,0 ± 15,1
4	46,0 ± 11,1	32,0 ± 9,8	35,0 ± 20,1	27,0 ± 3,0	24,0 ± 3,5	28,0 ± 13,1
5	41,0 ± 10,1	32,0 ± 3,3	36,0 ± 19,3	33,0 ± 3,0	28,0 ± 5,3	33,0 ± 16,5
10	40,0 ± 9,5	38,2 ± 10,7	31,2 ± 17,5	27,0 ± 0,6	25,0 ± 1,2	34,2 ± 10,4
20	34,2 ± 9,7	33,4 ± 8,5	30,6 ± 16,9	28,8 ± 0,0	21,2 ± 2,1	32,4 ± 11,8
30	41,6 ± 11,2	31,6 ± 8,0	26,8 ± 17,2	27,0 ± 3,0	22,0 ± 1,4	32,8 ± 13,5
45	38,2 ± 9,6	29,4 ± 8,3	27,3 ± 15,0	30,3 ± 4,5	20,8 ± 1,8	30,4 ± 12,2
60	35,0 ± 8,2	28,8 ± 7,3	23,5 ± 12,1	30,9 ± 6,3	19,8 ± 1,9	29,2 ± 9,0
90	34,2 ± 8,9	20,8 ± 3,2	21,8 ± 11,0	24,3 ± 3,3	20,9 ± 1,9	25,8 ± 9,6
120	34,8 ± 8,7	25,2 ± 5,9	19,5 ± 9,2	22,8 ± 2,4	17,6 ± 1,2	27,4 ± 11,0

* E e ES (sem e com subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca); G e GS (sem e com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo; A_2 e A_2S (sem e com subsolagem) - preparo convencional e sucessão soja-trigo com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja;

** Média de 3 determinações e erro padrão;

*** Média de 2 determinações e erro padrão.

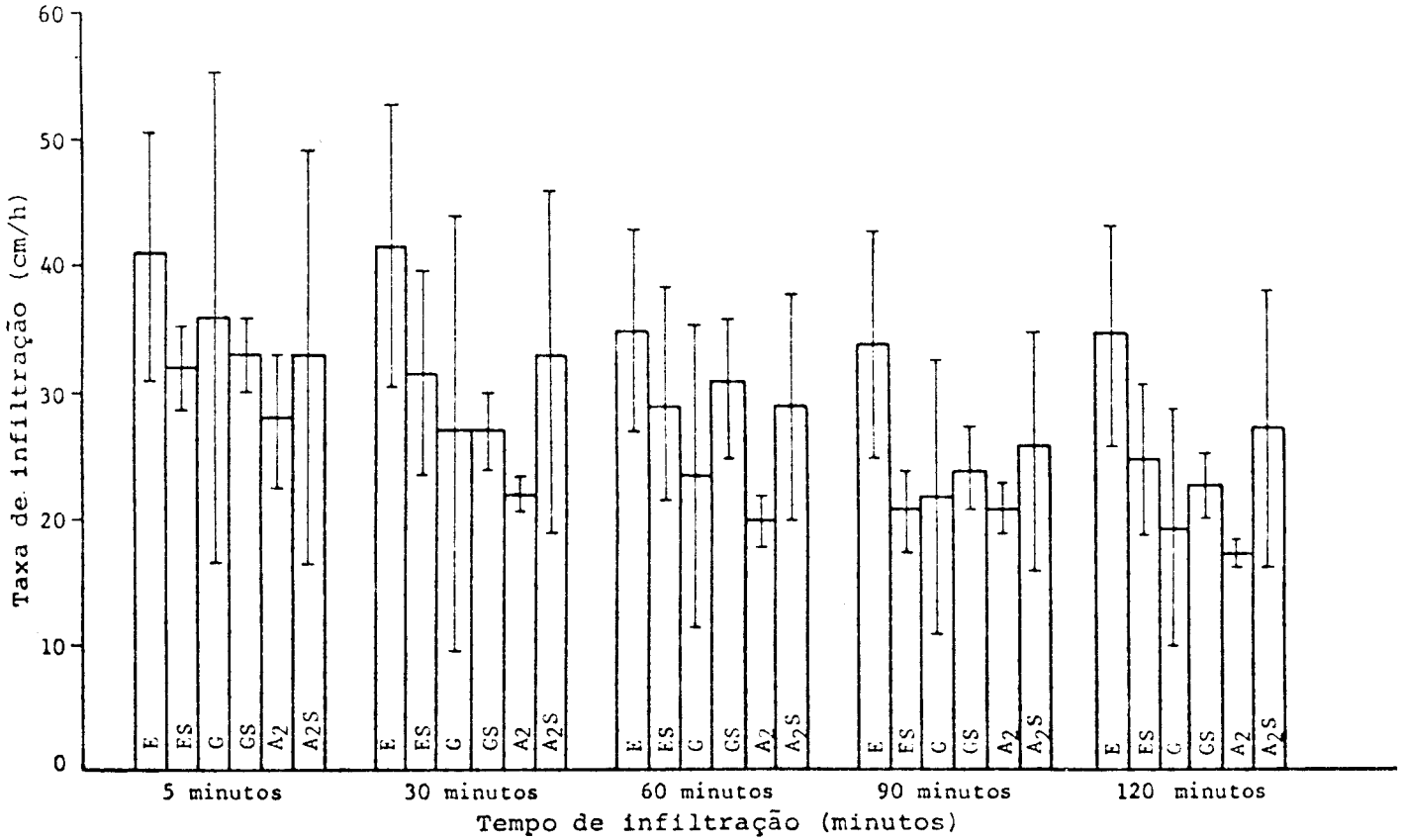


FIGURA 6. Taxa de infiltração de água em função dos tratamentos avaliados.
E e ES (sem e com subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca); G e GS (sem e com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo; A2 e A_2S (sem e com subsolagem) - preparo convencional e sucessão soja-trigo com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja.

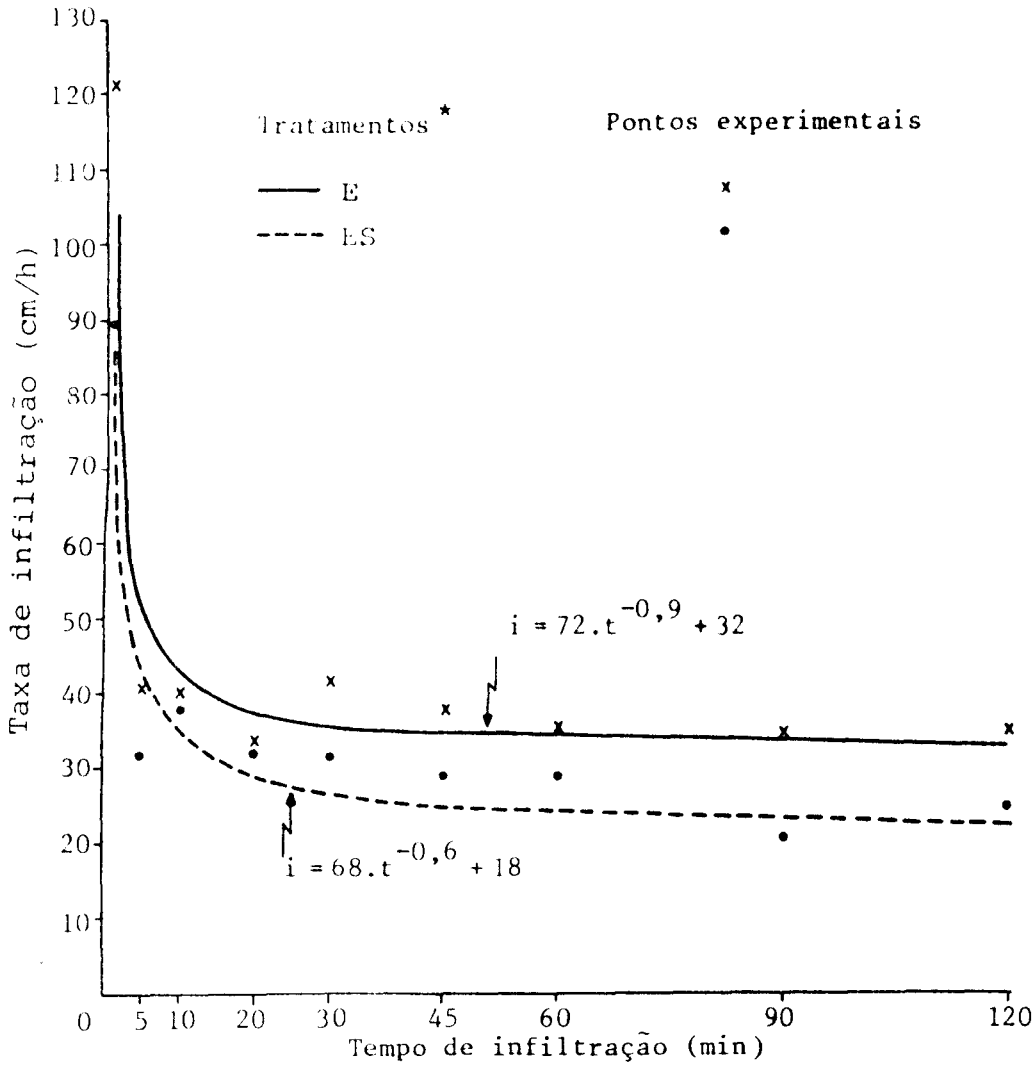


FIGURA 7. Taxa estimada de infiltração de água nos tratamentos E e ES.

* E e ES (sem e com subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca).

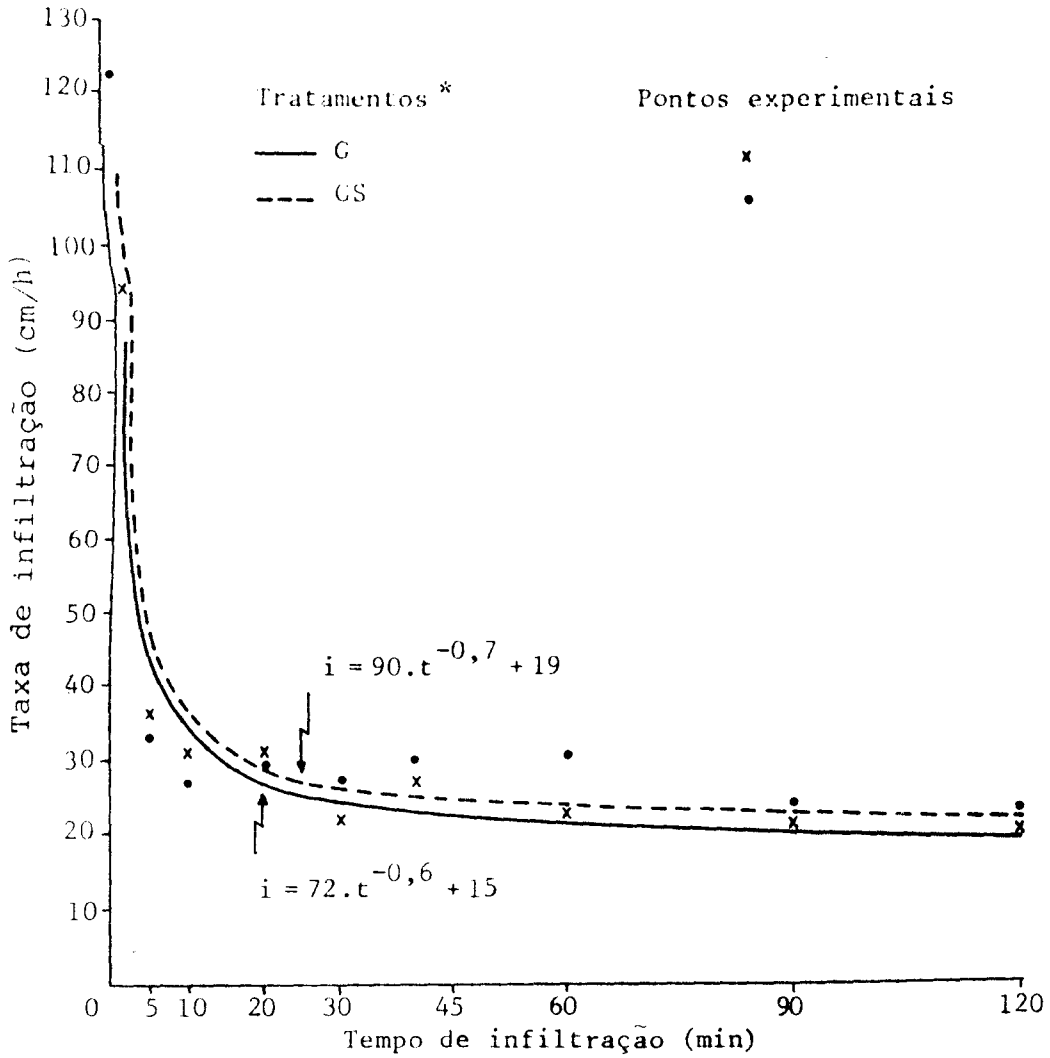


FIGURA 8. Taxa estimada de infiltracão de água nos tratamentos G e GS.

* G e GS (sem e com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo.

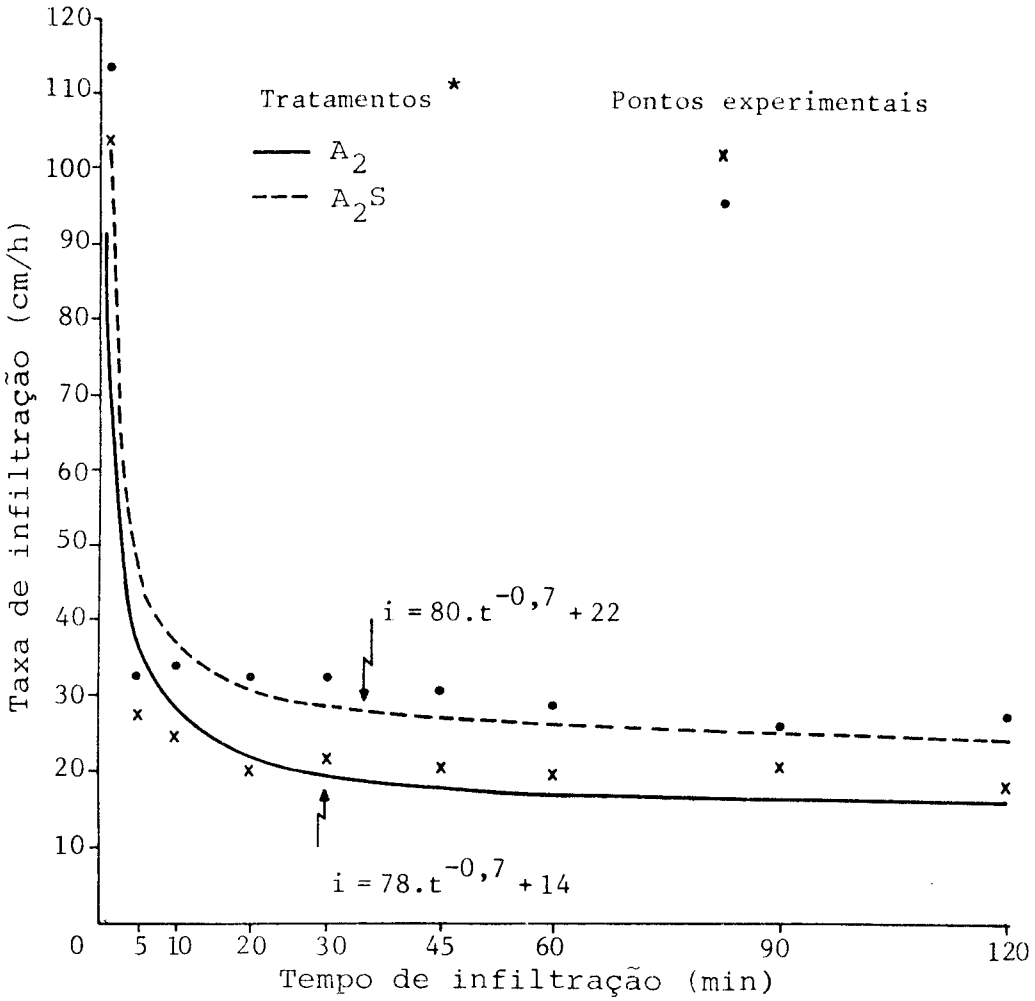


FIGURA 9. Taxa estimada de infiltração de água nos tratamentos A_2 e A_2S.

* A_2 e A_2S (sem e com subsolagem) - preparo convencional e sucessão soja-trigo com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja.

iguais, em experimento semelhante em solo Erexim, D'AGOSTINI (1981) obteve no tratamento sob forrageiras uma taxa de infiltração de água ao fim de 120 minutos de 13,0 cm/h, superior às de 4,0 cm/h e 2,5 cm/h dos tratamentos sem preparo e preparo convencional, ambos com soja e trigo. A maior taxa no solo sob forrageiras foi associada à maior estabilidade de agregados em água verificada nesse tratamento. As taxas estimadas de infiltração de água aos 120 minutos nos tratamentos ES, GS e A_2S (Figuras 7, 8 e 9) são respectivamente 22,0 cm/h, 21,5 cm/h e 24,4 cm/h. Tais taxas não representam aumentos em relação às observadas nos tratamentos sem subsolagem quando considerados os erros padrões dos valores médios (Figura 6). Esse fato é explicável tendo em vista que o afrouxamento do solo pela subsolagem, quando notado, foi bastante localizado e em geral restrito à largura do sulcador. Pode-se conjecturar que se ao invés de distribuidos aleatoriamente os testes tivessem sido localizados sobre a zona de solo sulcada, a taxa de infiltração de água possivelmente teria sido mais elevada e também detectado a maior permeabilidade dessa zona de solo, o que foi sugerido pelos dados de espaço aéreo e densidade do solo, principalmente no tratamento GS. Isso, no entanto, não estaria representando a taxa média de infiltração de água da área. Os dados obtidos na determinação 1 do tratamento GS que foi localizada sobre a zona de solo sulcada e interrompida aos 30 minutos com alta taxa de infiltração de água (Apêndice 23), revelam a alta permeabilidade dessa zona.

Como se constata na Tabela 1 e nas Figuras 7, 8 e 9 há uma tendência de estabilização da taxa de infiltração de água no tempo de aproximadamente 20 minutos em todos os tratamentos. Esse comportamento é em geral determinado pela presença de altos teores iniciais de água no solo ou pela ocorrência de camadas compactadas a pequena profundidade. Como a inexistência de camada compactada ficou sugerida pelos dados de densidade do solo, espaço aéreo a 0,06 bares de sucção matricial e resistência do solo ao penetrômetro, a relativamente rápida estabilização deve ser atribuída aos altos teores iniciais de água no solo (Apêndices 5 e 25), conferindo pequenos valores de potencial matricial desde o início do processo.

O fato de não terem sido detectadas maiores diferenças entre os tratamentos quanto a taxa de infiltração de água pode ser especialmente atribuído ao curto período de ação dos tratamentos. Além disso, uma avaliação mais exata dessa característica pode ter sido prejudicada por limitações inerentes ao método dos anéis concêntricos, como pequena área de solo abrangida e riscos de perturbação da superfície e de infiltração lateral de água.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos nas condições em que foi realizado o presente trabalho, permitem as seguinte conclusões:

a) as altas taxas de infiltração de água aos 120 minutos e a ausência de camada compactada indicada pelos dados de densidade do solo e resistência do solo ao penetrômetro nos tratamentos avaliados evidenciam um baixo grau de alteração física do solo da área experimental;

b) a estabilidade de agregados em água foi maior no tratamento preparo adequado e forrageiras do que no preparo convencional e soja-trigo e sem preparo e soja-trigo, até a profundidade de 22,5 cm;

c) o maior volume de raízes e resíduos e grau de mobilização do solo, provavelmente, concorreram para a menor densidade e maior espaço aéreo do solo na camada de 3 a 8 cm do tratamento preparo adequado e forrageiras sem subsolagem, em relação à camada de 13 a 18 cm do mesmo, e em relação à camada de 3 a 8 cm do sem preparo e soja-trigo sem subsolagem;

d) na camada de 3 a 8 cm do tratamento sem preparo e soja-trigo a resistência do solo ao penetrômetro foi maior e o espaço aéreo menor do que nos demais tratamentos sem

subsolagem. A densidade do solo foi maior do que no preparo adequado e forrageiras e não diferiu do preparo convencional e soja-trigo;

e) o afrouxamento do solo pela subsolagem,quando notado, ficou limitado à zona de solo sulcada, provavelmente devido ao elevado teor de umidade do solo quando da realização da prática;

f) a persistência dos efeitos da subsolagem foi maior no tratamento sem preparo e soja-trigo do que no preparo adequado e forrageiras;

g) a subsolagem não aumentou a taxa de infiltração de água;

h) dos tratamentos sem subsolagem a taxa de infiltração de água aos 120 minutos no preparo adequado e forrageiras foi superior à do preparo convencional e soja-trigo e não diferiu da taxa do sem preparo e soja-trigo. Entre os tratamentos com subsolagem não ocorreram diferenças.

Recomenda-se que:

a) sejam conduzidos estudos para determinar a persistência das condições físicas criadas por plantas com características recuperadoras a partir do uso mais intensivo do solo com culturas em linha, visando estabelecer a freqüência de retorno daquelas plantas em sistemas de rotação de culturas;

b) sejam conduzidos estudos para avaliar o desempenho de diferentes tipos de subsoladores e o espaçamento mais adequado entre sulcadores, objetivando a máxima eficiência

técnica e econômica da subsolagem;

c) seja investigado o efeito do grau de preparo do solo e intensidade de tráfego de máquinas após a realização da subsolagem, sobre a persistência dos efeitos da prática;

d) especialmente quando os efeitos da subsolagem forem localizados, a taxa de infiltração de água seja determinada por método que permita a cobertura de área suficientemente grande para abranger as variações existentes entre as zonas sulcada e não sulcada.

6. BIBLIOGRAFIA CITADA

AINA, P.O. 1979. Soil changes resulting from long-term management practices in Western Nigeria. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, *43*:173-7.

ALDERFER, R.B. & MERKLE, F.G. 1943. The comparative effects of surface applications vs. incorporation of various mulching materials on structure, permeability, runoff, and other soil properties. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *8*:79-86.

ANDERSON, J.C.; NEAL, O.R.; VOMOCIL, J.A.; BRILL, G.D. 1958. Effect of subsoiling and rotation on yields of corn. *Agronomy Journal*, Madison, *50*:603-4.

ARCHER, J.R. 1975. Soil consistency. In: SOIL physical conditions and crop productions. London, Ministry of Agriculture Fisheries and Food. p.289-97. (Technical Bulletin, 29).

BAEUMER, K. & BAKERMANS, W.A.P. 1973. Zero-tillage. *Advances in Agronomy*, New York, *25*:77-123.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. 1973. *Física de suelos*. México, Hispano-Americana. 529p.

BERTRAND, A.R. 1965. Rate of water intake in the field. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy. pt.1, cap.12, p.197-209.

BLAKE, G.R. 1965. Bulk density. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy. pt.1, cap. 29, p.374-90.

BLEWINGS, R.L.; COOK, D.; PHILLIPS, S.H.; PHILLIPS, R.E. 1971. Influence of no-tillage on soil moisture. *Agronomy Journal*, Madison, *63*:593-6.

BRASIL. Ministério da Agricultura. 1973. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Recife. 431p. (Boletim Técnico, 30).

CANNELL, R.Q. & FINNEY, J.R. 1973. Effects of direct drilling and reduced cultivation on soil conditions for root growth. *Outlook on Agriculture*, Birmingham, *7*:184-9.

CARREKER, J.R.; BERTRAND, A.R.; ELKING JR., C.B.; ADAMS, W.E. 1968. Effect of cropping systems on soil physical properties and irrigation requirements. *Agronomy Journal*, Madison, *60*:299-302.

CASSEL, D.K. 1979. Subsoiling. *Crops and Soils Magazine*, Madison, *32*:7-10.

CHEN, Y.; TARCHITZKY, J.; BROUWER, J.; MORIN, J.; BANIN, A. 1980. Scanning electron microscope observation on soil crusts and their formation. *Soil Science*, Baltimore, *130*:49-55.

CINTRA, F.L.D. 1980. *Caracterização do impedimento mecânico em Latossolos do Rio Grande do Sul.* 89f. Dissert. (Mestr. Agron. - Solos) Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 1980. |Não publicada|.

CORSINI, P.C. 1979. *Sistemas de cultivo;* efeitos na planta e no solo. Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. 19p.

D'AGOSTINI, L.R. 1981. *Recuperação física do solo por sistemas de cultivo.* 71p. Dissert. (Mestr. Agron. - Solos) Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 1981. |Não publicada|.

DALLA ROSA, A. 1981. *Práticas mecânicas e culturais para aumento da infiltração e retenção da água no solo Santo Ângelo (Latossolo Roxo Distrófico).* 138p. Dissert. (Mestr. Agron. - Solos) Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 1981.

DONAHUE, R.L. 1970. *Our soils and their management.* 3.ed. Danville, Interstate. 683p.

DONBY, C.W. & KOHNKE, H. 1956. The influence of soil crusts on gaseous diffusion. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *20*:1-5.

DULEY, F.L. 1939. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *4*:60-4.

ELTZ, F.L.F. 1977. *Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais;* I. Solo da unidade de mapeamento São Jerônimo - Primeira etapa experimental. 97p. Tese (Mestr. Agron. - Solos) Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 1977. |Não publicada|.

ELTZ, F.L.F.; SCOPEL. I.; CASSOL, E.A.; GUERRA, M. 1980. *Perdas por erosão em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais em solo Laterítico Bruno-avermelhado Distrófico (São Jerônimo).* I. Resultados dos primeiros cinco anos. 15f. Trabalho apresentado no 3º Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, Recife, 1980.

EPSTEIN, E. & GRANT, W.J. 1967. Soil losses and crust formation as related to some soil physical properties. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *31:* 547-50.

EPSTEIN, E. & GRANT, W.J. 1973. Soil crust formation as affected by raindrop impact. In: HADAS, A., ed. *Physical aspects of soil water and salts in ecosystems.* New York,Springer Verlag. p. 195-201.

FARIAS, G.S.: GUERRA, M.; SCOPEL, I.; CASSOL, E.A. 1980. *Caracterização da infiltração de água em um oxisol sob cultivo.* 9f. Trabalho apresentado no 3º Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, Recife, 1980.

FINNEY, J.R. & KNIGHT, B.A.G. 1973. The effect of soil physical conditions produced by various cultivation systems on the root development of winter wheat. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, *80*:435-42.

FORSYTHE, W. 1975. *Física de suelos;* manual de laboratorio, San José, IICA. 212p.

FREE, G.R.; LAMB JR., J.; CARLETON, E.A. 1947. Compactability of certains soils as related to organic matter and erosion. *Journal of the American Society of Agronomy*, Madison, *39*:1068-76.

GISH, R.E. & BROWNING, G.M. 1948. Factors affecting the stability of soil aggregates. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *12*:51-5.

HARRIS, R.F.; CHESTER, G.; ALLEN, O.N. 1966. Dynamics of soil aggregation. *Advances in Agronomy*, New York, *18*:107-69.

HILLEL, D. 1970. *Solo e água:* fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre, Ed. Emma, 231p.

JAMISON, V.C.; WEAVER, H.A.; REED, I.F. 1950. The distribution of tractor tire compaction effects in Cecil clay. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *15*:34-7.

KEMPER, B. & DERPSCH, R. 1979. *Estudos sobre susceptibilidade dos solos à erosão e métodos de proteção do solo no Estado do Paraná.* 17f. Trabalho apresentado no 17º Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, Manaus, 1979.

KEMPER, W.D. 1965. Aggregate stability. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis.* Madison, American Society of Agronomy. pt. 1, cap.40, p.511-19.

KIEHL, E.J. 1979. *Manual de edafologia*: relações solo-planta. São Paulo, Ceres. 262p.

KOHNKE, H. & BERTRAND, A.R. 1959. *Soil conservation.* New York, McGraw-Hill. 298p.

LAL, R. 1975. *Role of mulching techniques in tropical soil and water management.* Ibadan, International Institute of Tropical Agriculture. 38p.

LARSON, W.E. 1964. Soil parameters for evaluating tillage needs and operations. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *28*:118-22.

MACHADO, J.A. & BRUM, A.C.R. 1978. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, *2*:81-4.

MANNERING, J.V.; JOHNSON, L.C.; MEYER, L.D.; JONES, B.A. 1964. The erosion-control effectiveness of rotation meadows. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, *19*:91-5.

MANNERING, J.V.; MEYER, L.D.; JOHNSON, C.B. 1966. Infiltration and erosion as affected by minimum tillage for corn (*Zea mays* L.). *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *30*:101-5.

_____. 1968. Effect of cropping intensity on erosion and infiltration. *Agronomy Journal*, Madison, *60*:206-9.

McINTIRE, D.S. 1958. Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact. *Soil Science*, Baltimore, *85*:185-9.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; BOHNEN, H. 1969. *Recomendações de adubo e calcário para os solos do Rio Grande do Sul.* Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia e Veterinária, 40p. (Boletim Técnico, 2).

NEAL, O.R. 1953. Soil management for conservation and productivity. *Advances in Agronomy*, New York, *5*:383-406.

PARR, J.F. & PAPENDICK, R.I. 1978. Factors affecting the decomposition of crop residues by microorganisms. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY, Madison. *Crop residue management systems*. Madison. p. 101-29. (ASA Special Publication, 31).

PÖTTKER, D. 1977. *Efeito do tipo de solo, tempo de cultivo e da calagem sobre a mineralização da matéria orgânica em solos do Rio Grande do Sul*. 128p. Tese (Mestr. Agron. - Solos) Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 1977. |Não publicada|.

RANNEY, W.A.; EDMINSTER, T.W.; ALLAWAY, W.H. 1955. Current status of research in soil compaction. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *20*:423-8.

RUSSEL, R.S.; CANNEL, R.Q.; GOSS, M.J. 1975. Effects of direct drilling on soil conditions and root growth. *Outlook on Agriculture*, Birminghan, *8*:227-2.

SILVA, I.F. 1980. *Efeitos de sistemas de manejo e tempo de cultivo sobre propriedades físicas de um Latossolo*. 70f. Dissert. (Mestr. Agron. - Solos) Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 1980. |Não publicada|.

SOANE, B.D. 1975. Studies on some soil physical properties in relation to cultivations and traffic. In: SOIL physical conditions and crop productions. London, Ministry of Agriculture Fisheries and Food. p. 160-82. (Technical Bulletin, 29).

SOANE, B.D.; BUTSON, M.J.; PIDGEON, J.D. 1975. Soil/machine interactions in zero-tillage for cereal and raspberries in Scotland. *Outlook on Agriculture*, Birminghan, *8*:221-6.

SOANE, B.D.; CAMPBELL, D.J.; HERKES, S.M. 1972. The characterization of some Scottish arable topsoils by agricultural and engineering methods. *Journal of Soil Science*, London, *23*:93-104.

SWAIN, R.W. 1975. Subsoiling. In: SOIL physical conditions and crop productions. London, Ministry of Agriculture Fisheries and Food. p. 189-204. (Technical Bulletin, 29).

TACKETT, J.L. & PEARSON, R.W. 1964. Oxygen requirements of cotton seedling roots for penetration of compacted soil cores. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *28*:600-5.

TANCHANDRPHONGS, S. & DAVIDSON, J.M. 1970. Bulk density, aggregate stability and organic matter content as influenced by two wheatland soil management practices. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *34*: 302-5.

TAYLOR, J.C. & BELTRAME, L.F.S. 1980. Por que, quando e como utilizar a subsolagem. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, *33*:34-44.

TRIPLETT JR., G.B.; VAN DOREN JR., D.M.; SCHMIDT, B.L. 1968. Effect of corn (*Zea mays* L.) stover mulch on no-tillage corn yield and water infiltration. *Agronomy Journal*, Madison, *60*:236-9.

UHLAND, R.E. 1949. Physical properties of soils as modified by crops and management. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *14*:361-6.

VAN BAVEL, C.H.M. 1949. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *14*:20-3.

VAN BAVEL, C.H.M. & SCHALLER, F.W. 1950. Soil aggregation, organic matter, and yields in a long-time experiment as affected by crop management. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, *15*:399-404.

VAN DOREN JR., D.M. & ALLMARAS, R.R. 1978. Effect of residue management practices on the soil physical environment, microclimate, and plant growth. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY, Madison. *Crop residue management systems*. Madison. p. 49-83. (ASA Special Publication, 31).

WOORHEES, W.B. 1976. Soil compaction. In: USDA. Agricultural Research Service. *Research progress and needs in conservation tillage*. Council Bluffs. p.43-51.

_____. 1977. Soil compaction; our newest natural resource. *Crops and Soils Magazine*, Madison, *29*:13-8.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Descrição morfológica e características químicas e físicas do perfil modal do solo da unidade de mapeamento Erexim.

a) Descrição morfológica:

Classificação: Latosol Roxo Distrófico álico textura argilosa (Haplortox).

Localização: Município de Erexim, estrada Erexim-Gaurama, a 2 km da cidade de Erexim.

Situação: Corte de estrada, topo de uma elevação com 14% de declive.

Altitude: 680 metros.

Relevo: Ondulado, apresentando as elevações vertentes convexas em dezenas de metros.

Material de origem: Eruptivas básicas.

Cobertura vegetal: Pastagem, com presença de araucárias.

Drenagem: Bem drenado.

A_1 0-15 cm; bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/3, úmido), bruno-avermelhado escuro (2,5 R 3/3, úmido amassado), bruno-avermelhado escuro (5 YR 3/3, seco), bruno-avermelhado escuro (5 YR 3/4, seco triturado); argila pesada; fraca pequena e média granulada; poroso; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso pouco trabalhado, tornando-se pegajoso quando muito trabalhado; transição difusa e plana; raízes comuns.

Observação: atividade biológica motivada principalmente por termitas.

A_3 15-60 cm; bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido), vermelho escuro (2,5 YR 3/5, úmido amassado),

bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, seco), vermelho escuro (2,5 YR 3/5, seco triturado); argila pesada; fraca, média e grande blocos subangulares com aspecto de maciça pouco coerente; pouco poroso; ligeiramente duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso quando pouco trabalhado tornando-se pegajoso quando muito trabalhado; transição difusa e plana; raízes raras.

Observação: com 60 aumentos observam-se "coatings" na massa do solo.

B_1 60-90 cm; vermelho escuro (2,5 YR 3/5, úmido), vermelho escuro (2,5 YR 3/5, úmido amassado); argila pesada; fraca pequena e média blocos subangulares com aspecto de maciça pouco coerente; poroso; duro friável, plástico e ligeiramente pegajoso quando pouco trabalhado tornando-se pegajoso quando muito trabalhado; transição difusa e plana; raízes ausentes.

Observação: além de "coatings" observados a olho desarmado, notamos, com 60 aumentos, "coatings" na massa do solo.

B_{21} 90-150 cm; vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido), vermelho escuro (2,5 YR 3/5, úmido amassado); argila pesada; fraca pequena e média blocos subangulares com aspecto de maciça pouco coerente; poroso; cerosidade fraca e pouca; duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso quando pouco trabalhado, tornando-se pegajoso quando muito trabalhado; transição difusa e plana; raízes ausentes.

Observação: com 60 aumentos observam-se "coatings" na massa do solo.

B_{22} 150 cm; vermelho escuro (2.5 YR 3/6, úmido), vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido amassado); argila pesada; fraca pequena e média blocos subangulares com aspecto de maciça pouco coerente; poroso; cerosisidade fraca e pouca; duro, friável; plástico e ligeiramente pegajoso quando pouco trabalhado, tornando-se pegajoso quando muito trabalhado; raízes ausentes.

Observação: Com 60 aumentos observam-se "coatings" na massa do solo.

b) Características químicas e físicas

Horizonte	Profundidade (cm)	Químicas					Físicas					
		pH		Al^{+++}	H^{+}	T(Soma)	Composição granulométrica(%)			Argila Natural (%)	Grau de Floculação (%)	Equivalente de umidade (%)
		Água	KCl	------	mE/100 g	------	Areia	Silte	Argila			
A_1	0- 15	4,5	3,8	5,7	8,3	14,6	3	23	74	41	44	34
A_3	15- 60	4,6	3,9	5,1	7,2	12,8	1	19	80	32	60	37
B_1	60- 90	4,7	4,0	4,1	4,6	9,1	1	16	83	0	100	39
B_{21}	90-150	4,9	4,0	3,1	5,6	9,0	1	17	82	0	100	41
B_{22}	150	5,5	4,1	5,9	1,1	7,5	1	16	82	0	100	40

APÊNDICE 2. Estabilidade de agregados em água, expressa em diâmetro médio ponderado (DMP)*, em função da profundidade do solo e dos tratamentos avaliados (sem subsolagem).

Profundidade solo (cm)	Tratamentos**		
	E	A_2	G
	DMP (mm)		
0 - 7,5	5,83 ± 0,12	4,63 ± 0,19	4,23 ± 0,19
7,5 - 15,0	5,06 ± 0,23	4,09 ± 0,20	3,62 ± 0,33
15,0 - 22,5	4,10 ± 0,15	3,61 ± 0,13	3,51 ± 0,20
22,5 - 30,0	3,45 ± 0,16	3,39 ± 0,22	3,00 ± 0,30

* média e erro padrão referentes a 8 determinações por profundidade.

** E - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca);
A_2 - preparo convencional e sucessão soja-trigo, com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja;
G - sem preparo e sucessão soja-trigo.

APÊNDICE 3. Densidade do solo (g/cm^3)* em função da profundidade e dos tratamentos avaliados.

Profundidade do solo (cm)	Tratamentos**						
	Sem subsolagem			Com subsolagem			
	E	G	A_2	ES(s)	ES(es)	GS(s)	GS(es)
3 - 8	1,20±0,02	1,39±0,03	1,26±0,07	1,10±0,03	1,26±0,06	0,99±0,01	1,30±0,03
13 - 18	1,36±0,05	1,43±0,02	1,36±0,03	1,30±0,02	1,31±0,03	1,22±0,03	1,32±0,03
23 - 28	1,25±0,04	1,38±0,03	1,32±0,02	1,24±0,07	1,26±0,03	1,20±0,02	1,32±0,01

* Média e erro padrão referentes a 4 determinações por profundidade;

** E e ES (sem e com subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca); G e GS (sem e com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo; A_2 (sem subsolagem) - preparo convencional e sucessão soja-trigo, com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja. (s) - sulcos de subsolagem; (es) - entressulcos de subsolagem.

APÊNDICE 4. Espaço aéreo do solo a 0,06 bares de sucção matricial (%)* em função da profundidade do solo e dos tratamentos avaliados.

Profundidade do solo (cm)	Tratamentos**						
	Sem subsolagem			Com subsolagem			
	E	G	A_2	ES(s)	ES(es)	GS(s)	GS(es)
3 - 8	32,04 ± 1,39	15,83 ± 2,17	24,37 ± 2,21	29,46 ± 0,60	32,99 ± 1,81	31,40 ± 4,52	31,52 ± 5,38
13 - 18	15,30 ± 4,17	10,66 ± 2,15	18,87 ± 2,33	11,37 ± 0,90	11,26 ± 1,37	23,31 ± 4,41	15,12 ± 2,19
23 - 28	15,01 ± 2,30	11,26 ± 1,53	14,21 ± 3,81	14,39 ± 1,91	12,87 ± 2,32	20,50 ± 2,53	14,89 ± 1,27

* Média e êrro padrão referentes a 4 determinações por profundidade;

** E e ES (sem e com subsolagem) - preparo adequado a forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca); G e GS (sem e com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo; A_2 (sem subsolagem) - preparo convencional e sucessão soja-trigo, com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja.
(s) - sulcos de subsolagem; (es) - entressulcos de subsolagem.

APÊNDICE 5. Resistência do solo ao penetrômetro* e umidade gravimétrica do solo** em função da profundidade do solo e dos tratamentos avaliados.

Profundidade do solo (cm)	Tratamentos***									
	A_2		G		E		GS		ES	
	Rp (kg/cm^2)	Ug (%)	Rp (kg/cm^2)	Ug (%)	Rp (kg/cm^2)	Ug (%)	Rp (kg/cm^2)	Ug (%)	Rp (kg/cm^2)	Ug (%)
0 - 2,5	4,2±1,1		9,1±0,9		4,8±0,6		9,5±1,3		3,2±0,5	
2,5- 5,0	9,4±1,2	18	15,0±1,0	25	11,8±1,4	22	13,9±1,5	22	9,0±0,8	19
5,0- 7,5	10,6±0,9		18,6±0,9		20,6±2,0		15,2±1,3		15,4±1,1	
7,5-10,0	10,3±0,6	26	17,6±0,9	26	26,9±1,8	22	16,2±1,1	26	24,4±2,3	23
10,0-12,5	10,4±0,6		17,2±0,6		26,1±1,6		15,9±0,9		26,2±2,1	
12,5-15,0	9,8±0,6	27	16,5±0,6	26	23,3±1,4	23	14,5±0,8	26	25,2±1,7	25
15,0-17,5	10,7±0,7		15,8±0,7		20,6±1,2		13,4±0,6		20,7±0,8	
17,5-20,0	11,6±0,7	28	14,8±0,6	27	19,0±0,8	26	13,9±0,6	26	19,4±0,8	27
20,0-22,5	12,8±0,7		15,4±0,6		18,2±0,8		14,6±0,7		17,0±0,8	
22,5-25,0	12,8±0,7	28	15,2±0,7	27	17,5±0,8	28	15,0±0,7	30	16,2±0,7	28
25,0-27,5	14,6±0,5		16,8±0,7		15,8±0,6		15,6±0,6		15,8±0,4	
27,5-30,0	13,6±0,6	30	16,9±0,7	30	15,0±0,6	28	14,6±0,5	30	16,0±0,7	30

* Média de 64 determinações por profundidade e erro padrão;
** Média de 6 determinações por profundidade;
*** A_2 (sem subsolagem) - preparo convencional e sucessão soja-trigo, com queima de resíduos de trigo e incorporação dos de soja; G e GS (sem e com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo; E e ES (sem e com subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca).

APÊNDICE 6. Resistência do solo ao penetrômetro na trincheira A do tratamento GS*, aberta transversalmente às linhas de cultivo (kg/cm^2)**.

Profundidade(cm)	Distância horizontal na trincheira (cm)																Média***	Erro padrão
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150		
0 2,5	5,3	7,2	12,5	21,1	17,3	6,7	2,9	4,8	6,0	4,3	4,3	3,6	2,4	3,6	9,1	13,2	7,8	1,4
2,5- 5,0	24,0	11,5	12,0	22,1	22,1	10,8	3,6	6,0	5,3	5,3	5,3	6,7	7,7	8,4	19,7	13,9	11,5	1,7
5,0- 7,5	17,3	21,1	20,4	22,1	18,7	23,5	6,7	5,3	4,8	5,3	13,2	8,4	10,8	14,9	21,6	14,9	14,3	1,7
7,5-10,0	16,3	20,4	24,0	32,4	16,8	18,7	13,2	4,3	7,7	6,7	12,5	12,0	10,8	14,4	22,8	18,7	15,7	1,8
10,0-12,5	19,2	22,1	20,4	21,1	12,0	18,0	13,2	6,0	6,0	8,4	11,5	13,2	10,1	16,3	21,6	17,3	14,8	1,4
12,5-15,0	19,2	17,3	16,3	16,8	13,9	14,9	9,1	2,4	7,7	8,4	11,5	14,9	10,1	16,8	22,8	12,5	13,5	1,3
15,0-17,5	14,4	15,6	16,3	17,3	18,0	10,8	8,4	5,3	6,7	10,8	11,5	11,5	11,5	12,0	19,2	12,5	12,6	1,0
17,5-20,0	10,0	10,1	21,6	18,0	18,0	10,8	14,4	4,8	6,0	10,8	19,2	14,9	14,9	13,9	15,6	12,0	13,4	1,2
20,0-22,5	16,3	16,8	16,8	19,2	14,9	16,8	10,8	6,0	7,7	12,5	19,2	16,8	11,5	19,2	13,2	14,9	14,5	1,0
22,5-25,0	16,8	1,68	18,0	14,9	19,2	14,9	17,3	6,7	4,3	11,5	18,0	16,3	11,5	16,8	12,0	12,5	14,2	1,0
25,0-27,5	16,8	16,8	17,3	14,9	13,2	16,3	15,6	7,7	6,0	12,5	18,0	16,8	14,4	13,2	12,5	12,0	14,0	0,8
27,5-30,0	14,4	16,8	15,6	19,7	18,7	12,5	16,8	12,0	7,7	10,1	15,6	14,4	13,9	12,5	11,5	10,8	13,4	1,1

* GS (com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo;
** Cada valor é média de 2 determinações;
*** Média e erro padrão referentes a 32 determinações por profundidade.

APÊNDICE 7. Resistência do solo ao penetrômetro na trincheira B do tratamento GS*, aberta transversalmente às linhas de cultivo (kg/cm^2)**.

Profundidade (cm)	Distância horizontal na trincheira (cm)																Média***	Erro padrão
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150		
0 - 2,5	27,6	24,0	14,4	2,4	1,9	4,3	2,4	4,8	7,2	10,8	19,7	19,2	2,1	14,4	17,3	7,2	11,2	2,1
2,5- 5,0	33,6	22,1	25,9	4,3	2,9	7,2	2,9	7,2	11,5	12,0	21,1	18,7	24,0	21,1	24,0	22,8	16,3	2,4
5,0- 7,5	21,6	28,8	28,3	14,4	4,3	14,4	4,8	13,2	6,0	14,9	25,9	19,2	14,9	22,8	21,1	11,5	16,6	2,2
7,5-10,0	22,8	21,6	23,5	15,6	9,1	15,6	17,3	15,6	14,9	14,4	16,8	18,7	14,9	18,0	17,3	12,0	16,8	0,9
10,0-12,5	19,7	22,1	21,1	15,6	9,6	17,3	18,0	14,9	9,6	15,6	23,5	15,6	18,0	18,0	21,1	12,5	17,0	1,0
12,5-15,0	16,3	19,2	18,0	17,3	7,7	13,2	15,6	10,1	15,6	13,9	20,4	14,4	15,6	16,3	21,6	12,5	15,5	0,9
15,0-17,5	14,4	14,4	18,7	16,8	8,4	8,4	16,3	9,6	13,9	12,5	18,0	14,4	15,6	18,7	14,9	14,4	14,3	0,8
17,5-20,0	13,9	16,3	16,8	14,9	10,1	13,2	18,0	11,5	12,5	16,3	17,3	12,0	16,8	16,3	12,5	12,0	14,4	0,6
20,0-22,5	14,4	16,3	15,6	17,3	9,1	13,9	18,0	22,8	7,2	16,3	9,1	14,4	15,8	16,3	14,9	14,9	14,8	0,9
22,5-25,0	17,3	19,2	18,0	14,4	17,3	18,7	17,3	21,6	6,0	15,6	14,4	16,3	16,8	13,9	13,2	12,5	15,8	0,9
25,0-27,5	18,0	16,8	18,0	15,6	19,2	19,7	16,8	19,7	14,4	16,3	21,1	19,2	21,6	13,2	12,5	14,4	17,3	0,7
27,5-30,0	14,9	11,5	16,8	17,3	15,6	16,8	16,8	18,0	20,4	18,0	18,0	17,3	14,9	10,8	13,9	12,5	15,8	0,6

* GS (com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo;
** Cada valor é média de 2 determinações;
*** Média e êrro padrão referentes a 32 determinações por profundidade.

APÊNDICE 8. Resistência do solo ao penetrômetro na trincheira A do tratamento G*, aberta transversalmente às linhas de cultivo (kg/cm^2)**.

Profundidade (cm)	Distância horizontal na trincheira (cm)																Média***	Erro padrão
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150		
0 - 2,5	17,4	13,2	14,4	4,2	10,8	12,0	14,4	11,4	9,0	5,4	7,2	13,2	4,2	16,2	9,6	12,6	11,0	1,0
2,5- 5,0	16,2	18,0	12,0	12,6	11,4	13,8	15,6	19,8	28,8	24,6	16,8	22,2	12,0	14,4	12,0	14,4	15,2	1,5
5,0- 7,5	15,6	19,8	14,4	12,0	12,0	18,6	16,2	21,0	28,8	24,0	26,4	20,4	21,6	18,0	16,8	13,2	18,7	1,2
7,5-10,0	16,2	18,0	13,2	17,4	16,8	18,6	18,0	21,6	26,4	4,8	24,0	18,6	18,6	18,0	15,0	16,2	17,6	1,2
10,0-12,5	14,4	20,4	13,2	15,0	16,8	16,2	18,0	21,0	21,6	15,6	20,4	21,6	16,8	19,2	18,6	16,8	17,8	0,7
12,5-15,0	16,2	18,0	11,4	16,2	17,4	14,4	16,8	21,0	25,8	18,0	22,2	20,4	19,2	18,6	18,6	18,6	18,3	0,8
15,0-17,5	10,8	16,8	13,8	17,4	17,4	15,0	15,0	25,8	22,2	20,4	19,2	17,4	12,6	16,2	17,4	21,6	17,4	1,0
17,5-20,0	12,0	15,0	11,4	17,4	13,2	12,0	16,8	19,8	18,6	18,0	17,4	16,8	12,0	18,0	21,6	17,4	15,5	1,2
20,0-22,5	12,0	14,4	12,6	22,8	9,6	13,2	15,0	22,2	16,8	15,6	14,4	18,6	14,4	19,2	16,2	18,0	15,9	0,9
22,5-25,0	12,0	11,4	13,2	20,4	13,8	12,0	14,4	13,8	21,0	22,2	12,6	19,2	12,6	24,0	18,0	15,6	16,0	1,0
25,0-27,5	14,4	10,2	14,4	12,6	10,2	19,8	19,8	19,2	19,8	20,4	16,8	24,6	19,2	20,4	18,6	18,0	17,4	1,0
27,5-30,0	15,6	9,6	16,8	19,2	11,4	12,6	20,4	18,0	20,4	18,6	17,4	21,6	25,2	18,6	16,2	16,8	17,4	1,0

* G (sem subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo;
** Cada valor é média de 2 determinações;
*** Média e êrro padrão referentes a 32 determinações por profundidade.

APÊNDICE 9. Resistência do solo ao penetrômetro na trincheira B do tratamento G*, aberta transversalmente às linhas de cultivo (kg/cm^2)**.

Profundidade (cm)	Distância horizontal na trincheira (cm)																Média ***	Erro padrão
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150		
0 - 2,5	16,8	13,8	9,0	3,0	4,8	1,8	5,4	4,2	1,2	2,4	9,6	16,2	7,8	1,8	14,4	2,4	7,2	1,4
2,5- 5,0	12,6	12,0	13,8	14,4	12,0	5,4	15,6	13,8	14,4	16,2	30,0	24,6	22,2	4,8	16,8	9,0	14,8	1,6
5,0- 7,5	10,8	13,8	16,8	18,6	13,8	9,6	17,4	19,2	21,0	21,0	28,8	18,0	22,2	16,8	29,4	19,2	18,5	1,3
7,5-10,0	13,2	13,2	16,2	18,6	8,4	10,8	18,6	18,0	21,6	18,0	24,0	19,2	24,0	19,2	17,4	22,8	17,7	1,1
10,0-12,5	16,8	13,2	16,2	19,8	13,2	9,6	21,6	18,0	18,6	16,2	16,8	16,8	14,4	18,0	13,8	21,6	16,5	0,8
12,5-15,0	10,2	12,0	15,0	16,8	16,2	7,8	18,0	18,6	16,8	16,2	19,8	14,4	12,6	15,0	12,0	13,8	14,7	0,8
15,0-17,5	10,8	15,0	14,4	13,8	14,4	8,4	19,8	14,4	18,6	11,4	21,0	12,6	11,4	13,8	9,0	16,2	14,1	0,9
17,5-20,0	16,8	13,2	13,8	16,8	17,4	12,0	17,4	19,2	15,6	12,0	18,6	10,2	9,6	10,8	9,0	14,4	14,2	0,9
20,0-22,5	16,2	14,4	16,8	16,8	15,6	13,8	17,4	21,0	14,4	12,0	19,8	14,4	8,4	10,2	12,6	13,2	14,8	0,8
22,5-25,0	13,8	16,8	13,8	18,0	15,0	12,0	20,4	15,6	8,4	9,6	18,6	14,4	12,0	13,2	15,6	12,0	14,3	0,8
25,0-27,5	13,2	15,6	13,2	17,4	16,8	18,0	25,8	17,4	8,4	12,6	19,8	16,2	16,2	15,0	13,8	18,6	16,1	1,0
27,5-30,0	15,6	13,8	21,6	19,2	13,8	15,6	25,8	20,4	14,4	14,4	19,8	15,6	12,0	12,0	10,8	18,0	16,4	1,0

* G (sem subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo;
** Cada valor é média de 2 determinações;
*** Média e êrro padrão referentes a 32 determinações por profundidade.

APÊNDICE 10. Resistência do solo ao penetrômetro na trincheira A do tratamento ES*, aberta transversalmente às linhas de cultivo (kg/cm^2)**.

Profundidade (cm)	Distância horizontal na trincheira (cm)																Média***	Erro padrão
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150		
0 - 2,5	1,2	0,0	5,3	1,2	1,2	1,9	1,2	1,2	2,9	1,9	1,2	1,2	3,6	1,2	2,9	2,4	1,9	0,3
2,5- 5,0	2,4	3,6	6,0	5,3	3,6	4,8	15,6	6,0	8,4	9,6	12,0	16,3	12,0	4,3	9,1	16,3	8,4	1,2
5,0- 7,5	6,7	13,9	14,4	12,0	11,5	12,0	18,7	13,9	18,0	15,6	18,7	25,9	18,7	10,8	14,4	4,3	14,3	1,3
7,5-10,0	10,1	16,8	16,8	21,6	24,5	12,5	24,0	15,6	16,8	24,5	26,4	25,9	24,0	34,8	31,2	35,5	22,6	1,9
10,0-12,5	13,9	20,4	19,2	19,2	19,7	20,4	30,0	27,6	24,5	20,4	21,1	24,0	25,9	28,8	21,1	34,8	23,2	1,3
12,5-15,0	16,8	20,4	15,6	18,0	19,7	26,9	27,6	19,7	22,1	20,4	27,6	19,2	27,6	25,2	24,0	31,7	22,6	1,2
15,0-17,5	16,8	18,7	16,3	16,1	18,0	26,4	22,8	19,2	17,3	16,3	24,0	20,4	25,9	16,8	21,1	26,4	20,2	0,9
17,5-20,0	20,4	19,2	20,4	21,1	19,2	21,1	19,2	19,7	16,8	20,4	19,2	20,4	24,5	19,2	14,9	20,4	19,8	0,5
20,0-22,5	14,4	12,5	20,4	18,5	17,3	17,3	25,2	13,9	13,2	15,6	19,2	24,5	18,0	23,5	18,0	20,4	18,2	1,0
22,5-25,0	14,4	16,8	20,4	18,0	9,1	16,8	24,5	15,6	9,6	14,9	15,6	17,3	19,2	18,0	18,0	13,2	16,3	1,0
25,0-27,5	13,2	16,8	21,6	17,3	9,1	19,7	16,8	13,9	16,3	11,5	19,2	18,7	15,6	17,3	18,0	16,3	16,3	0,8
27,5-30,0	13,2	18,7	22,8	17,3	14,4	16,3	18,7	14,9	13,9	13,9	19,2	13,2	14,4	19,2	21,1	13,2	16,5	0,8

* ES (com subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca);
** Cada valor é média de 2 determinações;
*** Média e êrro padrão referentes a 32 determinações por profundidade.

APÊNDICE 11. Resistência do solo ao penetrômetro na trincheira B do tratamento ES*, aberta transversalmente às linhas de cultivo (kg/cm^2)**.

Profundidade (cm)	Distância horizontal na trincheira (cm)																Média***	Erro padrão
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150		
0 - 2,5	9,1	1,8	1,2	0,0	0,0	1,2	3,6	6,0	7,2	4,8	6,0	3,6	7,2	3,6	9,1	8,4	4,6	0,8
2,5- 5,0	16,3	7,2	6,0	10,8	7,2	6,0	6,7	9,6	12,0	6,7	18,0	5,3	15,6	6,7	14,4	7,2	9,7	1,0
5,0- 7,5	32,4	9,6	19,2	22,1	9,6	10,1	12,5	8,4	20,4	22,1	13,9	20,4	21,1	7,7	12,5	24,0	16,6	1,8
7,5-10,0	28,8	10,8	19,2	63,6	30,6	6,0	21,6	7,8	25,9	27,0	3,6	31,2	62,0	34,8	14,4	31,2	26,2	4,3
10,0-12,5	23,5	14,4	25,2	66,8	18,0	13,2	15,6	19,7	21,6	26,4	39,6	42,7	50,4	42,5	14,9	32,4	29,2	3,8
12,5-15,0	24,6	13,9	24,0	57,6	29,3	18,7	16,8	14,9	24,5	22,8	45,0	30,0	45,6	25,2	19,7	31,7	27,8	3,0
15,0-17,5	21,6	15,6	21,1	34,8	23,5	22,1	16,3	14,4	22,1	19,7	19,7	16,3	30,0	25,2	16,8	19,2	21,2	1,3
17,5-20,0	18,0	12,5	18,7	30,0	19,7	20,4	14,9	14,4	18,7	16,3	9,6	15,6	26,9	29,3	15,6	25,2	19,1	4,8
20,0-22,5	13,9	16,8	14,9	26,9	20,4	16,8	13,2	12,0	15,6	13,2	14,4	10,1	7,2	17,3	17,3	25,2	16,0	1,2
22,5-25,0	12,5	10,1	14,4	22,1	18,0	20,4	14,4	3,5	9,2	18,0	12,5	11,5	7,2	16,3	20,4	25,2	16,0	1,2
25,0-27,5	12,5	16,8	14,4	22,8	13,9	16,3	18,7	10,8	14,4	18,0	14,4	6,0	13,2	13,9	14,4	22,1	15,2	1,0
27,5-30,0	16,3	7,2	10,8	24,0	13,9	13,9	20,4	15,6	16,8	16,3	18,7	7,7	9,1	14,4	22,1	18,7	15,4	1,2

* ES (com subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca);
** Cada valor é média de 2 determinações;
*** Média e êrro padrão referentes a 32 determinações por profundidade.

APÊNDICE 12. Resistência do solo ao penetrômetro na trincheira A do tratamento E*, em trincheira aberta transversalmente às linhas de cultivo (kg/cm^2)**.

Profundidade (cm)	Distância horizontal na trincheira (cm)																Média	*** Erro padrão
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150		
0 - 2,5	2,5	3,6	3,0	0,0	2,4	7,8	1,2	1,8	1,8	3,6	2,4	4,8	3,6	3,0	4,8	7,8	3,4	0,5
2,5- 5,0	11,4	7,8	4,8	7,2	7,8	24,6	12,6	6,0	6,6	6,0	4,2	12,0	10,8	13,8	6,0	16,2	9,9	1,3
5,0- 7,5	14,4	8,4	14,4	21,0	7,8	22,2	18,0	14,4	13,2	6,6	28,8	14,4	19,8	15,6	7,2	10,8	14,6	1,5
7,5-10,0	26,4	9,6	35,4	25,2	16,8	23,4	16,2	27,0	22,2	21,0	35,4	31,2	37,8	25,2	9,6	12,0	23,4	2,2
10,0-12,5	30,0	21,6	33,6	24,6	18,2	25,2	14,4	27,6	14,4	22,2	30,6	27,0	33,6	26,4	10,2	12,0	23,2	1,9
12,5-15,0	22,8	17,4	22,8	24,0	15,6	16,2	10,8	20,4	15,0	18,0	28,2	21,6	23,4	30,0	16,8	15,0	19,9	1,3
15,0-17,5	19,8	15,6	18,6	20,4	17,4	18,0	9,6	20,4	12,6	20,4	20,4	16,8	18,0	29,4	17,4	16,8	18,2	1,0
17,5-20,0	19,2	15,0	16,2	21,0	13,8	18,6	9,6	18,0	12,6	22,8	22,2	16,8	20,4	24,0	15,6	17,4	17,7	1,0
20,0-22,5	14,4	13,2	19,2	18,6	11,4	16,8	9,6	16,8	10,8	15,6	24,0	13,2	21,0	22,8	13,8	14,4	16,0	1,0
22,5-25,0	14,4	10,8	15,6	18,6	15,6	15,6	15,0	19,8	10,2	21,0	18,0	15,0	22,2	16,2	12,0	18,6	16,2	0,8
25,0-27,5	13,8	13,8	15,6	16,2	10,8	19,2	15,6	14,4	15,0	16,2	14,4	15,0	19,8	19,2	12,6	18,6	15,6	0,6
27,5-30,0	15,0	16,2	16,8	13,2	17,4	16,2	15,0	19,0	14,4	19,2	12,0	18,6	17,4	16,8	15,0	16,8	16,2	0,5

* E (sem subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca);
** Cada valor é média de 2 determinações;
*** Média e erro padrão referentes a 32 determinações por profundidade.

APÊNDICE 13. Resistência do solo ao penetrômetro na trincheira B do tratamento E*, aberta transversalmente às linhas de cultivo (kg/cm^2)**.

Profundidade	Distância horizontal na trincheira (cm)																Média***	Erro padrão
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150		
0 - 2,5	12,0	10,2	9,0	11,4	6,6	3,0	11,4	6,0	3,0	1,8	1,8	5,4	2,4	4,8	4,2	4,2	6,1	0,9
2,5- 5,0	9,6	13,8	7,2	22,2	10,8	7,2	30,0	8,4	7,2	5,4	4,2	31,8	4,2	21,0	26,4	7,8	13,6	2,4
5,0- 7,5	10,2	17,4	12,6	31,2	39,0	9,0	40,2	19,2	35,4	22,8	30,6	49,2	12,6	36,0	39,0	20,4	26,6	3,2
7,5-10,0	17,4	17,4	10,8	30,6	34,8	15,0	39,6	27,0	39,6	43,2	40,2	39,0	29,4	35,4	39,6	28,2	30,4	2,6
10,0-12,5	12,0	18,6	12,6	24,0	33,6	19,8	30,0	31,8	39,0	39,6	39,6	41,4	25,8	29,4	34,8	31,8	29,0	2,3
12,5-15,0	13,2	15,6	11,4	27,0	23,4	23,4	28,8	30,0	40,2	34,2	35,4	36,6	20,4	24,6	31,8	30,6	26,7	2,1
15,0-17,5	13,2	16,2	8,4	19,2	19,2	22,2	21,0	31,8	32,4	31,2	27,0	40,8	18,6	27,0	23,4	24,6	23,1	2,2
17,5-20,0	9,6	17,4	15,6	23,4	21,0	18,0	18,6	28,8	28,2	25,2	24,0	27,0	17,4	16,8	15,6	18,6	20,3	1,3
20,0-22,5	10,8	24,0	15,0	22,2	19,8	21,6	19,2	28,8	21,0	22,2	19,2	25,8	21,6	19,8	19,8	16,2	20,4	1,0
22,5-25,0	15,0	16,2	12,6	10,8	22,2	20,4	22,2	24,6	22,2	16,2	19,2	22,2	15,6	22,2	19,0	21,6	18,8	1,0
25,0-27,5	10,2	12,0	9,6	13,8	16,2	15,6	21,6	14,4	23,3	14,4	16,8	24,6	13,8	16,2	16,2	18,0	16,1	1,0
27,5-30,0	9,6	12,0	9,0	12,0	13,8	12,6	21,6	13,2	0,0	15,0	15,0	25,2	13,2	10,8	15,6	20,4	13,7	1,4

* E (sem subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca);
** Cada valor é média de 2 determinações;
*** Média e êrro padrão referentes a 32 determinações por profundidade.

APÊNDICE 14. Resistência do solo ao penetrômetro na trincheira A do tratamento A_2*, aberta transversalmente às linhas de cultivo (kg/cm^2)**.

Profundidade (cm)	Distância horizontal na trincheira (cm)															Média***	Erro padrão
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150		
0 - 2,5	4,8	4,2	0,0	2,4	7,8	0,0	15,0	2,4	0,0	0,0	10,8	10,8	10,8	0,0	25,2	6,6	6,3	1,8
2,5- 5,0	6,0	7,2	9,6	8,4	9,6	10,8	14,4	6,0	0,0	4,8	11,4	13,2	18,0	6,6	18,0	18,6	10,2	1,3
5,0- 7,5	9,0	7,2	8,4	8,4	10,8	10,2	13,8	7,8	2,4	12,0	9,6	10,8	22,2	12,6	16,2	14,4	11,0	1,1
7,5-10,0	10,2	5,4	5,4	7,2	8,4	9,0	12,0	8,4	12,0	10,8	10,2	10,2	18,6	12,0	12,0	12,0	10,2	0,8
10,0-12,5	16,8	7,2	12,0	8,4	10,8	8,4	9,0	15,0	10,2	10,2	9,6	10,8	15,0	14,4	12,6	12,0	11,4	0,7
12,5-15,0	18,0	6,0	7,2	6,6	9,6	12,6	15,0	8,4	10,8	17,4	9,6	9,6	12,0	16,8	12,0	10,2	11,4	0,9
15,0-17,5	13,8	7,2	9,0	8,4	9,6	14,4	15,0	7,8	17,4	13,2	9,6	10,8	9,6	10,8	11,4	16,8	11,6	0,8
17,5-20,0	8,4	4,8	11,4	10,8	10,8	15,6	16,8	11,4	19,2	15,6	18,0	15,0	16,8	11,4	12,6	20,4	13,8	1,3
20,0-22,5	13,8	13,2	18,6	17,4	14,4	14,4	15,6	14,4	15,0	18,0	13,2	13,8	13,2	14,4	19,8	20,4	15,6	0,6
22,5-25,0	12,0	15,0	22,8	10,8	14,4	22,8	14,4	13,2	13,2	12,0	12,6	13,8	13,8	12,0	12,6	20,4	14,7	0,9
25,0-27,5	9,6	17,4	18,6	15,0	16,8	18,0	16,2	11,4	19,2	12,6	12,0	11,4	11,4	16,2	19,8	14,4	15,0	0,8
27,5-30,0	12,0	24,0	16,2	10,2	18,0	18,0	13,2	12,6	16,8	10,8	15,0	15,0	13,2	15,6	14,4	10,8	14,7	0,9

* A_2 (sem subsolagem) - preparo convencional e sucessão soja-trigo com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja;
** Cada valor é média de 2 determinações;
*** Média e êrro padrão referentes a 32 determinações por profundidade.

APÊNDICE 15. Resistência do solo ao penetrômetro na trincheira B do tratamento A_2*, aberta transversalmente às linhas de cultivo (kg/cm^2)**.

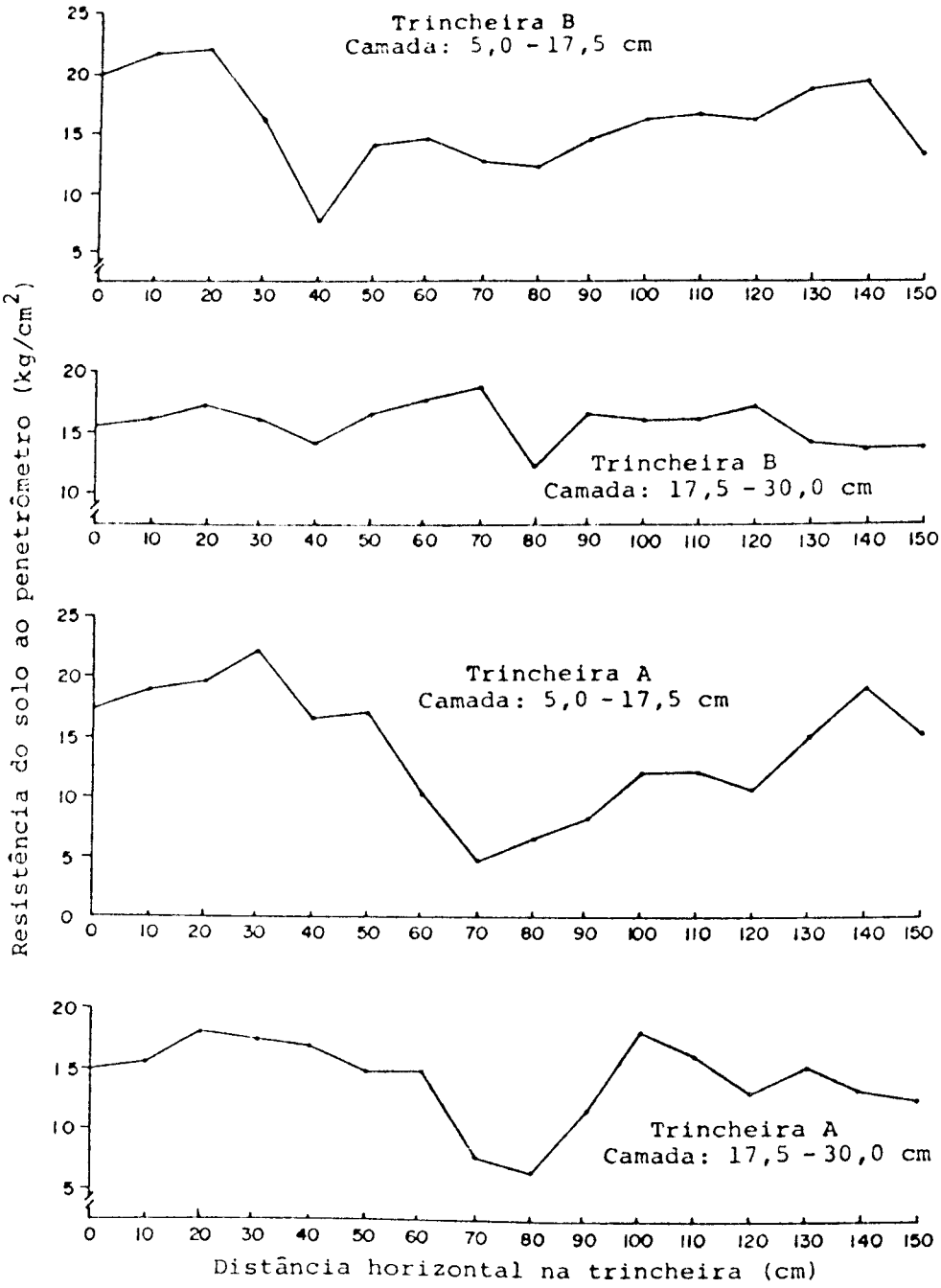
Profundidade (cm)	Distância horizontal na trincheira (cm)																Média***	Erro padrão
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150		
0 - 2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	0,0	16,8	9,6	0,0	2,4	0,0	2,0	1,2
2,5- 5,0	3,6	2,4	4,8	3,6	9,0	6,0	3,6	1,8	4,2	16,2	20,4	28,8	16,8	6,0	4,8	6,0	8,6	1,9
5,0- 7,5	4,2	4,8	3,6	15,0	10,2	9,0	10,8	8,4	7,2	15,6	20,4	23,4	12,0	6,0	3,6	8,4	10,2	1,5
7,5-10,0	6,0	6,0	7,8	10,8	10,8	13,8	8,4	7,2	8,4	15,6	13,2	16,2	10,8	13,2	9,6	8,4	10,4	0,8
10,0-12,5	5,4	6,6	8,4	9,6	9,6	7,8	9,6	7,2	7,2	10,2	13,2	15,6	7,2	4,8	16,2	9,0	9,3	0,8
12,5-15,0	5,4	6,0	8,4	9,0	8,4	7,2	9,0	9,6	7,2	7,8	12,4	13,8	9,6	4,8	4,8	7,8	8,1	0,6
15,0-17,5	5,4	10,8	6,0	13,8	7,8	6,6	7,2	6,6	7,8	9,0	16,8	17,4	16,2	12,0	5,4	7,2	9,8	1,0
17,5-20,0	12,6	6,0	6,0	11,4	9,6	7,2	9,0	7,2	7,8	8,4	14,4	14,4	14,4	14,4	12,0	8,4	9,4	1,0
20,0-22,5	8,4	6,0	6,6	6,0	9,0	9,0	11,4	10,2	9,0	12,0	13,2	14,4	13,8	13,2	9,6	8,4	10,0	0,7
22,5-25,0	11,4	10,8	6,0	12,0	13,2	13,8	10,2	13,2	6,0	13,2	13,2	17,4	13,2	13,2	12,0	14,4	11,0	0,9
25,0-27,5	10,8	15,0	14,4	19,8	12,6	13,8	9,0	15,6	15,0	11,4	13,2	9,2	14,4	16,8	13,2	14,4	14,3	0,7
27,5-30,0	10,8	11,4	13,8	16,2	10,2	8,4	8,4	13,2	11,4	9,6	15,6	18,6	16,2	15,0	10,8	13,8	12,5	0,7

* A_2 (sem subsolagem) - preparo convencional e sucessão soja-trigo com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja;
** Cada valor é média de 2 determinações;
*** Média e êrro padrão referentes a 32 determinações por profundidade.

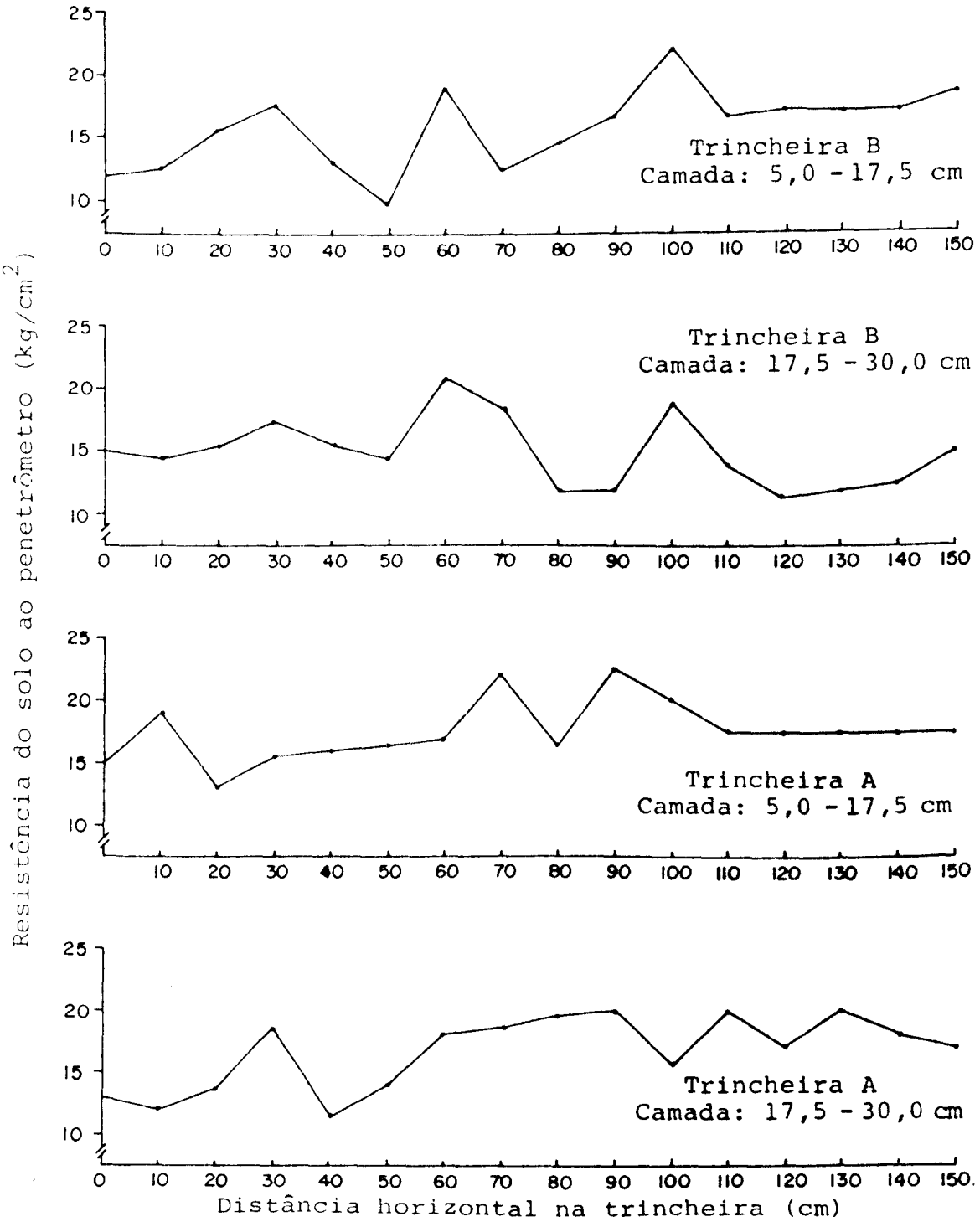
APÊNDICE 16. Resistência do solo ao penetrômetro em trincheiras abertas transversalmente às linhas de cultivo nos tratamentos GS e G* (kg/cm^2)**.

Tratamento	Trincheira	Profundidade (cm)	Distância horizontal na trincheira (cm)***														
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
GS	A	5,0 - 17,5	17,3	19,3	19,5	21,9	16,1	17,2	10,1	4,7	6,6	7,9	12,0	12,0	10,7	14,9	21,6	15,2
	A	17,5 - 30,0	14,9	15,5	17,9	17,3	18,8	14,3	14,5	7,4	6,3	11,5	18,0	15,8	13,2	15,1	13,0	12,4
	B	5,0 - 17,5	20,0	21,2	21,9	15,6	7,8	13,8	14,4	12,7	12,0	14,3	20,9	16,5	15,8	18,8	19,2	12,6
	B	17,5 - 30,0	15,7	16,0	17,0	15,9	14,2	16,5	17,4	18,7	12,1	16,5	16,0	15,8	17,2	14,1	13,4	13,3
G	A	5,0 - 17,5	14,6	19,0	13,2	15,6	16,1	16,6	16,8	22,1	25,0	16,6	22,4	20,0	17,8	18,0	17,3	17,3
	A	17,5 - 30,0	13,2	12,1	13,7	18,5	11,6	13,9	17,3	18,6	19,3	20,0	15,7	20,2	16,7	20,0	18,1	17,2
	B	5,0 - 17,5	12,4	13,4	15,7	17,5	13,2	9,2	19,1	17,6	19,3	16,6	22,1	16,2	16,9	16,6	16,3	18,7
	B	17,5 - 30,0	15,1	14,8	15,8	17,6	15,7	14,3	21,4	18,7	12,2	12,1	19,3	14,2	11,6	12,2	12,4	15,2

* GS e G (com e sem subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo;
** Cada valor é média de 10 determinações;
*** Distância horizontal a partir do ponto arbitrário situado mais à esquerda nas trincheiras abertas transversalmente às linhas de cultivo.



APÊNDICE 17. Resistência do solo ao penetrômetro nas trincheiras A e B do tratamento GS* abertas transversalmente às linhas de cultivo.
* GS (com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo.

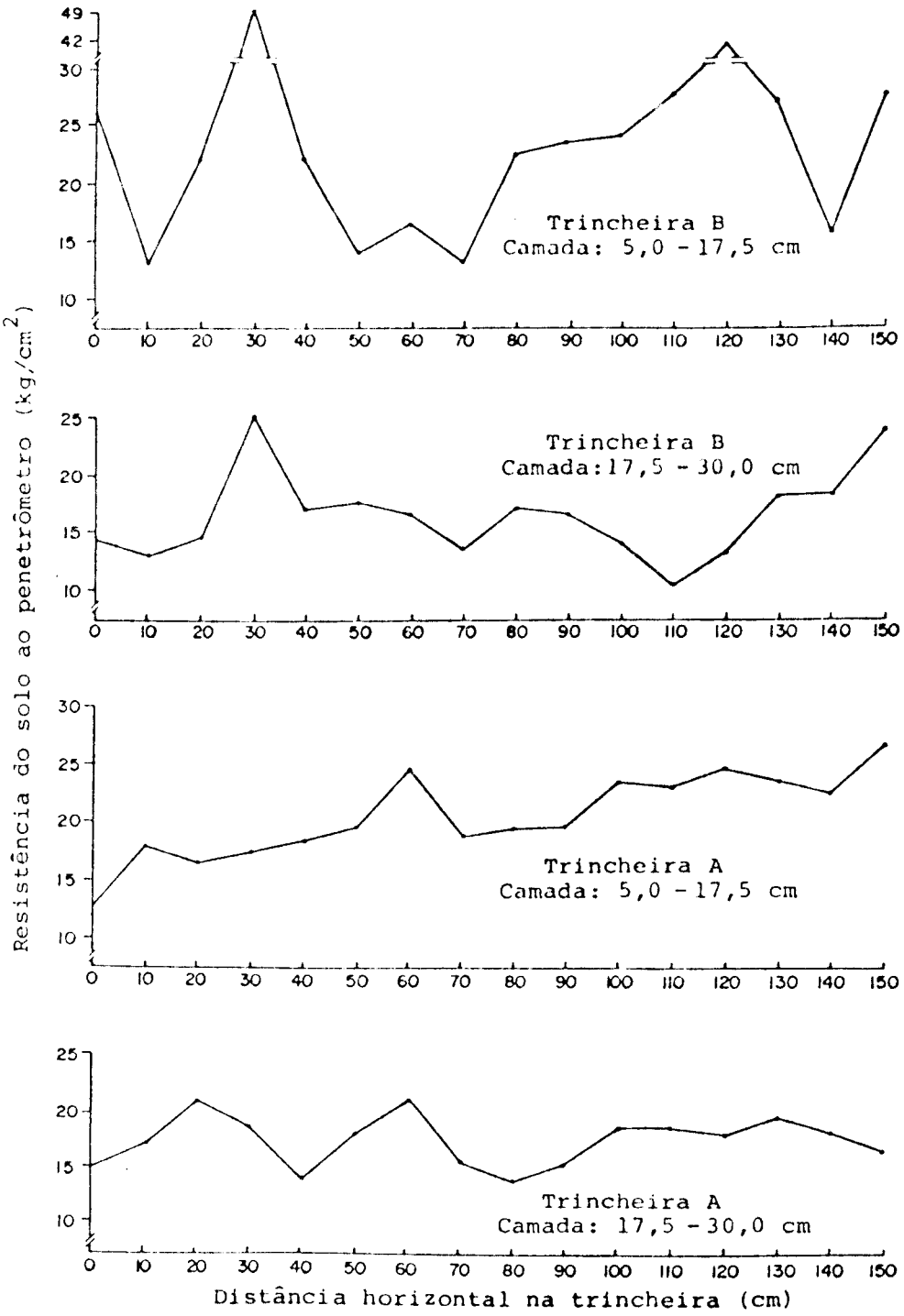


APÊNDICE 18. Resistência do solo ao penetrômetro nas trincheiras A e B do tratamento G* abertas transversalmente às linhas de cultivo.
* G (sem subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo.

APÊNDICE 19. Resistência do solo ao penetrômetro em trincheiras abertas transversalmente às linhas de cultivo nos tratamentos ES e E* (kg/cm^2). **

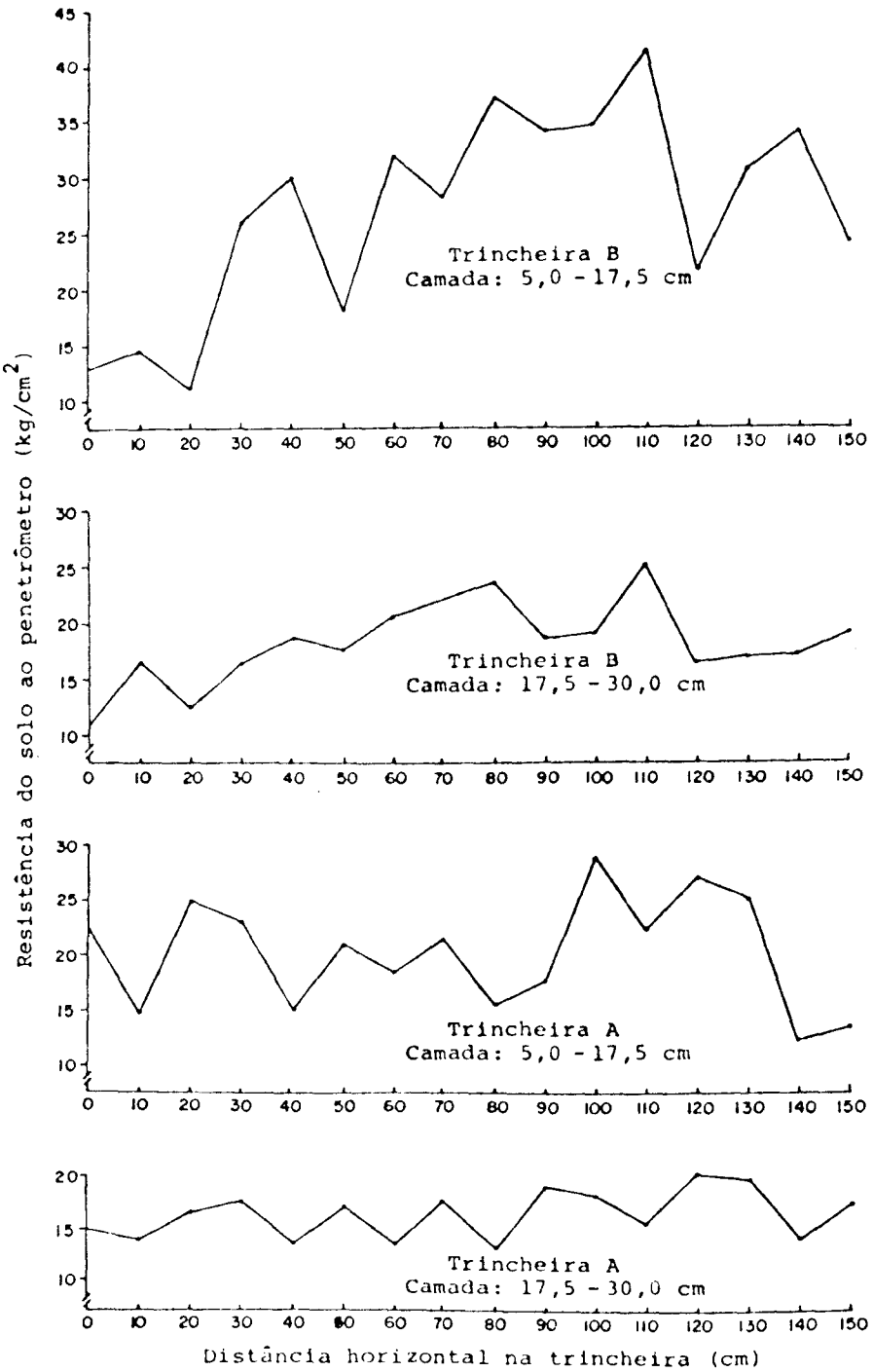
Tratamento	Trincheira	Profundidade (cm)	Distância horizontal na trincheira (cm)***															
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
ES	A	5,0 - 17,5	12,9	18,0	16,5	17,4	18,7	19,6	24,6	19,2	19,7	19,4	23,6	23,1	24,4	23,3	22,4	26,5
	A	17,5 - 30,0	15,1	16,8	21,1	18,4	13,8	18,2	21,0	15,6	14,0	15,3	18,5	18,8	18,3	19,4	18,0	16,7
	B	5,0 - 17,5	26,2	12,9	22,0	49,0	22,2	14,0	16,6	13,0	22,9	23,6	24,2	28,1	41,7	27,1	15,7	27,7
	B	17,5 - 30,0	14,6	12,7	14,6	25,2	17,1	17,6	16,5	13,3	17,0	16,4	13,9	10,2	12,8	18,2	18,0	23,3
E	A	5,0 - 17,5	22,7	14,5	25,0	23,0	15,2	21,0	13,8	21,4	13,8	21,4	15,5	17,6	29,0	22,2	26,5	25,3
	A	17,5 - 30,0	15,3	13,8	16,7	17,5	13,8	17,3	13,0	17,6	12,6	19,0	18,1	15,7	20,2	19,8	13,8	17,2
	B	5,0 - 17,5	13,2	17,0	11,2	26,4	30,0	17,9	31,9	28,0	37,3	34,2	34,6	41,4	21,4	30,5	34,3	23,8
	B	17,5 - 30,0	11,0	16,3	12,4	16,4	18,6	17,6	20,6	22,0	23,7	18,6	18,8	25,0	16,3	17,2	17,0	19,0

* ES e E (com e sem subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca);
** Cada valor é média de 10 determinações;
*** Distância horizontal a partir do ponto arbitrário situado mais à esquerda nas trincheiras abertas transversalmente às linhas de cultivo.



APÊNDICE 20. Resistência do solo ao penetrômetro nas trincheiras A e B do tratamento ES*, abertas transversalmente às linhas de cultivo.

* ES (com subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca).



APÊNDICE 21. Resistência do solo ao penetrômetro nas trincheiras A e B do tratamento E*, abertas transversalmente às linhas de cultivo.

* E (sem subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca).

APÊNDICE 22. Taxa de infiltração de água no solo nos tratamentos E e ES* (cm/h).

Tempo (min.)	Sem subsolagem			Com subsolagem		
	Determinações			Determinações		
	1	2	3	1	2	3
1	144,0	126,0	126,0	66,0	90,0	114,0
2	60,0	54,0	18,0	27,0	48,0	54,0
3	60,0	48,0	24,0	21,0	33,0	54,0
4	60,0	54,0	24,0	18,0	27,0	51,0
5	54,0	48,0	24,0	12,0	30,0	54,0
10	51,0	48,0	21,0	21,6	34,8	58,2
20	49,8	48,0	19,8	18,6	33,6	48,0
30	27,0	48,0	19,8	18,6	30,0	46,2
45	49,8	45,6	19,2	16,8	26,4	45,0
60	42,0	44,4	18,6	16,8	27,6	42,0
90	46,2	39,6	16,8	14,4	24,0	24,0
120	42,0	45,0	17,4	15,6	24,0	36,0

*E e ES (sem e com subsolagem)- preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca).

APÊNDICE 23. Taxa de infiltração de água no solo nos tratamentos G e GS* (cm/h).

Tempo (min.)	Sem subsolagem			Com subsolagem		
	Determinações			Determinações		
	1	2	3	1**	2	3
1	90,0	66,0	132,0	180,0	108,0	138,0
2	24,0	6,0	72,0	198,0	30,0	30,0
3	30,0	9,0	84,0	222,0	30,0	30,0
4	30,0	3,0	72,0	198,0	24,0	30,0
5	30,0	6,0	72,0	192,0	30,0	36,0
10	22,8	6,0	64,8	180,0	26,4	27,6
20	22,8	6,0	63,0	174,0	28,8	28,8
30	18,0	2,4	60,0	162,0	30,0	24,0
45	20,4	5,4	56,1	-	25,8	34,8
60	18,0	5,8	46,8	-	24,6	37,2
90	15,6	6,6	43,2	-	21,0	27,6
120	15,0	6,4	37,2	-	20,4	25,2

* G e GS (sem e com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo;

** a determinação 1 foi interrompida aos 30 minutos após o início do teste, não sendo computada no cálculo da média;

\- não foi efetuada a leitura.

APÊNDICE 24. Taxa de infiltração de água no solo nos tratamentos A_2 e A_2S* (cm/h).

Tempo (min.)	Sem subsolagem			Com subsolagem		
	Determinações			Determinações		
	1	2	3	1	2	3
1	78,0	120,0	114,0	150,0	54,0	138,0
2	72,0	42,0	52,0	42,0	24,0	60,0
3	36,0	30,0	39,0	60,0	18,0	66,0
4	18,0	24,0	30,0	12,0	18,0	54,0
5	18,0	36,0	30,0	18,0	15,0	66,0
10	25,2	22,8	27,0	30,0	18,6	54,0
20	18,0	20,4	25,2	30,0	13,2	54,0
30	24,0	19,2	22,8	26,4	13,2	58,8
45	21,6	17,4	23,4	20,4	12,9	54,0
60	22,8	16,2	20,4	24,0	16,8	46,8
90	22,8	17,1	22,8	24,0	10,2	43,2
120	15,6	17,4	19,8	24,0	10,2	48,0

* A_2 e A_2S (sem e com subsolagem) - preparo convencional e sucessão soja-trigo com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja.

APÊNDICE 25. Umidade gravimétrica do solo antes de iniciar os testes de infiltração de água nos tratamentos avaliados*.

Profundidade do solo (cm)	Tratamentos**					
	E	ES	G	GS	A_2	A_2S
	%					
0 - 10	24	25	25	26	26	24

* Cada valor é média de 5 determinações por parcela;
** E e ES (sem e com subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca); G e GS (sem e com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo; A_2 e A_2S (sem e com subsolagem) - preparo convencional e sucessão soja-trigo com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja.

APÊNDICE 26. Dados de pH em água, necessidade de calagem, fósforo disponível, potássio disponível e matéria orgânica em função da profundidade do solo e dos tratamentos avaliados (sem subsolagem)*.

Tratamentos**	Profundidade (cm)	pH	Necessidade de calagem (t/ha)	ppm		M.O. (%)
				P	K	
A_2	0 - 7,5	5,0	2,3	23,2	54	3,3
	7,5 - 15,0	5,2	1,5	22,6	44	2,8
	15,0 - 22,5	5,4	0,5	13,2	25	2,5
	22,5 - 30,0	4,4	5,3	3,2	13	1,9
E	0 - 7,5	4,6	3,2	29,9	170	3,6
	7,5 - 15,0	4,6	2,7	14,0	44	2,8
	15,0 - 22,5	4,5	3,2	5,0	14	2,6
	22,5 - 30,0	4,4	4,2	2,0	11	1,8
G	0 - 7,5	5,1	2,3	42,7	190	3,6
	7,5 - 15,0	5,4	1,0	11,2	35	2,6
	15,0 - 22,5	5,8	0,5	5,6	15	2,1
	22,5 - 30,0	5,4	1,5	4,0	12	1,9

* Média de 4 determinações por profundidade;
** A_2 - preparo convencional e sucessão soja-trigo, com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja;
E - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca);
G - sem preparo e sucessão soja-trigo.

APÊNDICE 27. Rendimento de grãos e palha de soja e trigo e de matéria seca (MS) de milheto mais feijão miúdo e aveia mais ervilhaca nos tratamentos avaliados (t/ha).

Tratamentos *	Soja		Trigo		Milheto mais feijão miúdo (MS)			Aveia mais ervilhaca (MS)
	Grãos	Palha	Grãos	Palha	1º corte	2º corte	3º corte	1º corte
A_2	1,9	3,5	0,1	3,5	-	-	-	-
A_2S	1,9	3,4	0,1	3,9	-	-	-	-
G	1,5	2,9	0,4	3,2	-	-	-	-
GS	1,6	3,2	0,3	3,8	-	-	-	-
E	-	-	-	-	2,9	5,3	5,6	2,9
ES	-	-	-	-	3,0	4,8	6,1	2,6

* A_2 e A_2S (sem e com subsolagem) - preparo convencional e sucessão soja-trigo com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja; G e GS (sem e com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo; E e ES (sem e com subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca).

APÊNDICE 28. Preparo do solo, adubação e método de semeadura das culturas nos tratamentos avaliados.

Tratamentos*	Cultura	Preparo do solo	Adubação	Método de semeadura
A_2 e A_2S	Soja	1 lavração e 2 gradagens niveladoras	250 kg/ha da fórmula 4-28-20	Semeadeirá convencional (em linhas)
	Trigo	1 lavráção e 2 gradagens niveladoras	200 kg/ha da fórmula 8-29-18	Semeadeira *convencional* (em linha)
E e ES	Milheto e feijão-miúdo	1 gradagem gable e 2 gradagens niveladorás	250 kg/ha da fórmula 4-28-20	Manual (a lanço)
	Aveia e ervilhaca	1 grádagem gable e 1 gradagem niveladora	100 kg/há dá fórmula 3-30-15	Manual (a lánço)
G e GS	Soja	sem preparo	250 kg/ha dá fórmula 4-28-20	Semeadeira de plantio direto (em linhas)
	Trigo	sem preparo	200 kg/ha da fórmula 8-29-18	Semeadeira de plantio dirato (em linhas)

* A2 e A2S (sem e com subsolagem) -preparo convencional e sucessão soja-trio com queima dos resíduos de trigo e incorporação dos de soja; E e ES (sem e com subsolagem) - preparo adequado e forrageiras de verão (milheto mais feijão-miúdo) e de inverno (aveia mais ervilhaca); G e GS (sem e com subsolagem) - sem preparo e sucessão soja-trigo.